



ПОДОЛАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ТА ЗАГРОЗ ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ – 2022



2022

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА**

**ПОДОЛАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ТА ЗАГРОЗ
ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЙ – 2022**

Колективна монографія

Полтава – Львів 2022

**Дніпро
«Середняк Т.К.»
2022**

УДК 504.06

Рецензент: САФРАНОВ Тамерлан, завідувач кафедри екології та охорони довкілля Одеського державного екологічного університету, доктор геолого-мінералогічних наук, професор.

під ред. М.С. Мальованого, О.В. Степової.

Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022: колективна монографія Полтава – Львів: НУПІ імені Юрія Кондратюка, НУ «Львівська політехніка» — Дніпро: Середняк Т. К., 2022, — 664 с.

ISBN 978-617-8111-24-3

book doi.org/10.23939/monograph2022

У колективній монографії з позицій забезпечення екологічної безпеки викладено результати екологічних досліджень стану навколишнього середовища із акцентуванням на встановлення екологічних ризиків і загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій та воєнних дій. Розглянуто проблеми глобальних та регіональних екологічних загроз, питання екологічної та техногенної безпеки територій, напрацювання в галузі відновлювальної енергетики. Наведено деякі розвідки щодо наслідків для довкілля воєнних дій, пов'язаних із вторгненням РФ в Україну.

Розраховано на науковців, викладачів, керівників і спеціалістів органів державного управління, екологів, аспірантів, студентів і всіх, хто цікавиться питаннями збереження, відновлення та раціонального використання ресурсів навколишнього середовища.

Матеріали друкуються мовами оригіналів. За викладення, зміст і достовірність матеріалів відповідають автори.

ISBN 978-617-8111-24-3

© Колектив авторів, 2022.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Відповідальні редактори

МАЛЬОВАНИЙ Мирослав, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища Національного університету «Львівська політехніка», доктор технічних наук, професор.

СТЕПОВА Олена, завідувачка кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», доктор технічних наук, професор.

Технічний редактор

СМОЛЯР Наталія, кандидат біологічних наук, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Члени редакційної колегії

ГОЛІК Юрій, завідувач кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики, професор Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат технічних наук, доцент.

ЧЕРНЕР Крістіан, почесний доктор, ПП «Гігаджоуль», Австрія, Грац-Стрий, Україна.

KRZYSZTOF Józwiakowski, завідувач кафедри інженерії навколишнього середовища та геодезії Університету природничих наук в Любліні, доктор хабіл, професор.

TURKADZE Tsitsino, професор кафедри хімічних та екологічних технологій Державного університету імені Акакія Церетелі, доктор технічних наук, професор.

ІЛЛЯШ Оксана, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат технічних наук, доцент.

СМОЛЯР Наталія, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат біологічних наук, доцент.

БРЕДУН Віктор, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат технічних наук.

ВНУКОВА Наталія, завідувачка кафедри, професор кафедри екології Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, доктор технічних наук, професор.

НЕКОС Алла, завідувачка кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, доктор географічних наук, професор.

ПЕТРУК Василь, директор інституту екологічної безпеки та моніторингу довкілля Вінницького національного технічного університету, доктор технічних наук, професор, заслужений природоохоронець України.

ТРОХИМЕНКО Ганна, завідувачка кафедри екології та природоохоронних технологій Національного університету кораблебудування імені Адмірала Макарова, доктор технічних наук, професор.

ЧУГАЙ Ангеліна, декан природоохоронного факультету Одеського державного екологічного університету, доктор технічних наук, професор.

ШМАНДІЙ Володимир, професор кафедри екології та біотехнології Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, доктор технічних наук, професор.

РОЗДІЛ І

ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ



АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗМІНИ ПОРИСТОЇ СТРУКТУРИ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ З ВІДХОДІВ БІОСИРОВИНИ

ANALYSIS OF METHODS OF CHANGING THE POROUS STRUCTURE OF CARBON MATERIALS FROM BIOWASTES

^{1,2}**Бордун І.М.** доктор хаб.інж., ад'юнкт, PhD, DSc, Senior Researcher,
²**Мальований М.С.**, доктор технічних наук, завідувач кафедри,
²**Нагурський Н.О.**, магістр, інженер

¹*Ченстоховський політехнічний університет, Польща*
²*Національний університет «Львівська політехніка», Україна*

^{1,2}**Bordun I.M., Malovanyu M.S.,** PhD, DSc, Prof., Head.,
Nagursky N.O., MSc, engineer

¹*Czestochowa University of Technology, Poland*
²*Lviv Polytechnic National University, Ukraine*

У статті досліджено біовуглецеві матеріали, синтезовані на основі соломи пшениці. Досліджувані біовуглеці були модифіковані ультразвуковим впливом у кавітаційному режимі і модифіковані хімічно за допомогою лужної активації. Проведено аналіз рентгенодифракційних даних, спектрів малокутового розсіяння рентгенівських променів та ізотерм адсорбції/десорбції азоту досліджуваними зразками. Показано, що усі біовуглеці є аморфними графітоподібними структурами. Для аналізу структурних особливостей зразків положення дифузних максимумів порівнювали з положенням дифракційних ліній полікристалічного графіту (002), що відповідають тривимірному упорядкуванню, та (100), (110) пов'язаних з двоохмірною дифракцією від окремих графенових шарів. Моделювання даних малокутового розсіяння рентгенівських променів показало, що і ультразвукова обробка, й активація з використанням луку спричинює зростання вмісту пор із меншими радіусами. Встановлено, що для збільшення питомої площі поверхні та питомого об'єму біовуглеців ефективним є використання методів хімічної активації. Використання ультразвукової обробки дозволяє збільшити графітизацію вуглецевого матеріалу, але не спричинює суттєвого зростання пористого простору.

The article describes the study of biocarbon materials synthesized on the basis of wheat straw. The studied biocarbons were modified by ultrasonic treatment in cavitation regime and chemically modified by alkaline activation. The analysis of X-ray diffraction data, spectra of small-angle X-ray scattering and

isotherms of nitrogen adsorption/desorption by the studied samples is carried out. It was shown that all biocarbons are amorphous graphite-like structures. To analyze the structural features of the samples, the positions of the diffuse maxima were compared with the positions of the diffraction lines of polycrystalline graphite (002), corresponding to three-dimensional ordering, and (100), (110) associated with two-dimensional diffraction from individual graphene layers. Modeling of small-angle X-ray scattering data was shown that both ultrasonic treatment and alkaline activation increase the pore content with smaller radii. It has been established that the use of chemical activation methods is effective in increasing the specific surface area and specific volume of biocarbons. The use of ultrasonic treatment allows to increase the graphitization of carbon material, but does not cause a significant increase in porous space.

Високопористі вуглецеві матеріали з відходів біосировини мають широке застосування у різних галузях науки й техніки як ефективні адсорбенти, носії каталізаторів, електродні матеріали для систем накопичення заряду тощо [1-3]. Головною перевагою таких біовуглеців є те, що їх виготовляють із доступних, дешевих і відновлювальних ресурсів біомаси. Процес синтезу найчастіше реалізують за допомогою різних термохімічних процесів з використанням фізичної чи хімічної активації і при відносно низьких температурах (часто менше 700 °С). Отриманий біовуглець зазвичай має добре розвинуту пористу структуру і поверхню, яка містить різноманітні функціональні групи та мінеральні компоненти за рахунок видалення вологи та летких речовин біомаси методом термічної обробки [4].

Зазначимо, що більшість методів активації в основному зосереджені на вдосконаленні конкретної властивості біовуглецю. Тобто обрана методика активації змінює одну характеристику (наприклад, пористу структуру чи склад поверхневих груп), але може одночасно впливати і на інші характеристики. Звичайно, цей вплив може бути як позитивним, так і негативним. Важливим є і те, що недоліком багатьох методів активації є висока зольність та низька сорбційна активність отриманого біовуглецю. У зв'язку з цим, для ефективного вирішення багатьох технологічних проблем додатково використовують методи модифікації вже готових вуглецевих матеріалів, особливо якщо йдеться про використання такого вугілля в якості активного матеріалу електродів суперконденсаторів чи ефективних сорбентів [5-7]. Для модифікації найчастіше використовують різні кислоти та термообробку при підвищених температурах у контрольованих атмосферах. Така обробка суттєво змінює, в першу чергу, наявні поверхневі групи, оскільки модифіковане активоване вугілля є на

два порядки активнішим, ніж активоване вугілля з однорідною поверхнею у багатьох окисно-відновних та кислотно-основних реакціях.

Дослідження, проведені у [8], показали, що ультразвукова (УЗ) обробка у кавітаційному режимі спричинює досить суттєві зміни атомної структури зразків, призводить до збільшення ступеня графітизації вуглецевого матеріалу. При цьому промислові високопористі види вугілля, які досліджено у цій роботі, практично не зазнали відчутних змін пористої структури. З другого боку, УЗ вплив застосовується для ефективного подрібнення різних матеріалів [9, 10], хоча для активованого вугілля дослідження зміни пористої структури при цьому практично не проводилися.

Використання різних хімічних активаторів при синтезі активованого вугілля досить часто є найбільш ефективним методом розвитку пористої структури. Особливо така методика дозволяє робити це контрольовано при двостадійному методі синтезу – спочатку отримують карбонізат при температурах 300-400 °С, а потім проводять активацію просоченого активатором карбонізату при вищих температурах, зазвичай 600–1000 °С. Такий метод найчастіше використовується при КОН- чи NaOH-активації [11, 12]. Як наслідок, отримують високопористе активоване вугілля, яке є як ефективним сорбентом, так і активним матеріалом електродів суперконденсаторів.

Проведений аналіз літературних джерел показав різні підходи до методів впливу на пористу структуру вуглецевих матеріалів. Але так і не було зроблено порівняння ефективності методів такого впливу. Тому метою даної роботи є порівняння впливу на структуру біовуглецевого матеріалу УЗ обробки в кавітаційному режимі і додаткової хімічної активації із застосуванням КОН, що є актуальним для прогнозування ефективності практичного використання біовуглеців.

Як вихідний зразок було використано біовуглецевий матеріал, одержаний із гранульованої соломи пшениці. Карбонізацію гранул соломи пшениці здійснили у інертній атмосфері (аргон) при 400 °С впродовж 90 хв. У результаті встановлено, що маса отриманого біовуглецю становила $\approx 50\%$ початкової маси вихідної сировини. У подальшому позначатимемо вихідний біовуглець АВ0.

Для проведення дослідження впливу УЗ опромінення вугілля АВ0 подрібнювали механічним способом, просівали на просівній машині та відбирали фракцію з розміром частинок менше 100 мкм. Підготовлений таким чином біовуглець поміщали у резонатор УЗ установки ВАКУ-9050 та заливали дегазованою дистильованою водою. Тривалість впливу УЗ становила 10 хв за потужності випромінювання 30 Вт. Частота УЗ впливу становила 42 кГц. Отримане таким чином вугілля позначатимемо АВ-УЗ.

Для додаткової активації за допомогою лугу використано КОН марки х.ч. Співвідношення вихідний біовуглець : луг становило за масою 1 : 3. Біовуглець АВ0 просочували розчином лугу і витримували впродовж доби. Далі зразок поміщали у піч та висушували до сталої маси за температури $\approx 105\text{ }^\circ\text{C}$. Після висушування просочений біовуглець поміщали у реактор печі для синтезу активованого вугілля. Синтез проводили за температури $700\text{ }^\circ\text{C}$ і витримували при ній упродовж 90 хв. із додатковою парогазовою активацією. Газоподібні продукти реакції відводились струменем аргону через гідрозатвор. Надлишковий тиск аргону в реакторі утримували на рівні близько 1 кПа, витрату регулювали в межах від 2 л/хв. до 10 л/хв. Отримане таким способом вугілля позначатимемо АВ-КОН.

Рентгенодифракційні спектри синтезованих видів біовуглеців отримували на автоматизованому рентгенівському дифрактометрі ДРОН-3 в $\text{Cu } K_\alpha$ – випромінюванні ($\lambda=1,5418\text{ \AA}$), монохроматизованому відбиванням від площини (002) монокристала піролітичного графіту, встановленого на дифрагованому пучку. Дифрактограми записували в режимі неперервного переміщення детектора з кутовою швидкістю 2 град./хв.

Спектри малокутового розсіяння рентгенівських променів (МРПП) вимірювали на автоматизованому дифрактометрі ДРОН-3, оснащеному трьохщільними коліматорами первинного та розсіяного випромінювання. Для монохроматизації розсіяного $\text{Cu } K_\alpha$ – випромінювання використовували плоский монокристал піролітичного графіту, встановлений на дифрагованому пучку. В криві інтенсивності розсіяння внесено поправку на фонове розсіяння та колімаційну поправку на висоту приймальної щілини детектора.

Параметри пористої структури синтезованих біовуглеців (питома площа поверхні, загальний об'єм пор, середній радіус пор) оцінювали за допомогою ізотермічних процесів адсорбції/десорбції азоту при температурі кипіння ($T = 77\text{ K}$). Для цього було використано автоматизований аналізатор питомої поверхні і пористості Quantachrome NOVAtouch LX2. Перед вимірюваннями досліджувані зразки дегазували у вакуумі при температурі 473 K протягом 16 годин.

Дифрактограма зразка АВ0, яку наведено на рис. 1, вказує на повністю аморфну структуру без вираженого вмісту кристалічних фаз. На дифрактограмі спостерігаються три дифузних максимуми, характерні для аморфного вуглецю.

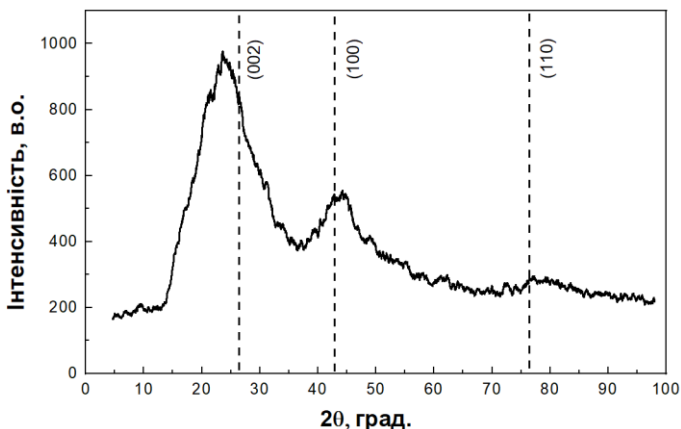


Рис. 1. Дифрактограма зразка АВ0

Джерело: власні дослідження

Для аналізу порівняння структури зразка зі структурою полікристалічного графіту, штрих-пунктирними лініями показано положення максимумів гексагональної фази графіту (002), (100) та (110). Як видно, положення основного максимуму аморфної фази є зміщеним в бік менших кутів розсіяння відносно лінії (002) графіту (рис. 1). Отриманий результат вказує на існування тривимірних упорядкованих графітоподібних кластерів, сформованих паралельними графеновими шарами. За кутовим положенням максимуму визначено середню відстань між шарами $d \approx 3,83 \text{ \AA}$, яка значно перевищує відстань між площинами (002) графіту ($d_{(002)} = 3,35 \text{ \AA}$). Такий результат вказує на суттєве послаблення взаємодії атомів в сусідніх шарах аморфних зразків. Основний максимум є розширеним, що вказує на слабку кореляцію у взаємному розміщенні шарів. Крім того, максимуми аморфної фази, локалізовані в околі кутів дифракції $2\theta \approx 42^\circ$ та $2\theta \approx 77^\circ$ є зміщеними вправо відносно ліній (100) та (110) графітової фази. Така картина відповідає двохвимірній дифракції від окремих графенових шарів.

Для визначення характерних розмірів структурних елементів у досліджуваній зразку було здійснено аналіз розширення дифракційних максимумів, що відповідають лініям (002) та (100) графіту. З цією метою використовували формулу Шерера [13]:

$$L = \frac{k\lambda}{B \cos(\theta)}, \quad (1)$$

де коефіцієнт $k=1,0$ для лінії (002) та $k=1,85$ для лінії (100). Експериментальні півширини максимумів виправлялись на геометричне розширення.

Оцінений за півширинами максимумів аморфної фази, близьких до ліній (002) та (100) графіту, розмір графітоподібних блоків не перевищує 0,8 нм ($L_{(002)}$) та 1,4 нм ($L_{(100)}$) в напрямках відповідно перпендикулярному та паралельному графеновим шарам (табл. 1).

На рис. 2 представлено дифрактограму вуглецевого матеріалу АВ-УЗ. Як і у вихідному зразку, маємо наявність широких дифузних максимумів, що вказує на рентгеноаморфну структуру матеріалів із низьким ступенем атомного впорядкування. Слід відзначити, що на дифрактограмі зразка АВ-УЗ зліва від основного максимуму спостерігається чітко виражений наплив (рис. 2, показано стрілкою), кутове положення якого відповідає міжплощинній відстані $d \approx 7,5 \text{ \AA}$.

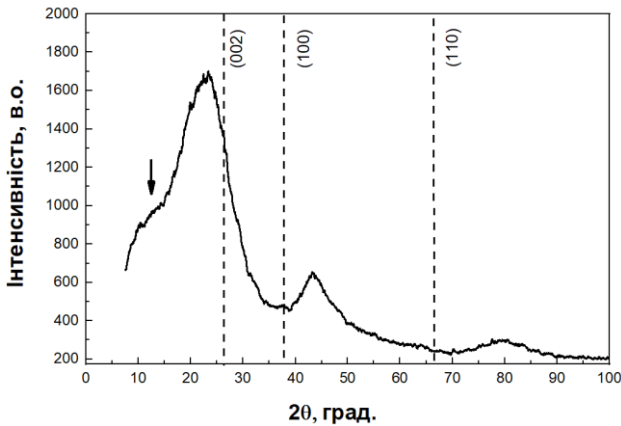


Рис. 2. Дифрактограма зразка АВ-УЗ

Джерело: власні дослідження

Припускаємо, що виникнення додаткового максимуму на малих кутах розсіяння зумовлено формуванням вуглецевої фази, відстань між шарами якої значно перевищує міжшарову відстань у полікристалічному графіті. Відомо [14, 15], що дифракційні максимуми на малих кутах розсіяння спостерігаються в окисленому графіті та оксиді графену, тому можна припустити, що поява напливу зумовлена формуванням областей окисленого вуглецю.

Як і в зразку АВ0, поява основного максимуму при $2\theta \approx 22\div 23^\circ$ поблизу лінії (002) графіту вказує на формування графітоподібних кластерів, що містять не менше двох графенових шарів. Як видно з рис. 2, основний максимум аморфної фази в усіх зразках є також зміщеним вліво відносно лінії (002) графіту і відповідає міжшаровій відстані $d \approx 3,893 \text{ \AA}$ (табл. 1), що

значно перевищує відстань між шарами графіту $d_{(002)} \approx 3,35$ Å. Другий максимум, локалізований в околі $2\theta \approx 43^\circ$, є близьким за положенням до лінії (100) графіту, яка відповідає за двохмірну дифракцію від розупорядкованих графенових шарів. Його асиметрична форма зумовлена перекриванням з широким максимумом, положення якого відповідає лінії (004) графіту. Як видно з даних, наведених в табл. 1, другий максимум навпаки є зміщеним вправо відносно лінії (100) і відповідає меншій міжплощинній відстані порівняно з відповідним значенням для площини (100) графіту $d_{(100)} \approx 2,127$ Å. Аналогічні результати прослідковуються і після аналізу положення максимуму аморфної фази, близького за положенням ($2\theta \approx 79 \div 80^\circ$) до лінії (110) графіту. Такий результат вказує на двохвимірну дифракцію від окремих випадково орієнтованих графенових шарів. Як видно з табл. 1, характерний розмір графітоподібних нанокластерів $L_{(002)}$ у порівнянні із зразком АВ0 майже не змінюється і становить 0,85 нм. Отримані значення $L_{(002)}$ показують, що дані нанокластери містять не більше 2÷3 паралельних графенових шарів. Розмір випадково орієнтованих шарів, розрахований за розширенням максимуму (100), збільшується більше, ніж у два рази і становить $L_{(100)} = 3,35$ нм.

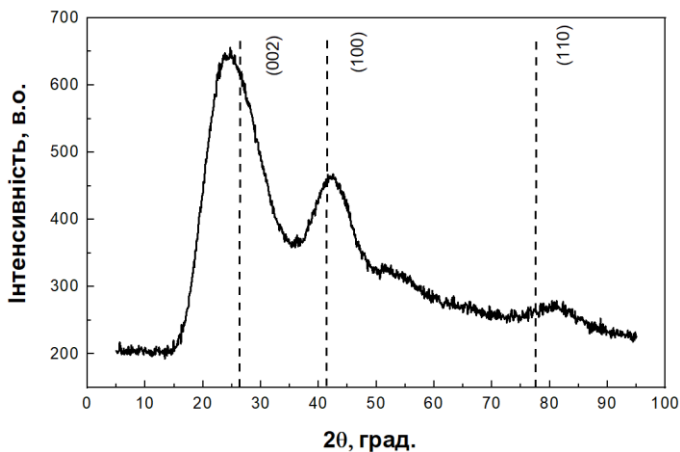


Рис. 3. Дифрактограма зразка АВ-КОН

Джерело: власні дослідження

Дифрактограма зразка АВ-КОН, яку наведено на рис. 3, подібна до дифрактограми вихідного зразка АВ0. Спостерігаються три дифузних максимуми з аналогічним характером їх кутового положення відносно ліній полікристалічного графіту (002), (100) та (110). Таким чином, в зразку АВ-КОН маємо формування графітоподібних кластерів, утворених графеновими

шарами з середньою відстанню між ними $d \approx 3,63 \text{ \AA}$. Можна відзначити деяке збільшення відносно вихідного зразка АВ0 розмірів блоків $L_{(100)}$ в напрямку, паралельному графеновим шарам (табл. 1).

Таблиця 1. Параметри максимумів вуглецевої фази досліджуваних біовуглеців

Зразок	$2\theta_{\text{експ}}$, град	$2\theta_{(hkl)}$, град	(hkl)	$d_{\text{експ}}$, \AA	$d_{(hkl)}$, \AA	$L_{(002)}$, нм	$L_{(100)}$, нм
АВ0	23,2	26,4	(002)	3,830	3,375	0,8	1,4
	44,4	42,5	(100)	2,040	2,127		
АВ-УЗ	22,84	26,4	(002)	3,893	3,375	0,85	3,35
	43,68	42,5	(100)	2,072	2,127		
АВ-КОН	24,5	26,4	(002)	3,630	3,375	0,9	2,4
	43,0	42,5	(100)	2,100	2,127		

$2\theta_{\text{експ}}$ – експериментальне положення дифузних максимумів;

$2\theta_{(hkl)}$ – положення ліній (hkl) полікристалічного графіту;

$d_{\text{експ}}$ – експериментальні значення міжплощинних відстаней;

$d_{(hkl)}$ – міжплощинні відстані полікристалічного графіту;

$L_{(002)}$ – ефективний розмір графітоподібних блоків у напрямі, перпендикулярному графеновим шарам;

$L_{(100)}$ – ефективний розмір графітоподібних блоків у напрямі, паралельному графеновим шарам.

Джерело: власні дослідження

Як видно з табл. 1, обробка УЗ спричинює суттєве зростання графітизації у досліджуваному зразку за рахунок збільшення розмірів графітоподібних блоків у напрямі паралельно графеновим шарам, що добре узгоджується із висновками, отриманими у роботі [8].

Оскільки отриманий біовуглець характеризується розупорядкованою мікроструктурою, то більш детальну інформацію про його пористу будову можна отримати з використанням даних МРРП.

При взаємодії первинного пучка рентгенівських променів з будь-якими макроскопічними ізотропними тілами виникає розсіяне випромінювання, інтенсивність якого визначається виразом [16]:

$$I(s) = 4\pi \int_0^{\infty} \gamma(r) r^2 \frac{\sin(sr)}{sr} dr. \quad (2)$$

Кожній функції розсіяння $I(s)$ у оберненому просторі хвильових векторів s відповідає у прямому просторі r так звана кореляційна функція $\gamma(r)$. Ця функція визначається електронною густиною у прямому просторі. Функція $p(r) = \gamma(r) \cdot r^2$, введена Породом, є функцією розподілу за відстанню.

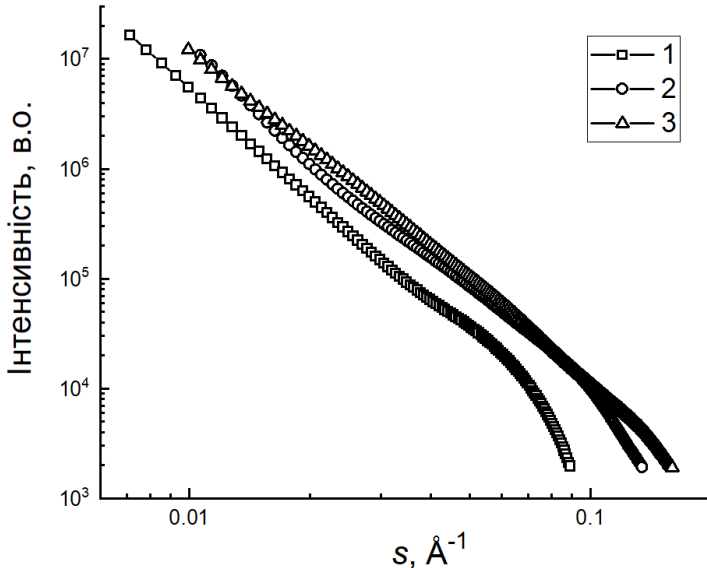


Рис. 4. Спектри МРПП досліджуваних зразків у подвійних логарифмічних в
Джерело: власні дослідження

На рис. 4 показано криві інтенсивності МРПП $I(s)$ досліджуваних зразків після введення колімаційної поправки на висоту приймальної щілини детектора (переходу від щілинної до точкової колімації). Отримані спектри МРПП маю форму кривих, що монотонно спадають у всьому досліджуваному інтервалі кутів. Така поведінка свідчить про хаотичний розподіл розсіювальних неоднорідностей (пор) і, відповідно, відсутність кореляції у їх взаємному розміщенні.

Екстраполяція кривих інтенсивності до значення хвильового вектора $s = 0$ проводилась із використанням закону Гін'є, за яким у області найменших кутів розсіяння виконується залежність [17]:

$$I(s) = I(0) \cdot \exp\left(-\frac{1}{3}s^2 R_g^2\right), \quad (3)$$

де R_g – радіус інерції розсіювальних частинок, $I(0)$ – інтенсивність розсіяння при $s = 0$.

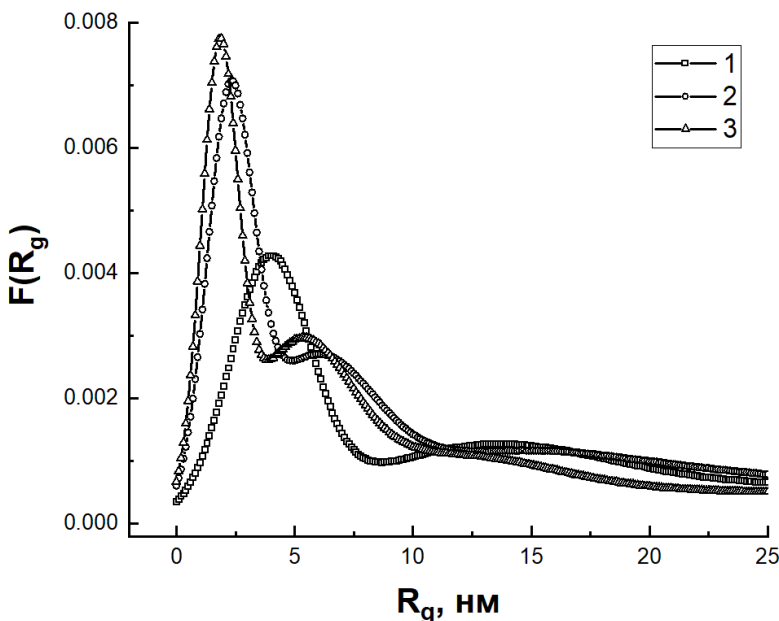
У логарифмічних координатах формула (3) матиме такий вигляд:

$$\ln I(s) = \ln I(0) - \frac{1}{3}s^2 R_g^2. \quad (4)$$

Для монодисперсних систем залежність (4), побудована в координатах $(\ln I(s), s^2)$ матиме лінійний характер [18]. Оскільки спектри МРПП досліджуваних зразків у цих координатах мають суттєво нелінійний характер, то це означає, що синтезовані нами біовуглеці можна описати як полідисперсні структури з широким розподілом пор за розмірами. У такому випадку інтенсивність розсіяння буде сумою складових, кожна з яких відповідає розсіянню від пор певного розміру [18]:

$$I(s) = \sum_{i=1}^k I_i(0) \cdot \exp\left(-\frac{1}{3}s^2 R_{gi}^2\right) \quad (5)$$

Для оцінки параметрів R_{gi} та $I_i(0)$ було використано програмний пакет GNOM. На рис. 5 наведено неперервні функції розподілу розсіювальних центрів досліджуваних біовуглеців за радіусами інерції.



**Рис. 5. Об'ємні функції розподілу радіусів інерції пор
1 – АВ0, 2 – АВ-УЗ, 3 – АВ-КОН**

Джерело: власні дослідження

Порівняння об'ємних функцій розподілу радіусів інерції пор (рис. 5) показало, що як УЗ вплив, так і обробка з використанням КОН спричинює зростання вмісту пор із меншими радіусами. Видно, що у вихідному зразку АВ0 спостерігається приблизно однакова об'ємна частка пор із різними ефективними радіусами. У біовуглеці, обробленому УЗ, визначальний вплив мають пори з ефективними радіусами 2,2 нм та 5,8 нм, певний внесок у поруватий об'єм спостерігається і від більших пор. Натомість в зразку, обробленому КОН, основний внесок у пористий об'єм спостерігається від пор менших ефективних радіусів, зокрема сумарний внесок пор із ефективними радіусами 1,8 нм та 5,1 нм перевищує 47% загального пористого об'єму.

Описаний вище метод МРПП має ту особливість, що є чутливим як до закритих, так і до відкритих пор. Проте, наявність у біовуглецях закритих пор робить їх непридатними до використання у якості адсорбентів чи каталізаторів. У такому випадку важливою складовою дослідження є використання таких адсорбційних методів, які би надали інформацію про відкриті пори. Серед них простими і надійними методами є методи

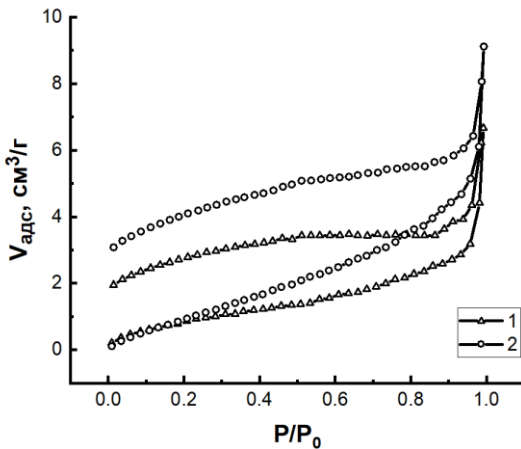
адсорбції/десорбції різних газів. Молекули газу будуть взаємодіяти тільки з доступною для них поверхнею пористого матеріалу, а це дасть інформацію про наявні відкриті пори у ньому.

Отримані ізотерми адсорбції/десорбції азоту досліджуваними зразками наведено на рис. 6. За формою ізотерм ізотерми на рис. 6 а) можна у певному наближенні віднести до II типу згідно класифікації IUPAC, що відповідає формуванню полішару на поверхні з високим адсорбційним потенціалом. При цьому ізотерми на рис. 6 а) характеризуються розбіжністю віток адсорбції і десорбції, особливо у області низького відносного тиску. Така поведінка ізотерм отримала назву гістерезису низького тиску і її причинами згідно [19] можуть бути:

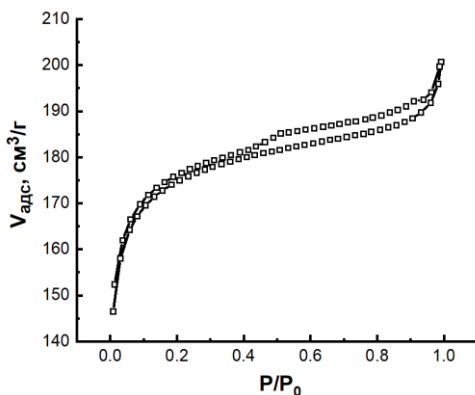
1. Необоротне утримування молекул газу у порах, розміри яких є близькими до розмірів цих молекул;
2. Необоротна хімічна взаємодія адсорбат-адсорбент;
3. Набухання просторового високомолекулярного каркасу адсорбенту.

У нашому випадку найімовірнішою причиною може бути перша.

Ізотерму на рис. 6 б) можна віднести до IV типу ізотерм адсорбції, оскільки у середній частині спостерігаємо сорбційний гістерезис, нижня частина якого відповідає величинам адсорбції, отриманим при збільшенні тиску, а верхня частина – за його зменшення при десорбції.



а)



б)

**Рис. 6. Ізотерми адсорбції/десорбції азоту досліджуваними зразками
а) 1 – АВ0, 2 – АВ-УЗ; б) АВ-КОН**

Джерело: власні дослідження

Для розрахунку характеристик синтезованих біовуглеців отримані ізотерми проаналізовано з використанням програми Quantachrome TouchWin. Зокрема, для визначення питомої площі поверхні використано багатоточковий метод БЕТ [19], у якому апроксимують експериментальні дані прямою лінією у діапазоні відносних тисків $P/P_0 = 0,05 \div 0,35$. Коефіцієнт кореляції з моделлю для усіх біовуглеців становив практично 0,99. У результаті розрахунків отримуємо значення питомої площі поверхні, об'єм пор і середній розмір пор, які наведено у табл. 2. Як видно з неї, для слабопористого вугілля, яким є вихідний біовуглець АВ0, найбільш ефективним методом розвитку пористості є використання додаткової хімічної активації. Відмінність даних МРРП щодо розподілу пор (рис. 5) і адсорбційних даних (Табл. 2) може бути зумовлена наявністю значної кількості закритих пор в першу чергу у зразках АВ0 та АВ-УЗ.

Таблиця 2. Параметри пористої структури синтезованих біовуглеців згідно даних адсорбції/десорбції азоту

Зразок	$S, m^2/g$	$V, cm^3/g$	\bar{d}, nm	$r, відн.од.$
АВ0	3,47	1,03	1,2	0,997
АВ-УЗ	4,94	1,42	1,14	0,986
АВ-КОН	532,5	3,11	2,34	0,995

Джерело: власні дослідження

Таким чином, проведені дослідження дозволили встановити, що для вдосконалення пористої структури біовуглеців ефективним є використання методів хімічної активації. Використання УЗ впливу дозволяє збільшити графітизацію вуглецевого матеріалу, але не спричинює суттєвого зростання пористого простору.

Використані інформаційні джерела:

1. Yahya M. A., Al-Qodah Z., Ngah C. Z. Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: a review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 2015. Vol. 46. P. 218-235.

2. Xiao-Fei Tan, Yun-Guo Liu, Yan-Ling Gu, Yan Xu, Guang-Ming Zeng, Xin-Jiang Hu, Shao-Bo Liu, Xin Wang, Si-Mian Liu, Jiang Li. Biochar-based nano-composites for the decontamination of wastewater: A review. *Bioresource Technology.* 2016. Vol. 212. P. 318-333.

3. Sandar R. I., Hasan S., Saba B., Mahmud Md. Review on Production of Activated Carbon from Agricultural Biomass Waste. *Int. J. Renewable Energy and its Commenc.* 2021. Vol. 7, №2. P. 26-37.

4. Liu W. J., Jiang H., Yu H. Q. Development of biochar-based functional materials: Toward a sustainable platform carbon material. *Chem. Rev.*, 2015. Vol. 115, №22. P. 12251-12285.

5. Остафійчук Б. К., Будзуляк І. М., Рачій Б. І., Мерена П. І., Магомета О. Д. Вплив хімічної обробки на властивості активованих вуглецевих матеріалів. *Фізика і хімія твердого тіла.* 2008. Т 9, № 3. С. 609-612.

6. Zhou A., Ma X., Song Ch. Effects of oxidative modification of carbon surface on the adsorption of sulfur compounds in diesel fuel. *Applied Catalysis B: Environmental.* 2009. Vol. 87, №3-4. P. 190-199.

7. Wolak E. Modyfikacja chemiczna węgla aktywnych dla układów magazynowania energii. *Inż. Ap. Chem.* 2013. Vol. 52, №5. P. 496-497.

8. Ptashnyk V., Bordun I., Malovanyu M., Chabecki P., Pieshkov T. The change of structural parameters of nanoporous activated carbons under the influence of ultrasonic radiation. *Applied Nanoscience.* 2020. Vol. 10, №12. P. 4891-4899.

9. Kusters K. A., Pratsinis S. E., Thoma S. G., Smith D. M. Energy Size Reduction Laws for Ultrasonic Grinding. *Powder technology.* 1994. Vol. 80. P. 253-263.

10. Бордун І. М., Корецький Р. М., Пташник В. В., Садова М. М. Зміна гранулометричного складу та гідрофільності активованого вугілля після УЗ опромінення у доквітаційному режимі. *Фізична інженерія поверхні.* 2014. Т. 12, №2. С. 246-252.

11. Bagheri N., Abedi J. Preparation of high surface area activated carbon from corn by chemical activation using potassium hydroxide. *Chem. Eng. Res. Des.* 2009. Vol. 87. P. 1059-1064.

12. Vervikishko D. E., Yanilkin I. V., Dobele G. V., Volperts A., Atamanyuk I. N., Sametov A. A., Shkol'nikov E. I. Activated carbon for supercapacitor electrodes with an aqueous electrolyte. *High Temperature*. 2015. Vol. 53. P. 758–764.
13. Китайгородский А. И. Рентгеноструктурный анализ мелкокристаллических и аморфных тел. Москва-Ленинград: ГИТТЛ, 1952. 589 с.
14. Saxena S., Tyson T. A., Shukla S., Negusse E., Chen H., Bai J. Investigation of structural and electronic properties of graphene oxide. *Applied Physics Letters*. 2011. Vol. 99, №11. P. 013104.
15. Blanton T. N., Majumdar D. Characterization of X-ray irradiated graphene oxide coatings using X-ray diffraction, X-ray photoelectron spectroscopy, and atomic force microscopy. *Powder Diffraction*. 2013. Vol. 28, №2. P. 68–71.
16. Василевская Т. Н., Захарченя Р. И. Структура нанокристаллической γ -модификации оксида алюминия, легированной катионами хрома (γ - $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:Cr}$), по данным рассеяния рентгеновских лучей под малыми и средними углами. *Физика твердого тела*. 1996. Т. 38, №10. С. 3129–3143.
17. Мандзюк В. І., Кулик Ю. О., Нагірна Н. І., Яремій І. П. Структура пористих вуглецевих матеріалів згідно методів рентгенівської дифрактометрії та малокутового рентгенівського розсіяння. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2012. Т. 13, №3. С. 616–624.
18. Венгрин Б. Я., Григорчак І. І., Кулик Ю. О., Мудрий С. І., Швець Р. Я. Дослідження пористої структури вуглецевих матеріалів методом малокутового рентгенівського розсіяння. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2007. Т. 8, №2. С. 418-421.
19. Gregg S. J., Sing K. S. W. *Adsorption, Surface Area and Porosity*. 2nd ed. London, UK: Academic Press, 1982. 304 p.

**ПОКАЗНИКИ ЛІСИСТОСТІ ТА ЗАПОВІДНОСТІ ТЕРИТОРІЙ,
ЯК ОДНІ З БАЗОВИХ ІНДИКАТОРІВ ОЦІНКИ
ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**

**FORESTS AND FOREST RESERVATIONS OF TERRITORIES AS ONE
OF THE BASIC INDICATORS OF ENVIRONMENTAL SAFETY
ASSESSMENT**

Голік Ю. С., кандидат технічних наук, професор університету, завідувач кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики, **Чепурко Ю.В.**, аспірантка кафедри прикладної екології та природокористування, **Смоляр Н.О.**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри прикладної екології та природокористування

*Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Україна*

Holik Yu., Ph. D. in Technology, Professor of the University, Head of the Department of Heat and Gas Supply, Ventilation and Heat Power Engineering **Chepurko Iu.** graduate student of the Department of Applied Ecology and Nature Management, **Smoliar N.**, Associate Professor, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Ecology and Nature Management

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine

***Анотація.** Представлено результати розподілу об'єктів лісового й природно-заповідного фонду Полтавської області відносно новоутворених територіальних громад та районів. Аналізується питання впливу показників заповідності і лісистості територій окремих територіальних одиниць як основних індикаторів оцінки стану довкілля з метою знаходження шляхів щодо збільшенню площі ПЗФ Полтавщини. Виділено територіальні громади, показники лісистості та заповідності яких рівні нулю. Виконано порівняльний аналіз індикаторів оцінки стану навколишнього природного середовища окремих громад між собою та із рівнем значень даних показників державного та європейського рівня. Проаналізовано актуальність висвітлення питань відносно екологічних показників стану довкілля Полтавської області під час воєнних дій на території нашої держави та після закінчення війни.*

***Abstract.** The results of distribution of objects of forest and nature reserve fund of Poltava region in relation to newly formed territorial communities and districts are presented. The question of influence of indicators of reserve and forest cover of territories of separate territorial units as the basic indicators of an estimation of a condition of environment for the purpose of finding ways of increase in the area of PZF of Poltava region is analyzed. Territorial communities with indicators of forest cover and nature reserves are zero. A comparative analysis of indicators for assessing the state of the environment of individual communities with each other and with the level of values of these indicators at the state and European levels. The urgency of covering issues related to environmental indicators of the environment of Poltava region during hostilities on the territory of our state and after the war is analyzed.*

Вступ. Екологічна політика держави є невід’ємною частиною національної політики України. Охорона навколишнього природного середовища, ефективне природокористування, розвиток природоохоронних територій, забезпечення екологічно комфортних умов життя громадян – основні напрями екологічної політики держави.

Із метою забезпечення національних інтересів держави було прийнято Указ Президента України від 30 вересня 2019 року «Про цілі сталого розвитку України на період до 2030 року». Аналіз цілей збалансованого розвитку щодо нашої держави показав, що Україна має складні проблеми довкілля: незбалансоване використання та вихолощення природних ресурсів, забруднення довкілля промисловою діяльністю. Практика землекористування спричиняє погіршення стану земель, а виснажливе використання земельних, лісових і водних ресурсів призводить до незворотних втрат екосистемного та біологічного різноманіття. Частка природно-заповідних територій та лісового фонду є недостатньою для запобігання таким втратам [1].

Території та об’єкти природно-заповідного фонду (далі – ПЗФ) й ресурси лісового господарства – одні з основних природних складових навколишнього середовища. Головним компонентом біосфери є ліси. ПЗФ є національним надбанням, щодо якого встановлено на державному та регіональному рівнях особливий порядок охорони, використання та відтворення. Розвиток системи природоохоронних територій, збільшення лісистості, збереження біологічного різноманіття, нарощування ресурсного та екологічного потенціалу лісів, підвищення стійкості лісових екосистем, охорона і захист лісового господарства та ПЗФ – ключові завдання державних і регіональних стратегічних програм у сфері забезпечення комфортних і екологічних умов життя громадян.

Головною метою даної роботи є висвітлення взаємозв'язку одночасно важливих показників стану довкілля – об'єктів ПЗФ та лісового господарства Полтавської області в умовах розбудови держави в післявоєнний період як складових елементів екологічної безпеки регіону.

Характеристика та аналіз екологічних показників кожної окремої області України для усвідомлення стану природного середовища є однією з основних задач, що ставлять перед собою фахівці в галузі екології та раціонального природокористування. Для визначення ключових напрямів розвитку, удосконалення і позитивних змін відносно екологічних показників природного середовища окремої територіальної одиниці, району, області вкрай необхідна реальна інформація щодо стану довкілля конкретної території. Отримані результати в подальшому дають можливість прогнозування розвитку ситуації відносно екологічного стану окремих територіальних одиниць.

Значення площ лісового фонду в країнах Європи в середньому відповідає 35%, тоді як національний показник в Україні – 15,9%. Площа територій та об'єктів ПЗФ в європейських країнах коливається в межах від 12 до 21%, в Україні він знаходиться на рівні 6,8%. Приходимо до висновку, що перед державою в цілому, а також перед кожною з її областей постає чергове актуальне завдання – збільшення площ ПЗФ і лісів, як основних природних зелених ресурсів довкілля.

ПЗФ Полтавської області станом на 1 січня 2021 року нараховував 393 об'єкти загальною площею 142,79 тис. га. Показник заповідності складав 4,97%. ПЗФ області представляють: національні природні парки – 2 (площа – 22792,62 га); регіональні ландшафтні парки – 5 (площа – 53056,45 га); заказники загальнодержавного значення – 20 (площа – 41226,9 га) та місцевого значення – 159 (площа – 38492,31 га); пам'ятки природи загальнодержавного значення – 1 (площа – 145 га) та місцевого значення – 137 (площа – 1739,03 га); ботанічний сад загальнодержавного значення – 2 (площа – 20,9 га); дендрологічні парки загальнодержавного значення – 1 (площа – 7,64 га); парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення – 4 (площа – 442,5 га) та місцевого значення – 13 (площа – 179,64 га); заповідні урочища – 48 (площа – 7116,2 га). Проведений аналіз розподілу територій та об'єктів ПЗФ Полтавщини (таблиця 1) відносно окремих територіальних одиниць виявив, що показник заповідності Полтавської області дещо поступається національному (6,77%) та знаходиться на значно нижчому рівні ніж європейській. Показник заповідності окремих територіальних громад коливається в досить широкому діапазоні. Так, наприклад, є територіальні громади, у яких взагалі відсутні площі, що займають об'єкти ПЗФ, це – Пришибська, Гоголівська, Ромоданівська ТГ. Є й такі, що мають показник

як у європейських країнах. Це такі ТГ: Кобеляцька – 20,65%, Диканська – 17,83%, Кременчуцька – 16,02%, Градизька – 15,90%, Кам'янопотоківська – 14,72%, Лютенська – 14,53%, Пирятинська – 14,41%, Оболонська – 13,61%, Гадяцька – 12,09%. Це пов'язано з функціонуванням у складі їх локальних природно-заповідної мережі національних природних і регіональних ландшафтних парків, що дали змогу поєднати об'єкти різних категорій, що знаходились поруч, в укрупненні за площею території й надати ефективніший захист різноманітних природних комплексів. Показник заповідності укрупнених районів відрізняється несуттєво і коливається в межах від 3,73% у Миргородському районі до 6,35% у Кременчуцькому.

Розраховані показники заповідності дозволяють робити прогнозоване можливе підвищення цього показника, що буде залежати від можливостей рівня розвитку об'єктів лісового господарства, а особливо, потенціальних можливостей земельних ресурсів Полтавської області, які зараз теж зазнають суттєвих змін.

Станом на 01.01.2022 р. площа території, вкритої лісом у Полтавській області, складає 231,2 тис. га, що відповідає 8,9% лісистості від загальної площі. Цей показник суттєво, майже вдвічі, відрізняється від державного показника, який становить 15,9%. Аналіз розподілу лісового фонду відносно територіальних громад та районів показав (таблиця 1), що показник лісистості коливається у широкому діапазоні значень. Так Пришибська ТГ не має на своїй території лісу, тому показник лісистості даної ТГ як і показник заповідності відсутній, показник лісистості Машівської ТГ також рівний нулю, а Ромоданівська ТГ має вкрай низький показник лісистості – 0,62%. Перелік ТГ, які мають значення показника лісистості, що дорівнюють, або близькі до національного: Великосорочинська – 15,27%, Новоселівська – 16,30%, Опішнянська – 16,34%, Чорнухинська – 19,24%, Великобудичанська – 19,64%. Є і такі територіальні громади, що мають високий показник лісистості, що наближається до європейського рівня. Він представлений у таких ТГ: Кременчуцька – 22,87%, Кам'янопотоківська – 23,91%, Великорублівська – 24,06%, Щербанівська – 28,50%, Лютенська – 31,95%, Терешківська – 32,27%. Як і у випадку з показником заповідності, чітко зрозуміло яким територіальним громадам необхідно знаходити шляхи підвищення показника лісистості для покращення і оптимізації стану навколишнього природного середовища окремої територіальної одиниці.

Прийняті на державному та регіональному рівнях програми розвитку щодо, зокрема і екологічних індексів, цілей збалансованого розвитку, є. Програми виконуються, органам державної та обласної влади надаються звіти. Але, як показав аналіз природо-заповідного та лісового фонду Полтавської області, заходи цих програм виконуються в недостатній мірі, в повільному темпі і результати бажають бути кращими. Наразі в Україні

триває війна, і питання лісистості та заповідності території може здаватися неактуальним, так би мовити «не на часі».

Висновки зроблені вище, було створено на основі інформації від Полтавського обласного управління лісового та мисливського господарства, Департаменту екології та природних ресурсів Полтавської області, їх звітів в обласній раді, в Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Ці дані було проаналізовано ще до початку повномасштабної війни. Тому, першочергові задачі, що постають перед українською владою – збереження життя населення та територіальної цілісності держави, не повинні нівелювати завдання, що стосуються умов життя українських громадян під час війни, а тим більше після її закінчення. Це стосується саме екологічно чистого довкілля, одними зі складових якого є зелені ресурси нашої території – лісовий фонд і території та об'єкти ПЗФ. Науковці і фахівці у галузі захисту довкілля та збалансованого природокористування зараз вивчають дуже багато різнопланових питань щодо збереження та відновлення екологічних показників стану довкілля. Виклики, що постають перед українською владою через війну, можуть відповідним чином вплинути на прийняття важливих рішень щодо умов забезпечення життя громадян, всупереч природоохоронним питанням, що виокремляться як другорядні. Питання побудови нового житла з виділенням нових територій для цього, питання обігріву осель в опалювальний період при неможливості використання природного газу через руйнацію тепломереж і котелень за рахунок масової вирубки лісових насаджень для заготівлі деревини, продовольчого питання вирощуванням сільськогосподарських культур на нових виділених землях, придатних для цього, замість тих площ ріллі, що стали непридатними через військові дії – нагальні завдання, які потрібно вирішувати як на рівні держави, так і на регіональних рівнях, спираючись на раціональні висновки фахівців, науковців, спеціалістів у всіх сферах. Контроль за охороною та користуванням лісового фонду та ПЗФ повинен також виконуватись.

Втілення в життя конкретних нових технологій по захисту довкілля після оцінки його реального стану, коли скінчиться війна безсумнівно буде актуальним і своєчасним. Тому, саме зараз, не припиняється робота науковців щодо пошуків шляхів оптимізації, відновлення стану довкілля, як комфортного і безпечного середовища проживання наших громадян.

Таблиця 1. Природні зелені ресурси Полтавської області по територіальним громадам і районам

Назва ТГ	Площа ТГ, га	Площа лісів, га	ПЛ, %	Частка лісу від ПЗФ, га	ПЗФ +Ліс, га	ПЗР, %	ПЗФ, га	ПЗ, %
Глобинська	119810	2465,2	2,06	553	2890,9	2,41	978,7	0,817
Горішньоплавнівська	37340	4979,2	13,33	1345	5238,9	14,03	1604,7	4,298
Градизька	126110	1464	1,16	867,3	20646,2	16,37	20049,5	15,898
Кам'янопотоківська	26640	6369	23,91	942	9349,5	35,1	3922,5	14,724
Козельщинська	73050	1575,5	2,16	1033,2	2135,9	2,92	1593,6	2,182
Кременчуцька	13610	3112	22,87	1768	3524,33	25,9	2180,33	16,020
Новогалещинська	19310	581	3,01	207,4	859	4,45	485,4	2,514
Оболонська	47170	1842	3,91	194	8065,97	17,1	6417,97	13,606
Омельницька	22370	1291	5,77	504	1293	5,78	506	2,262
Піщанська	28400	2154	7,58	145	2154	7,58	145	0,511
Пришибська	17000	-	-	-	-	-	-	-
Семенівська	80300	711	0,89	35	1590,64	1,98	914,64	1,139
По Кременчуцькому району	611100	26543,9	4,34	7593,9	57748,34	9,45	38798,33	6,35
Гребінківська	58830	1177	2,00	-	1653	2,81	476	0,809
Лубенська	107030	8749	8,17	1090,3	9328,19	8,72	1669,49	1,560
Новооржицька	45370	2505,9	5,52	148	2548,9	5,62	191	0,421
Оржицька	75390	2344,2	3,11	508,1	5483,93	7,27	3647,83	4,839
Пирятинська	93280	8750,8	9,38	2033	20157,76	21,61	13439,96	14,408
Хорольська	106320	3218	3,03	873	3949,55	3,71	1604,55	1,509
Чорнухинська	61940	11915,9	19,24	1518	12413	20,04	2015,1	3,252
По Лубенському району	548100	38660,8	7,05	6170,4	55534,33	10,13	23043,91	4,20
Білоцерківська	31060	2092,3	6,74	147,8	3219,2	10,36	1274,7	4,104

Великобагачанська	41450	5376,3	12,97	-	6223,12	15,01	846,82	2,043
Великобудищанська	38480	7559,8	19,64	1605,32	9859,33	25,62	3904,85	10,148
Великосорочинська	40370	6164,4	15,27	-	6254,4	15,49	90	0,222
Гадяцька	20330	1735,2	8,54	717,47	3475,33	17,10	2457,60	12,092
Гоголівська	18880	1790,7	9,48	-	1790,72	9,48	0,02	0
Заводська	20320	905,3	4,46	267,5	2059,1	10,13	1421,3	6,995
Комишнянська	51750	5880	11,36	5,17	5880,35	11,36	5,52	0,011
Краснолуцька	25410	2592,6	10,20	667,25	3506,07	13,80	1580,72	6,221
Лохвицька	81800	8889,6	10,87	661	11328,61	13,85	3100,01	3,790
Лютенська	37440	11962,4	31,95	2277,6	15123,98	40,40	5439,18	14,528
Миргородська	61720	2096,9	3,40	57,7	3300,7	5,35	1261,5	2,044
Петрівсько-Роменська	21510	1744,8	8,11	515	1744,8	8,11	515	2,394
Ромоданівська	9710	60,2	0,62	-	60,2	0,62	-	-
Сенчанська	35400	2600,6	7,35	63	2759,32	7,80	221,72	0,626
Сергіївська	16380	741	4,52	364,3	829,05	5,06	452,35	2,762
Шишацька	77320	11422,5	14,77	108,9	12209,62	15,79	896,02	1,159
По Миргородському району	629300	73614,6	11,70	7458,01	89623,9	14,24	23467,31	3,73
Білицька	38890	4345,2	11,17	-	4403	11,32	57,8	0,149
Великорублівська	38970	9376,4	24,06	407,2	10022,3	25,72	1053,1	2,702
Диканська	68280	5866,5	8,59	3607	14435,5	21,14	12176	17,832
Драбінівська	26050	301	1,16	301	301	1,16	301	1,155
Зіньківська	106700	9108,2	8,54	109	9722,09	9,11	722,89	0,678
Карлівська	33450	641,8	1,92	317	678,9	2,03	354,1	1,059
Кобеляцька	121860	10991,5	9,02	5471	30679,5	25,17	25159	20,646
Коломацька	18870	370	1,96	-	798	4,23	428	2,268
Котелевська	40450	4434,9	10,96	650	4589,92	11,35	805,02	1,990

Ланнівська	26870	1109,6	4,13	415	1279,9	4,76	585,3	2,178
Мартинівська	25760	355	1,38	-	407,7	1,58	52,7	0,205
Мачухівська	24780	1431	5,77	-	1597,6	6,45	166,6	0,672
Машівська	39180	-	-	-	47,2	0,12	47,2	0,120
Михайлівська	43200	671,8	1,56	597,5	2151,7	4,98	2077,4	4,809
Нехворощанська	28480	987	3,47	670,8	2194,9	7,71	1878,7	6,597
Новосанжарська	67290	9213,4	13,69	1721	10829,7	16,09	3337,3	4,960
Новоселівська	25750	4197,9	16,30	35,8	4816,8	18,71	654,7	2,543
Опішнянська	30510	4984,4	16,34	276,7	5696,59	18,67	988,89	3,241
Полтавська	54870	1954,1	3,56	24,2	2194,08	4,00	264,18	0,482
Решетилівська	110210	5537,5	5,02	683,8	7719,9	7,01	2866,2	2,601
Скороходівська	32500	516,6	1,59	79	553,3	1,70	115,7	0,356
Терешківська	19750	6373,8	32,27	5	6373,8	32,27	5	0,025
Чутівська	53450	5483,4	10,26	2719,2	5873,44	11,00	3109,24	5,817
Щербанівська	10080	2872,4	28,50	274,29	2872,4	28,50	274,29	2,721
Всього по Полтавському району	1086200	91123,4	8,39	18364,49	130239,2	11,99	57480,21	5,291
Всього по Полтавській області	2874700	229942,7	8,00	39586,8	333145,7	11,59	142789,76	4,9666

Характерною особливістю Полтавщини є надзвичайно інтенсивне сільськогосподарське та промислове використання території, яке не відповідає критеріям раціонального природокористування. Співвідношення екологічно сталих угідь до ріллі, що склалося на Полтавщині, є далеким від оптимального і негативно впливає на стійкість агроландшафтів, погіршуючи екологічні умови та процеси ґрунтоутворення [2]. Основною причиною низької лісистості області та деградації сільськогосподарських угідь залишається надзвичайно висока розораність території, а також скорочення обсягів захисного лісорозведення.

Повертаючись до проблеми низьких показників лісистості і заповідності територій Полтавщини, тривають дослідження у напрямі розуміння яким чином, за рахунок яких дій можна підвищити ці значення.

До складу лісового фонду Полтавської області входить майже третина з 393 об'єктів ПЗФ, і займає площу 39,6 тис. га. Одним із напрямів збільшення площ територій та об'єктів ПЗФ є створення нових об'єктів на територіях, що займають ліси з впровадженням обов'язкових природоохоронних заходів на них.

Для підвищення показника лісистості територій пропонуються наступні шляхи: створення нових лісів, відтворення лісових насаджень після заготівлі деревини, висадка лісоохоронних, водозахисних та оздоровчих насаджень, заліснення малопродуктивної та деградованої ріллі.

Маючи чітке уявлення про площі, які займають території та об'єкти ПЗФ і ліси у територіальних громадах Полтавської області, пропонується об'єднання площ лісового та природо-заповідного фондів як єдиного «природного зеленого ресурсу» (далі ПЗР) окремої ТГ. Проаналізувавши отримані дані з таблиці 1, щодо лісистості та заповідності територіальних одиниць, нами зроблено такі висновки: в області наявна територіальна громада, у якій показник лісистості та заповідності рівний нулю, це Пришибська ТГ. У Ромоданівській ТГ показник лісистості дуже низький, тому вирішення проблеми відсутності лісів та територій ПЗФ для вищезгаданих ТГ може бути реалізовано тільки шляхом насадження нових лісів та заліснення земельних ділянок, що не використовуються під сільськогосподарські роботи. Є значна кількість ТГ у яких досить низький показник заповідності (далі ПЗ), але суттєвий показник лісистості (далі ПЛ) і при обчисленні ПЗР приходимо до висновку, що можливе збільшення площі ПЗФ за рахунок площі лісового фонду. Таких 22 ТГ: Великобагачанська (ПЛ – 12,97%, ПЗ – 2,04%, ПЗР – 15,01%), Горішньоплавнівська (ПЛ – 13,33%, ПЗ – 4,30%, ПЗР – 14,03%), Піщанська (ПЛ – 7,58%, ПЗ – 0,51%, ПЗР – 14,03%), Лубенська (ПЛ – 8,17%, ПЗ – 1,56%, ПЗР – 8,72%), Чорнухинська (ПЛ – 19,24%, ПЗ – 3,25%, ПЗР – 20,04%), Великосорочинська (ПЛ – 15,27%, ПЗ – 0,22%, ПЗР – 15,49%), Гоголівська –

(ПЛ – 9,48%, ПЗ – 0,0%, ПЗР – 9,48%), Комишнянська (ПЛ –11,36%, ПЗ – 0,01%, ПЗР – 11,36%), Лохвицька (ПЛ – 10,87%, ПЗ – 3,79%, ПЗР – 13,85%), Петрівсько-Роменська (ПЛ – 8,11%, ПЗ – 2,39%, ПЗР – 8,11%), Сенчанська (ПЛ – 7,35%, ПЗ – 0,63%, ПЗР – 7,80%), Шишацька (ПЛ – 14,77%, ПЗ – 1,16%, ПЗР – 15,79%), Білицька (ПЛ – 11,17%, ПЗ – 0,15%, ПЗР – 11,32%), Великорублівська (ПЛ –24,06%, ПЗ – 2,70%, ПЗР – 25,72%), Зіньківська (ПЛ – 8,54%, ПЗ – 0,68%, ПЗР – 9,11%), Котелевська (ПЛ – 10,96%, ПЗ – 1,99%, ПЗР – 11,35%), Новосанжарська (ПЛ – 13,69%, ПЗ – 4,96%, ПЗР – 16,09%), Новоселівська (ПЛ – 16,30%, ПЗ – 2,54%, ПЗР – 18,71%), Опішнянська (ПЛ – 16,34%, ПЗ – 3,24%, ПЗР – 18,67%), Терешківська (ПЛ – 32,27%, ПЗ – 0,02%, ПЗР – 32,27%), Чутівська (ПЛ –10,26%, ПЗ – 5,82%, ПЗР – 11,00%) та Щербанівська (ПЛ –28,50%, ПЗ – 2,72%, ПЗР – 28,50%).

Отже, на основі результатів проведеного вище аналізу нами пропонується підвищення показників заповідності в ТГ шляхом збільшення площ територій та об'єктів ПЗФ за рахунок лісового фонду. А збільшення показника лісистості можливе при створенні нових лісів, природозахисних, оздоровчих, водоохоронних насаджень, залісненні площ територіальних громад, що вилучені з використання для сільськогосподарського призначення, в тому числі на деградованих та відновлювальних землях. Запропонована концепція потребує наукового і фахового підходу з боку спеціалістів у даній галузі знань і зацікавленості державної і місцевої влади в залученні цих фахівців при вирішенні конкретних питань.

Використані інформаційні джерела:

1. Організація об'єднаних націй, Україна. Цілі сталого розвитку «Робота над досягненням Цілей сталого розвитку в Україні». 2016 р. 34 с.
2. Обласна цільова програма комплексного розвитку лісового господарства «Ліси Полтавщини на період 2016–2025 роки», Полтавська обласна рада, від 29 квітня 2016 р. 48 с.

**СИНАНТРОПІЗАЦІЯ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ УКРАЇНИ
ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ**

**THE SYNANTROPIZATION OF VEGETATION COVER OF
UKRAINE AS AN IMPACT OF MILITARY ACTIONS**

^{1,2}**Зав'ялова Л. В.**, кандидат біологічних наук, науковий співробітник, ^{1,3}**Протопопова В. В.**, доктор біологічних наук, професор, професор, провідний науковий співробітник, ⁴**Панченко С. М.**, доктор біологічних наук, доцент, начальник науково-дослідного відділу, ⁵**Смаголь В. О.**, кандидат біологічних наук, помічник директора, ⁶**Коломійчук В. П.**, доктор біологічних наук, доцент, заступник директора, ¹**Кучер О. О.**, кандидат біологічних наук, науковий співробітник, ^{1,3}**Шевера М. В.**, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник,

¹*Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України*

²*ДНУ «Енциклопедичне видавництво», м. Київ, Україна*

³*Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці ІІ,
м. Берегове, Україна*

⁴*Національний природний парк «Гетьманський», м. Тростянець,
Сумська область, Україна*

⁵*Національний природний парк «Залісся», с. Богданівка, Броварський
район, Київська область, Україна*

⁶*Ботанічний сад ім. акад. О. В. Фоміна Київського національного
університету імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна*

^{1,2}**Zavialova Liudmyla V.**, PhD, Researcher, ^{1,3}**Protopopova Vira V.**,
DrSc., Prof., Leading Researcher, ⁴**Panchenko Serhiy M.**, DrSc., Docent,
Head of the Research Department, ⁵**Smagol Viktoriia O.**, PhD, Assistant
Director, ⁶**Kolomiichuk Vitalii P.**, DrSc., Docent, Deputy Director,
¹**Kucher Oksana O.**, PhD, Researcher, ^{1,3}**Shevera Myroslav V.**, PhD,
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher

¹*M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine*

²*State Scientific Institute «Encyclopedic Publishing», Kyiv, Ukraine*

³*Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher
Education, Beregove, Ukraine*

⁴*National Nature Park «Hetmansky», Trostianets, Sumy Oblast, Ukraine*

⁵*National Nature Park «Zalissia», Bogdanivka, Kyiv Oblast, Ukraine*

⁶*O.V. Fomin Botanical Garden Taras Shevchenko National University,
Kyiv, Ukraine*

Анотація. *Воєнні дії внаслідок агресії російської федерації проти України, які тривають із 2014 р., спричиняють не лише економічні, а й екологічні збитки. У статті попередньо проаналізовано можливі наслідки безпосереднього й опосередкованого впливу воєнних дій на рослинний покрив України. На окремих прикладах об'єктів природно-заповідного фонду України висвітлено наявні та відкладені у часі наслідки прямого впливу війни для біорізноманіття. Окреслено основні напрями посилення процесів синантропізації рослинного покриву України, до яких відносимо рудералізацію та адвентизацію, включно з активізацією розселення окремих видів інвазійних рослин, занесенням та поширенням видів-полемохорів. Активізація розселення інвазійних видів рослин створює загрози видового і екосистемного рівня. На прикладі поновлення дубово-ясеневого лісу північно-східних відрогів Середньо-Руської височини після рубок висвітлено основні аспекти формування нових рослинних угруповань, зокрема на стадії заростання. Проаналізовано роль рудеральних рослин у поновленні рослинного покриву на трансформованих ділянках, встановлено, що заростання рубок відбувається практично відразу, натомість вирв від вибухів снарядів – дуже повільно, зокрема на першому році майже не спостерігається. Пошкодження верхнього ярусу деревостану і ґрунтового покриву внаслідок бойових дій призведе до виникнення умов для занесення і вкорінення видів адвентивних рослин, які спочатку забезпечать заростання збезліснених ділянок, а згодом домінуватимуть в нових рослинних угрупованнях, створюватимуть аспект і визначатимуть перебіг процесів природного відновлення лісів. Акцентовано увагу на необхідності проведення спеціальних досліджень включно з моніторингом ділянок, що зазнали впливу бойових дій.*

Abstract. *The military actions as a result of Russia's aggression against Ukraine, which has been ongoing since 2014, cause not only economic but also environmental damage. The article preliminarily analyzes the possible consequences of the direct and indirect impact of military actions on the vegetation cover of Ukraine. The existing and delayed consequences of the direct impact of the war on biodiversity are discussed in some examples of the Protected Areas of Ukraine. The main directions of strengthening the processes of synanthropization of the vegetation cover of Ukraine are analyzed. The synanthropization includes ruderalisation and adventitisation with the intensification of the distribution of some invasive plant species and with an entry and distribution of polemochors species. The invasive plant species distribution creates threats at the species and ecosystem levels. The main aspects of the formation of new plant communities, in particular at the stage of overgrowth, are*

discussed in the example of the renewal of the oak-ash forest of the northeastern spurs of the Central Russian Highlands after felling. The role of ruderal plants in restoring of vegetation cover in areas transformed by partial or complete destruction was analyzed. It was established that the overgrowth of cut-down forest areas occurs almost immediately. The overgrowth of craters from shell explosions occurs very slowly and is almost not observed in the first year. The damage to the upper layer of trees and soil cover as a result of hostilities will lead to the emergence of conditions for the entry of alien plant species. Initially, these species will ensure the overgrowth of deforested areas, and later they will dominate new plant groups, create an aspect and determine the course of natural forest regeneration processes. The attention was focused on the need to conduct special studies, including monitoring of areas affected by hostilities, and integration of the studies of biodiversity conservation into reconstruction, and humanitarian programs.

В Україні масштаби завданих війною втрат очевидні і, без сумніву, в майбутньому ще зростуть. Відомо, що інші воєнні конфлікти призводили до щорічного зниження ВВП на 25-40%, а сценарний обрахунок можливих економічних втрат нашої країни попередньо визначений в обсязі 22-46% ВВП (Геєць, 2022). Разом із економічними збитками слід оцінювати й екологічні втрати, що необхідно для відновлення та збереження екологічної рівноваги у природних і урбанізованих екосистемах (Дідух, 2022).

Одним із аспектів впливу війни є порушення функціонування усіх систем життєзабезпечення, складу і структури компонентів біосфери, стану природних ресурсів, темпів їхнього відтворення тощо. Безпосереднього впливу зазнають кліматичні системи, оскільки воєнні дії супроводжують значні викиди в повітря шкідливих речовин під час застосування зброї масового ураження та військової техніки, внаслідок пожеж і техногенних катастроф, зумовлених руйнуванням промислових підприємств і об'єктів інфраструктури, сховищ паливно-мастильних матеріалів, складів добрив тощо. Прямих втрат на території бойових дій внаслідок руйнування рослинного покриву, або високого ступеня його перетворення, зазнають і природні екосистеми. Це унеможливує чи ускладнює надання ними екосистемних послуг, а також призводить до суттєвого збільшення площі антропогенно-трансформованих земель. Прикладами прямих втрат є знищення, пошкодження або порушення територій об'єктів природно-заповідного фонду (далі – ПЗФ) України.

Негативні екологічні наслідки оборонної та військової діяльності створюють екологічні загрози національній безпеці України. Небезпеку для довкілля становлять загрози ландшафтного, екосистемного і видового рівня (Крижанівський, Коржнев, 2003). Антропогенна трансформація

навоколишнього середовища внаслідок війни вже набула загрозливих масштабів і в світовому вимірі. Для запобігання негативних наслідків воєнних дій було ухвалено низку документів (1976 р., Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques; 1977 р., Протокол I поправок до Женевських конвенцій), що забороняють використання методів модифікації довкілля як способу ведення війни та засобів, які можуть завдати серйозної шкоди природі. Проте агресія РФ в Україні показує неідеальність цих міжнародних домовленостей.

Мета роботи – проаналізувати вплив воєнних дій на процеси синантропізації рослинного покриву України та можливі ризики активізації поширення видів адвентивних рослин.

Різні аспекти впливу війни на біорізноманіття, оселища видів, флору і фауну висвітлені в численних публікаціях вітчизняних та зарубіжних авторів (наприклад, Котов, 1921; Salisbury, 1943, 1953; Westing, 1971; Warren et al., 2007; Hanson et al., 2009; Reuveny et al., 2010; Блага та ін., 2017; Denizen, 2020; Зав'ялова та ін., 2022; Дідух, 2022 та ін.). Серед іншого дослідники розглядають спектр проблем, пов'язаних із: механічним і хімічним забрудненням територій; зміною структури, механічного і хімічного складу ґрунтового покриву; занесенням і розповсюдженням видів біоти на нові території; особливостями сукцесійних змін; розробленням підходів і оцінюванням збитків, завданих воєнними діями; відновленням біорізноманіття та його компонентів, зокрема рослинного покриву тощо. Однак, із огляду на тривалість, інтенсивність і масштаби війни в Україні, всі комплексні дослідження наслідків збройної агресії РФ ще попереду. У складних умовах воєнного часу неможливо повноцінно проводити наукові дослідження і встановити втрати від впливу військових дій. Разом із тим, за можливості, такі дослідження необхідно проводити і під час війни для створення наукових основ і практичних підходів подолання наслідків.

До відкладених наслідків воєнних дій належить можливий спалах розселення окремих видів інвазійних рослин зі складу флори України, а також занесення нових видів. Найбільшу загрозу становлять схильні до гібридизації таксони адвентивних рослин відомі на територіях, суміжних із Україною. Зокрема, низка міжвидових гібридів із родів *Amaranthus* L., *Rumex* L., *Erigeron* L., *Xanthium* L., *Solidago* L. та інших. Ймовірним також є повторне занесення та утворення нових осередків розповсюдження тих чужорідних видів, які не набули активного поширення раніше або зникли в Україні, але досі є в інших країнах. До таких, наприклад, належать види роду *Xanthium*, таксономічне різноманіття яких за межами східних кордонів України вище ніж на території країни. Серед уже відомих в Україні інвазійних видів слід очікувати спалахів розселення тих, поширення яких може бути пов'язане зі специфікою впливів воєнних дій. Наприклад, відомо

про активне поширення *Erechtites hieracifolius* (L.) Raf. ex DC. на лісових територіях, що зазнали пожеж і вирубок. Також відомо, що цей вид адвентивних рослин розширює й ущільнює свій ареал, про що свідчать нові знахідки його локалітетів в Україні (Коломійчук та ін., 2019) та Польщі (Dudáš et al., 2022).

Із історії воєн відомо, що деякі види адвентивних рослин «супроводжували» армії. Їхнє занесення та подальше поширення безпосередньо пов'язані зі шляхами пересування військ і техніки, розташуванням різноманітних об'єктів військової інфраструктури, а також переміщенням великої кількості внутрішніх і зовнішніх переселенців. У літературі ця група рослин відома як «облогова флора» або ж види-полемохори. Вважають, наприклад, що з місць природного поширення у нові регіони під час монголо-татарської навали на Русь прийшли *Acorus calamus* L. і *Xanthium strumarium* L. Римські легіонери занесли *Sherardia arvensis* L. до Німеччини. У 1807 р. *Galinsoga parviflora* Cav. потрапила разом із французькими військами до Східної Пруссії. У 1863 р. з турецьким військом до Австрії занесено *Euclidium syriacum* (L.) R. Вг. За кримської кампанії 1850-х років до м. Севастополя потрапив *Rumex bucephalophorus* L. Під час Другої світової війни в Україну (портові міста Миколаїв і Бердянськ, а також околиці м. Слов'яносербськ, де стояли обози) з фуражем для коней була занесена *Grindelia squarrosa* (Pursh) Dunal. В цей час зафіксовано і спалах поширення *Ambrosia artemisiifolia* L. На місці німецьких казарм та стайні в Норвегії виявлено *Centaurea phrygia* L. Більш детально вивчаючи історію воєнних кампаній у світі можна знайти і багато інших прикладів зв'язку поширення видів адвентивних рослин з воєнними діями.

За сучасної російсько-української війни новий вид адвентивних рослин – *Sporobolus cryptandrus* (Torr.) A. Gray виявлено на території відділення «Трьохізбенський степ» Луганського природного заповідника. Найближчі до України відомі місцезнаходження – піски в долинах річок Сіверського Дінця, Деркулу та Калитви на території Каменського та Тарасівського районів Ростовської області (Гузь, Тімошенкова, 2017). Найімовірніше в Луганську область рослини занесені з військовою технікою з території сусідньої Ростовської області рф.

До відкладених наслідків і загроз належить обмін генетичним матеріалом між географічно віддаленими популяціями різних видів рослин, передусім адвентивних, який сприятиме успішності інвазійних видів за рахунок закріплення пристосувань до значно більшого спектру умов середовища. Обмін генетичним матеріалом між різними популяціями, який досі був неможливий чи ускладнений негативно вплине також і на контроль фітоінвазій.

Воєнні дії, які тривають на сході України протягом останніх восьми років призвели до руйнування цілісних природних ландшафтів і значно загострили екологічні проблеми довкілля, пов'язані із забрудненням повітря, ґрунтів, води й станом біоти. Результати досліджень, проведених ще до повномасштабного вторгнення російських військ (Побережна, Станецький, 2017) показали масштаби шкоди завданої довкіллю на сході України. Наслідки бойових дій спричинили підвищену екологічну небезпеку і будуть відчутні ще тривалий період, а їхнє усунення потребує значних зусиль і коштів. За даними тих же дослідників найбільш руйнівний вплив для довкілля, який є загрозою ландшафтного рівня, спричинили розриви снарядів, які перерили й отруїли землю, засипали її уламками металу, забруднили атмосферне повітря і воду безліччю хімічних сполук. Наприклад, регіональний ландшафтний парк (далі – РЛП) «Донецький кряж», в якому були представлені байрачні масиви в балках, штучні насадження лісових культур, елементи різнотравного типчаково-ковилового степу. До складу флори й фауни парку входили ендемічні й занесені до Червоної книги України види. Своєрідним у складі РЛП є комплекс «Савур-Могила» – курган, на території якого влітку 2014 р. відбувалися активні бої. Внаслідок цього ліси парку були майже повністю знищені вогнем, а ґрунтовий покрив зруйнований численними вирвами, що утворилися від розривів снарядів. Всі сучасні фугасні й осколково-фугасні снаряди викидають у середньому на 1 кг вибухової речовини 1,2-1,5 м³ ґрунту. На ураженій території площею 225 км² вибухи снарядів призвели до утворення 15505 вирв, практично повністю знищено ґрунтовий покрив, який став непридатним для використання (Побережна, Станецький, 2017). Загалом РЛП «Донецький кряж» майже повністю знищено.

У 2014 р. заповідна ділянка відділення «Крейдова флора» Українського степового природного заповідника площею близько 200 га була перетворена на укріплювальний район, де понад три місяці тривали бойові дії різної інтенсивності. Основними типами uszkodжень, яких зазнала ділянка є артилерійські обстріли, будівництво численних фортифікаційних споруд, пожежі. Щільність uszkodжень від артилерійських обстрілів на території коливалася від 1-2 до 50 вирв на 1 га, а у лісовій частині – 3-5 вирв на 1 га (Лиманський, 2014). Відділення «Провальський степ», «Трьохізбенський степ» і «Станично-Луганське» Луганського природного заповідника внаслідок бойових дій станом на 2014 р. не зазнали суттєвих uszkodжень, але в зв'язку з тим, що частина території двох останніх відділень замінована, загроза для природних екосистем і біоти зберігається. Рослинний покрив Грушівської ділянки вигорів повністю, але відновлення степової рослинності відбувалося. Серед основних типів впливу на екосистему об'єкта – пересування військової техніки й пожежі. Останні

знищили рослинний покрив на значних ділянках, проте катастрофічних наслідків не мали (Боровик, 2014). Загалом за 2014-2022 рр. понад третина об'єктів ПЗФ Донецької і Луганської областях зазнала прямого чи опосередкованого впливу воєнних дій, а за повномасштабної агресії РФ у 2022 р. розміри втрат і кількість постраждалих територій в Україні значно зросла.

Після 24 лютого 2022 р. площі подібних трансформованих земель значно збільшилися по всій території України, що ставить під загрозу поновлення на них природних типів рослинності. Уже в 2022 р. внаслідок бойових дій і окупації суттєво постраждали об'єкти ПЗФ України, передусім біосферні заповідники «Чорноморський», «Асканія-Нова», включені до мережі біосферних резерватів і перебувають під охороною ЮНЕСКО. Серед постраждалих також Луганський природний заповідник, Деснянський біосферний резерват, Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник, національні природні парки Причорномор'я і Приазов'я («Азово-Сиваський», «Меотида», «Білобережжя Святослава»), багато інших об'єктів ПЗФ, природних і урбанізованих територій, що не входять до їхнього складу. На значних територіях знищено природні біотопи, або окремі їх складники, зруйновано, пошкоджено, фрагментовано ґрунтовий покрив, зазнав змін гідрорежим тощо. Так, частина території Національного природного парку (далі – НПП) «Залісся» (урочище «Гоголівські гаї») з 8 по 29 березня 2022 р. була окупована російськими військами. Після початку повномасштабної агресії на основній території парку були облаштовані фортифікаційні споруди, вогневі рубежі, дороги завалені деревами для унеможливлення просування ворожої техніки лісом (рис. 1).

Одним із небезпечних видів впливу воєнних дій є вирубування лісу і деревних насаджень, що призводить до порушень структури і функціонування природних екосистем. Загальна площа території, що зазнала різних типів рубок на території НПП «Залісся» у період з 24 лютого до кінця березня 2022 р. – 70,5 га, загальний обсяг вилученої деревини – 848 м³. Після визволення основну частину парку, оточену огорожею, було обстежено, однак решта території парку залишається недоступною, що пов'язано з наявністю на ній вибухонебезпечних предметів. Підтвердженням небезпечності території є підрив 08.05. 2022 р. місцевого жителя с. Залісся на території Заліського природоохоронного науково-дослідного відділення.



Рис. 1. Пошкодження дерев *Pinus silvestris* L. внаслідок обстрілів (ліворуч) і використання дерев під час створення перешкод для руху (праворуч) (фото В. Смаголь, 2022 р.)

Детальне обстеження екосистем проведено здебільшого в господарській частині парку, яка зазнала значних пошкоджень внаслідок обстрілів і окупації. Частково наслідки бойових дій зафіксовані і на території НПП, де відмічені рідкісні види рослин та тварин (рис. 2), зокрема частково або повністю знищено фрагменти верхнього ярусу деревостану соснових лісів.

На таких ділянках вже відмічена рудералізація трав'яного ярусу, зокрема за активної участі видів роду *Chenopodium* L. s.l. змінився не лише аспект (рис. 1, ліворуч), але й склад та структура лісового ценозу. Російська воєнна агресія 2022 р. спричинила пошкодження частини мурашників на території НПП «Залісся», зокрема, у соснових лісах знищено купол гнізда *Formica rufa* Linnaeus 1761. Вид занесений до Європейського Червоного списку рослин і тварин внаслідок суттєвого зменшення популяцій, скорочення чисельності й поширення в Європі. Причини зменшення популяцій остаточно не з'ясовані, але головною загрозою вважають антропогенний вплив на середовище існування цього виду комах. Про наслідки війни для інших флористичних і фауністичних об'єктів території НПП відомостей немає до їх повного обстеження, загалом зауважимо, що катастрофічних прямих втрат вони не зазнали.

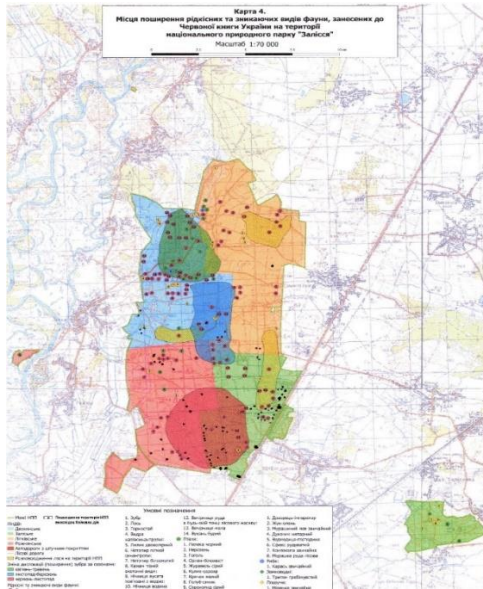


Рис. 2. Картосхема НПП «Залісся» (згідно Проект організації..., 2022) з розташуванням оселищ рідкісних видів фауни на території (позначені кольорами) і локалізацією пошкоджень внаслідок бойових дій (позначено чорним кольором)

Першочерговими завданнями найближчого майбутнього, серед інших, є з'ясування стану збереження, оцінка впливу воєнних дій на біорізноманіття територій НПП «Залісся», організація моніторингових досліджень. Особливої уваги потребує вивчення локальних ділянок, що зазнали безпосереднього впливу від ведення бойових дій, пошкоджених обстрілами (рис. 1, 3), трансформованих фортифікаційними спорудами, вирубками тощо.

Попереднє обстеження, проведене в червні, показало, наприклад, що на місцях вивір від обстрілів не відбувається активне заростання (рис. 3), яке до прикладу спостерігається на вирубках або фрагментах лісу зі знищеним верхнім ярусом деревостану, проте віцілілими іншими ярусами рослинного покриву і ґрунтовим покривом. Зокрема, на місці спаленої техніки з'явилися лише кілька рослин *Ambrosia artemisiifolia* і *Robinia pseudoacacia* L. (рис. 3, ліворуч), а в іншій вивірві – взагалі жодної рослини (рис. 3, праворуч) не було. Також під час проведення обстежень території НПП «Гетьманський» у липні 2022 р., зокрема Нескучанського лісництва, де відбувалися бойові дії, у

вирвах завглибшки 0,5-1 м рослинний покрив відсутній, ознак заростання не виявлено (не зафіксовано навіть однорічників). Ймовірно, це пов'язано зі ступенем ушкоджень ґрунтового і рослинного покриву внаслідок термічного впливу вибуху та з відсутністю банку насіння видів адвентивних рослин у ґрунті.



Рис. 3. Вирви після обстрілів: заростання *Ambrosia artemisiifolia* L. і *Robinia pseudoacacia* L. місця із пошкодженою технікою – (ліворуч), із повністю знищеним пожежею трав'яним покривом (праворуч) (фото В. Смаголь, 2022 р.)

Загалом таких обстежень потребують всі звільнені об'єкти ПЗФ України аби згодом оцінити загальні екологічні втрати і збитки, завдані агресивною війною РФ. Дослідження в природно-заповідних установах варто зосередити на спостереженні як за поширенням інвазійних видів, так і на вивченні змін складу й структури рослинних угруповань, темпів їх відновлення і характеру незворотних змін на фоні загальної динаміки рослинності. Уваги потребує не лише організація постійного моніторингу територій, але й інтеграція досліджень зі збереження біорізноманіття постраждалих від бойових дій об'єктів ПЗФ України у програми, спрямовані на їх реконструкцію і відновлення.

Наявність великих спустошених, позбавлених або з пригніченим рослинним покривом ділянок, що зазнали впливу бойових дій, викликає загрозу спалахів розселення інвазійних видів (наприклад, рис. 3), які здатні значно краще адаптуватися до екстремальних умов існування зокрема завдяки варіабельності їх адвентивного комплексу, наявності значного банку діаспор у ґрунті. Спалах розселення інвазійних видів рослин створює загрози

як видового так і екосистемного рівня. Зараз в Україні в стані експансії знаходяться, наприклад, *Solidago canadensis* L., *Reynoutria japonica* Houtt., активно поширюються види роду *Heracleum* L., продовжується розселення *Grindelia squarrosa*, ущільнюють ареал *Ambrosia artemisiifolia*, *Cenchrus longispinus* (Hack.) Fernald, *Elaeagnus angustifolia* L., *Robinia pseudoacacia*. Всі згадані види є інвазійними і видами-трансформерами, що віддають перевагу відкритим освітленим ділянкам. Відсутність опору з боку послабленого рослинного покриву може спричинити спалах їх розселення. Крім того, через північний і східний кордон України можуть бути занесені рослини з інших популяцій цих видів, що лише сприятиме розселенню.

Прикладом трансформації рослинного покриву за зміни умов можна розглядати проведене в 2020 р. спостереження за поновленням дубово-ясеневого лісу після суцільних рубок на території відрогів Середньо-Руської височини. Адже такі ж рубки відбувалися і продовжуються в лісах на всій території України, що зазнала впливу бойових дій з 2014 р., посиленого і розширеного повномасштабним вторгненням російського війська 2022 р. Зауважимо ще й на тому, що можливості наукових досліджень суттєво обмежені до повного припинення бойових дій, деокупації та розмінування території України. Спостереження проведено 11-12 червня та 18 вересня 2020 р. за чотирма лісовими ділянками Краснопілляського дочірнього лісогосподарського підприємства «Краснопілляський агролісгосп» (Сумська область), на яких здійснено рубки у 2020 р. Ліси північно-східних відрогів Середньо-Руської височини займають здебільшого схили ярів та балок, навколо яких розташовані посіви сільськогосподарських культур. Поширення процесів водної та вітрової ерозії сприяє вкоріненню синантропних видів рослин в лісові фітоценози. Описано загальну характеристику рельєфу, визначено експозицію і крутизну схилів, за загальноприйнятою методикою виконано повні геоботанічні описи спостережуваних і сусідніх до вирубок ділянок для фіксування стадій заростання і сукцесійних процесів. Зімкнутість крон дерев і чагарників визначено в частках від одиниці, осібне проєктивне покриття трав'яних рослин – у відсотках. Відповідні показники наведено в дужках в описах складу й структури угруповань на обстежених ділянках та прилеглих до них виділах.

Упливи, пов'язані з військовою агресією РФ проти України (вирви від обстрілів і бомбардувань, пожежі, формування мереж фортифікаційних споруд, пересування важкої техніки тощо), яких зазнала Середньо-Руська височина 2022 р., сприяють появі місць вільних від рослинності, що також є передумовою посилення процесів синантропізації рослинного покриву.

Ділянка 1. Кв. 57, діл. 43 (1) площа 0,9 га, розташована на схилі південної експозиції з нахилом 10-20 °. На час проведення спостережень

пеньки не перевищували $\frac{1}{3}$ діаметра, порубочні залишки та лісова підстилка відсутні (рис. 4). У надґрунтовому покриві загальним проективним покриттям до 10% відмічено: порось *Acer campestre* L., *Ulmus glabra* Huds., *Euonymus europaeus* L.; окремі рослини дрібного підросту *Acer platanoides* L., *Fraxinus excelsior* L. Серед трав'яних рослин найбільшою участю характеризуються *Alliaria petiolata* (M. Bieb.) Cavara & Grande, *Galeopsis bifida* Voenn. і *Fallopia dumetorum* (L.) Holub.

Серед численних рослин на першій стадії заростання вирубки відмічені *Erigeron annuus* (L.) Desf., *Chenopodium album* L., *Carduus acanthoides* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Artemisia absinthium* L., *Arctium tomentosum* Mill., які здатні відігравати істотну роль у формуванні нових ценозів. Поодинокі траплялися *Solanum nigrum* L., *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv., *Bidens frondosa* L.



Рис. 4. Загальний вигляд вирубки на ділянці 1 відразу після вирубки (ліворуч) та у другій половині вегетації (праворуч) (фото С. Панченка, 2020 р.)

Наприкінці вегетації вирубка рясно заросла трав'яними рослинами (рис. 4), зокрема аспект створювали види адвентивних рослин: *Erigeron annuus* (20%) і *E. canadensis* L. (20%) заввишки до 1,3 м, відмічено *Ambrosia artemisiifolia*. Значну роль у формуванні трав'яного ярусу мав також *Galeopsis bifida* (15%). Серед інших рудеральних рослин зафіксовано

Lipandra polysperma (L.) S. Fuentes, Uotila & Borsch (*Chenopodium polyspermum* L.), *Cirsium vulgare* (Savi) Ten., *Solidago canadensis*, *Fallopia dumetorum*. Збереглися і типові трав'яні домінанти лісів – індикатори грудів: *Rabelera holostea* M.T. Sharples & E.A. Tripp (*Stellaria holostea* L.), *Aegopodium podagraria* L., *Carex pilosa* Scop., *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Viola odorata* L.

Уявлення про рослинний покрив першої ділянки до вирубування можна скласти за складом і структурою сусіднього, розташованого західніше, виділу. Деревостан зімкнутістю крон 0,90-0,95, заввишки 18-20 м із *Quercus robur* L. і *Fraxinus excelsior*, що формують перший під'ярус і мають зімкнутість крон 0,20-0,30 та 0,20-0,40 відповідно. У другому під'ярусі представлені *Ulmus glabra* (0,10), *Acer campestre* (0,15), *Tilia cordata* Mill. (0,15). Підлісок має зімкнутість крон 0,60, де домінує середній і великий підріст із *Ulmus glabra* та *Euonymus europaeus* із численною кореневою поростою. Також представлені *Corylus avellana* L., *Sambucus nigra* L., *Prunus padus* L. (*Padus avium* Mill.), *Euonymus verrucosus* Scop. Проективне покриття трав'яних рослин становить до 20%; серед них *Polygonatum multiflorum* (L.) All. (3%), *Viola odorata* L., *Convallaria majalis* L. (3-5%), *Asarum europaeum* L., *Brachypodium sylvaticum* (Huds.) P. Beauv., *Rabelera holostea*. Високе проективне покриття (5-10%) має *Alliaria petiolata*, що свідчить про значне порушення надґрунтового покриву в минулому.

Відмічено підріст дерев вищий за 1-1,5 м: *Acer campestre*, *Ulmus glabra*, *Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior*, а також *Robinia pseudoacacia* та *Acer negundo* L. Отже, на вирубаній і очищеній від порубкових залишків ділянці поширення набули передусім види адвентивних рослин, за участі яких розпочалося формування рослинного покриву і трансформація середовища для існування тут аборигенних видів рослин.

Ділянка 2. Кв. 57, діл. 43 (2) площа 0,7 га. Ділянка планової діяльності розташована за 20-30 м у тому ж виділі 43 кварталу 57, але на схилі північної експозиції (рис. 5). На момент обстеження рубка тривала, порубочні залишки, підстилка і рослинний покрив на вирубаній ділянці відсутні. Склад і структура рослинності описано на сусідній ділянці на схилі тієї ж експозиції.

Деревостан зімкнутістю крон 0,9 м, заввишки 16-18 м із домінуванням *Fraxinus excelsior* (0,2-0,3), *Quercus robur* (0,3-0,4), *Tilia cordata* (0,30-0,40). Також присутні *Acer platanoides* (0,15), *Ulmus glabra* (0,1), *Acer campestre* (0,1). У підліску зімкнутістю крон близько 0,4-0,5, заввишки до 3-4 м домінували *Corylus avellana* (0,3), великий підріст *Acer platanoides* (0,05-0,10) і *Ulmus glabra* (0,10-0,15). Відмічені також *Euonymus europaeus*, *Sambucus nigra*. Серед підросту також присутній *Fraxinus excelsior*. У трав'яному ярусі домінують *Mercurialis perennis* L. (5%) і *Alliaria petiolate*

(3-5%). Значну участь у формуванні надґрунтового покриву має *Rubra holostea* (3-5%). Трапляються також *Lathyrus vernus*, *Moehringia trinervia* (L.) Clairv., *Geum urbanum* L., *Pulmonaria obscura* Dumort., *Fallopia dumetorum*. Відмічені весняні ефемероїди, які завершили вегетацію: *Adoxa moschatellina* L., *Anemonoides ranunculoides* (L.) Holub (*Anemone ranunculoides* L.).



Рис. 5. Загальний вигляд вирубки на ділянці 2 відразу після вирубки (ліворуч) і в другій половині вегетації (праворуч) (фото С. Панченка, 2020 р.)

На відміну від ділянки 1, вирубку на ділянці 2 проведено пізніше, що суттєво вплинуло на заростання. Так, проєктивне покриття трав'яного ярусу становило до 60% у західній частині та до 30% – в східній. Висота рослин зменшувалася відповідно. Видовий склад загалом подібний, але в аспекті домінували *Erigeron canadensis* і *Fallopia dumetorum*. Відновлення лісу відбувалося завдяки порослі від пня, зокрема це виражено в *Acer campestre*, *Ulmus glabra*, *Acer platanoides*. Поодинокі трапляється збережений дрібний і середній підріст *Fraxinus excelsior*.

Ділянка 3. Кв. 60, діл. 19 площею 0,9 га розташована на північ від с. Глибне (Сумський район, Сумська область) у верхній частині відрогу яру (рис. 6). Ділянка планової діяльності займає схили яру північної та південної експозиції із нахилом 10-15°. На момент обстеження рубка тривала, на вирубаній ділянці оперативно прибирали порубочні залишки й зачищали

підстилку, природний рослинний покрив відсутній. Склад і структуру рослинності описано на сусідній ділянці на схилі північної експозиції.

Деревостан із зімкнутістю крон 0,85 заввишки до 24-26 м. Верхній під'ярус деревостану сформований *Quercus robur* (0,2-0,3) і *Fraxinus excelsior* (0,3-0,4). Нижче під'ярус із клена гостролистого *Acer platanoides* (0,2-0,3), *Tilia cordata* (0,1-0,2) та *Ulmus glabra* (0,1-0,2), окремі рослини яких сягають висоти першого під'ярусу. Підлісок сформований здебільшого за рахунок великого підросту *Ulmus glabra* (0,05-0,10) та *Acer platanoides* (0,10-0,15) за участю *Euonymus europaeus* (0,05). У цьому ярусі також відмічено *Sambucus nigra*, *Euonymus verrucosus*, *Crataegus rhipidophylla* Gand. (*C. curvisepala* Lindm.), *Corylus avellana*. У трав'яному ярусі загальним проєктивним покриттям 35% домінують *Aegopodium podagraria* (10%), *Alliaria petiolata* (5-10%), *Rubera holostea* (5-10%). Трапляються також *Cardamine impatiens* L., *Urtica dioica* L., *Galium aparine* L., *Polygonatum multiflorum*, *Asarum europaeum* L., *Poa nemoralis* L.



Рис. 6. Загальний вигляд ділянки 3 відразу після вирубки (ліворуч) і в другій половині вегетації (праворуч) (фото С. Панченка, 2020 р.)

На самій вирубці, у верхній частині схилу відмічено підріст *Acer platanoides* (0,5-1 на 1м², *Fraxinus excelsior*; (бл. 0,5 на 1м²), *Ulmus glabra* (до 0,5 на 1м²).

Під час обстеження рослинний покрив ділянки був утворений зарослями видів адвентивних рослин: *Erigeron annuus* (15%), *E. canadensis* (15%), а також аборигенних рудеральних видів, зокрема *Fallopia dumetorum*

(10%). Відмічені із значним проєктивним покриттям інші види адвентивних рослин: *Solidago canadensis*, *Rudbeckia hirta* L., *Symphotrichum novae-angliae* (L.) G.L. Nesom. Домінування цих рослин ускладнює відновлення природного рослинного покриву й унеможлиблює існування рідкісних і зникаючих видів рослин, що пов'язано з утворенням ними щільних монодомінантних колоній та формуванням великої кількості діаспор, які створюють тиск на середовище. З аборигенних видів, властивих широколистяним лісам, у трав'яному покриві збереглися *Lamium maculatum* (L.) L., *Rabeiera holostea*, *Aegopodium podagraria*, *Viola odorata*. Їхня участь у формуванні трав'яного ярусу не значна, проєктивне покриття на рівні 1-5%. Відсутність заростання днища яру, де проводили трелювання і складування деревини може спричинити водну ерозію. Відновлення деревного ярусу відбувається за рахунок порослі від пня таких видів: *Ulmus glabra* (0,03), *Fraxinus excelsior* (0,03), *Acer platanoides* (0,01).

Ділянка 4. Кв. 29, діл. 23 (1) площею 0,9 га знаходиться біля с. Сінне (Сумський район, Сумська область), займає схил південно-західної експозиції і край плато в центрі лісового масиву (рис. 7). Під час проведення обстеження дерева вже було відведено в рубку, про що свідчать мітки, але рубка не розпочиналася. Деревостан із зімкнутістю крон близько 0,8 заввишки 18-22 м. Домінують *Quercus robur* (0,25) і *Fraxinus excelsior* (0,35), які входять до складу верхнього під'ярусу деревостану. Другий під'ярус складають *Tilia cordata* (0,35), *Acer platanoides* (0,25), поодинокі трапляється *Acer campestre*. Підлісок має зімкнутість крон до 0,4. Домінує тут *Corylus avellana* (0,25), значна участь великого підросту *Ulmus glabra* й чагарників *Prunus padus*, *Euonymus europaeus* та *E. verrucosus*. Доволі численний дрібний підріст з *Tilia cordata*, *Acer platanoides*, *Acer campestre*, *Ulmus glabra*. Проєктивне покриття трав'яного ярусу – 40%, домінує *Carex pilosa* (20%).

Після проведення вирубки трав'яний покрив частково відновився і мав проєктивне покриття до 20-30%. На відміну від інших ділянок тут не спостерігалось масового занесення видів адвентивних рослин. Основу трав'яного ярусу складали типові лісові види, зокрема *Carex pilosa*, *Aegopodium podagraria*, *Rabeiera holostea*. На пнях зрубаних дерев з'явилася поросль, найбільше її у *Fraxinus excelsior* і *Acer platanoides*.

Після суцільних вирубок лісу, особливо в другій половині літа на ділянках із низьким проєктивним покриттям трав'яного ярусу, рослинний покрив не відновлюється, що створює небезпеку водної ерозії. Це створює додаткові умови для інвазії особливо агресивних видів адвентивних рослин на порубах, що спричинятиме суттєву трансформацію природних екосистем. На ділянках із густим покривом *Carex pilosa* вирубки в другій половині літа

до повного знищення рослинного покриву не призводять – доволі високе проєктивне покриття трав'яного ярусу залишається.



Рис. 7. Загальний вигляд вирубки на ділянці 4 до (ліворуч) і після (праворуч) вирубки (фото С. Панченка, 2020 р.)

Виділи зимових і ранньовесняних вирубок активно заростали *Solidago canadensis*, *Erigeron annuus*, *E. canadensis*. Всі вони небезпідставно віднесені до категорії видів-трансформерів і можуть суттєво змінити середовище існування аборигенних видів рослин і тварин, зокрема й рідкісних та зникаючих, занесених до Червоної книги України.

Результати проведених спостережень свідчать про значний банк діаспор, сформований видами синантропних та адвентивних рослин у лісах північно-західних відрогів Середньо-Руської височини, навіть якщо їхня рослинність за складом і структурою до вирубок відповідала таким природних лісів. Тому можна стверджувати, що пошкодження ярусу дерев і надґрунтового покриву внаслідок бойових дій призведе до виникнення умов для занесення і вкорінення видів адвентивних рослин, які спочатку забезпечать заростання збезліснених ділянок, а згодом будуть домінувати в нових рослинних угрупованнях, створювати аспект і визначати перебіг процесів природного відновлення лісів. Заростання рубок відбувається практично відразу, натомість вирв від вибухів снарядів – дуже повільно, зокрема на першому році майже не спостерігається.

Поновлення природних екосистем внаслідок інших типів прямого впливу війни, як наприклад повне знищення рослинного покриву після

артилерійських чи ракетних обстрілів або пожеж буде відбуватися різними шляхами, серед яких рекультивация, самозаростання. Комплексне вивчення впливу війни на фіторізноманіття, масштабів руйнувань і пошкоджень є основою для заходів відновлення природного рослинного покриву, як одного з найважливіших компонентів екосистеми. Ступінь трансформації природного середовища залежить від масштабів порушення, стійкості природних екосистем, діапазону допустимих змін їхнього стану. Два останні чинники відрізняються ще й залежно від типу рослинності. За повного знищення рослинного покриву, або його значних фрагментів, формування рослинності на трансформованих ділянках починається із заростання як початкової стадії сукцесійних процесів. Формування рослинності на нових субстратах розглядають як первинні антропоічні сукцесії (Єременко, 2019). Розвиток рослинних ценозів складають стадії початкового, відкритого й закритого ценозів. Здебільшого на нових трансформованих субстратах виникають рудеральні ценози, сформовані як видами апофітами, так і адвентивних рослин. При цьому відсоткова та ценотична участь останніх вагоміша. Серед видів адвентивних рослин найбільшу загрозу становлять інвазійні, які є небезпечними для природних екосистем не лише на сучасному етапі їх розвитку, а й у майбутньому.

Із огляду на переваги рудеральних рослин у процесах заростання докорінно трансформованих природних територій слід очікувати активізацію процесів синантропізації. Тому основним завданням досліджень є моніторинг складу видів, які можуть спричинити втрату відновлюваною флорою її специфічних особливостей, зменшення різноманітності аборигенних видів і посилення інсуляризації їх ареалів. Тотальна деградація довкілля безумовно сприятиме посиленню синантропізації і поступовій деаборигенізації фіторізноманіття й рослинного покриву. У зв'язку з цим, зростає роль рудеральної рослинності, яка на думку фахівців може зайняти всі біотопи, на яких не сформовані природні або не створені агрофітоценози (Єременко, 2017). Оскільки вагому частину рудеральних угруповань складають види адвентивних рослин, їхня роль на перших стадіях заростання деградованих і трансформованих земель, повністю позбавлених рослинного покриву, теж розглядається як позитивна. Серед адвентивних рослин є чимало здатних до зростання в екстремальних умовах, непридатних для поселення інших видів. Тим самим вони поліпшують ґрунтові умови і підготовлюють їх для заселення іншими видами, зокрема й аборигенними. Сингенетичні зміни формування рослинності під час проходження сукцесійних стадій характеризує поетапне зростання взаємозв'язків і взаємовпливів між видами рослин в угрупованнях. Сформований видами адвентивних рослин покрив має важливе фітоценотичне значення в створенні гумусового шару ґрунту і в перебігу сукцесійних процесів

(Кучерявий, 2011). Проте, в подальшому середовищевірна функція живої речовини виявляється в здатності угруповань рудеральної рослинності поступово змінювати аборигенну флору, витискаючи місцеві види і змінюючи вихідні ценози (Кучерявий, 2011), навіть перетворюючи екосистеми, якщо в складі рудеральних угруповань є види-трансформери, тому необхідний постійний моніторинг довкілля. Подекуди повернення екосистем до природного стану не можливе. Послаблення ценотичних зв'язків в порушених екосистемах, зниження конкурентної здатності деяких видів тощо спричинює порушення природної структури ценозів, зниження їхньої здатності до поновлення, зміни видового складу і ролі окремих видів, що знижує їхній опір до заселення нових видів.

Високий ступінь перетворення ландшафтів і природних екосистем унаслідок воєнних дій є сприятливою передумовою утворення нових рослинних угруповань, що може докорінно змінити їх природний характер і типи, а також спричинити суттєві негативні зміни зональних типів рослинності. Існує ризик суттєвої трансформації деяких уражених екосистем аж до їх зникнення, що в подальшому може спричинити заміну зональних типів рослинності. Величезні за площею території перетворених земель, особливо в степових районах, ймовірно заселять види, що походять з посушливих регіонів. Це з часом сприятиме посиленню і прискоренню процесів опустелювання ще й внаслідок зміни клімату, зокрема суттєвого розширення площ з континентальними умовами. Також зауважимо на позитивній ролі видів адвентивних рослин на первинних стадіях формування рослинного покриву: оскільки серед них є такі види, які можуть заселяти непридатні для видів місцевої флори території з ґрунтами, що зазнали порушення біохімічного складу і гідрологічного режиму. Таким чином ці землі стають більш придатними для поновлення природного рослинного покриву (Копій та ін., 2019). Наприклад території зі значним засоленням у степових районах України заселяє *Elaeagnus angustifolia*, який також використовують для рекультивації териконів та інших трансформованих земель. На ділянках кам'янистих субстратів під час лісогосподарської фітомеліорації часто використовують деревні види: *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Elaeagnus angustifolia* та ін. (Копій та ін., 2019). Серед видів адвентивних рослин є й такі, що можуть витримувати не лише засолення, але й забруднення фосфатами й нітратами – групи сполук, які активно вивільняються і потрапляють до ґрунту внаслідок бойових дій і ракетних обстрілів. Одночасно слід мати на увазі, що серед видів адвентивних рослин можуть бути небезпечні інвазійні рослини, поширення яких необхідно контролювати. Аналіз сучасного стану фітоінвазій в Україні та країнах Європи (Dubovik et al., 2021; Májejková et al., 2021; Sirbu et al., 2021; Tokarska-Guzik et al., 2021; Zavalova et al., 2021, etc.) свідчить загалом про подібність

інвазійних процесів за учасниками, темпами й характером їхнього поширення. На Українському Поліссі очікуване більш широке розповсюдження деревно-чагарникових видів адвентивних рослин, наприклад, *Amelanchier* sp. div., а також вже відомих і нових видів *Heracleum* sp. div.; на заході України – переважно трав'яних видів, зокрема, *Amaranthus* sp. div., *Rumex* sp. div., *Solidago* sp. div. та ін. Тому використання цих рослин можливе лише за умови ретельного контролю.

Одним зі складних, але надважливих завдань післявоєнного часу залишається повернення в обіг пошкоджених земель. Із огляду на ступінь пошкоджень, площу ураження, можливості для фінансування заходів ренатуралізації може бути обрано той чи інший спосіб або механізм відновлення. Найчастіше серед можливих способів розглядають заповідання і господарське використання пошкоджених земель. Обидва так чи інакше пов'язані з поновленням рослинного покриву на пошкоджених ділянках і адвентивна флора може стати в нагоді для цього. Її позитивна роль в освоєнні трансформованих земель обумовлена більшою пристосованістю видів до екстремальних умов існування. Велика кількість чужорідних видів має значно варіабельніший адаптаційний комплекс порівняно з видами місцевої флори, що й забезпечує їм значно кращі можливості для формування пристосовань. Природні оселища деяких видів адвентивних рослин у первинному ареалі за умовами існування досить подібні до трансформованих або девастованих земель. Так, *Reynoutria japonica* на батьківщині у Східній Азії є піонерним видом вулканічних пустель. У Японії рослини поширені до висоти 1500 над р. м, у Китаї зростають серед чагарників по гірських схилах і долинах. У цьому регіоні вид виконує дуже важливу фітомеліоративну функцію: рослини освоюють вулканічні відклади та роблять цей субстрат придатним для інших рослин. Рослини виду легко переходять на ділянки з порушеним рослинним покривом і часто ростуть на відкритих, дуже трансформованих місцях: уздовж доріг, по берегах річок, у населених пунктах, по закрайках полів. У вторинному ареалі, в Європі та Америці вид швидко заселяє пустирі, залізничні насипи, узбіччя автошляхів, береги водойм, смітники, цвинтарі тощо. Також рослина є інвазійною, тому використання її для фітомеліорації потребує контролю, оскільки існує загроза спалаху розселення цього дуже небезпечного виду-трансформера.

Актуальними в повоєнний час стане постійний моніторинг видів адвентивної фракції флори; раннє виявлення нових видів, особливо занесених із тих країн чи регіонів, і з якими посилюються зв'язки в період війни; моніторинг територій проведення воєнних дій і окупації, зокрема ділянок трансформованих внаслідок боїв, організація наукових досліджень видів-полемохорів та контроль їхнього поширення.

Використані інформаційні джерела:

Геєць В. М. Про оцінку економічних втрат України збройної агресії РФ. *Вісник Національної академії наук України*, 2022, 5: 31–38. doi: <https://doi.org/10.15407/visn2022.05.030>

Дідух Я. П. Екосистемний підхід до оцінки збитків, завданих воєнними діями. *Вісник Національної академії наук України*, 2022, 6: 17–26. doi: <https://doi.org/10.15407/visn2022.06.017>

Крижанівський В. І., Коржнев М. М. Загальний аналіз деяких загроз за структурними рівнями. *Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіттю України*. Київ : Хімджест, 2003. Т. 1. С. 82–89.

Котов М. І. Як вплинула громадянська війна на поширення рослин та тварин на Україні та в Росії. *Знання (Харків)*, 1923, 2: 24–26.

Salisbury E. J. Flora of bombed areas. *Nature*, 1943, 151: 462–466.

Salisbury E. J. A changing flora as shown in the study of weeds of arable land and waste places. In: *The Changing floras of Britain* / Ed. J.E. Lousley. Oxford: Bot. Soc. Of British Isles, 1953. P. 130–139.

Westing A. H. Ecological effects of military defoliation on the forests of South Vietnam. *BioScience*, 1971, 21 (17): 893–898.

Warren S. D., Holbrook S. W., Dale D. A., Whelan N. L., Elyn M., Grimm W., Jentsch A. Biodiversity and the heterogeneous disturbance regime on military training lands. *Restoration Ecology*, 2007, 15 (4): 606–612.

Hanson T., Brooks T.M., Da Fonseca G. A. B., Hoffmann M., Lamoreux J. F., Machlis G., Mittermeier C. G., Mittermeier R. A., Pilgrim J. D. Warfare in Biodiversity hotspots. *Conservation Biology*, 2009, 23: 578–587.

Reuveny R., Mihalache-O'Keef A.S., Li Q. The effect of warfare on the environment. *Journal of Peace Research*, 2010, 47 (6): 749–761.

Блага А. Б., Загороднюк І. В., Короткий Т. Р., Мартиненко О. А., Медведєва М. О., Пархоменко В. В. *На межі виживання: знищення довкілля під час збройного конфлікту на сході України*. Київ : Українська Гельсінська спілка з прав людини, 2017. 88 с.

Denizen S. The flora of bombed areas (an allegorical key). In: *The Botanical City* / Gandy M., Jasper S. (eds). Berlin: Jovis Verlag GmbH, 2020. P. 38–45.

Зав'ялова Л. В., Коломійчук В. П., Кучер О. О., Протопопова В. В., Шевера М. В. Оцінка загрози спалаху фітоінвазій внаслідок війни. *Подолання екологічних ризиків і загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022 : зб. матеріалів I Міжнар. наук.-практ. конф., міста Полтава – Львів, 26–27 травня 2022 р.* Полтава : НУПП, 2022. С. 258–260.

Коломійчук В. П., Шевера М. В., Воробйов Є., Орлов О. О., Прядко О. І. *Erechtites hieracifolius* – новий для флори Київського Полісся вид адвентивних рослин. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, сер. Біологія*, 2019, 79(3): 37–43.

Dudáš M., Király G., Kobiv Yu., Pliszko A. New floristic records from Central Europe 9 (reports 122–133). *Thaiszia – Journal of Botany*, 2022, 32 (1): 81–90. <https://doi.org/10.33542/TJB2022-1-06>

Гузь Г. В., Тимошенко В. В. Перша в Україні знахідка *Sporobolus cryptandrus* (Poaceae) та нові для флори південного сходу України види з території «Грьохізбенського степу». *Український ботанічний журнал*, 2017, 74(1): 64–70.

Побережна Л. Я., Станецький А. І. Оцінка потенційних екологічних ризиків внаслідок проведення антитерористичної операції. *Техногенно-екологічна безпека*, 2017, 2: 45–52.

Лиманский С. В. Военные действия на территории заповедника «Меловая флора». *Степной бюллетень*, 2014, 42: 34–35.

Боровик Л. Последствия военного конфликта для Луганского природного заповедника. *Степной бюллетень*, 2014, 42: 35–36.

Проект організації території національного природного парку «Залісся», охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів і об'єктів (затвердженого Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України (наказ №180 від 26 квітня 2022 р.). Київ: ПРАТ Науково-виробничий комплекс «Курс», 2022. 354 с.

Єременко Н. С. Рудеральна рослинність України: стан дослідження, проблеми та перспективи. *Чорноморський ботанічний журнал*, 2017, 13(2): 134–151. doi:10.14255/2308-9628/17.132/1.

Кучерявий В. П. Урбоекологія, фітомеліорація: витоки і шляхи розвитку. *Науково-технічний журнал*, 2011, 2 (4): 25–30.

Копій М. Л., Гончар В. М., Копій С. Л., Клименко О. М., Копій Л. І., Крупський В. Р. *Фітомеліоративна роль рослинного покриву у відтворенні девастрованих земель в межах сірчаних розробок Західного Лісостепу*. Рівне: НУВГП, 2019. 230 с.

Sîrbu C., Anastasiu P., Urziceanu M., Camen-Comănescu P., Sîrbu I.-M., Popa A.-M., Ioja C., Gavrilidis A.-A., Oprea A. Invasive alien plant species in Romania of European Union concern. *Environmental & Socio-economic Studies*, 2021, 9 (4): 32–44. DOI: 10.2478/environ-2021-0023.

Tokarska-Guzik B., Katarzyna Bzdęga K., Dajdok Z., Mazurska K., Solarz W. Invasive alien plants in Poland – the state of research and the use of the results in practice. *Environmental & Socio-economic Studies*, 2021, 9 (4): 71–95. DOI: 10.2478/environ-2021-0027

Zavialova L.V., Protopopova V.V., Kucher O.O., Ryff L.E., Shevera M.V. Plant Invasion in Ukraine. *Environmental & Socio-economic Studies*. 2021, 9(4): 1–13. DOI: [10.2478/environ-2021-0020](https://doi.org/10.2478/environ-2021-0020)

**КОГНІТИВНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ТА ОЦІНЮВАННЯ
ТЕРИТОРІАЛЬНИХ РИЗИКІВ В УМОВАХ
ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ**

**COGNITIVE APPROACH TO THE ANALYSIS AND
ASSESSMENT OF TERRITORIAL RISKS IN CONDITIONS
OF INCREASED DANGER**

¹**Каменева І.П.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, ¹**Артемчук В.О.**, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора з науково-організаційної роботи, ²**Попов О.О.**, доктор технічних наук, професор, заступник директора з науково-організаційної роботи, член-кореспондент НАН України, ²**Яцишин А.В.**, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, ¹**Кириленко Ю.О.**, молодший науковий співробітник

¹*Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН
України, Україна*

²*ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»,
Україна*

¹**Kameneva I.P.**, PhD, Senior Researcher, ¹**Artemchuk V.O.**, Dr., Deputy Director, ²**Popov O.O.**, of Sciences of Ukraine, Corresponding member of the NAS of Ukraine, Dr., Deputy Director, ²**Iatsyshyn A.V.**, Senior Researcher, ¹**Kyrylenko Y.O.**, Junior Researcher

¹*G. E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of NAS of
Ukraine, Ukraine*

²*State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of
National Academy», Ukraine*

Анотація. Проведено аналіз законодавчих документів та матеріалів щодо актуальних проблем екологічної безпеки та підвищення техногенних ризиків за останній період, зокрема, з урахуванням специфіки воєнного стану. Розглядається когнітивний підхід до аналізу даних моніторингу на територіальному рівні, спрямований на структурування інформаційних ресурсів та побудову моделі знань у галузі екологічної безпеки. Визначено алгоритмічні засоби представлення знань і накопичення досвіду, придатні для програмної реалізації в системі інформаційної підтримки прийняття рішень щодо управління безпекою. З метою систематизації та інтеграції набутого досвіду запропоновано модель знань, яка враховує як результати

аналізу даних моніторингу, так і ймовірнісні оцінки стану безпеки техногенних підприємств та прилеглих територій. У моделі відображено показники різних рівнів: зовнішні фактори ризику, показники стану безпеки енергетичних підприємств, стан обладнання, вплив людського фактору тощо. Більш детально представлена ймовірнісна модель, розроблена в рамках ризик орієнтованого підходу до аналізу безпеки АЕС та інших підприємств ядерної і радіаційної безпеки (ЯРБ). На основі проведених досліджень визначено основні етапи процесу побудови ймовірнісної бази знань, орієнтовані на програмну реалізацію в системі підтримки прийняття рішень та управління екологічною безпекою атомних станцій або інших техногенних об'єктів.

Abstract. *An analysis of legislative documents and materials on current issues of environmental security and increasing man-made risks in recent times, in particular, taking into account the specifics of martial law. The cognitive approach to the analysis of monitoring data at the territorial level, aimed at structuring information resources and building a model of knowledge in the field of environmental safety, is considered. Algorithmic means of presenting knowledge and gaining experience, suitable for software implementation in the system of information support for decision-making on security management are identified. In order to systematize and integrate the acquired experience, a model of knowledge is proposed, which takes into account both the results of analysis of monitoring data and probabilistic assessments of the security of man-made enterprises and surrounding areas. The model reflects indicators of different levels: external risk factors, indicators of security of energy companies, the state of equipment, the impact of human factors and more. The probabilistic model developed within the framework of the risk-oriented approach to the safety analysis of NPPs and other nuclear and radiation safety (NRS) enterprises is presented in more detail. Based on the research, the main stages of the process of building a probabilistic knowledge base, focused on software implementation in the decision support system and environmental safety management of nuclear power plants or other man-made facilities.*

Вступ. В умовах підвищеної небезпеки, що склалися в Україні, починаючи з лютого 2022 р., особливої уваги потребує проблема аналізу та оцінювання техногенних ризиків для об'єктів і підприємств, що розташовані на територіях поблизу воєнних дій, зазнають пошкодження від ракетних ударів, снарядів або інших руйнівних наслідків. Зокрема, небезпечні ситуації було створено на ЧАЕС, що тимчасово була захоплена військовими РФ. Це призвело до підвищення радіаційного фону, виникнення лісових пожеж,

забруднення довкілля та інших руйнівних наслідків для прилеглих територій.

Для зменшення техногенного впливу, втрат енергетичних та матеріальних ресурсів, а також більш ефективного збереження виробничих потужностей необхідно забезпечити якісну інформаційну підтримку щодо своєчасного прийняття і корекції управлінських рішень. Такі рішення мають враховувати як накопичений досвід щодо подібних інцидентів та обсягів втрат, так і можливості передбачення на наступний період. Підкреслимо, що подібні задачі необхідно вирішувати на основі міжнародного досвіду управління ризиками [1], в рамках національного законодавства, з урахуванням урядових постанов і програмних документів.

Актуальність проблеми підтверджується важливими урядовими рішеннями та проектами, що визначають основні напрями підвищення безпеки техногенних підприємств і стану прилеглих територій [2, 3].

Огляд законодавчих документів. Указом Президента України №111/2021 від 23 березня 2021 року [2] введено в дію рішення Ради національної безпеки і оборони України від 23 березня 2021 року «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації». Розглянувши комплекс питань, пов'язаних із викликами та загрозами національній безпеці України в екологічній сфері, беручи до уваги високий рівень ризиків для природних екосистем та здоров'я населення, зумовлений значним забрудненням довкілля через техногенне навантаження, нераціональне використання природно-ресурсного потенціалу, значні обсяги накопичених в Україні відходів, загострення екологічних та техногенних проблем у районах, прилеглих до зони конфлікту на Донбасі, недостатній рівень адаптаційних можливостей галузей економіки, систем життєзабезпечення до негативних процесів зміни клімату, неналежний стан системи державного моніторингу навколишнього природного середовища, єдиної державної системи захисту, Рада національної безпеки і оборони України прийняла ряд важливих рішень у даному напрямі. Серед них відзначимо такі позиції:

1) внесення змін до Закону України «Про охорону атмосферного повітря» стосовно запровадження обов'язкових автоматизованих систем контролю викидів забруднюючих речовин, визначення якості атмосферного повітря та оцінки впливу його забруднення на здоров'я та життєдіяльність населення;

2) вдосконалення економічного механізму фінансування заходів щодо охорони навколишнього природного середовища;

3) визначення пріоритетів формування національної екологічної мережі у Генеральній схемі планування території України;

4) розроблення та затвердження методичних рекомендацій із оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря;

5) розроблення та затвердження концепції державної науково-технічної програми у сфері зміни клімату;

6) розроблення та затвердження національного плану з енергетики та зміни клімату на період до 2030 року;

7) розроблення та затвердження національного плану дій із енергоефективності на період до 2030 року;

8) розроблення та затвердження національного плану дій із розвитку відновлювальної енергетики на період до 2030 року;

9) розроблення та затвердження порядку ведення Єдиного реєстру з моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів; порядку державної реєстрації установок в Єдиному реєстрі з моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів.

Зокрема, для створення ефективної системи державного моніторингу навколишнього природного середовища з використанням технологій дистанційного зондування Землі, контролю космічного простору, геофізичних і геоінформаційних технологій необхідно розробити та затвердити стратегію розвитку гідрометеорологічної діяльності в Україні на період до 2030 року; концепцію державної цільової екологічної програми моніторингу довкілля України; положення про регіональні центри моніторингу довкілля; закони щодо державної системи моніторингу довкілля, зокрема, положення щодо відповідальності за організацію та функціонування системи в режимах повсякденного функціонування, підвищеної готовності, реагування на аварійні ситуації, відстеження у відновлювальний (реабілітаційний) період, а також інформаційну взаємодію всіх ланок системи на всіх рівнях її управління; національного реєстру викидів і перенесення забруднювачів тощо.

Відкрита військова агресія РФ відтермінувала виконання деяких пунктів, проте вже 26 квітня 2022 р. Кабінет Міністрів України схвалив проект закону «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля», покликаний створити єдину державну систему моніторингу довкілля, тобто всі показники моніторингу довкілля стануть частинами єдиної загальнодержавної мережі. Вона включатиме інформацію про стан атмосферного повітря, поверхневих, підземних і морських вод, земель, ґрунтів, лісів та біорізноманіття. Єдина система буде відповідати міжнародним стандартам екологічного управління, в тому числі вимогам і директивам Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом. Реформування системи державного моніторингу довкілля значно розширить можливості міжнародної співпраці України у сфері захисту довкілля. Однією з ключових інновацій також стане гнучкість

оновленої системи моніторингу довкілля і синхронізація з актуальними потребами суспільства. На основі даних моніторингу та результатів аналізу органи влади зможуть приймати обґрунтовані управлінські рішення та ефективніше враховувати екологічну складову під час розроблення та затвердження документів державного планування [3].

Серед небезпечних подій, характерних для воєнного стану, слід відзначити порушення або зупинки в роботі енергетичних підприємств внаслідок воєнних дій (потрапляння ракети, бомби або снаряду), підвищення рівнів забруднення в результаті численних пожеж і вибухів, збільшення числа порушень через некомпетентне обслуговування і відсутність потрібних фахівців. Для контролю за станом забруднення атмосфери Міндовкілля розробило Методику [4], за якою рекомендовано розраховувати обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від російських бомбардувань, а також розмір завданої такими викидами шкоди.

Когнітивний аналіз ризиків. Когнітивний підхід до аналізу даних моніторингу в галузі екологічної безпеки базується на досягненнях в сфері когнітивної психології та штучного інтелекту [5, 6, 7 та ін.]. Основні положення, задачі та особливості когнітивного аналізу техногенних ризиків сформульовані в [8]. Когнітивний підхід спрямований на розроблення методів і засобів виявлення знань про небезпечні об'єкти або ситуації, які допомагають приймати обґрунтовані та ефективні рішення. Насамперед такий підхід надає можливості щодо вчасного виявлення і передбачення тенденцій розвитку особливо небезпечних ситуацій, із урахуванням великої кількості показників ризику. Зазначимо, що переваги засобів когнітивного аналізу полягають саме в тому, що вони орієнтовані на конкретні умови певної країни або регіону. Як правило, засоби та технології, розроблені за кордоном, потребують занадто високих затрат і досить складної адаптації до місцевих особливостей.

Когнітивний аналіз ризиків включає визначення основних факторів ризику в умовах підвищеної небезпеки на основі даних спостережень та вимірювання сукупності показників, що визначають рівні небезпеки; аналіз і структурування даних моніторингу, одержаних із різних джерел; побудову простору ризику, тобто визначення небезпечних подій, оцінювання та прогнозування імовірнісних характеристик цих подій, в тому числі, обсягів втрат та негативних наслідків.

У багатьох прикладних задачах семантичне значення складної ситуації можна визначити як наявність або відсутність небезпеки, тобто дати імовірнісну оцінку ситуації з точки зору її безпечності для населення та довкілля. До екологічних ризиків традиційно відносимо ризики, обумовлені забрудненням навколишнього середовища (насамперед, атмосферного повітря, питної води і продуктів харчування). В свою чергу, кожен з даних

факторів можна конкретизувати, вказуючи кількісні оцінки шкідливих домішок (тобто концентрації в атмосферному повітрі, ґрунті, водних системах тощо).

Відомо, що наше уявлення про небезпеку може бути досить суб'єктивним. Воно, як правило, визначається індивідуальними особливостями сприйняття тих або інших ситуацій, їх оцінюванням у межах особистого досвіду. На основі ряду психологічних досліджень в області ризику й безпеки можна зробити висновок, що при оцінці ступеня небезпеки та прийнятті рішень важливу роль відіграє індивідуальне сприйняття ризику. З одного боку, кожна нова ситуація вимагає прийняття рішення з урахуванням набутого досвіду. З іншого боку, вибір рішення (точніше, його наслідки) впливають на структуру сформованого раніше простору знань, тобто згідно з відомою формулою Байєса кожен наступний крок потребує корекції наявних знань і впливає на прийняття рішень у майбутньому. Підвищена особиста схильність до ризику може формуватися в процесі набуття позитивного життєвого досвіду в тих ситуаціях, коли ризикована поведінка була виправданою. Негативний життєвий досвід в аналогічних умовах сприяє вибору інших стратегій поведінки.

Простір ризику запропоновано представити наступним чином. Кожна імовірнісна модель описує певну множину спостережень X , де визначено розбиття $E(X)$, яке утворює множину випадкових подій [8, 9]. На цій множині задається невід'ємна функція P , що задовольняє відомим властивостям імовірнісної міри і визначає імовірність випадкових подій із $E(X)$. Множина спостережень X , множина випадкових подій $E(X)$ і ймовірнісна міра P , задана на множині $E(X)$, утворюють імовірнісний простір ризику (X, E, P) .

Факторами ризику можуть бути фактори довільної природи (фізичні, хімічні, генетичні, психологічні, соціальні тощо), які мають вплив на порушення гомеостазу екологічної системи, зокрема, стану здоров'я людини. Для цисельної оцінки достовірності відношень між впливом і його наслідками, встановлених на емпіричному рівні, застосовуються відомі методи математичної статистики, які дозволяють враховувати невизначеності, що виникають як при вимірюванні самих впливів, так і при оцінюванні залежності між впливом і ефектом.

Модель аналізу інформації. Імовірнісний простір експертних знань, визначений у [8], відображає семантичну організацію різних рівнів репрезентації (або категоризації) інформації. Такі рівні, як правило, змістовно поєднані між собою та визначаються ступенем спільності ознак, на основі яких проведено виділення категорій.

Отже, процес побудови простору експертних знань можна описати як послідовну розгортку невеликого числа інтегрованих показників у

сукупності більш конкретних характеристик, які можна безпосередньо вимірювати або оцінювати. Розмірність семантичного простору в межах окремої предметної області, зміст виявлених характеристик, характер взаємозв'язків між ними залежать від суб'єктивного знання даної предметної області (на рівні експертів або фахівців).

Імовірність, пов'язану з випадковим подією, бажано оцінювати в рамках вже побудованої системи знань (еталонних подій або прототипів). У більшості випадків системи еталонів будуються в процесі структуризації експериментальних даних, коли за значеннями окремих показників можна визначити ймовірність виникнення певної події та її небажаних наслідків. Відзначимо, що імовірнісна модель знань базується на сучасних уявленнях про взаємодію двох півкуль головного мозку людини. Спрощена модель аналізу і систематизації інформації, яка відображує особливості обміну даними між правою і лівою півкулями мозку, розглядається в роботі [10].

Основні етапи аналізу і структуризації інформації в імовірнісному просторі знань показані на рис. 1. Спочатку ми одержуємо інформацію, що зберігається в базах даних. Потім поетапно відтворюється процес аналітичної діяльності (тобто аналіз і структурування даних), і паралельно відбувається відображення виявлених структур (так званих когнітивних патернів) у вигляді візуальних образів. Кожен такий образ можна розглядати як шаблон або прецедент. Далі за допомогою експертних знань ми визначаємо імовірнісні характеристики для обраних шаблонів (зокрема, ризики, пов'язані з появою негативних подій). На наступному етапі структурована інформація передається до бази знань, де вона впорядковується відповідно з рівнями небезпеки або іншими критеріями, важливими для прийняття управлінських рішень.

У теоретичних дослідженнях суб'єктивний простір ризику можна побудувати «зверху», тобто спочатку визначаються найбільш узагальнені фактори ризику, які послідовно розгортаються як послідовність окремих показників, що надаються у вигляді кількісних оцінок. При дослідженні експериментальних даних процес відбувається в зворотному порядку, від конкретних вимірювань або оцінок до набору узагальнених імовірнісних характеристик.

Засоби когнітивного аналізу. До засобів когнітивного аналізу ризиків належать методи інтелектуального аналізу, структуризації та інтеграції даних (зокрема, методи виявлення латентних знань), засоби просторового аналізу інформації з використанням геоінформаційних технологій та різноманітні засоби когнітивної комп'ютерної графіки.

Методи Data Mining [11] можна досить умовно поділити на статистичні та кібернетичні методи дослідження. Статистичні методи включають методи багатовимірної статистики (в тому числі, регресійний,

факторний, дискримінантний і кластерний аналіз). До кібернетичного підходу належить машинне навчання, розпізнавання образів та побудова класифікацій, нейронні мережі, еволюційні алгоритми тощо. Крім того, Data Mining включає ряд технологій підтримки прийняття рішень, спрямованих на пошук прихованих закономірностей, які раніше практично не враховувались, але мають важливе значення для обґрунтування стратегічних рішень в різних сферах людської діяльності.

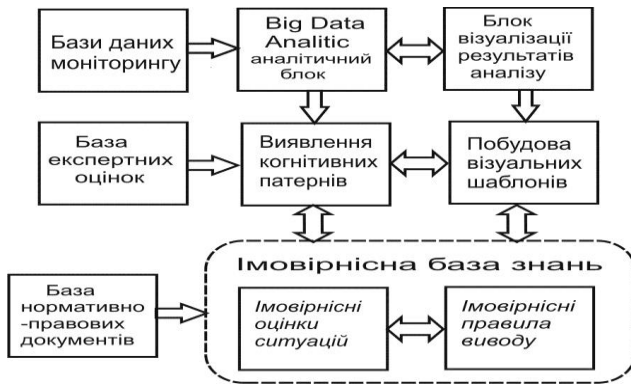


Рис. 1. Структура моделі аналізу знань

Інтелектуальний аналіз даних, або методи Data Mining (DM)

Методи інтеграції даних – це набір методів і засобів, спрямованих на інтегроване подання великих обсягів інформації, одержаних із різних джерел. Зокрема, в [10] аналізуються можливості аналізу та інтеграції даних з урахуванням семантичних аспектів багатовимірної інформації, які можна застосувати для побудови інтелектуальних систем прийняття управлінських рішень. До даного напрямку також можна віднести сучасні технології злиття даних (*data fusion*), видобутих із різних джерел із метою дослідження певного об'єкту або предметної області.

Просторовий аналіз даних охоплює методи та засоби геоінформаційних досліджень, спрямовані на структурний аналіз геопросторових даних з метою пошуку закономірностей та співвідношень у вихідних даних із врахуванням їх просторового розташування та топологічних відношень [12]. Просторовий аналіз оперує рядом різних методів, що комбінують обчислювальні, статистичні та візуальні засоби, орієнтовані на дослідження геометричної (або топологічної) структури багатовимірної інформації.

Виявлення латентних знань. Латентні, або приховані знання потребують особливих методів дослідження. В психології для виявлення латентних знань запропоновано використовувати методи експериментальної психосемантики, які вивчають структуру свідомості та рівень знань особистості на основі моделювання простору знань окремих фахівців [13, 14]. Серед великого різноманіття сучасних методів і стратегій аналізу даних окремо виділимо методи багатовимірної аналізу, спрямовані на виявлення латентних знань, тобто пошук лаконічного відображення найбільш суттєвих особливостей досліджуваної структури багатовимірних даних. Такі методи базуються на припущенні, що має бути невелике число провідних факторів, за допомогою яких можна досить точно охарактеризувати як вихідні показники аналізованих ситуацій, так і співвідношення між ними. Іноді такі чинники можна виділити серед первинних ознак, але частіше вони мають латентну природу, тобто їх можна описати (реконструювати) через окремі послідовності вихідних показників. Зокрема, такі комбінації можна виявити методами факторного аналізу і багатовимірної шкалювання [14, 15].

Методи візуалізації даних і знань – методи, програмні засоби і технології графічного представлення результатів аналізу великих даних у вигляді рисунків, карт, схем, діаграм або інших графічних образів (з використанням сучасних інтерактивних технологій і засобів анімації) для спрощення сприйняття, визначення змістовних характеристик, полегшення інтерпретації, виявлення окремих тенденцій тощо. Зокрема, для візуалізації простору знань бажано вибрати множину найбільш інформативних показників, які характеризують суттєві особливості вихідної інформації. Отже, виявлення латентних знань сприяє скороченню кількості ознак і зменшує розмірність досліджуваного простору знань, тобто суттєво спрощує візуальний аналіз багатовимірних даних.

Серед відомих способів визначення інформативних ознак можна назвати три окремі напрями дослідження:

- Вибір найбільш інформативних ознак з вихідної сукупності всіх показників.

- Формування вторинних ознак у вигляді лінійних або нелінійних комбінацій вихідних показників, які мають задовольняти певним критеріям інформативності.

- Побудова багатовимірних шкал, де вибір нового простору ознак здійснюється з урахуванням певних умов, зокрема, умови збереження відстаней або вимоги мінімізації для попарних відстаней між об'єктами.

Візуалізація багатовимірних даних має велике значення на перших етапах обробки і аналізу інформації. В першу чергу за обраним критерієм визначається відображення, яке забезпечує найбільш інформативні проєкції,

а потім візуальні образи вихідних даних можна відображувати на моніторі та застосовувати для підтримки прийняття рішень.

Отже, важливо обрати методи зниження розмірності, які з мінімальними похибками можуть відтворити структуру та особливості багатовимірної інформації. Відомо, що серед всіх лінійних перетворень таким вимогам відповідає метод головних компонент, що забезпечує найменше відхилення для суми відстаней між усіма парами обраних точок. Для нелінійних методів зниження розмірності аналогічну властивість можна довести лише для окремих алгоритмів багатовимірного шкалювання.

У загальному випадку нові координати бажано вибирати таким чином, щоб геометрична структура вихідних даних була максимально збережена згідно з певним критерієм $\Delta(z)$ для попарних відстаней. Зокрема, можна обрати

$$\Delta(z) = \sum_{i,j=1}^n d_{ij}^{\alpha} \left| d_{ij}(z) - d_{ij}^{\beta} \right|,$$

де d_{ij} – відстань між об'єктами в вихідному просторі; d_{ij}^{β} – відстань у просторі скороченої розмірності k ; α, β – параметри, що визначаються в межах конкретної задачі.

Тоді відповідний критерій $I_k(z)$ приймає значення величини, оберненої до ступеня викривлення вихідної конфігурації $\Delta(z)$

$$I_k(z) = \left[1 + \sum_{i,j=1}^n d_{ij}^{\alpha} \left| d_{ij}(z) - d_{ij}^{\beta} \right|^{\beta} \right]^{-1}.$$

Прийняття рішень. Для прийняття рішень в умовах ризику та невизначеності бажано додати заключний етап аналізу – співставлення результатів, одержаних на різних рівнях представлення знань. Зокрема, на основі наведених раніше міркувань можна виділити три основних рівня представлення знань для прийняття рішень.

На першому рівні вибір рішення здійснюється за значеннями окремих ознак (параметрів) або співвідношень між ними. Тобто розглядається система вихідних показників, які можна безпосередньо спостерігати, вимірювати або обчислювати на основі даних моніторингу. Першим рівнем знань можна обмежитися в тих випадках, коли серед таких показників маємо дві або три інформативні ознаки, за значеннями яких можна чітко ідентифікувати ситуацію. Більш поглиблений рівень представлення знань формують латентні показники, виявлені в результаті застосування багатовимірного аналізу даних. Представлення багатовимірної інформації в

просторі факторів має важливе значення в різних сферах дослідження для реконструкції суб'єктивних моделей знань.

Наступний рівень представлення знань можна визначити як рівень імовірнісних міркувань та висновків. У семантичному просторі когнітивних патернів будуються імовірнісні оцінки, які відповідають за змістовне значення досліджуваних подій [9]. Кожній ситуації відповідає потенційна оцінка ймовірності виникнення тих чи інших наслідків даної ситуації.

У загальному випадку для прийняття рішення бажано розглянути і прийняти до уваги інформацію, отриману на кожному з цих рівнів. Якщо результати, одержані на всіх рівнях, добре узгоджуються між собою, це підтверджує адекватність обраного рішення. Якщо виникають певні неузгодження, бажано провести додаткові дослідження із залученням компетентних експертів.

Модель знань у галузі ЯРБ. В задачах екологічної, енергетичної або радіаційної безпеки для інтегрованої оцінки стану безпеки енергетичного підприємства (зокрема, АЕС) запропоновано обрати ризики, які визначають рівень небезпеки та обсяг можливих збитків для досліджуваної множини небезпечних подій, що виникають внаслідок аварій або порушень нормальної роботи техногенних підприємств.

Більш детально розглянемо модель знань, розроблену для задач ядерної та радіаційної безпеки. Відзначимо, що для підвищення безпеки в галузі атомної енергетики структурування знань може бути корисним як для підтримки прийняття рішень, так і для удосконалення процесу навчання, оцінювання і контролю знань фахівців та керівного складу, що відповідають за безпечне обслуговування АЕС.

Модель знань забезпечує можливості для накопичення та систематизації досвіду, одержаного в процесі імовірнісного аналізу безпеки АЕС. Загальну структуру і окремі компоненти моделі розроблено в рамках розвитку та удосконалення інформаційних засобів підтримки прийняття рішень з метою підвищення безпеки АЕС та інших небезпечних підприємств, де використовується *ризико-орієнтований підхід* для обчислення імовірнісних показників ризиків на основі моніторингу стану безпеки [16, 17].

На рис. 2 схематично показана структура імовірнісної моделі знань, розроблена для аналізу і систематизації знань в області ядерної та радіаційної безпеки. Визначено основні компоненти інформаційно-аналітичного забезпечення, орієнтованого на виявлення і систематизацію знань, необхідних для безпечного обслуговування АЕС.

Модель включає блок імовірнісного аналізу безпеки, який можна розглядати як формальне представлення процесу накопичення досвіду. Велика кількість вихідних показників моніторингу безпеки об'єднана в три

блоки (моніторинг зовнішніх факторів, моніторинг стану обладнання, моніторинг порушень і помилок персоналу). За даними моніторингу і результатами аналізу експертних знань розраховуються імовірнісні оцінки (ризик) виникнення аварій та інцидентів для АЕС або інших підприємств ЯРБ.

Для прогнозування небезпечних ситуацій, викликаних зовнішніми факторами або іншими порушеннями в роботі енергетичних підприємств, імовірність небезпечних подій та очікувані втрати (обсяги збитків) бажано оцінювати за умов певних зовнішніх пошкоджень (попадання ракети, бомби, снаряда тощо) або порушень нормальної роботи в результаті некомпетентних дій персоналу, неякісного обслуговування, виникнення конфліктних ситуацій на фоні важких умов роботи. Такі оцінки будуються на основі формул Байєса для обчислення умовних імовірностей небезпечних подій. Наслідками таких подій може бути перевищення норм забруднення повітря, підвищення радіаційного фону до небезпечних рівнів тощо.



Рис. 2. Структура моделі знань для ЯРБ

На основі моделі, наведеної на рис. 2, можна формалізувати процес наповнення бази знань з ЯРБ, тобто накопичувати і систематизувати досвід роботи з аваріями та інцидентами, одержаний протягом багаторічних досліджень.

Додаткової уваги також потребує вивчення та удосконалення нормативно-правових актів щодо моніторингу та контролю безпеки атомних станцій, які регламентують основні заходи, спрямовані на підвищення

безпеки. В рамках цих документів необхідно оцінювати та регулювати стан безпеки атомних станцій, відповідність актуальних ризиків висунутим вимогам, а також розробку заходів для підвищення безпеки атомної енергетики в цілому [18, 19].

Підкреслимо також, що на законодавчому рівні (ст. 8 Закону України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку») затверджено, що під час розробки національних нормативних вимог з ядерної безпеки необхідно враховувати рекомендації міжнародних організацій в сфері використання ядерної енергії. Міжнародні вимоги з безпеки АЕС задекларовані в стандартах Міжнародної Агенції з Атомної Енергії (МАГАТЕ), міжнародних конвенціях, Директивах Європейського Союзу і референтних рівнях Західноєвропейської Асоціації Ядерних Регуляторів (WENRA) та керівництвах Європейської мережі організацій технічної підтримки (ETSON).

Висновки. Проаналізовано програмні документи і урядові постанови щодо зростаючих техногенних ризиків для природних систем та здоров'я населення за останній період, зокрема, з урахуванням загроз, що виникли за умов воєнного стану.

Представлено когнітивний підхід до аналізу даних моніторингу довкілля, спрямований на структурування інформаційних ресурсів та побудову моделі знань у галузі екологічної безпеки. Визначено алгоритмічні засоби подання знань і накопичення досвіду, придатні для програмної реалізації в системі інформаційної підтримки прийняття рішень щодо управління безпекою. Для систематизації та інтеграції набутого досвіду запропоновано модель подання знань, яка включає як результати аналізу даних моніторингу, так і ймовірнісні оцінки стану безпеки техногенних підприємств та прилеглих територій.

Розроблено структуру моделі знань для задач радіаційної та ядерної безпеки, яка систематизує набутий досвід та створює нові можливості для удосконалення розроблених раніше інформаційних та програмних засобів.

Використані інформаційні джерела:

1. Управление рисками в системах нормативного регулирования, ООН, Нью-Йорк – Женева, 2014. 126 с.

2. Указ Президента України 111/2021 від 23 березня 2021р. Режим доступу [https:// www.president.gov.ua/documents/1112021-37505](https://www.president.gov.ua/documents/1112021-37505)

3. Уряд схвалив законопроект, який запустить реформу державної системи моніторингу довкілля. Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/news/39129.html>

4. Забруднення повітря від російських бомбардувань: обсяги викидів та завдані збитки розраховуватимуть за спеціальною Методикою. Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/news/39148.html>

5. Андерсон Дж. Когнитивная психология. СПб. : Питер, 2002. 496 с.

6. Загоруйко Н. Г. Когнитивный анализ данных. Новосибирск : Акад. изд-во «ГЕО», 2012. 186 с.

7. Cognitive computing [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/cognitive-computing>, Tech Target Inc., 2022.

8. Артемчук В. А., Каменева И. П., Яцишин А. В. Специфика применения когнитивного анализа информации в задача обеспечения экологической безопасности // Электронное моделирование. 2017. Том 39, №6. С. 107–124.

9. Каменева И. П., Артемчук В. А., Яцишин А. В. Вероятностное моделирование экспертных знаний с использованием методов психосемантики // Электронное моделирование. 2019. Том 41, №2. С. 81–96.

10. Каменева И. П. Семантические аспекты процессов анализа и интеграции информации в интеллектуальных системах // Моделювання та інформаційні їх є технології : Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. Київ. 2018. Вип. 85. С. 52–60.

11. Дюк В., Самойленко А. Data Mining. СПб. : Питер, 2001. 366 с.

12. Путренко В.В. Системні основи інтелектуального аналізу геопросторових даних // Системні дослідження та інформаційні технології. 2015. №3. С. 20–33.

13. Eliciting latent knowledge [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://forum.effectivealtruism.org/events/77dk5f7QYq4xHDbun/eliciting-latent-knowledge-ai-alignment-speaker-series>

14. Петренко В. Ф. Основы психосемантики. М. : МГУ, 1997. 400 с.

15. Терехина А. Ю. Представление структуры знаний методами многомерного шкалирования. М. : ВИНТИ, 1988. 97 с.

16. Бегун В. В., Горбунов О. В., Каденко И. Н. и др. Вероятностный анализ безопасности атомных станций: Учебное пособие. К., 2000. 568 с.

17. Алимов В. Т., Тарасова Н. П. Техногенный риск: Анализ и оценка: учебное пособие для вузов. М., 2005. 119 с.

18. Положення про систему нормативно-правового регулювання в сфері використання ядерної енергії, ядерної та радіаційної безпеки, затверджене наказом Держатомрегулювання від 01.06.2004 №05.

19. Міжнародний режим ядерної безпеки [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.iaea.org/mizhnarodnyj-rezhym-yadernoyi-bezpeky>

**АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙНИХ ЗМІН МІНІМАЛЬНОЇ
ДОБОВОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ
НА ФОНІ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ**

**ANALYSIS OF CURRENT TREND CHANGES OF MINIMUM DAILY
AIR TEMPERATURE ON THE TERRITORY OF UKRAINE ON THE
BACKGROUND OF GLOBAL WARMING**

¹**Клок С. В.**, кандидат географічних наук, старший науковий співробітник відділу кліматичних досліджень та довгострокових прогнозів погоди,

²**Корнус А. О.**, кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри загальної та регіональної географії,

²**Корнус О. Г.**, кандидат географічних наук, доцент, завідувач кафедри загальної та регіональної географії, **Данильченко О. С.**, кандидат географічних наук, доцент, старший викладач кафедри загальної та регіональної географії

¹*Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, Україна,*

²*Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка, Україна*

¹**Klok S. V.**, Candidate of Geographical Sciences, Senior Research Fellow, Department of Climate Research and Long-Term Weather Forecasts,

²**Kornus A. O.**, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Regional and Regional Geography,

Kornus O. H., Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Regional and Regional Geography,

Danylchenko O. S., Associate Professor, Senior Lecturer of the Department of Regional and Regional Geography

¹*Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine*

²*Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko, Candidate of Geographical Sciences, Ukraine*

***Анотація.** Наведено порівняльний аналіз повторюваності тропічних ночей по 13 метеостанціям України за період спостережень 1976-2019 рр. Обрані станції: Вінниця, Житомир, Львів, Полтава, Херсон, Івано-Франківськ, Київ, Ковель, Нікополь, Харків, Одеса, Суми, Чернігів відносяться до різних фізико-географічних областей України. Названі*

метеостанції обрані таким чином, аби мати можливість проаналізувати не лише секторні, а й міжширотні відмінності екстремальних температур повітря. Отримані результати підтверджують, що підвищення температури повітря призводить до зростання мінімальних температур практично по всій території країни, що призвело до появи влітку екстремально високих мінімальних температур (явище тропічних ночей). Слід зазначити, що інтенсивне збільшення їх повторюваності на півдні, сході та у центрі країни відбулося ще з середини 90-х років минулого століття. Впродовж останніх десятиліть явище тропічних ночей досить стабільно почало спостерігатись і на заході України.

Abstract. *The paper presents a comparative analysis of the frequency of tropical nights for 13 weather stations in Ukraine for the observation period 1976-2019. Selected stations: Vinnytsia, Ivano-Frankivsk, Kyiv, Kovel, Nikopol, Kharkiv, Odesa, Sumy, Chernihiv, Poltava, Zhytomyr, Lviv and Kherson belong to different physical and geographical regions of Ukraine. The indicated weather stations are selected in such a way as to be able to analyze not only sectoral, but also interlatitudinal differences extremal air temperatures. The results obtained confirm that an increase of minimal air temperature is almost the entire territory of the country. It's leads to appear of extremally highly summer temperatures (tropical nights). It should be noted that an intensive increase in their frequency in the south, east and center of the country has occurred since the mid-1990s. In recent decades, the phenomenon of tropical nights has begun to be observed quite steadily in the western territories of Ukraine.*

Мінімальна температура повітря є важливою характеристикою, що визначає температурний режим навколишнього середовища. Зміни клімату та необхідність їх вивчення зумовили розробку різних індикаторів потепління. Серед них і екстремально висока мінімальна добова температура повітря, індекс якої отримав назву «тропічні ночі». Цей показник є важливим кліматичним індексом, запропонованим свого часу Всесвітньою Метеорологічною організацією (WMO) для виявлення екстремальних відхилень термічного режиму (мінімальної температури повітря) в умовах глобального потепління, їх узагальнення для значних територій або для Землі в цілому та проведення відповідного порівняльного аналізу [4, 7]. Нагадаємо, що тропічними вважаються ночі, коли мінімальна температура повітря перевищує 20°C.

Тропічні ночі раніше спостерігались, як правило, в тропічних широтах, проте у зв'язку з глобальним потеплінням, впродовж останніх десятиліть вони відзначаються в більш високих широтах – збільшується їх кількість або ж вони фіксуються там, де раніше таких явищ не було взагалі

[1, 2]. Слід зазначити, що тропічні ночі, зокрема збільшення їх інтенсивності та повторюваності, певним чином впливають на здоров'я та життєдіяльність людини, можуть створювати негативні стресові теплові навантаження на її організм [1, 2, 4, 7].

У 2007 році Міжурядова група експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) – міжнародний орган, який об'єднує тисячі вчених із 130 країн світу – представила свій Четвертий оціночний звіт, в якому містяться узагальнені висновки про минулі й нинішні кліматичні зміни, їх вплив на природу і людину, а також про можливі заходи з протидії таким змінам. У цій Доповіді говориться, що з 90%-ною імовірністю зміни клімату, які ми зараз спостерігаємо, пов'язані з діяльністю людини.

Антропогенне походження сучасних кліматичних змін, зокрема, підтверджують палеокліматичні дослідження, що ґрунтуються на аналізі вмісту парникових газів в бульбашках повітря, що замерзли в льоді. Вони показують, що такої концентрації CO₂, як зараз, не було за останні 650 000 років (а за ці роки відбувалося не одне потепління нашої планети). До того ж, у порівнянні з доіндустріальною епохою (1750 рік) концентрація вуглекислого газу в атмосфері зросла на третину. Сучасні глобальні концентрації метану і оксиду азоту також істотно перевищили доіндустріальні значення. Власне, збільшення частоти та тривалості тропічних ночей є одним із наслідків названих вище кліматичних змін.

Згідно з перспективними оцінками [2], приземна температура повітря зросте протягом XXI століття за всіх розглянутих сценаріїв викидів. Цілком імовірно, що хвилі тепла наступатимуть більш часто і будуть тривалішими, і що у багатьох регіонах екстремальні опади стануть інтенсивнішими та частішими. Як і раніше, в зимовий час в окремих випадках відзначатимуться екстремально низькі температури. Триватимуть процеси потепління та закислення океану й підвищення середнього глобального рівня моря. Визначено, що з підвищенням середніх глобальних температур, над більшою частиною поверхні суші в добовому і сезонному часових масштабах частіше спостерігатимуться екстремально високі температури, які формуватимуться за певних синоптичних умов [3], і рідше – екстремально низькі температури.

Метою даної роботи є аналіз частоти й повторюваності тропічних ночей на окремих метеостанціях України, як одного з індикаторів кліматичних змін. Крім власне аналізу, до завдань дослідження входила побудова та аналіз лінійних трендів часового розподілу та інтенсивності тропічних ночей на обраних станціях.

У даному розділі наведено порівняльний аналіз повторюваності тропічних ночей, зафіксованих по 13 метеостанціям України за період спостережень 1976-2019 рр. Обрані станції Полтава (49,5°N, 34,6°E), Житомир (50,2°N, 28,6°E), Львів (49,8°N, 24,0°E), Одеса (46,5°N, 30,7°E),

Суми (50,9°N, 34,7°E), Харків (49,9°N, 36,6°E), Нікополь (47,6°N, 34,4°E), Ковель (51,2°N, 24,7°E), Київ (50,4°N, 30,6°E), Івано-Франківськ (49,0°N, 24,4°E), Вінниця (49,2°N, 28,6°E), Чернігів (51,4°N, 31,1°E) та Херсон (46,6°N, 32,6°E).

Як бачимо, названі станції розташовані по всіх регіонах країни, що дає можливість говорити про просторовий розподіл та тенденції тропічних ночей в масштабах всієї України.

У роботі використано архів даних спостережень за мінімальною температурою повітря (табл. 1). Цікаво відмітити, що мінімальні екстремуми спостерігались досить давно – переважно у 80-х роках минулого століття, а максимуми – у першому десятиріччі поточного.

Таблиця 1. Характеристики мінімальної температури повітря по станціям України за період 1991-2019 рр.

Характеристика спостережень			Середній		Абсолютний	
Пункт	спостереження		максимум	мінімум	максимум	мінімум
	кількість	період	дата	дата	дата	дата
Полтава	16071	01.01.1976 - 31.12.2019	<u>19,6°C</u> 07.2010	<u>-18,6°C</u> 01.1987	<u>25,3°C</u> 07.1981	<u>-29,2°C</u> 01.1987
Житомир	16041	01.01.1976 - 31.12.2019	<u>17,2°C</u> 07.2010	<u>-20,1°C</u> 01.1987	<u>23,2°C</u> 08.2012	<u>-33,3°C</u> 01.1987
Львів	16071	01.01.1976 - 31.12.2019	<u>16,0°C</u> 07.2012	<u>-15,6°C</u> 02.1985	<u>21,7°C</u> 07.2007	<u>-28,5°C</u> 02.1985
Київ	16071	01.01.1976 - 31.12.2019	<u>19,5°C</u> 07.2001	<u>-17,6°C</u> 01.1987	<u>24,9°C</u> 07.2010	<u>-27,8°C</u> 01.1987
Херсон	16071	01.01.1976 - 31.12.2019	<u>19,6°C</u> 07.2002	<u>-15,9°C</u> 02.1985	<u>25,2°C</u> 08.2017	<u>-26,3°C</u> 01.2006
Чернігів	16071	01.01.1976 - 31.12.2019	<u>18,5°C</u> 07.2010	<u>-21,6°C</u> 01.1987	<u>22,9°C</u> 07.1999	<u>-35,9°C</u> 01.1987

Повторюваність тропічних ночей. Із метою просторового аналізу розподілу максимумів мінімальної температури повітря по території України проаналізовано коефіцієнти кореляції між середньою максимальною температурою повітря по території України та середньою максимальною температурою повітря на окремих станціях у липні за відповідний період.

Як бачимо, розподіл та тенденції мінімальної температури повітря по території України суттєво відрізняються в залежності від регіону. Встановлено, що вектор розподілу максимумів мінімальної температури повітря влітку має чітко виражену південну складову, спрямовану на північ країни, з незначним її зміщенням на північний захід, що продемонстровано на рис. 1.

Важливо відмітити факт того, що східні та північно-східні території країни є найбільш активними в плані змін мінімальної температури повітря, особливо це стосується холодного періоду року.

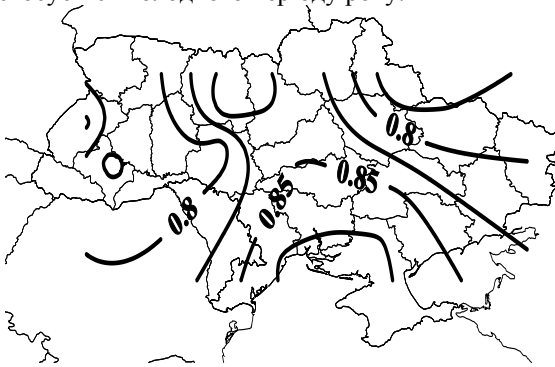


Рис. 1. Розподіл коефіцієнта кореляції між середньою максимальною температурою повітря по території України та середньою максимальною температурою повітря на окремих станціях у липні за період 1976-2019 рр. (укладено авторами)

У перехідні сезони року спостерігається збільшення активності змін мінімальної температури повітря західних та північно-західних областей, що пов'язано з активізацією відповідних циркуляційних процесів (рис. 2). Як бачимо, до таких процесів належить адвекція теплих повітряних мас з північного сходу (рис. 2а) та сходу (рис. 2б), повторюваність випадків якої збільшується.

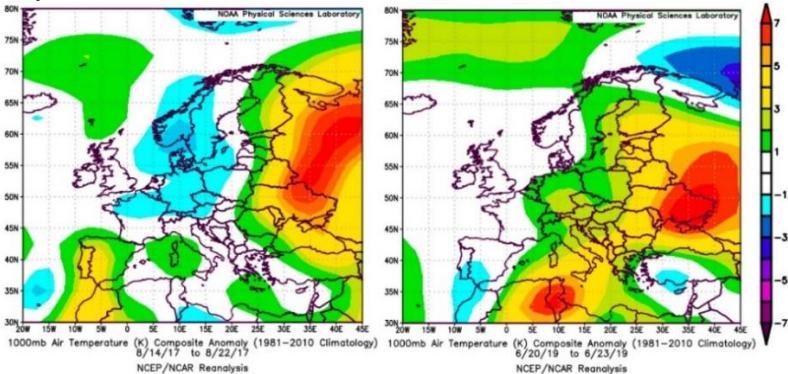


Рис. 2. Позитивні аномалії приземної мінімальної температури повітря на сході України за період з 14.08. по 22.08.2017 р. а) та з 20.06. по 23.06.2019 р. б) порівняно з кліматичною нормою 1981-2010 рр. [5]

Наступний рис. 3 демонструє аномалії розподілу кількості днів, коли спостерігалось явище тропічної ночі на обраних станціях. Слід уточнити, під аномаліями в даному випадку ми розуміємо різницю кількості випадків досліджуваного явища за періоди спостережень 1976-1997 та 1998-2019 рр. Позитивні значення, отримані нами за результатами розрахунків, свідчать про те, що кількість тропічних ночей зростала, практично, на всій території (рис. 3).

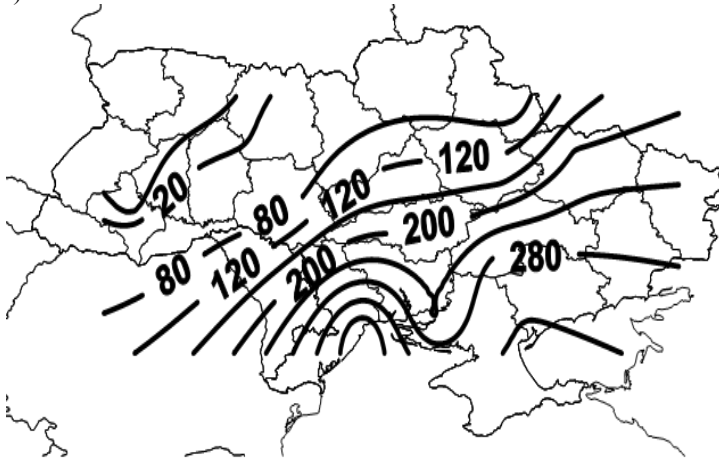


Рис. 3. Аномалії розподілу тропічних ночей за періоди спостережень 1976-1997 та 1998-2019 рр. (укладено авторами)

Цілком зрозуміло, що зростання кількості випадків тропічних ночей на півдні країни (до 300 випадків) є значно суттєвішим зростання їх кількості на північному заході (до 20 випадків).

Проведений аналіз повторюваності тропічних ночей по окремим пунктам спостережень демонструє зростання їх кількості на всіх станціях (рис. 4).

Слід зазначити, що на метеостанції Херсон (південь країни) збільшення кількості тропічних ночей є максимальним. У центрі України (метеостанції Київ і Полтава) тренд дещо менший, проте це явище тут спостерігалось впродовж всього періоду, що аналізується. На заході країни, що представлений метеостанціями Львів та Житомир, а також на півночі (метеостанція Чернігів) явища до середини 90-х років минулого століття або ж не спостерігалось взагалі, або ж воно відмічалось нечасто. Починаючи з 1995 року маємо збільшення кількості тропічних ночей на всіх станціях

Україні, включаючи Львів, де вони зараз фіксуються стабільно практично кожного року.

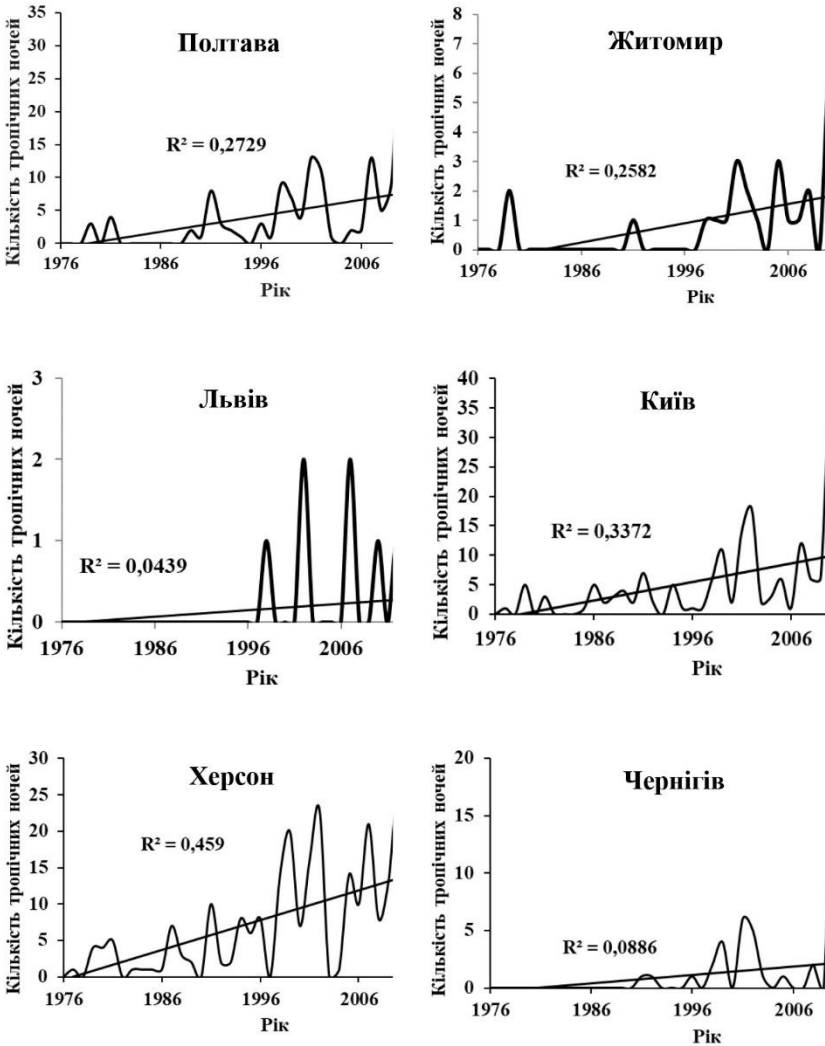


Рис. 4. Розподіл випадків тропічних ночей по деяким станціям України за період спостережень 1991-2019 рр. (укладено авторами)

Окрім аналізу повторюваності тропічних ночей, у даній роботі проведено аналіз лінійних трендів їх розподілу на зазначених станціях, що відображено на наступному рис. 5. Конфігурація ізоліній на обох (рис. 3 і рис. 5) рисунках дуже схожа. Тобто в районах із великою кількістю тропічних ночей (південь України) спостерігаються і стрімкіші тенденції до збільшення їх числа.

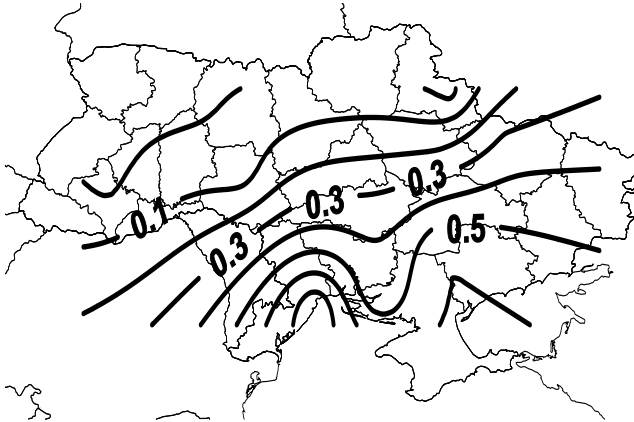


Рис. 5. Коефіцієнти лінійних трендів розподілу тропічних ночей по території України за період 1976-2019 рр. (укладено авторами)

Окрім аналізу повторюваності тропічних ночей, нами проведено аналіз лінійних трендів їх розподілу на зазначених станціях. Характеристики лінійних трендів і їх достовірність наведені у табл. 2.

Таблиця 2. Характеристики лінійних трендів розподілу тропічних ночей по станціям України за період 1991-2019 рр. (розраховано авторами)

Пункт	Тренд, днів/44 роки	Похибка, днів	Коефіцієнт детермінації	F-статистика
Полтава	0,24	0,06	0,27	15,8
Житомир	0,06	0,02	0,25	14,6
Львів	0,008	0,006	0,04	1,9
Київ	0,31	0,07	0,34	21,4
Херсон	0,41	0,07	0,46	35,6
Чернігів	0,07	0,04	0,09	4,1

Найбільший позитивний тренд, цілком очікувано, зафіксовано у Херсоні – 0,41 день / 44 роки. У Полтаві та Києві – 0,24 та 0,31 відповідно.

Чернігів, Житомир і Львів мають найменші тренди – 0,07, 0,06 і 0,01 день / 44 роки. Слід зазначити, що нами було отримано статистично значущі тренди, що підтверджується відповідними значеннями F-статистики. Лише по Львову результати не є статистично значущими, що можна пояснити незначною тривалістю ряду спостережень з наявними випадками тропічних ночей.

Інтенсивність тропічних ночей. У даному дослідженні під інтенсивністю тропічних ночей ми розуміємо збільшення кількості випадків температур повітря вище окремих порогових значень. Зокрема аналізувались випадки, коли температура повітря вночі піднімалась до позначок 20°C та 23°C.

Спостерігається стабільне збільшення випадків з мінімальними добовими температурами 20 °C і вище, а щодо порогу 23 °C, то ці значення по метеостанції Херсон в нічний час почали з'являтися з середини 90-х років минулого століття і їх кількість на сьогодні є постійною – рис. 6.

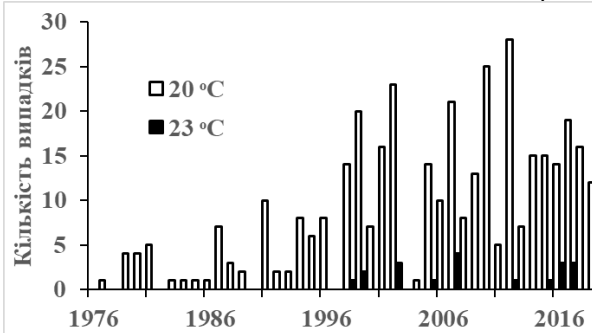


Рис. 6. Розподіл випадків тропічних ночей з температурами 20°C та 23°C по метеостанції Херсон за період спостережень 1976-2019 рр. (укладено авторами)

Відтак можна зробити висновок, що зі збільшенням повторюваності явища тропічних ночей, має місце і збільшення їх інтенсивності.

Отримані результати цілком відповідають загальновідомим трендам глобального потепління. Спостерігається прямо пропорційна залежність: підвищення температури повітря призводить до збільшення кількості тропічних ночей практично по всій території України. Слід зазначити, що інтенсивне збільшення їх повторюваності на сході та у центрі країни відбулося іще з середини 90-х років минулого століття. Впродовж останніх десятиліть явище тропічних ночей досить стабільно почало спостерігатись і у західних регіонах держави.

Крім того, слід зазначити, що явище тропічних ночей упродовж останніх років все частіше спостерігається в період адвекції жаркого повітря зі сходу, в моменти існування певних блокуючих циркуляційних процесів (коли жарка погода встановлюється на період до декількох тижнів і навіть більше) – це питання потребує додаткового вивчення. Зі збільшенням повторюваності тропічних ночей, має місце і зростання їх інтенсивності.

Використані інформаційні джерела:

1. Корнус А. О., Клок С. В., Пономарьов О. М. Тропічні ночі у місті Суми // Наукові записки Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка. Географічні науки. 2021. Т. 2, Вип. 3. С. 3–8. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6437507>

2. МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р. К. Пачаури и Л. А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 163 с.

3. Уманська О. В., Боровська Г. О., Хохлов В. М. Вплив синоптичної ситуації на виникнення спекотних та холодних погодних умов в Україні // Український гідрометеорологічний журнал. 2019. №24. С. 33–40. doi: <https://doi.org/10.31481/uhmj.24.2019.03>

4. Элизбарашвили Э. Ш., Элизбарашвили Ш.Э., Челидзе Н.З., Горгишели В.Э. Сравнительный анализ статистических характеристик тропических ночей для различных регионов Передней и Южной Азии // Труды Института гидрометеорологии Грузинского технического университета. 2017. Вып. 124, С. 55–59.

5. Daily Mean Composites / Physical Sciences Laboratory. URL: <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>

6. ETCCDI Climate Change Indices. URL: <http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml>

7. Peterson T.C. Climate Change Indices. WMO Bulletin, 2005, 54 (2), 83–86.

**НАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ НЕСТАЧІ БІОДОБРИВ У
РОСЛИННИЦТВІ, НАКОПИЧЕННЯ ОСАДІВ НА КОМУНАЛЬНИХ
ОЧИСНИХ СПОРУДАХ, ЇХ ПРИЧИНИ І КОНЦЕПТУАЛЬНІ
ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО УТИЛІЗАЦІЇ ВОЛОГОЇ БІОМАСИ**

**URGENT PROBLEMS OF LACK OF BIODERATORS IN
VEGETABLES, ACCUMULATION OF SEDIMENT ON MUNICIPAL
TREATMENT FACILITIES, THEIR CAUSES AND
CONCEPTUAL CONGENTAL**

Кремньов В.О., завідувач лабораторії, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, **Тимошенко А.**, доктор технічних наук, **Беляєв Г.В.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, **Беляєва І.П.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, **Жуков К.Л.**, головний технолог, **Корбут Н.С.**, молодший науковий співробітник, **Стецюк В.Г.**, молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна

Kremniev V., Head of the laboratory, **Timoshchenko A.**, Doctor of Technical Sciences., Leading researcher, **Belyaev G.**, PhD, Senior Researcher, **Bieliaieva I.**, PhD, Senior Researcher, **Zhukov K.**, Chief technologist, **Korbut N.**, Junior Researcher, **Stetsuk V.**, Junior Researcher

*Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of
Ukraine, Ukraine*

Анотація.

Робота спрямована на з'ясування причин багаторазового зниження застосування добрив біологічного походження у вітчизняному рослинництві, що вкрай негативно позначається на природній родючості ґрунтів, із одного боку, і надвисокій долі застосування синтетичних добрив – із другого. На їх виробництво витрачається природний газ, як сировина і енергоносіє, що відчутно загострює проблему залежності України від його імпорту. Водночас, на комунальних очисних спорудах (КОС) урбанізованих територій відбувається багаторічне несанкціоноване накопичення мулових осадів, які за проектом спорудження КОС належало піддавати концентруванню до вологості $\leq 80\%$ з переведенням у твердо-дисперсний стан (сипкий) за рахунок енергії доквілля. Після цього концентровані мулові осади належало вивозити в сільську місцевість і використовувати у якості біодобрив. Ця система була порушена, що

привело з одного боку – до виведення з господарчого застосування таких добрив, а іншого – поставила КОС на край непрацездатності через накопичення осадів. У роботі запропоновані основні концептуальні положення щодо організації скоординованої ефективної утилізації різноманітних вологих відходів біологічного походження сумісно з муловими осадами.

Abstract. *The paper is aimed at finding out the reasons for the multiple reduction in the use of fertilizers of biological origin in domestic crop production, which has a very negative impact on natural soil fertility, on the one hand, and the high share of synthetic fertilizers - on the other. Their production uses natural gas as raw materials and energy source, which significantly exacerbates the problem of Ukraine's dependence on its imports. At the same time, for many years there has been an unauthorized accumulation of sludge at municipal sewage treatment plants, which according to the sewage treatment plant project was to be dehydrated to a moisture content of $\leq 80\%$ due to the impact of environmental energy. After that, the concentrated sludge was to be exported to the countryside and used as biofertilizers. This system was violated, which led, on the one hand, to the cessation of the use of such fertilizers, and on the other - put sewage treatment plants on the verge of efficiency due to the accumulation of sludge. The paper proposes the main conceptual provisions for the organization of coordinated efficient disposal of various wet wastes of biological origin in conjunction with sludge.*

Україні на сьогоднішній день залучена у промисловий обіг лише мала частина вторинних ресурсів біомаси (відходів агропромислового комплексу, осадів стічних вод, опалого листя, неліквідної деревини [1], відходів овочесховищ, харчових відходів підприємств торгівлі і громадського харчування тощо). Відходи, що не залучені, породжують екологічні та санітарні проблеми, а також утворюють викиди у довкілля парникових газів.

Разом із тим, відходи біомаси можуть служити цінною сировиною для виробництва біопалива, біодобрив та кормів.

Зокрема, за розрахунками фахівців ІТТФ НАН України, залучення до господарського обігу незадіяних в Україні відходів біомаси дозволяє виробляти не менш 6 млн. тонн компостів або до 3 млн. тонн гранульованих добрив, що забезпечить добривами до 3 млн. га орних земель, а також замінити біопаливом природний газ в об'ємі не менш ніж 10 млрд. м куб. на рік [2].

Основною причиною малих обсягів використання відходів біомаси у якості сировини є високий вміст в них вологи. На 1 т органічної речовини у їх складі припадає 3-5 тонн води, яка у даній ситуації є баластом, а також

створює сприятливе вологе середовище для біологічних процесів деградації органічних речовин. Така деградація знецінює сировину та супроводжується викидами парникових газів. Без зневоднення і гранулювання перевезення такої сировини на відстань більше 5 км не рентабельно, а тривале зберігання неможливе.

Тобто, зневоднення сировини вирішує дві задачі: усуває баласт при перевезенні та стабілізує біологічний стан сировини (припиняє біологічні процеси розвитку мікроорганізмів).

Традиційним способом зневоднення та стабілізації сировини є термічна сушка, а способом гранулювання – «сухе» пресування. У якості енергоносіїв для сушіння та гранулювання біомаси традиційно витрачаються природний газ, нафтопродукти, вугілля та електрична енергія, але це призводить до високої собівартості продукції. Іншим способом стабілізації стану вологої біомаси є компостування, але компостування біомаси традиційними методами займає багато часу (до 8 місяців) та не забезпечує стабільної якості готової продукції (компостів).

Проблеми недовнесення біодобрив у рослинництві. Україна посідає чи не останнє місце у Європі щодо застосування у рослинництві біодобрив. Це тим більш прикро, якщо взяти до уваги величезне значення рослинництва для суспільного господарства, а також залежність країни від імпорту природного газу, який використовується при виробництві синтетичних добрив у двох напрямках, як енергоносіїв і як сировина для синтезу аміаку. Отже, виробництво синтетичних добрив є потужним споживачем природного газу і суттєво загострює проблему залежності від його імпорту.

Зауважимо, що впродовж останніх десятиріч встановилась стійка негативна тенденція зниження долі біодобрив у рослинництві.

Так, за часів колишнього СРСР доля добрив біологічного походження у перерахунку на НРК від загальної кількості становила у середньому 45% (у Європі приблизно 60%), а станом на сьогодні – нижче 1%. Відповідно, відбулося значне зниження вмісту гумусу в орних землях.

Щодо розвитку органічного виробництва сільгосппродукції, то Україна відстає від країн-лідерів (Австралія) у 33 рази, а від країн аутсайдерів – у 4,7 рази.

У чому причини багаторазового зниження застосування добрив біологічного походження? Їх декілька; розглянемо це питання докладніше.

Відбулися значні зміни у структурі тваринництва, відходи якого традиційно забезпечували постачання гною від утримання великої рогатої худоби (ВРХ) на підстилці. Ці відходи здебільшого утворювались на фермах з обмеженою кількістю худоби, перевозилися на відносно незначну відстань, піддавались компостуванню традиційним способом на краю поля протягом 8 місяців, а в подальшому розподілялись на полі.

За останні десятиліття тваринництво докорінно змінилося, як кількісно, так і якісно: багаторазово зменшилася кількість поголів'я ВРХ, а водночас на зміну багатьом невеликим фермам прийшли поодинокі надпотужні молочні комплекси і відгодовувальні господарства. Багаторазово збільшилося поголів'я птиці, як м'ясного, так і яєчного напрямків. Ця підгалузь також на сьогодні організована у вигляді підприємств, вельми великої одиничної потужності, що не характерно для розвинених європейських країн.

Велика одинична потужність підприємств тваринництва характерна для України не є випадковим явищем, а зумовлена прагненням до зниження питомої собівартості продукції, що дійсно досягається за такої структури виробництва. Але, водночас, це призводить до величезної концентрації відходів на незначній території, що робить їх утилізацію вельми складною і капітаоемною задачею. Саме це обмежує одиничну потужність підприємств тваринництва у розвинених країнах Європи, для яких є характерним досить суворе екологічне законодавство. Наша вітчизняна практика призводить до псування маси ресурсоцінних відходів з вельми негативними наслідками щодо екології, як локальної, так і глобальної.

Локально має місце забруднення водних ресурсів, розмноження небажаної мікрофлори, а глобально при деградації відходів утворюється у великій кількості двоокис вуглецю (завдяки діяльності аеробної мікрофлори) і займісті гази: метан та ін. (через діяльність анаеробної мікрофлори). Крім того не утилізовані відходи, що накопичуються, призводять до соціального напруження через дуже неприємні запахи, які розповсюджуються на значні відстані від потужних підприємств тваринництва.

Таким чином, склалася ситуація, для якої характерно водночас:

- значне зниження загальної кількості ресурсоцінних відходів – сировини для виробництва органічних добрив через занепад тваринництва;
- велика їх концентрація на поодиноких потужних підприємствах тваринництва, що унеможливує використання традиційних екстенсивних технологій підготовки із них органічних добрив.

Ще одна причина припинення виробництва добрив біологічного походження полягає у багаторазовому подорожчання природного газу і інших викопних вуглеводнів. Так, численні в минулому виробництва сушки безпідстилкового курячого посліду, який у сухому гранульованому вигляді є готовим добривом, були зупинені з огляду на те, що для одержання 1 т сухих добрив необхідно випарити близько 3 т води, що супроводжується відповідними витратами викопних вуглеводнів.

Проблеми комунальних очисних споруд. Абсолютна більшість населених пунктів України облаштована станціями очищення комунальних стічних вод.

Майже всі станції очищення стоків були побудовані декілька десятиліть тому і на момент їх будівництва могли вважатися такими, що відповідали світовому рівню техніки у цій галузі. На сьогодні, майже всі вони є морально застарілими, а крім того потребують ремонту задля підтримки їх працездатності. Більшість очисних споруд мають повну схему очищення стічних вод і їх якість перед поверненням у довкілля є, в цілому, задовільною.

Теза про моральну застарілість базується на таких міркуваннях: всі очисні споруди належать до «відкритого типу», що призводить до розповсюдження неприємних запахів, а у розвинених країнах використовують споруди закритого типу; всі очисні споруди облаштовані муловими майданчиками різних конструкцій, звідкіля води відводяться у довкілля трьома шляхами: зливом з поверхні у природні водоймища, фільтрацією у ґрунт через шар щебеню та випаровуванням; при цьому мулові майданчики займають значну площу на околиці населених пунктів.

На сьогодні, у розвинених країнах мулові майданчики (мулові карти) не використовують, а землі, що їх вони займали у минулому, піддано рекультивациі і повернено до господарського використання. Функцію, яку виконували мулові майданчики, а саме, зниження вологості осадів від 96÷98% до 70÷80% покладено на систему обробки флокулянтами і механічного відокремлення рідини за допомогою різноманітних сепараційних пристроїв (фільтрпресів, центрифуг, деканторів тощо).

На очисних спорудах України такі системи, як правило, відсутні, а в деяких випадках їх наявності – не експлуатуються. Щодо потужності очисних споруд, то за станом на сьогодні, вони у більшості випадків мають істотні резерви. Це напряму зумовлено занепадом промисловості і, відповідно, багаторазовим зменшенням промислових стоків, які, здебільшого, після первинного очищення на самих підприємствах потрапляли на КОС.

Інша ситуація склалася лише в м. Київ та декількох обласних центрах, де паралельно зі зменшенням промислових стоків, через міграцію за останні роки, зростає чисельність мешканців і загальний об'єм стоків не знижується. Крім згаданих недоліків галузі очищення стічних вод (застарілість технологічного процесу та зношеності основних фондів, які, як мінімум, потребують ремонту) на всіх без виключення очисних спорудах практикується системне порушення організації технологічного процесу – осадки стічних вод не видаляються протягом декількох десятків років. Це призвело до накопичення на мулових майданчиках величезної кількості

застарілих осадів. Мулові карти із технологічних споруд періодичної дії, як вони були запроєктовані і раніше використовувались, поступово перетворилися на своєрідні могильники – техногенні родовища, так званого, детриту (суміші мінеральних і частково розкладених біологічних компонентів). Така багаторічна практика призвела у ряді населених пунктів до дуже напруженої ситуації, яка ставить очисну споруду на край непрацездатності через відсутність технічної можливості до подальшого накопичення осадів.

Описана хибна практика склалася з наступних причин. За проектом мулові майданчики, це споруди періодичної дії, які після завершення циклу необхідно повністю вивантажувати, що і означає готовність до наступного циклу. Отже, за проектом муловий майданчик (незалежно від його конструктивного різновиду) на початку циклу заливається двома рідинно-плинними двофазними сумішами: надлишковим активним мулом і неперевродженим сирим осадом: надлишковий активний мул утворюється у аеротенках і являє собою високовологу суміш (~ 98%), суцільна фаза якої являє собою істинний водний розчин, а дисперсна тверда фаза представлена колоїдальними частками рідини, які з суцільною фазою утворюють колоїдний розчин органічних речовин, сфероїдами рідини, які утворюють із суцільною фазою емульсію та твердими частками, які утворюють сумісно з суцільною фазою суспензію [3].

Отже, надлишковий мул являє собою складну рідинно-плинну систему з суцільною фазою у вигляді водного розчину, у якому знаходиться дисперсна фаза у вигляді колоїдних і емульсійних рідинних часток і твердих часток суспензії. Значна частина вказаних елементів поєднана фізичними зв'язками (гелієва структура), що зумовлює реологічні властивості описаної двофазної системи і практично унеможливує її сепарацію без використання коагулянтів чи флокулянтів.

У складі абсолютно сухої речовини надлишкового активного мулу знаходиться більше 95% біогенних займистих речовин, решта – мінеральна складова. У біологічному сенсі активний надлишковий мул, який потрапляє на муловий майданчик – є біоценоз зоогенних угруповань (колоній бактерій, дощових черв'яків і найпростіших організмів), що беруть участь у очищенні стічних вод біологічним методом, який застосований на здатності деяких видів мікроорганізмів у відповідних умовах використовувати забруднюючі речовини стічних вод задля свого споживання.

У розвинених країнах масово вдалися до практики знищення осадів. Частково зневоднений осад піддавався висушуванню і спалюванню з використанням значної кількості викопних вуглеводнів (палива). У розвинених країнах було впроваджено велику кількість різноманітних технологій сушіння і спалювання. Слід зауважити, що сам процес

спалювання висушеного осаду також спричиняє тиск на довкілля через утворення оксидів азоту та інших небажаних складових у газоподібних викидах.

Значним технічним досягненням вважається система створена у Петербурзі, яка не використовує додаткового палива.

В Україні, як і на всьому пострадянському просторі, в ці роки спричинився період переходу до ринкових відносин. Нові країни переживали економічні труднощі, соціальне напруження і тому вимушено вдалися до найпростішого виходу – почали накопичувати осади на мулових майданчиках, поступово перетворюючи їх на могильники застарілих осадів. Це дало змогу відтермінувати принципове вирішення питання. Як вже наголошувалось раніше, така хибна практика виявилась можливою через занепад промисловості і відповідне зменшення надходження промислових стоків. Так вдалося протриматися декілька десятків років. Але на сьогодні цей резерв вичерпано, мулові майданчики заповнені. Виникла нагальна потреба видаляти додаткові осади, що надходять протягом кожного року. Тобто, мулові майданчики відповідно до проекту протягом першого десятиліття після їх побудови і введення в експлуатацію виконували функцію доведення їх маси від вологості 96-98% до вологості 70-80%, а також біологічного знешкодження органічної речовини, яка потрапляла на мулові майданчики з неперебродженим сирим осадом із установок відокремлення мінеральної складової фізико-хімічними та біологічними методами. Суха речовина цих осадів здебільшого складається із важких складових (піску, решток кісток, фрагментів скла тощо), але на поверхні мінеральних часток знаходилась незначна кількість органічних речовин. Під час перебування на муловому майданчику ці органічні речовини входили в контакт з біологічно-активним надлишковим мулом, який надходив із систем аеробного біологічного очищення (в умовах аерації). Під час тривалого перебування на муловому майданчику (1-3 роки в залежності від погодних умов) непереброджена органічна речовина знешкоджувалась.

За час перебування на майданчику товщина шару осадів в залежності від конструкції мулової карти знижувалась в декілька разів. На початку робочого циклу осади являли собою текуче середовище – дисперсію з рідинною суцільною фазою. Ця речовина була здатна переміщуватись з допомогою насосів чи самопливом. Наприкінці робочого циклу вміст води в осадах знижувався приблизно у 8 разів і маса набувала властивостей твердого дисперсного високовологого слабосипучого матеріалу. Цей матеріал піддавався пересуванню бульдозерами та завантаженню у самоскиди за допомогою екскаваторів чи інших завантажувачів. Муловий майданчик повністю звільнявся від концентрованих осадів і вважався підготовленим до початку наступного циклу. Завантажений у самоскиди

концентрований осад видалявся з території очисної споруди для використання у якості добрива.

Наприкінці 70-х – початку 80-х років минулого століття у всьому світі було припинено використання концентрованих осадів у якості добрив через надмірний вміст важких металів, на що раніш не звертали уваги. При цьому у розвинених країнах концентровані осади почали знищувати, а на всьому пострадянському просторі – накопичувати. В останні роки в світі почалося повернення до використання концентрованих осадів у якості добрив, але якщо раніше вони вважалися добривом, готовим до використання, то на сьогодні – використовуються лише у якості складової сумісно з іншими наповнювачами і додержанням нормативних вимог щодо вмісту важких металів у добривах. Поступово було з'ясовано, що вміст важких металів у сухій речовині осадів КОС є вельми варіабельним і може на різних урбанізованих територіях відрізнятися у декілька разів. Це в основному залежить від особливостей місцевої промисловості стічної води від якої після попереднього очищення на підприємствах потрапляють на КОС.

На сьогодні, наприклад, у Франції використання осадів у якості складової досягло 60% від їх загальної кількості. Росія також активно повертається до використання концентрованих осадів. Так, Уряд м. Москва в 2008 р. прийняв постанову про затвердження методичних рекомендацій щодо виготовлення і використання за призначенням біокомпостів на основі осадів стічних вод із різноманітними наповнювачами.

В Україні у 2013 р. затверджені вимоги до добрив різного призначення на основі осадів із стічних вод (ДСТУ 7369-2013). Слід відзначити, що провідні українські вчені-агрохіміки стверджують, що важкі метали за умов оптимального вмісту у складі добрив підвищують їх якість. Отже, доходимо висновку, що відходи вологої біомаси, які утворюються у сільській місцевості і на урбанізованих територіях можуть прислужитися задля вироблення біодобрив із одночасним зниженням негативного впливу на довкілля.

На наш погляд, для сучасних умов України, пріоритетна технологія виготовлення органічних добрив, яка може бути прийнятою з комерційних, організаційних і екологічних міркувань – це сучасне прискорене компостування – конверсія шляхом твердофазної, аеробної ферментації з інокуляцією спеціалізованої мікрофлори.

Якісні компости мають вологість $\leq 45\%$, досить стійкі до біологічної деградації і придатні до довготривалого зберігання. Вони можуть використовуватись безпосередньо у якості добрив, у складі почвогрунтів та в якості напівфабрикатів при виробництві сухих гранульованих добрив. Цілком очевидно, що створення виробництва таких біодобрив вимагає постійної співпраці біологів і спеціалістів із тепломасообмінних

технологічних процесів та устаткування для їх апаратурного оформлення – теплотехнологів.

Основні концептуальні положення щодо утилізації відходів вологої біомаси. Виходячи з вищенаведених передумов, ІТТФ були запропоновані наступні концептуальні положення якими ми керувались у дослідженнях та розробках, спрямованих на створення виробництв біодобрих на основі місцевих відновлювальних ресурсоцінних відходів агропрому, лісівництва та урбанізованих територій.

1. Залучення відходів вологої біомаси у подальше господарче використання обов'язково потребує невідкладних заходів спрямованих на припинення біологічної деградації.

2. Основними альтернативними методами забезпечення стабільності біомаси є зневоднення та компостування.

3. Переробка відходів тваринництва при безпідстилковому утримуванні поголів'я на добрива можлива, як шляхом суто зневоднення та гранулювання, так і шляхом компостування у складі сумішей із іншими компонентами.

4. Виробництво біодобрих на основі відходів від утримування тварин на підстилці потребує обов'язкового компостування.

5. Утилізація міських відходів біологічного походження спрямована на досягнення наступних техніко-економічних та екологічних цілей:

5.1. Припинення: спалювання вологої біомаси на сміттєспалювальних заводах; надходження таких відходів на полігони (звалища); накопичення осадів стічних вод на КОС, що являє собою виключно гостру проблему; накопичення відходів на переробних промислових підприємствах (тирси, висівок, лушпиння тощо);

5.2 Вироблення корисної продукції: біодобрих у вигляді стабільних вологих компостів, ґрунтосумішей, гранульованих біодобрих; мінеральних матеріалів для дорожнього будівництва та наповнювачів бетону; твердого дисперсного біопалива у вигляді паливної попередньо висушеної деревної тріски, деревних пелет (циліндричних гранул), брикетів, композитних гранул, у складі яких поєднуються різноманітні відходи та інші наповнювачі (наприклад торф).

6. Перспективним напрямом в області компостування є застосування інокуляції у компостні суміші спеціалізованої мікрофлори, яка виробляється мікробіологічною промисловістю (бажано вітчизняною).

7. Застосування спеціалізованої мікрофлори при компостуванні обов'язково потребує створення в складі кожного підприємства, яке вироблятиме компости власних виробничих біотехнологічних ділянок з розмноження спеціалізованої мікрофлори у розчині поживних речовин у контрольованих умовах (температури, аерації тощо). На цих ділянках також

необхідно (при потребі) забезпечити приготування розчинів добрив та інших речовин окрім спеціалізованої мікрофлори для внесення до суміші, що піддається компостуванню.

8. Технологічно ефективне внесення у компостну суміш робочих рідин, які містять спеціалізовану мікрофлору та розчинені корисні для компостування інші речовини, потребує розробки спеціальних технології та устаткування, які забезпечать змочування якомога більшої кількості окремих твердих часток, із яких складається компостна суміш. Ця суміш у фізичному сенсі являє собою слабосипку сукупність вологих твердих полідисперсних часток різноманітної геометричної форми.

Частки суміші на які не потрапляють краплі рідини, що містить спеціалізовану мікрофлору, практично не піддаються її впливу в подальшому. Отже, організація ефективного змочування є ключовою умовою ефективного використання спеціалізованої мікрофлори.

9. Забезпечення рентабельності переробки при якій застосовується процес сушіння та гранулювання потребують кардинального зниження витрат коштів на паливно-енергетичну складову собівартості. Для цього пропонуємо такі заходи: створення і застосування енергоефективних сушарок; використання ВЕР; використання енергії довкілля; заміщення палива на основі викопних вуглеводнів нетрадиційним паливом на основі відновлювальних місцевих ресурсоцінних відходів; заміщення сухого пресування при гранулюванні вологим формуванням поєднаним із сушінням та охолодженням. На основі наведених заходів планується створення економічних енергозберігаючих комбінованих систем сушіння та гранулювання.

Використані інформаційні джерела:

1. Спосіб забезпечення деревним паливом об'єктів теплопостачання, оснащених твердопаливним теплогенеруючим устаткуванням з ручною та механічною системою подачі твердого палива: патент 48790 Україна: МПК (2009) F24D 15/00, A01G 23/00. № u201001998; заявл. 23.02.2010; опубл. 25.03.2010, бюл. №6. 6 с.

2. Шеліманова О. В., Ляшенко А. В., Михалевич В. В., Корбут Н. С., Стецюк В. Г. Комплексна переробка відходів сільського господарства з виробництвом енергоносія, органічних та органомінеральних гранульованих добрив // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 256. С. 191–199. – URL: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/nvnu_tech_2016_256_27.pdf

3. Кремньов В. О., Корбут Н. С., П'яних К. Є., Шеліманова О. В. Дослідження процесу сушіння мулових відкладень стічних вод за рахунок енергії сонця // Енергетика і автоматика. 2020. №2. С. 51–61.

ПРОБЛЕМИ ПРОДОВОЛЬЧОЇ КРИЗИ ТА ЕКОБЕЗПЕКА У СИСТЕМІ «FARM TO FORK»

¹**Некос А. Н.**, доктор географічних наук, професор, завідувачка кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти, ²**Головко М. П.**, доктор технічних наук, професор кафедри хімії, біохімії, мікробіології та гігієни харчування, ²**Головко Т. М.**, доктор технічних наук, професор кафедри технології, ¹**Васюха О.**, магістр

¹*Харківській національний університет імені В.Н. Каразіна*

²*Державний біотехнологічний університет*

¹**Nekos A.**, Doctor of Geographical Sciences, Professor, ²**Golovko M.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Chemistry, Biochemistry, Microbiology and Food Hygiene, ²**Golovko T.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Meat Technology, ¹**Vasyuha O.**

*Kharkiv National University named after V.N. Karazina, Ukraine
State Biotechnological University, Ukraine*

Анотація. Упродовж останніх років на світовому ринку спостерігалось зростання цін на більшість видів сільськогосподарської продукції та харчових продуктів. Воно визначалося комбінацією як довгострокових структурних, так і різних короткострокових факторів. Це, перш за все, підвищення попиту на харчові продукти, що спричиняється економічним підйомом в країнах, що розвиваються, та несприятливими погодними умовами в ряді держав – основних виробників сільськогосподарських культур. Все це негативно вплинуло на світові постачання продовольства та сприяло зростанню цін на нього. У статті досліджується сучасний стан світової продовольчої ситуації, виділяються причини кризових явищ даної сфери, що впливає на подальше існування всієї цивілізації та екобезпеку у системі «Farm to Fork». Було спрогнозовано наслідки та перспективи світового продовольчої кризи, що дозволяє повною мірою оцінити негативні фактори, які чекають людство в найближчі часи.

Abstract. In recent years, the world market has seen an increase in prices for most agricultural and food products. It was determined by a combination of both long-term structural and various short-term factors. This is primarily due to increased demand for food caused by the economic recovery in developing countries and adverse weather conditions in some countries – major producers of crops. All this has negatively affected world food supplies and contributed to

rising food prices. The article examines the current state of the world food situation, highlights the causes of the crisis in this area, affecting the continued existence of civilization and environmental safety in the system «Farm to Fork». The consequences and prospects of the global food crisis were predicted, which allow us to fully assess the negative factors that await humanity in the near future.

Продовольство є найголовнішим життєвим ресурсом, оскільки за забезпеченістю їм населення можна об'єктивно оцінювати якість його життя. Саме рівень і якість харчування населення характеризують ступінь соціально-економічного розвитку будь-якої країни та на 70% визначають здоров'я та тривалість життя людини, саме фізичне її існування. Наявність продовольства є базовим показником життєдіяльності людини, багато в чому впливаючи на здоров'я наступних поколінь. Тому серед основних та взаємопов'язаних між собою глобальних проблем людства особливе місце займає продовольча проблема. Виходячи з цього, постає можливим формулювання мети цього дослідження, що виявляється у обговоренні прогнозів і перспектив забезпечення населення продовольством та формуванні стабільних показників екологічної безпеки у системі «Farm to Fork». У такому аспекті визначені основні завдання: проаналізувати історичні причини виникнення продовольчої кризи; визначити стан забезпечення продовольством населення України; проаналізувати еколого-економічні, енергетичні та політичні причини виникнення світової продовольчої кризи; визначити перспективи вирішення світової продовольчої кризи в системі «Farm to Fork».

Глобальна продовольча криза простежується у відсутності належної кількості продовольства для населення Землі. Вона виявляється переважно у найбільш розвинутих країнах третього світу. Загальна кількість людей у всьому світі, які страждають від нестачі продовольства, становить понад мільярд. Справа в тому, що зростання населення випереджає сільськогосподарське виробництво та розвиток сільськогосподарських технологій. Однак, за деякими оцінками, навіть існуючий рівень розвитку аграрного сектору може дозволити нагодувати понад десять мільярдів людей за умови, що ці технології раціонально використовують наявні ресурси та відбуватиметься справедлива система розподілу продуктів.

За даними ВООЗ та ФАО добова норма людини має становити 2400-2500 ккал і дещо вище. Недоїдання оцінюється, коли людина споживає менше 1800 ккал, а голод настає, коли його щоденна норма падає нижче за критичну позначку у 1000 ккал на день [1]. Необхідність вибору – або нагодувати населення Землі, що невпинно зростає за чисельністю, або забезпечити його рослинними енергоресурсами, коли мешканці країн, що розвиваються, споживають 2200 ккал на день замість фізіологічно

необхідних 2900-3300 ккал при щорічному дефіциті білка в раціоні зерна у світі, скорочення його перехідних запасів та резервних фондів продовольства. Оскільки близько половини калорій, що споживаються населенням, у світі припадає на продукти переробки зерна, то через дефіцит продовольчого зерна в перспективі харчові продукти можуть подорожчати на 20-50%. Причому найуразливішими до зростання ціни продовольство будуть країни, де його внутрішнє виробництво неспроможна задовольнити потреба у найважливіших видах продовольства і тому залишається висока залежність від імпорту.

На сьогодні глобальна продовольча криза стає все більш актуальною. Проте світова продовольча криза привнесла і нові реалії у вирішення продовольчої проблеми, змусивши багато країн переглянути та прийняти нові напрями своєї національної агропродовольчої політики. До основних з них слід віднести: порівняно швидке впровадження досягнень науково-технічного прогресу в агропромислове виробництво, переведення його на інноваційно-інвестиційний шлях розвитку насамперед у країнах «золотого мільярда», на частку яких припадає 76% світового ВВП. Одним із напрямів науково-технічного прогресу є біотехнології та зокрема виробництво генетично модифікованої продукції (ГМ), оскільки його розширення допомагає вирішувати проблему забезпечення населення продовольством. Вчені вважають, що це пов'язано з недовершеним державним менеджментом. Ще у 1776 році Адам Сміт писав, що «ціна хліба, хоча і в усі часи підвладна коливанням, найбільше коливається в тих неспокійних і невпорядкованих державах, де розлад будь-якої торгівлі та зв'язків заважає тому, щоб достаток в одній частині країни полегшувало брак в іншій» і що «голод ніколи не виникав з якоїсь іншої причини, як у результаті насильницьких заходів уряду, який намагався непридатними засобами усунути незручності дорожнечі». Таку думку поділяє й відомий економіст, лауреат Нобелівської премії з економіки за 1998 р. А. Сен, що в 1981 році опублікував книгу «Бідність і голод», у якій доводив, що в більшості випадків голод був викликаний не браком їжі, а проблемами з розподілом продовольства. Китайський учений, генеральний директор Міжнародного дослідницького інституту продовольчої політики (МДПП) Шенген Фен також підкреслює, що саме вміле державне управління здатне подолати голод і недоїдання [2]. Директор дослідницького інституту «Продовольство насамперед» (Food First/ Institute) в Окленді (Каліфорнія, США) Ерік Холт-Хіменес у своєму глибокому дослідженні писав: «Погана погода, високі ціни на нафту, біопаливо та спекуляція є лише безпосередніми проявами глибшої проблеми. Корінна причина кризи полягає у глобальній продовольчій системі, яка найвищою мірою схильна до економічних та екологічних потрясень».

Відповідно до Е. Холт-Хименесу, субсидії сільському господарству розвинених країн становлять 1 млрд. дол. на день, що у шість разів перевищує суму річної допомоги Півночі розвитку Півдня. Субсидії США становлять чверть вартості сільськогосподарської продукції. У Євросоюзі вони роздуті до 40%. Цей учений наголошував, що програми «структурної корекції» 80-90-х років минулого сторіччя, нав'язані Світовим банком та МВФ, руйнували національні агенції, що регулювали торгівлю, скасовували гарантії цін, закривали цілі дослідницькі та впроваджувальні системи, ліквідували тарифи та дерегулювали сільськогосподарські ринки.

Інша думка пов'язана з ім'ям економіста Томаса Мальтуса, який у 1798 році опублікував есе «Досвід закону про народонаселення», в якому доводив, що населення планети росте швидше, ніж виробництво засобів існування, необхідних для задоволення потреб людства.

Наявність продовольства в обмеженого числа великих країн експортерів є своєрідною зброєю і сильно діючим засобом у вирішенні їхніх власних проблем насамперед за рахунок країн, що розвиваються, до яких відносяться 125 держав, де проживає майже 80% населення світу. При цьому якщо у минулому столітті продовольчу допомогу щорічно потребували близько 20 країн, то з 2009 р. таких країн стало понад 40 і кожна друга з них перебувала у продовольчій кризі понад 10 років; по-друге, посилення кризової ситуації із забезпеченням населення продовольством, оскільки останні роки темпи зростання населення у світі майже в півтора рази випереджали темпи збільшення виробництва продовольства. Якщо 1950-1985 гг. у світі щорічний приріст виробництва продовольства досягав 30 млн т, у 1985-1995 р. – 12 млн., то у 2000-2030 рр. він становитиме не більше 9 млн т, що пов'язано насамперед із падінням темпів зростання врожайності таких найважливіших зернових культур, як пшениця, рис та кукурудза [3].

До «викликів» поточного століття світовому сільському господарству, як головному гаранту продовольчої, а отже, і національної безпеки будь-якої держави, слід віднести руйнування та забруднення природного середовища, погіршення екологічної ситуації в агросистемах, зниження родючості ґрунтів; низький рівень розвитку сільського господарства в країнах, що розвиваються, а також відносно суттєве зменшення темпів зростання врожайності пшениці, кукурудзи та рису, на частку яких припадає понад 86% світового виробництва зерна; визнання сільського господарства як галузі, яка з різних причин об'єктивно не повинна бути донором у національній економіці. Головною проблемою, що ускладнює продовольче забезпечення густонаселених регіонів, є імпортозалежність продуктів харчування. Ця проблема постає через нестачу природних ресурсів. Загострення цієї проблеми стане критичним до 2050 року, коли за прогнозами, чисельність населення Землі сягне 9 млрд.

При хронічному дефіциті продовольства світова продовольча криза може виявитися трагічнішою, тяжчою і тривалішою, ніж світова економічна і фінансова криза. Світова спільнота постійно потребує все більших обсягів продовольства та сировини для його виробництва, оскільки у світі зберігається стійка тенденція збільшення голодуючого населення. У світі вже голодують близько 1 млрд. чоловік і ще 1,6 млрд. людей хронічно недоїдають, а темпи збільшення виробництва продовольства відстають від темпів зростання чисельності населення. На планеті на протигагу «золотому» мільярду з'явився «голодний» мільярд її мешканців. Різниця у рівні продовольчої безпеки між групами держав відповідно до цінової та фізичної доступності продовольства, а також його якості становить чотири рази [4].

Ще до початку фінансової та економічної кризи у світі щодня помирало від голоду понад 24 тис. людей. Більше того, через голод і пов'язані з ним причини щорічно помирають 5 млн. дітей віком до 5 років. Від 50 до 60% всіх смертних випадків у дітей у країнах, що розвиваються, обумовлені голодом. Близько 26% дітей відстають у рості і обсязі. Через недоїдання втрачають продуктивності та прямі витрати на охорону здоров'я в сукупності становлять 5% глобального ВВП, або 3,5 трлн. дол. на рік.

На початку століття світ не наблизився до мети, поставленої у 1996 р. Організацією ООН з питань продовольства та сільського господарства (ФАО) на Всесвітньому продовольчому саміті – скоротити до 2015 р. кількість голодуючих з 800 млн. до 400 млн. осіб. Темпи зниження цього показника фактично більш ніж удвічі нижчі за необхідні. Спеціалізованою продовольчою та сільськогосподарською організацією ООН є ФАО (Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO). Її основні цілі: покращення харчування та підвищення рівня життя; поліпшення виробництва, переробки, збуту та розподілу продовольства, продуктів сільського господарства, лісівництва та рибальства; сприяння розвитку сільських районів та покращення умов життя сільського населення; ліквідація голоду. В окремих державах програми ФАО застосовують лише після запиту з боку національного уряду. На перспективи розв'язання продовольчої проблеми впливає стан земельних ресурсів світу. До них належать, насамперед, ресурси орних земель, ресурси всіх сільськогосподарських угідь (орних, пасовищ, сінокосів тощо), територіальні ресурси. Земля як природний ресурс унікальна в тому, що тільки її верхня частина – ґрунт здатний створювати родючість та виробляти біомасу.

Прагнення збільшити сільськогосподарське виробництво без урахування можливостей природи до самовідновлення загрожує вичерпанням ґрунтових вод. Сьогодні їхній рівень падає у країнах, де

проживає половина населення світу, включаючи три головні зерновиробні країни – Китай, Індію та США. Особливо це небезпечно для двох перших з них, оскільки там із зрошуваних площ отримують відповідно 80 та 60% зерна. Саудівська Аравія, наприклад, мала наміри відмовитися від зернового виробництва десь до 2016 р. Велике значення у темпах розвитку сільськогосподарського виробництва має проблема зрошувальних вод, більшість яких у аридних регіонах припадає на ґрунтові. Наприклад, рівень ґрунтових вод під Північно-Китайською рівниною, де виробляється половина пшениці та третина кукурудзи, швидко падає. Води відступають углиб зі швидкістю три метри на рік. В результаті виробництво пшениці в Китаї у 2008 р. впало порівняно з 1997 р. на 7%, зі 111 до 103 млн. т, рису – на 6%, зі 127 до 119 млн. т. В Індії ситуація ще серйозніша. Тут фермери пробурили 21 млн. зрошувальних колодязів, у результаті рівень ґрунтових вод падає у всіх штатах [4].

Чималу шкоду землеробству завдає зростаюче використання земель у різних галузях господарств країн, насамперед, для будівництва промислових підприємств та житлових будинків. Індустріалізація та урбанізація, підвищуючи попит на якісне продовольство, водночас забирають у землеробів нові площі. Якщо у 1950 р. у світі на одну людину припадало 2,4 га ріллі під зерновими, то у 2007 р. вже лише 1,2 га. Значні площі під дороги, шосе та автостоянки забирає у сільського господарства автомобільний парк, що зростає у геометричній прогресії. За підрахунками Л. Брауна, якщо автомобілізація Китаю досягне японського рівня (один автомобіль на двох осіб), до чого все й йде, то в країні буде 650 млн. машин замість нинішніх 35 млн. Тоді, враховуючи, що для стоянки кожних 20 автомашин потрібно щонайменше 0,4 га асфальтованих площ, сільське господарство країни втратить близько 13,3 млн. га земель, що дорівнює половині рисових посівів.

Негативно впливає на сільське господарство і забруднення навколишнього середовища внаслідок господарської діяльності людей, промислового та землеробського виробництва, хімізації, зростаючого використання автомобільного транспорту, «опалення» міст (не тільки приміщень, а й тротуарів), лавиноподібного збільшення відходів, які в багатьох випадках не асимілюються природою. Все це не тільки отруює ґрунти поблизу міст і шляхів сполучення, але й збільшує викиди так званих парникових газів (вуглекислий газ, метан та ін.), що, на думку багатьох учених, є головною причиною загальної зміни клімату, найчастіше званого глобальним потеплінням [5].

Отже, очевидно, що нинішня продовольча ситуація породжена як кон'юнктурними, так і системними причинами. Сумарний їх ефект виявився дуже болючим для мільйонів малозабезпечених сімей у всьому світі.

Світова продовольча криза, найбільше загострення якої припало на 2007 та 2008 рр., послужила ще одним приводом для роздумів над долями нашої технологічної цивілізації, ще одним нагадуванням про вичерпність, природних ресурсів. А це корисні копалини, придатні для обробки ґрунти, прісні води та технології для забезпечення населення планети продовольством.

Сама сутність ринкової економіки, в якій рушійною силою виробництва є гонитва за прибутком, означає, що ціни будуть постійно підвищуватися, як тільки виникне реальна можливість для цього. Звідси порушення стабільності виробництва та збуту продовольства через використання продовольчих культур для переробки на біопаливо. З тієї ж причини у світі близько 1 млрд. людей не в змозі забезпечити собі харчування, необхідне для нормальної життєдіяльності та роботи, а деклароване ООН право людей на адекватне харчування так і залишається на папері. У царстві ринкової економіки панує поляризація у розподілі продовольства – для того, щоб одні могли харчуватися краще, інші повинні харчуватися гірше [6].

Незважаючи на брак продовольства та неврожай в деяких країнах-експортерах пшениці, рису, загалом у світі врожай зернових у останні десятиріччя був високим, а на думку ряду спостерігачів, навіть рекордним. У 2007 р. було отримано рекордний урожай зернових, проте ціни продовжували швидко зростати, що, певне, було пов'язано з обставинами, які зумовили зростання попиту. Найбільше вирахування з пропозиції продовольчого зерна та олії припало на використання їх для виробництва біопалива (у США, наприклад, близько однієї третини врожаю кукурудзи), тобто не був викликаний кліматичними або будь-якими іншими об'єктивними змінами, а став результатом свідомої політики урядів США, країн ЄС та інших країн, які всіляко стимулювали виробництво біопалива. Зростання виробництва етанолу США має сильний вплив на пропозицію зерна на світових ринках. На американський експорт припадає понад дві третини світової торгівлі зерном, і його вплив на ціни та пропозицію продовольства у світі винятково великий. До речі, згідно з деякими дослідженнями, виробництво біопалива сприяє ерозії ґрунтів та серйозному виснаженню водних ресурсів [7]. Іронія долі така, що вироблення біопалива вимагає багато нафти – у випадку з кукурудзяним етанолом майже стільки ж, скільки виробляється. Виходить, що вона не вирішує проблеми високих цін на нафту, ні глобальної зміни клімату.

Однак на сучасному етапі виявилася одна істотна обставина, яка стала тривожним сигналом для людства – з'являється все більше ознак того, що індустріалізація сільськогосподарського виробництва стає дедалі менш продуктивною, а її ефективність також дедалі більше наближається до своєї

межі. Промовистим свідченням цього є той факт, що приріст сільськогосподарського виробництва на душу населення в останні десятиліття постійно скорочується.

Стає дедалі помітнішим вичерпання можливостей «зеленої революції» в Індії та інших країнах Азії. Масоване застосування мінеральних добрив призвело до погіршення природної якості та складу ґрунтів, деякі спостерігачі відзначають навіть руйнування їх структури, внаслідок чого індійські фермери змушені використовувати дедалі більше хімічних добрив для отримання колишніх показників врожаю. Встановлено, що через зміну клімату ще більше погіршують становище. За оцінками ООН, ерозія ґрунтів вже призвела до серйозної деградації близько 40% світових сільськогосподарських земель. Унаслідок зростання населення країн третього світу збільшується дефіцит продуктів харчування та залежність їх від продовольчої допомоги країн Заходу.

Особливо це стосується таких країн, як Китай та Саудівська Аравія, які скуповують землі по всьому світу від Сомалі до Казахстану. Землі для сільськогосподарського виробництва прагнуть придбати багато інших країн – Індія, Японія, Малайзія, Південна Корея, Єгипет, Лівія, Бахрейн, Йорданія, Кувейт, Катар та Об'єднані Арабські Емірати. Ці країни розраховують отримати нові сільськогосподарські технології та інвестиції, однак при цьому відбувається знищення дрібного фермерства, що викликає масові протести населення [8].

У зв'язку з тим, що землеробство стало енергоінтенсивною галуззю, зростання цін на енергоносії, що досягло рекордних показників у наприкінці 2000-х років, стало однією з основних причин зльоту цін на продовольство та політики стимулювання виробництва біопалива у США, країнах ЄС та інших державах. Це, у свою чергу, призвело до скорочення пропозицій продовольства та нового витку зростання цін. Подібна ситуація набирає обертів і сьогодні у сучасних умовах широкомасштабних воєнних дій у самому центрі Європи завдяки російській агресії проти України. За деякими даними, на подорожчання нафти припадає 20% зростання цін на продукти харчування.

Прискорений розвиток тваринництва, поряд з механізацією та індустріалізацією сільгосподарського виробництва, значно збільшив «внесок» сільського господарства у забруднення навколишнього середовища, що сприяло збільшенню емісії парникових газів і, отже, глобальній зміні клімату. Зрозуміло, це справедливо лише в тому випадку, якщо цей процес є антропогенним за своєю природою. Зведення лісів, особливо тропічних, які називають легенями планети, переважно для сільськогосподарських цілей, також сприяє зміні клімату. В Амазонії, найбільшому у світі лісовому масиві, вирубка була прискорена для

вивільнення площ під цукрову тростину, яка у зростаючих кількостях йде на виробництво етанолу. У Тропічній Африці майже не залишилося великих масивів тропічних лісів. Швидко скорочується їхня площа в Індонезії. Давно зведені ліси в Ефіопії, що сприяло збільшенню посушливості клімату. Посадки евкаліпта в останні десятиліття дещо пом'якшують проблему, але не можуть повернути втрачені екосистеми.

Пандемія COVID-19 сильно вразила європейську і взагалі світову економіку. Це вперше, коли світова економіка зіткнулася з фінансовою кризою, спричиненою уповільненням економічного зростання через глобальну надзвичайну ситуацію в галузі охорони здоров'я. Україна разом з іншими державами-членами СОТ підписала спільну заяву, зобов'язуючись забезпечити прозору та послідовну торгівлю сільськогосподарськими та продовольчими товарами під час пандемії.

Цілі сталого розвитку на 2015-2030 роки схвалив Уряд України у 2015 році на саміті ООН, які було прийнято у вигляді Національної доповіді «Цілі Сталого Розвитку: Україна». В цих документах відзначається, що забезпечення права на захист від бідності та соціального відчуження є одним із головних напрямів Європейської соціальної хартії (переглянутої), що була ратифікована Верховною Радою України у 2006 році [9].

У 2015 року набув чинності один з євроінтеграційних законів, ухвалених Верховною Радою №4179-а «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо харчових продуктів». Його прийняття передбачало запровадження в Україні нової моделі європейської системи екобезпеки та якості харчових продуктів. Основа її функціонування – принцип «від лану до столу», що передбачає безпеку та якість всіх стадій виробництва харчових продуктів, а також застосування системи НАССР – визначення небезпечних чинників і контроль «критичних точок» виробництва безпечної продукції. Без відповідного законодавства Україна не змогла б реалізувати квоти на поставку своєї харчової продукції в рамках підписання Угоди про асоціацію з ЄС до країн-партнерів.

Прикладом подолання продовольчої проблеми в країнах ЄС є стратегія «Farm to Fork» (F2F), яка визначає нову, стійку та інклюзивну стратегію зростання, щоб стимулювати економіку, покращити здоров'я та якість життя людей, дбати про природу. Стратегія «Farm to Fork» є основою «Зеленого курсу». У ньому всебічно розглядаються проблеми екобезпеки продовольчих систем та визнаються нерозривні зв'язки між здоровими людьми, здоровим суспільством та здоровою планетою. Стратегія також займає центральне місце на порядку денному Комісії з досягнення цілей сталого розвитку ООН. Усі громадяни світу в ланцюжках створення вартості в ЄС та інших місцях мають отримати вигоду зі справедливого переходу, особливо після пандемії COVID-19 та економічного спаду, не говорячи вже

про ситуацію у світі після 24 лютого 2022р. Стратегія «Farm to Fork» встановлює новий підхід до забезпечення того, щоб сільське господарство, рибальство та аквакультура, а також ланцюжок створення вартості продуктів харчування стали екологічно безпечними і якомога менше впливали на якість довкілля.

Для України продовольча проблема кількісного та якісного недоїдання, в тому числі незбалансованого харчування, стосується всього населення України, яке віднесене за класифікацією ООН до бідного, і якщо в 2015-2016 роках цей показник визначався на рівні 60% – то за результатами 2017-го року він оцінювався Світовим банком на рівні 80% (на 2,4% менше, ніж в 2002-му році). Основною проблемою для населення країни (до лютого 2022р.) була не фізична відсутність продуктів харчування, а обмежені фінансові можливості їх придбання. Звідси поставала проблема забезпечення населення країни достатніми обсягами продуктів для забезпечення активного та здорового способу життя.

Цілі ЄС полягають у скороченні екологічного та кліматичного сліду продовольчої системи ЄС та підвищенні її стійкості, забезпеченні продовольчої безпеки перед зміною клімату та втрати біорізноманіття на глобальному переході до конкурентної стійкості системи «від ферми до вилки».

Такий підхід передбачає:

1. Забезпечення того, щоб харчовий ланцюжок, що охоплює виробництво, транспортування, розподіл, маркетинг та споживання продовольства, надавав нейтральний або позитивний вплив на навколишнє середовище, зберігаючи та відновлюючи земельні, прісноводні та морські ресурси, від яких залежить продовольча система; допомога у пом'якшенні зміни клімату та адаптації до його впливу; захист здоров'я та добробуту.

2. Забезпечення продовольчої безпеки, харчування та громадської охорони здоров'я – забезпечення того, щоб кожен мав доступ до достатнього, поживного, сталого продовольства, яке підтримує високі стандарти безпеки та якості, здоров'я рослин, здоров'я та благополуччя тварин, задовольняючи при цьому дієтичні потреби та уподобання в їжі.

3. Збереження доступності продовольства при одночасному забезпеченні більш справедливої економічної віддачі у ланцюжку поставок, щоб найбільш стійке продовольство стало найбільш доступним, сприяючи конкурентоспроможності сектора поставок ЄС, заохочуючи справедливу торгівлю, створюючи нові можливості для бізнесу, забезпечуючи цілісність ринку та безпеку праці.

Стратегія «Від ферми до виделки» на даному етапі запровадження має і негативну сторону та значні ризики, що може призвести до безпрецедентного падіння сільськогосподарського виробництва у ЄС,

різкого скорочення доходів фермерів, погіршення чистої торгової позиції блоку та підвищення цін виробників, що підвищить витрати на продовольство для споживачів. Екологічні вигоди здебільшого простежуватимуться, оскільки імпорт ЄС збільшиться, що призведе до збільшення викидів парникових газів в інших країнах. Також можливий прогноз, що Стратегія призведе до глобального погіршення стану сільськогосподарського сектору та європейських сільських районів, послаблення продовольчо-екологічної безпеки та інфляції споживчих цін. Сільськогосподарські сектори можуть зіткнутися з масовою реструктуризацією та різким скороченням кількості фермерських господарств, що у свою чергу може призвести до глобальної продовольчої кризи [10].

Згідно з моніторингом торгівлі сільськогосподарською продукцією, проведеному Європейською комісією, за період з листопада 2018 року до жовтня 2019 року, Україна, експортувавши сільськогосподарську продукцію на загальну суму 7,3 мільярда євро, зайняла третє місце серед найбільших постачальників сільськогосподарської продукції в ЄС.

Значним актуальним ризиком продовольчого питання у світі є сучасні умови військового стану в Україні. Ця ситуація за негативними прогнозами фахівців може викликати глобальну продовольчу кризу. Дивлячись більш оптимістично на показники збалансованості постачання агропродукції, державні служби повідомляють, що Євросоюз обіцяє допомогти Україні вивезти на зовнішні ринки агропродукцію, заблоковану сьогодні у морських портах, прогнозують, що восени ріст української агропродукції різними каналами зросте до 3-3,5 млн. т, а більшість скасованих ЄС мит стосуються саме української аграрної продукції.

Світова продовольча криза відкрила очі багатьом ентузіастам науково-технічного прогресу на деякі його гіркі плоди – поляризацію виробництва та споживання продовольства, голод та злидні мільйонів, забруднення навколишнього середовища, прогресуюче вичерпання ресурсів. Проте є чимало підстав для оптимізму. Земна цивілізація пережила не один переломний момент, але досі завжди знаходила якийсь вихід і спосіб вирішення проблем. Можна сподіватися, що і з того лабіринту проблем, що виявився внаслідок продовольчої кризи, також буде вихід.

Таким чином, утримання стійкості продовольчих систем, їх екологічної безпеки є глобальною задачею всього людства, а самі продовольчі системи повинні адаптуватися до актуальних проблем сучасності і бути мобільними. Відстеження та задоволення потреб населення планети у продовольстві повинно здійснюватися відносно кожної конкретної людини у фокусі визначених уразливих груп населення та особливостей диференціації великих регіонів.

Використані інформаційні джерела:

1. Здоровое питание [Електронний ресурс] // World health organization. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.who.int/ru>.
2. Poverty headcount ratio at national poverty lines [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.un.org.ua>.
3. ЄВРОПЕЙСЬКА СОЦІАЛЬНА ХАРТІЯ [Електронний ресурс] // Закон України. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_062#Text.
4. Стратегия Farm to Fork [Електронний ресурс] // ЄВРОПЕЙСКАЯ КОМИССИЯ. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://eur-lex.europa.eu>.
5. The Geopolitics of Food Scarcity. By Lester Brown. 02.11.2009. P.1 [Електронний ресурс] (<http://www.spiegel.de/international/world/0,1518,606937,00.html>)
6. Holt-Jimenez E. The World Food Crisis // Policy Brief. October. 2008. №16. P. 4.
7. Financial Meltdown Worsens Food Crisis. 26.10.2008. P. A01 [Електронний ресурс] (<http://www.washingtonpost.com/wpdyn/content/article/2008/10/25/AR20081025022>)
8. Lustig N. Thought for Food: The Challenges of Coping with Soaring Food Prices. Working Paper 155. 11.04.2008. P. 3.
9. Bello W. How to Manufacture a Global Food Crisis: Lessons from World Bank. 24.05.2008. P. 4.
10. Food Crisis Caused by Meat Consumption. P. 1 [Електронний ресурс] (http://suprememastertv.com/bbs/board.php?bo_table=sos_video&wr_id=5)

ЗЛОЧИНИ ПРОТИ ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ ВІЙНИ В УКРАЇНІ

CRIMES AGAINST THE ENVIRONMENT IN THE CONDITIONS OF WAR IN UKRAINE

Паньків Н. Є., кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри
туризму

*Інститут сталого розвитку ім. В.Чорновола Національний університет
«Львівська політехніка», Україна*

Pankiv N. Ye., PhD, Associate Professor of Department of Tourism

*Viacheslav Chornovil Institute of Sustainable Development, Lviv Polytechnic
National University, Ukraine*

Анотація. У роботі проаналізовано екологічні наслідки воєнних дій російської федерації на території України. Зокрема, наслідки руйнівних дій на об'єктах атомної енергетики, території об'єктів інфраструктури Зони відчуження Чорнобильської АЕС, об'єктів хімічної та нафтохімічної, металургійної промисловості, руйнування каналізаційних очисних споруд, знищення інженерних споруд водозаборів та очищення питної води, забруднення земель зруйнованою військовою технікою, неналежне захоронення на територіях, де ведуться бойові дії або окупація, порушення вибухами та пожежами природних територій та ландшафтів, територій населених пунктів, сільськогосподарських земель. Усе це в комплексі призвело до забруднення всіх компонентів довкілля: атмосферного повітря, поверхневих водойм (річок, озер, водосховищ, морів) та ґрунтових вод; ґрунту; природних комплексів та ландшафтів; порушення всієї екосистеми охопленої впливом цього забруднення; завдання значної шкоди флорі, фауні, загалом біорізноманіттю.

Abstract. The ecological consequences of the military actions of the Russian Federation on the territory of Ukraine are analyzed in the work. problems, consequences of destructive actions at nuclear power facilities, territories of infrastructure objects of the Chornobyl Exclusion Zone, objects of chemical and petrochemical, metallurgical industry, destruction of sewage destructive structures, destruction of engineering structures of water intakes and drinking water treatment, pollution of lands destruction, improper burial in areas

where hostilities or occupation are taking place, violation of natural territories and landscapes, territories of settlements, agricultural lands by explosions and fires. All this in the complex led to pollution of all components of the environment: air, surface water (rivers, lakes, reservoirs, seas) and groundwater; soil; natural complexes and landscapes; disruption of the entire ecosystem affected by this disease; the task of significant damage to flora, fauna, biodiversity in general.

24 лютого 2022 року російська федерація засобами підрозділів збройних сил, важкого наземного озброєння, у тому числі далекобійної артилерії, ракет, морських кораблів та військової авіації розпочала повномасштабну, загарбницьку війну проти України на суші, морі та в повітряному просторі. Вторгнення вже призвело до значних жертв серед мирних мешканців та пошкодження природної спадщини України.

Відповідно до I Протоколу до Женевських конвенцій від 12 серпня 1949 року, який стосується захисту жертв міжнародних збройних конфліктів, прийнятого у 1977 році, від держав, які ведуть війну, вимагається захищати природне середовище від «масштабних, довготривалих і серйозних уражень», та забороняються методи чи засоби ведення війни, «які мають на меті або можуть призвести до заподіяння такої шкоди». 24-й Принцип Декларації Ріо про навколишнє середовище та розвиток проголошує, що війна за своєю суттю є руйнівною для сталого розвитку. Тому, держави považають міжнародне право, що забезпечує захист довкілля під час збройного конфлікту, і, якщо необхідно, а також співпрацюють заради його подальшого розвитку [3].

Із усіх видів людської діяльності війна найгірше впливає на довкілля: з одного боку військові дії негативно позначаються на довколишньому середовищі, а з іншого – ресурси, що йдуть на війну, могли б витрачатися на збереження довкілля або на ресурс-ефективні технології. Тому, за умов відкритих бойових дій слід розрізняти прямі і непрямі впливи, а також втрачені можливості.

До прямих впливів належать вибухи, які руйнують екосистему. Тим більш російсько-українська війна проходить навесні, коли тварини прокидаються, птахи повертаються, а все живе готується мати потомство. Руйнування середовища існування і шумове забруднення місць їхнього проживання негативно впливає на перебіг сезону розмноження. А пряме потрапляння снарядів та забруднення обгорілою військовою технікою повністю руйнує екосистему. Усі набої, які розриваються, горіння неметалевих деталей військової техніки забруднюють ґрунти та воду важкими металами і токсичними елементами. Не говорячи вже про тонни металобрухту, які розкидані по лісопосадках.

При горінні техніки, мастила, дизелю і бензину також забруднюється повітря. Крім того, ворог спеціально бомбить нафтобази і газопроводи, промислові підприємства. Загалом, в Україні більше 1000 складів небезпечних речовин і якщо випадково чи навмисно туди потраплять бомби, може відбутися забруднення повітря, водойм, ґрунтів, тощо.

Коли внаслідок військової діяльності руйнуються міста, також страждає довкілля. Можуть не працювати очищувальні станції, або внаслідок потрапляння снаряду в будинок формуються будівельні відходи вперемішку із елементами військової техніки. Подібне сміття є дуже небезпечним, тому його не можна просто прибрати й викинути. Його небезпечно як транспортувати, так і зберігати на звалищі. Тому, для поводження із таким типом відходів у містах необхідно розробити окремий протокол.

Непрямі наслідки бойових дій на довкілля виникають не від пожеж чи розриву снарядів, а, скажімо, від знеструмлення шахти, з якої треба відкачувати воду. Без електроенергії не працюють насоси і шахта затоплюється разом із токсичними та радіоактивними відходами, які можуть проникати у ґрунтові води. Ця проблема була актуальною на Донбасі ще з 2014 року. Її ніяк не можна було вирішити, а зараз ситуація загострюється. Іншим прикладом непрямого впливу є неконтрольовані викиди неочищених відходів підприємств у воду чи атмосферу. Зараз у зв'язку з воєнним станом держава тимчасово це не контролює.

Кошти, які в державі планували витратити на енергоефективність, зелену економіку, відновні джерела енергії, створення нових заповідників, збереження видів, зараз витрачають на військові дії. Власне, це і є **втрачені можливості**. Влітку 2021 року Україна прийняла добровільне зобов'язання по скороченню викидів парникових газів. Втім, війна все змінила...[14].

В умовах війни увага всіх зосереджується на головних для виживання питаннях: фінансування армії, влаштування біженців та надання допомоги пораненим. Але в той же час, потрібно приділяти увагу й іншим можливим наслідкам війни та вивчати їх комплексно, оскільки проблеми стану довкілля можуть легко перетворитися на загрози соціального характеру. Наприклад, сильне забруднення питної води чи пошкодження потужного промислового об'єкту неминуче призведуть до хвороб і загибелі людей, що в свою чергу викличе проблеми економічного характеру.

Тому, метою нашого дослідження є аналіз екологічних наслідків воєнних дій агресора комплексно – як екологічну катастрофу, яка вже набула міжнародних масштабів. Це, зокрема, наслідки руйнівних дій на об'єктах атомної енергетики, території об'єктів інфраструктури Зони відчуження Чорнобильської АЕС, об'єктів хімічної та нафтохімічної, металургійної промисловості, руйнування каналізаційних очисних споруд, знищення

інженерних споруд водозаборів та очищення питної води, забруднення земель зруйнованою військовою технікою, неналежне захоронення на територіях, де ведуться бойові дії або окупація, порушення вибухами та пожежами природних територій та ландшафтів, територій населених пунктів, сільськогосподарських земель. Усе це в комплексі призвело до забруднення всіх компонентів довкілля: атмосферного повітря, поверхневих водойм (річок, озер, водосховищ, морів) та ґрунтових вод; ґрунту; природних комплексів та ландшафтів; порушення всієї екосистеми охопленої впливом цього забруднення; завдання значної шкоди флорі, фауні, загалом біорізноманіттю [10].

Із точки зору довкілля не буває локальної війни, адже наслідки навіть найменших військових дій поширюються на цілий світ і мають виключно шкідливі результати на здоров'я та життя цілого людства.

Що ж загрожує Україні та світу? В Україні функціонує АЕС! А на території Чорнобильської АЕС розташовані сховища ядерних відходів! Ведення будь-яких бойових дій біля АЕС становить пряму загрозу їхньому можливому знищенню та поширенню радіоактивного забруднення, включаючи транскордонне!

В Україні 465 хвостових та осадових сховищ. Це об'єкти підвищеної небезпеки, що зберігають 6 млрд. тонн відходів, частина з яких містять високотоксичні речовини. У разі знищення захисту частина об'єктів може стати джерелами транскордонного забруднення. У разі руйнування даних об'єктів ліквідація аварій неможлива.

Особливе занепокоєння викликають підприємства хімічного фенолу та сховища відходів із високим вмістом фенолів. Ефект доміно може бути створено через вибухи (послідовне знищення прилеглих небезпечних об'єктів). У небезпеці також металургійні об'єкти. Близько Дністра розташовані сховища відходів із залишками сірчаної руди. Це пряма небезпека не лише для України.

Збитки громадської інфраструктури та відсутність зелених коридорів підвищують ризик виникнення величезних відходів тваринного походження на тваринницьких підприємствах. Все вищезгадане вказує на пряме порушення українського екологічного законодавства, прав людини, ядерної безпеки та миру у всьому світі [13].

Екоактивісти нарахували вже кілька сотень заборонених Женевською конвенцією злочинів проти довкілля внаслідок російської агресії, від початку повномасштабного вторгнення військ РФ на територію країни. Це несе нові екологічні ризики, які також можуть збільшити кількість людських жертв війни у майбутньому. Злочини проти довкілля теж є частиною воєнних злочинів. Згідно з Женевською конвенцією, «заборонено застосовувати методи або засоби ведення воєнних дій, які мають на меті

завдати або, як можна очікувати, завдадуть широкої, довгочасної і серйозної шкоди природному середовищу».

Із перших днів війни були зафіксовані обстріли та бомбардування промислових та енергетичних об'єктів, підпали лісів, підриви нафтобаз, забруднення Чорного та Азовського морів (у першу чергу через затоплення суден). Будь-яка війна несе величезні екологічні загрози для населення, але бойові дії в Україні можуть призвести до особливо катастрофічних наслідків для навколишнього середовища.

Схід України – це промисловий центр. Цей регіон найбільше індустріалізований. У звичайних умовах можна було б швидко локалізувати ризики, але не під обстрілами та постійними бомбардуваннями. Дуже часто російська армія не допускає фахівців для локалізації негативного екологічного впливу.

У зоні активних бойових дій зараз атомні станції, морські порти, склади небезпечних відходів (мінеральні добрива, пінополіуретан, лакофарбові та паливно-мастильні матеріали та ін.), промисловість, включно з хімічними та металообробними заводами. Зафіксовані пожежі на нафтобазах, АЗС, сміттєзвалищах, є факти пошкодження об'єктів тепло- та водопостачання (каналізаційні насосні станції, фільтрувальні станції, водогони). Кожна пожежа на нафтобазі стає техногенною катастрофою. За підрахунками екологів, під час горіння нафти (пожежі на нафтобазі з кількома резервуарами) виділяється приблизно стільки ж атмосферного забруднення, скільки виробляє весь транспорт Києва за місяць.

Захоплення й обстріли атомних електростанцій, розміщення там техніки та підриви боєприпасів загрожують техногенною катастрофою, яка зробить території навколо непридатними для життя людини. Внаслідок воєнних дій, у ґрунт і підземні води потрапляють важкі метали від снарядів та військової техніки. Збройні дії вже сьогодні спричиняють порушення рельєфу, руйнування ґрунту, забруднення й отруєння повітря та води, знищення рослинного і тваринного світу, а пожежі у лісах і степах знищують природне середовище існування рідкісних видів.

Весь світ сколихнули новини про захоплення Чорнобильської та Запорізької атомних станцій. Окупанти 14 березня підірвали частину боєприпасів на майданчику захопленої ЗАЕС. На Чорнобильській АЕС вони пошкодили високовольтну лінію, яка має постачати туди електрику, в тому числі та для охолодження відпрацьованого ядерного палива на місцевих сховищах. Через відсутність електроенергії температура в басейнах витримки підвищувалась, що могло призвести до викидів радіоактивних речовин у навколишнє середовище. Радіація могла бути перенесена вітром на інші регіони України, Білорусі, Росії та Європи. Окрім ядерної безпеки,

обстріли та окупація підвищують ризик викидів токсичних відходів з промислових підприємств України [4].

Із огляду на це, в березні відбулась низка позачергових засідань Європейської групи регуляторів ядерної безпеки ENSREG за участі МАГАТЕ, Асоціації регуляторів Західної Європи WENRA, представників України та двох спостерігачів (Швейцарія, Велика Британія) з розгляду питань ядерної безпеки українських ядерних установок у зв'язку з російською військовою агресією проти України. Розглядалися наслідки російського військового нападу на ядерні установки, зокрема, на найбільшу в Європі Запорізьку АЕС та дослідницьку ядерну установку «Джерело нейтронів, засноване на підкритичній збірці, що керується лінійним прискорювачем електронів» (ЯПУ «Джерело нейтронів»), яка розташована на майданчику Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут». У результаті було отримано позицію Європейської Комісії щодо критичної ситуації на ядерних об'єктах в Україні у зв'язку з військовим вторгненням та захопленням рф Чорнобильської АЕС, території Зони відчуження та Запорізької АЕС. МАГАТЕ розробило конкретні та детальні плани надання допомоги в безпеці ядерних об'єктів України, які включають п'ятнадцять ядерних енергетичних реакторів на чотирьох станціях, а також Чорнобильську АЕС, де розташовані об'єкти поводження з радіоактивними відходами після аварії 1986 року. Технічна допомога МАГАТЕ також сприятиме умовам для того, щоб МАГАТЕ продовжувало здійснювати свою діяльність із забезпечення гарантій в Україні відповідно до свого мандата з нерозповсюдження. Ядерний тероризм російських військ – загроза для всього світу, який щодня балансує на межі катастрофи. Саме тому Україна прагне адекватної реакції на порушення ядерної та радіаційної безпеки від усєї міжнародної спільноти [10].

Окрім того, в Україні існує значна кількість інших потенційно небезпечних об'єктів, Державний реєстр яких містить докладні відомості про понад 23 тис. об'єктів, із них 2987 складів, що зберігають високотоксичні пестициди. Найбільша їх кількість розташована на території Донецької, Дніпропетровської, Запорізької, Харківської та Львівської областей. Частина із цих підприємств опинилася у зоні бойових дій. Так, на хімічному підприємстві «Сумхімпром», який знаходиться в околицях м. Суми, 21 березня, внаслідок ворожого обстрілу відбувся витік аміаку, у радіус ураження потрапило с. Новоселиця.

Найбільше екологічних злочинів зафіксовано у Київській, Харківській та Миколаївських областях. У цих областях ворог руйнував промислові та енергетичні об'єкти. Внаслідок ворожих обстрілів зафіксовані факти вибухів на ТЕС, захоплення та пошкодження Каховської ГЕС, руйнування газопроводів та газорозподільних станцій. Зокрема, підірв

газопроводу у Харкові 27 лютого призвів до потужного вибуху та ударної хвилі, яка пошкодила будівлі в житлових районах міста. Згідно з нормами цивільної безпеки, аварія такого масштабу є техногенною катастрофою, а це означає, що населенню бажано негайно покинути місця, близькі до аварії.

Ще з 2014 року Донбас був на межі екологічної катастрофи, через окупацію території проросійськими силами та активних військових дій упродовж 8 років. Через відсутність доступу до всієї території не відомо остаточної інформації про шкоду довкіллю за ці роки. Були уражені об'єкти водопостачання, залишаючи сотні тисяч мирних жителів без доступу до води. Відбувалось пошкодження енергетичної інфраструктури, що призводило до збоїв у роботі насосної системи, наражаючи тим самим на ризик затоплення у шахтах, що зберігають токсичні та ядерні відходи.

За останні місяці також були зафіксовані збройні напади на енергетичну інфраструктуру, що призвело до затоплення шахти «Золоте», обстріл «Градами» Авдіївського коксохімічного заводу та бомбардування нафтопереробного заводу у Луганській області. А 2 квітня російські військові завдали ракетного удару по Кременчуцькому нафтопереробному заводу. Інфраструктуру підприємства, яке забезпечувало третину українського ринку палива, було знищено. Окрім того, масово знищують також нафтобази у багатьох регіонах України. Зокрема, 13 березня 2022 року внаслідок обстрілів у Чернігові було пошкоджено нафтобазу «ГТ-Нафта». 24 березня після обстрілу спалахнула нафтобаза в селі Калинівці Київської області. Поблизу Львова нафтобазу повністю зруйновано після ракетного удару 26 березня. 27 березня РФ завдала ракетного удару по нафтобазі в Луцьку та інші. Загалом, після руйнування 20 нафтобаз та Кременчуцького НПЗ країна неминуче відчула дефіцит пального на заправках, під час посівної кампанії! [4].

Самі бойові дії призводять до не менших небезпек: розлите паливо, зруйнована техніка та відпрацьована зброя, підірвані ракети – все це забруднює ґрунт та ґрунтові води хімічними речовинами та важкими металами. Навіть після завершення війни деякі екологічні наслідки проявлятимуться роками. Від початку повномасштабних бойових дій збройними силами росії було здійснено численних ракетних ударів, під час яких з території росії та республіки білорусь та акваторій Чорного та Каспійського морів було випущено понад 2500 крилатих та балістичних ракет. Це оперативно-тактичні ракети «Іскандер» і «Точка У» та крилаті ракети морського та повітряного базування. Нашими ЗСУ знищено близько 9000 одиниць військової техніки окупантів різного типу. Усе це призведе до накопичення канцерогенного сміття.

Російські війська створюють не тільки техногенні та екологічні катастрофи, вони також руйнують природні території, які забезпечували

середовище існування рідкісних видів та оселищ, які знаходяться під загрозою зникнення. За даними Української природоохоронної групи, 44% найцінніших територій природно-заповідного фонду опинилися в зоні бойових дій, під тимчасовим контролем російських загарбників або є недоступними для України.

На цих територіях ростуть тисячі видів рослин, які занесені до Червоної книги України і охороняються законом. Бойові дії порушують спокій тварин. Вони або гинуть, або намагаються втекти з гарячих точок. За підрахунками науковців, під загрозою знищення перебувають майже 200 територій Смарагдової мережі. Це 2,9 мільйона гектарів, які потребують охорони на загальноєвропейському рівні та важливі для рідкісних у Європі видів і природних оселищ. Наразі деякі з таких ареалів рідкісних і ендемічних видів і оселищ опинилися в зоні активних бойових дій. Наприклад, це цілинні нерозорані степи, крейдяні схили на Донеччині, приморські екосистеми в південних областях, болота на півночі.

Зазнають значних уражень території природно-заповідний фонд вздовж Азово-Чорноморського узбережжя, оскільки опинилися в зоні гуманітарної кризи, зокрема біосферний заповідник Асканія-Нова – тут зібрані і живуть на волі різноманітні види тварин, деякі є в дуже обмеженій кількості в світовому масштабі, унікальні для всього світу. Також нищаться національні природні парки «Азово-Сиваський» та «Джарилгацький» [10].

Від початку повномасштабного вторгнення РФ на територію України у Чорному морі, загинули кілька тисяч дельфінів, як наслідки війни рашистських варварів, які використовують потужні гідролокатори й дезорієнтують тварин. Окрім того, дельфіни підриваються на мінах, що дрейфують узбережжям, зокрема у парку «Тузлівські лимани», що на Одещині. Внаслідок активних бойових дій на території України зменшується популяція птахів, виникають пожежі екосистем та викидаються на берег дельфіни. Крім того, солдати РФ захоплюють національні парки та встановлюють свої «начальників» [1].

Ще в перші дні вторгнення в Україну російські війська захопили північ Київської області. Українська влада повністю втратила контроль над територією Чорнобильської зони відчуження. Це створило значні ризики, пов'язані з радіаційним забрудненням. Один з яких виник наприкінці березня. Згідно з даними European Forest Fire Information System, тоді відбувалися масштабні пожежі у західній частині Чорнобильської зони. Було зафіксовано 31 пожежу, що спричинило підвищений рівень радіоактивного забруднення повітря. Загальна площа території, що горіла була понад 7600 га. Переважно це ліси або перелоги. Ще понад 6400 гектарів лісів горіло біля населених пунктів Народичі та Радча, дещо західніше від Чорнобильської зони. Ці дані підтверджуються і Міністерством захисту довкілля України.

Ліси заходу Чорнобильської зони відчуження – одні з найбільш радіаційно забруднених. Ліси біля Народичів та Радчі хоча й не входять до зони відчуження, однак також мають значний рівень радіаційного забруднення (так званий Західний радіаційний слід). Пожежі в таких лісах призводять до вивільнення в атмосферу радіонуклідів, які можуть переноситися вітром на значні відстані. Тому, загроза була актуальною не тільки для України, але й для Білорусі та навіть для всієї Європи. Окрім того, такі пожежі могли повністю знищити не тільки численні села та міста півночі Київщини та Житомирщини, але й стратегічні ядерні об'єкти на території самої Чорнобильської зони. Лісові пожежі палали і біля села Розважів, Іванківського району Київської області, горіло приблизно один гектар лісу [11].

Від середини квітня тривали лісові пожежі і на території Херсонської області, зокрема, біля сіл Геройське та Іванівка, які було проблемно загасити через тимчасову окупацію області. Станом на 5 травня Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України звітувало, що пожежі охопили 130 га лісу на Херсонщині: 70 га – у Геройському та 60 га – в Іванівському лісництвах. Через дії окупантів, суху та вітряну погоду вчасна локалізація пожеж ускладнювалась, адже росіяни не пропускають лісову охорону до осередків загорянь. Таким чином, вогонь знищив цілі екосистеми українських лісів, які потім важко буде відновити [6].

Через обстріли російських окупантів в Донецькій області також масштабно зайнялися ліси. Зокрема, від них потерпали ліси державного підприємства «Лиманське лісове господарство». Станом на 05.05.2022 року площа лісових пожеж досягла 935 гектарів. Спостерігалися масштабні пожежі в Лиманському та Ямпільському лісництвах, гасіння яких унеможлилювалось бойовими діями і постійними обстрілами лісу та лісгосподарської інфраструктури. Моніторинг стану лісів ведеться за допомогою продукту FIRMS від NASA [12].

У сьогоденнішніх непростих умовах, коли наші воїни на полі бою боронять нашу Україну від російського окупанта, нам необхідно скоординувати свої зусилля для протидії пожежам в екосистемах в тилу держави. Про це під час міжвідомчої відеоселекторної наради з питань протидії пожежам у природних екосистемах 12 травня заявив Голова ДСНС України Сергій Крук. «Ворогом здійснюються цілеспрямовані обстріли об'єктів і територій як у районах ведення бойових дій так і в глибокому тилу. Тож, внаслідок застосування бойових засобів ураження в рази зростає загроза виникнення масштабних пожеж в екосистемах», – сказав він. Голова ДСНС додав також, що ситуація ускладнена забрудненістю значних територій лісових масивів, лісопосадок, торфовищ і сільгоспугідь вибухонебезпечними предметами. «Особливо це стосується районів, де

перебував ворог і територій, де ведуться бойові дії. Тож, постійно існує загроза дистанційного застосування ворогом запальновальних засобів для створення зон масових пожеж у хвойних лісах, зокрема поблизу населених пунктів», – додав Голова ДСНС.

Крім того, враховуючи високий рівень мінної небезпеки для рятувальників під час гасіння пожеж, ДСНС було підготовлено Методичні рекомендації щодо організації гасіння пожеж в екосистемах у районах ведення бойових дій, алгоритм дій особового складу у разі виявлення вибухонебезпечних предметів, а також надання домедичної допомоги у разі отримання мінно-вибухових травм [2].

За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України: «Внаслідок військової агресії РФ сьогодні в українських лісах відбувається втричі більше пожеж, ніж у аналогічний період 2021 року. Середня площа однієї пожежі зросла у 16 разів. На сьогодні маємо 191 випадок загорянь у лісі на загальній площі 1754 га», – зазначали у міністерстві. Пожежі, зокрема, виникають унаслідок ворожих обстрілів (як із землі, так і з моря) та через диверсійні заходи у Київській, Херсонській, Миколаївській, Дніпропетровській, Одеській, Донецькій та Харківській областях. Гасіння лісових пожеж у зазначених областях ускладнюється через бойові дії, наявність непідірваних боєприпасів та мінування ділянок лісу [5].

Міністр захисту довкілля Руслан Стрілець заявив, що Україна може стати першою країною у світі, яка отримає репарації за злочини проти довкілля. Збитки, які росія завдала екології України, вже складають сотні мільярдів гривень, розповів міністр. Він зазначив, що міністерство разом із екологами ретельно збирає доказову базу екозлочинів – фото, відео, свідчення людей.

Щодня експерти Оперативного штабу, створеного ще 1 березня 2022 року при Державній екологічній інспекції України, до єдиного реєстру вносять події, що виникли у результаті воєнних дій та спричинили або можуть спричинити забруднення атмосферного повітря, водних та земельних ресурсів небезпечними речовинами. Серед найнебезпечніших фактів зафіксовано пожежі на нафтоховищах, підірвані резервуари з хімічними речовинами, такими як аміак та селітра, пошкоджені газопроводи та знищені водні судна в акваторії Чорного моря. По кожному з випадків збираються всі необхідні вихідні дані та будуть розраховані остаточні суми збитків. Зокрема, вже відібрано понад 50 проб ґрунтів та проводяться інструментально-лабораторні дослідження.

До прикладу, за попередніми підрахунками, шкода, яку завдала лісгосподарським підприємствам російська військова агресія, становить 13,2 мільярда гривень. У лісництвах, які перебували на окупованій території, знищено будівлі та розграбовано обладнання, транспортні засоби, величезну

шкоду завдали лісовій екосистемі, на більшості об'єктів ще досі тривають розмінування, очищення від військової техніки тощо [10].

Зібрана інформація є тільки першим етапом для оцінки злочинів проти довкілля, скоєних росією. У розпал бойових дій, важко побачити реальний масштаб та рівень забруднення навколишнього середовища. Навіть за таких умов вже маємо більше двох сотень зафіксованих злочинів тільки за три місяці. Реальну оцінку вдасться зробити після завершення активних бойових дій, а наслідки українці та українки будуть відчувати роками. Тому, зараз важливо фіксувати злочини проти довкілля, але не відкрито, аби не коригувати вогонь противника, щоб далі мати змогу судити росію і за них.

Кожен може допомогти у зборі інформацію, яку започаткувала ГО «Екодія» надсилаючи інформацію щодо шкоди завданої довкіллю внаслідок російської агресії на пошту ekozlochun@ecoact.org.ua, яку також буде передано Міндовкілля. Ваші повідомлення будуть цінними доказами у судових процесах для відновлення українського довкілля [5].

«Екодія» вже зафіксувала понад 200 екоцидів. Найбільше число цих злочинів сталося на Київщині, Слобожанщині, Донеччині та півдні України (рис.1). Однак, від дій російських військових страждають практично всі регіони України, а повну картину шкоди екології можна буде отримати лише після війни.



Рис. 1. Екологічні злочини проти довкілля спричинені російською війною [8]

Окрім того, є низка інших безпечних інструменти, що дозволяють збирати свідчення і документувати злочини проти довкілля:

Телеграм-бот ; ЕкоШкола ; SaveEcoBot у Вайер ; Сторінка Українського еколога-інформаційного штабу з аналітичної обробки та ліквідації наслідків бойових дій ; Анкета для збору інформації про заподіяння збитків довкіллю внаслідок вторгнення російської федерації на територію України .

До прикладу, Система SaveEcoBot, розроблена громадською організацією SaveDnipro, – єдиний в Україні екологічний чатбот та мапа, які поєднують дані про забруднення, забруднювачів та інструменти захисту довкілля, – автоматично збирає дані про стан атмосферного повітря з майже всіх наявних онлайн-систем в Україні й надає зручний доступ до даних на мапі, а також через повноцінний API, яким також користуються РНБО та Міндовкілля. Таким чином ми маємо вже багато підтверджень воєнних злочинів проти довкілля і населення України – забруднення повітря внаслідок авіаударів та пожеж, зафіксоване приладами громадського моніторингу якості повітря [15].

Зафіксовані екологічні злочини під час бойових дій на території нашої держави та зібрана доказова база будуть використані для покарання агресора на міжнародних судах. Тож підрахунок розміру збитків ведеться постійно, і через те, що воєнні дії на нашій території не припиняються, навести точні цифри збитків неможливо. Але, вже зараз можна стверджувати, що загальний розмір збитків, заподіяних довкіллю, становитиме сотні мільярдів доларів. Однак, рани, які російська армія завдає лісам, степам і водоймам України, залишаться на десятиліття, а спадок війни нестиме загрозу й після того, як гармати стихнуть...

До прикладу, в українському незламному Маріуполі, який окупанти повністю руйнують, погіршується гуманітарна ситуація. Спроби російських окупантів «полагодити» комунікації в місті призвели до пожеж і до того, що водою, яка лине вулицями, вимиває тіла загиблих із поховань у дворах міста. Про це повідомив радник мера Петро Андрющенко в ефірі національного телемарафону. За його словами, російські окупанти намагаються створити уявлення, що в місті щось нібито рухається в кращий бік, але насправді ситуація стабільно критична [9].

Актуальною залишається проблеми затоплення шахт і забруднення питної води в межах Донецької і Луганської областей. Основний негативний вплив на довкілля має рівень підземних шахтних вод, який постійно піднімається на ліквідованих і діючих підприємствах, створюючи загрозу затоплення інфраструктурних об'єктів та цілих населених пунктів на сході

України, а також забруднення мереж водних джерел. Обтяжуючим фактором у цій ситуації слугують умови маловоддя, що спостерігається по всій території країни.

Особливе занепокоєння викликає відсутність конкретної інформації щодо стану вугільних шахт, розташованих на тимчасово окупованих територіях України. Унаслідок російської збройної агресії багато шахт опинились за межами контролю української влади.

Порушення гідрологічного балансу та припинення відкачування підземних вод водовідливними комплексами цих шахт створює високий ризик техногенної та екологічної катастрофи. Конкретними прикладами можливих таких ризиків є: виділення вибухонебезпечного газу-метану та вихід шахтних вод на поверхню, забруднення верхніх водоносних горизонтів, погіршення якісного складу води у водозабірних спорудах (свердловинах, колодязях тощо), просідання поверхні з деформацією розташованих на ній будівель, інфраструктурних об'єктів тощо.

На сьогодні під прямим або опосередкованим контролем РФ відбувається масовий незаконний видобуток вугілля в Луганській та Донецькій областях, у тому числі відкритим способом, про що свідчать космічні знімки. Ведеться хаотичне розграбування природних ресурсів, руйнуються природні екосистеми, забруднюється навколишнє середовище. Це екоцид у його найжорстокішій формі [10].

Нещодавно російські ЗМІ почали поширювати інформацію, з посиланням на їх державні органи, де йдеться про велику вірогідність поширення холери саме у прилеглих до нашої території областях. Як відомо, росіяни не завжди і не вчасно забирають трупи своїх солдатів із нашої землі. Чи не загрожує така ситуація і нам та як убезпечитися від цього? Не виключно, що на окупованих територіях можливий прояв такої хвороби. Холера – це гостра особливо небезпечна інфекційна хвороба. За короткий проміжок часу вона здатна вразити значну кількість людей, викликаючи цілі епідемії, при цьому смертність від неї може сягати 50% за відсутності адекватного лікування. Збудник хвороби – холерний вібріон, який є частиною флори багатьох водоймищ. Основний шлях поширення холери – вода. З водойм збудник холери може потрапити в організм людини при ковтанні води під час купання, вживанні для пиття некип'яченої води. Також, як відомо, захворювання має особливість поширення за низького рівня санітарно-гігієнічного благоустрою, а також у місцях, де є проблеми забезпечення якісною питною водою та медичного обслуговування [10].

Ще одна проблема пов'язана з тим, що значна територія України забруднена незнешкодженими мінами та вибухонебезпечними предметами, зокрема, артилерійськими та інженерними боєприпасами, ракетами різних

типів та їх вибухонебезпечними елементами, що призводить до значних втрат, як військових так і цивільного населення дотепер.

Військові дії росії, безперечно, є не виправданим і не спровокованим актом агресії проти незалежної і суверенної України, а також порушенням усіх існуючих норм міжнародного права щодо охорони природи, сталого розвитку, гуманітарного права, основних норм моралі та принципів людського співіснування. Окрім найочевидніших наслідків війни у багатьох регіонах України, таких як загибель людей, знищення домівок, загальної руйнації та злиднів, війна призводить до погіршення економічного стану країни, загрожує оточуючому середовищу та погіршує соціальні умови життя. Після війни ми будемо пожинати плоди бойових дій – руйнування екосистем, забруднення ґрунтів, зменшення біорізноманіття, зростання кількості шкідників у лісах. Крім того, відбудова країни потребуватиме значної кількості природних ресурсів. Також є ризик невиконання Україною вже поставлених кліматичних цілей, адже війна — це внесок у зміну клімату, а відновлення країни неминуче буде супроводжуватись значними викидами парникових газів [7]. Боротьба триває. Маємо зберегти Україну! Маємо зберегти край, придатний до життя!

Використані інформаційні джерела:

1. Від початку війни у Чорному морі загинули кілька тисяч дельфінів – еколог з Одещини / Суспільне Новини [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://suspilne.media/245823-vid-pocatku-vijni-u-cornomu-morizagininuli-kilka-tisac-delfiniv-ekolog-z-odesini/>

2. Державна служба України з надзвичайних ситуацій / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nubip.edu.ua/node/109230>

3. Збережемо природно-заповідний фонд України / Верховна Рада України / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rada.gov.ua/news/razom/220659.html>

4. Інформація про наслідки для довкілля від російської агресії в Україні 24 лютого – 9 березня 2022 року / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/news/39028.html>

5. Місяць війни. Злочини проти довкілля / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/03/26/684714/>

6. На Херсонщині горять ліси, але російські окупанти забороняють їх гасити / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hromadske.ua/posts/na-hersonshini-goryat-lisi-ale-rosijski-okupanti-zaboronyayut-yih-gasiti>

7. Паньків Н. Є. Характеристика екотуристичного потенціалу України в умовах війни // Креативний простір України та світу : кол. моногр. Харків : СГ НТМ «Новий курс», 2022. С. 154–162.

8. Спустошені землі. Якою буде природа України після війни Вікторія Приседська, В'ячеслав Шрамович BBC News Україна / [Електронний ресурс]. – Режим доступу

:https://www.bbc.com/ukrainian/extra/mwu5sxghvc/ukraine_war_damaged_nate

9. У Маріуполі вода вимиває із могил тіла загиблих – радник мера ТСН <https://tsn.ua/ato/u-mariupoli-voda-vimivaye-iz-mogil-tila-zagiblih-radnik-mera-2063083.html>

10. Усі заповідяні нашому довікільлю збитки ворог має обов'язково відшкодувати / Голос України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.golos.com.ua/article/360514>

11. У Чорнобильській зоні відчуження горять радіаційно-забруднені ліси / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://denzadnem.com.ua/nadzvyhajno/107791>

12. Через обстріли росіян на Донеччині горять ліси / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://novynarnia.com/2022/05/05/chez-obstrily-rosiyan/>

13. Чим загрожує пряме порушення українського екологічного законодавства, прав людини, ядерної безпеки та миру у всьому світі: ключові ризики / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecolog-ua.com/news/chym-zagrozhuje-pryame-porushennya-ukrayinskogo-ekologichnogo-zakonodavstva-prav-lyudyny>

14. Як війна впливає на довілля і як можна допомогти його відновлювати – розповідає екологиня / Суспільне Новини / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://suspilne.media/231917-ak-vijna-vplivae-na-dovkilla-i-ak-mozna-dopomogti-jogo-vidnovlupati-rozpovidaie-ekologina/>

15. Як у Дніпрі фіксують воєнні злочини проти довілля Українська Правда / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pravda.com.ua/columns/2022/04/29/7342967/>

**МОДЕЛЬ ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНОГО СКРИНІНГУ
КОРМОВОЇ БАЗИ ДЕМОНСТРАЦІЙНОЇ ПАСІКИ**

**ECOLOGICAL-TOXICOLOGICAL MODEL SCREENING OF
FEED BASE OF DEMONSTRATION APRICOT**

¹Сідашова С.О., кандидат сільськогосподарських наук, експерт-дорадник, ²Роман Л.Г., канд. ветеринарних наук, доцент каф. акушерства і хірургії та хвороб дрібних тварин, ²Улизько С.І., кандидат ветеринарних наук, доцент кафедри незаразних хвороб і клінічної діагностики, ²Попова І.М., кандидат ветеринарних наук, доцент кафедри епізоотології, паразитології та мікробіології, ²Ясько В.М., кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри технології виробництва і переробки продукції тваринництва

¹Аграрна дорадча служба ГО «Всеукраїнська Рада Жінок Фермерів»,
Україна

²Одеський державний аграрний університет, Україна

Анотація. Наслідки впливу військових дій на території України призводять до виникнення численних ризиків хімічного забруднення агроландшафтів – основи кормової бази бджільництва. Зі складових елементів ґрунтів та води будуються тканини рослин, зокрема йде синтез у репродуктивних органах ентомофільних рослин нектару і пилку, як головного кормового ресурсу для бджіл. Дослідження останніх років довели, що хіміко-аналітичними методами неможливе повне біологічне визначення рівня шкочочинності для організму тварин і людей впливу численних забруднювачів агресивного, антропогенно зміненого довкілля, з причин нез'ясованості шляхів біотрансформації та процесів синергії з іншими елементами довкілля, різних токсичних речовин зі складу ґрунту, що попадають у організм медоносних бджіл. На сьогодні вплив наслідків застосування сучасної зброї на території сільськогосподарських угодь недостатньо вивчено. Розроблена методика використання мікробіологічного методу експрес-аналізу показників загальної токсичності різних об'єктів довкілля, що складають кормову базу бджільництва, може слугувати одночасно моделлю оцінки токсикогенності території і окремих об'єктів середовища та оперативним інструментом виявлення шкочочинних елементів кормових ресурсів бджіл. Застосований у створенні методичної моделі спосіб (з допомогою синхронізованої культури інфузорій

колпод) визначення показників загальної токсичності, зважаючи на універсальність його інтегрованого критерію шкودочинності дії на мікро- і макроорганізми великого кола елементів довкілля, може слугувати одночасно методичною моделлю експрес-оцінки еколого-токсикологічного профілю території навкруги пасіки та оперативним і доступним інструментом виявлення окремих забруднювачів і пошуку шляхів ліквідації та профілактики екзоінтоксикацій бджіл та погіршення якості меду.

Попередні розвідкові експрес-дослідження окремих об'єктів довкілля (2014-2021 рр.) на території трьох областей України показали наявність загальної слабкої токсичності у питній воді в $20,48 \pm 8,95\%$ зразків ($P < 0,01$), а токсичності різного ступеня у вегетативних і генеративних частинах рослин – $5,56 \pm 3,51\%$ зразків ($P < 0,001$). Збільшення токсичних ушкоджень території України внаслідок воєнної агресії РФ кидає виклик для поглибленого наукового пошуку удосконалення методик оперативного реагування з метою профілактики екзоінтоксикації кормової бази бджільництва і широкого застосування мікробіологічного способу експрес-біотестування рівня загальної токсичності об'єктів довкілля.

Ключові слова: бджоли, кормові ресурси, рослини-нектароноси, загальна токсичність, інфузорії *Colpoda steinii*, тест-організми.

Abstract. *The consequences of the impact of hostilities on the territory of Ukraine carry numerous risks of chemical contamination of agricultural landscapes – the basis of the fodder base of beekeeping. Plant tissues are built from the constituent elements of soil and water, in particular the synthesis of nectar and pollen in the reproductive organs of entomophytic plants as the main food resource for bees. Studies in recent years have shown that chemical-analytical methods can not fully determine the biological level of harm to animals and humans from the effects of numerous pollutants of aggressive, anthropogenically altered environment, due to unclear ways of biotransformation and synergy processes with other components of the environment of various toxic substances from the soil that enter the body of honey bees. At present, the impact of the consequences of the use of modern weapons on the territory of agricultural agreements is insufficiently studied. The developed method of using the microbiological method of rapid analysis of general toxicity of various environmental objects that make up the fodder base of beekeeping can serve as a model for assessing the toxicity of the territory and individual objects and an operational tool for detecting harmful elements of forage resources. The method used to create a methodological model (using synchronized culture of colpod infusoria) to determine the indicators of general toxicity, given the universality of its integrated criterion of harmfulness to micro- and macroorganisms of a wide range of environmental elements, can serve as a methodological model of rapid*

assessment of ecological and toxicological around the apiary and an operational and affordable tool for detecting individual contaminants and finding ways to eliminate and prevent exo intoxication of bees and deterioration of honey. Preliminary exploratory rapid studies of individual environmental objects (2014-2021) in the three regions of Ukraine showed the presence of general low toxicity in drinking water in $20.48 \pm 8.95\%$ of samples $P < 0.01$), and the toxicity of various degree in the vegetative and generative parts of plants – $5.56 \pm 3.51\%$ of samples ($P < 0.001$). The increase in toxic damage to the territory of Ukraine due to military aggression of the Russian Federation challenges the in-depth scientific research to improve the methods of rapid response to prevent exo intoxications of bee feed and widespread use of microbiological rapid biotesting of general toxicity.

Key words: *bees, food resources, nectar-bearing plants, general toxicity, ciliates of Colpoda steinii, test organisms.*

Вступ. Особливості кормової бази бджіл витікають з технологічних відмінностей галузі бджільництва, яка базується на біологічних особливостях комах як виду. В бджільництві, на відміну від інших галузей тваринництва, кількість та якість кормових ресурсів значно менше залежать від власників бджолосімей, ніж від оточення їх пасіки. Те ж саме можна відмітити щодо ураження кормових ресурсів бджіл токсичними речовинами, які в сучасних умовах бджільництва в Україні недостатньо профілактуються і часто слабо піддаються ідентифікації характеру поллютантів внаслідок нерозвиненої санітарно-ветеринарної інфраструктури.

На сьогодні в Україні внаслідок воєнної агресії РФ суттєво погіршилась екологічна ситуація, в тому числі на великих площах агроландшафтів, які були традиційною кормовою базою бджільництва, що несе в собі безліч ризиків для здоров'я тварин і людей [1, 5, 9].

Українськими спеціалістами з'ясовано, що відповідно до кліматичних умов та рослинного покриття території перші виліти бджіл після зимівлі здійснюються у кінці березня (з коливаннями 10-15 діб), коли зацвітають первоцвіти. Закінчується збирання корму бджолами за падіння температури вдень нижче 8°C тепла (в жовтні). Найбільш багатий взяток бджоли отримують під час інтенсивної роботи у червні-липні, коли квіти щедро виділяють нектар, тривала протяглість світлої пори стимулює розвиток рослин і літ бджіл-збирачок [3]. Експериментально доведено, що збирачки приносять у медовому зобику від 40 до 60 мг нектару, а для отримання 1 кг свіжого нектару треба здійснити 25 тисяч вильотів, що, відповідно свідчить за дуже широке коло об'єктів кормової бази кожної бджолосім'ї. За сучасними даними найбільш типовою для вилітів робочих бджіл є територія в межах від 0,5-1–1,5 км і до 2-3 км, до того ж, для окремих

популяцій характерним явищем є флороспеціалізація до визначених видів рослин [1].

Учені з'ясували, що виділення нектару рослинами залежить від інтенсивності фотосинтезу у зелених листях, вмістилищах хлорофілу. Органічні речовини, які утворюються внаслідок фотосинтезу, використовуються для формування нових тканин для росту рослин, витрачаються у процесі метаболізму для одержання енергії, відкладаються у запас, а також частково виділяються у вигляді нектару. Основою нектару є органічні цукри, які від листків безперервно рухаються по судинам флоєми до ростучих пагонів і коренів, а також до квіток, а потім – плодів [3].

Матеріалом для утворення нектару стає сік, який надходить по судинам флоєми, зрідка і ксилеми. На відміну від судинного соку нектар майже не має азотних сполук і складається з водорозчинних цукрів (сахарози, глюкози, фруктози у різних пропорціях). У деяких рослин нектар вміщає і більш складні сполуки – мальтозу, мелібіозу, рафінозу та незначну кількість декстринів, багатоатомних спиртів, органічних кислот і солей. Різне співвідношення окремих компонентів нектару зумовлює специфічний смак, аромат, колір тощо різних моно- і поліфлорних сортів меду [1, 3].

Інтенсивність виділення нектару передусім залежить від активності фотосинтезу, але в значній мірі регулюється зовнішніми факторами, які впливають на ріст і розвиток рослини, а саме: характеристики ґрунту, водопостачання, агротехніки вирощування, погодних умов, екологічної ситуації на території [8]. Таким чином, можна зробити попередній висновок, що біологічна безпечність квітучих рослин під час виділення нектару, яким живляться бджоли, залежить від численних факторів зовнішнього впливу, передусім, тих об'єктів природи, які безпосередньо контактують з рослиною (ґрунти, вода, повітря), а також від багаточисленних антропогенних факторів, значна частина яких може нести токсичні для комах речовини (добрива, гербіциди, інсектициди, побутові відходи, інші токсикогенні об'єкти довкілля, які знаходяться в межах льоту бджіл, і навіть на великій відстані, але можуть бути принесені вітром, водою тощо).

Дослідники вказують [5], що сільськогосподарська сировина, до складу якої можна віднести і кормову базу бджільництва, забруднюється пестицидами прямим і непрямим шляхом. Пряме забруднення – під час оброблення сільськогосподарських культур, непряме – шляхом міграції токсичних речовин ыз ґрунту, запилення рослин ґрунтом під час розпушування полів, занесення забруднювачів під час оброблення сусідніх територій, попадання у водойми, використання забрудненої води для поливу рослин, оброблення лісів та лісонасаджень пестицидами тощо. Зокрема, встановлено що найбільше значення для рослин є міграція пестицидів у ґрунті, особливо для препаратів із високою хімічною стійкістю у об'єктах

біосфери [5]. Зазначимо, що динаміка міграцій токсичних забруднювачів у біологічних харчових ланцюжках на сьогодні вивчена недостатньо, що підкреслює актуальність дослідження еколого-токсикологічного профілю складових об'єктів, які мають дотичність до кормової бази бджіл через квітковий нектар і пилок шляхом визначення загальної токсичності, що вміщає залишкові кількості хімічних токсикантів.

Екологічні наслідки на прикладі постраждалих від військової агресії РФ територій України (порушення ґрунтового покриву, лісові і степові пожежі, забруднення поверхні землі нафтовими і хімічними викидами внаслідок підривів транспорту, ін.) можуть слугувати моделлю для висновків щодо екологічної безпеки територій.

На сьогодні, незважаючи на великий обсяг відомих методик визначення окремих хімічних токсикантів у кормових об'єктах [8, 18], науковці свідчать що аналітичні методи контролю токсичних сполук у довкіллі не є достатньо інформативними, оскільки демонструють тільки фізіологічно активні форми цих компонентів, а також не передбачають процеси комплексної трансформації небезпечних поллютантів у живих організмах [9].

Мікробіологічний тест належить до мультиспецифічних досліджень, які дають узагальнену (інтегровану) відповідь щодо вмісту всіх разом шкідливих речовин у зразку, що випробується.

В якості тест-об'єктів інфузорії показують ряд технологічних переваг. Вони високо чутливі до малих кількостей токсинів грибного й хімічного походження, мають відносно велику площу поверхні контакту з розчиненими у воді поллютантами, високий рівень метаболізму і прості у використанні. Всі ці переваги дозволяють у польових умовах звичайного сільгосп підприємства або пасіки отримати результати щодо наявності або відсутності токсичності у зразку впродовж 1-3-х годин [17, 19].

Зважаючи на низку фізіологічних особливостей, саме інфузорія виду *Colpoda steinii* останнім часом набула актуальності в якості тест-організму, який реагує на хімічні, біологічні або інші ушкоджуючі фактори, аналогічно вищим макроорганізмам [4, 17]. Суттєва перевага *Colpoda steinii* перед іншими мікробіологічними тест-організмами полягає в тому, що стандартний штам інфузорії є синхронізованою культурою і має стабільну чутливість до токсичних сполук [4, 17]. Це дозволяє отримати стандартні результати експрес-біотестування за термін впродовж від трьох хвилин до трьох годин, а також забезпечує відтворення результатів за повторних досліджень. Простота і компактність методу дозволяє використовувати його у польових умовах, тобто там, де відсутні умови для експерименту на інших біологічних об'єктах (лабораторні миші, кролі, риби, ін.). Методика визначення загальної токсичності зразків середовища з допомогою сухої

культури інфузорій *Colpoda steinii* може мати широке застосування на різних об'єктах сільськогосподарського виробництва на етапах вхідного, поточного і кінцевого контролю сировини та продукції, що особливо актуально в умовах різкого погіршення екологічної ситуації та неможливості оперативної визначити вид і характер забруднювачів.

У ряді зарубіжних джерел підкреслено необхідність біоконтролю токсичності продукції агросектора на всіх етапах виробництва виходячи з можливості біоаккумуляції шкідливих хімічних елементів (важкі метали, радіонукліди, бактерійні токсини тощо), що можуть проникати до високих трофічних рівнів, включаючи продовольчу базу населення [18].

На сьогодні в літературі відсутні дані щодо широкого дослідження інтегрованої загальної токсичності різних об'єктів кормової бази бджіл, зокрема, недостатньо вивчено шкодочинну дію хронічного екзогенного ушкодження бджолосімей слабкими залишковими рівнями екзогенних токсинів технологічного походження [10]. Зважаючи на значення медоносних бджіл як джерела високоякісних харчових продуктів (мед та апіпродукти) та одного з основних запилювачів сільськогосподарських культур, дослідження еколого-токсикологічного профілю кормових ресурсів пасіки має актуальність як модельна методика з широким науково-виробничим використанням.

Метою нашого дослідження було розробити методику визначення з допомогою експрес-біотестування мікробіологічним способом (культура інфузорій *Colpoda steinii*) еколого-токсикологічного профілю об'єктів кормової бази бджіл на території, окресленої радіусом продуктивного льоту бджоли (до 3-5-х км у радіусі від центру пасіки), що може слугувати моделлю скринінгу показників загальної токсичності джерел кормів медоносних бджіл для будь-якої місцевості.

Для виконання мети нами визначено план робіт для здійснення ряду послідовних **завдань на наступний медоносний сезон**, а саме: провести аналіз попередніх розвідкових досліджень із метою інноваційного використання мікробіологічного експрес-тестування об'єктів у бджільництві; розробити план-графік відбору зразків для дослідження відповідно до календаря цвітіння медоносів; провести скринінгові дослідження показників загальної токсичності ґрунтів, води, квіткових рослин на території продуктивного льоту бджіл демо-пасіки; здійснити порівняльно-статистичний аналіз результатів експрес-біотестування і виявити токсикогенні джерела у кормах, якими живляться бджоли впродовж медоносного сезону.

Матеріали і методи дослідження. В ході дослідження були використані наступні методи: аналітичний, статистичний, структурно-порівняльний, а також застосовані дані попередніх досліджень (за 2015-2022

pp.) із визначення способом експрес-біотестування з допомогою культури інфузорій колпод показників загальної токсичності зразків кормів, продуктів тваринництва та інших об'єктів довкілля, що було викладено у наших попередніх публікаціях [10, 12-14].

Для апробації моделі визначення еколого-токсикологічного профілю кормової бази бджільництва на прикладі демонстраційної пасіки «Петродолина» (Одеська обл.) було розроблено попередні підготовчі дії за планом робіт на наступний сезон медозбору, що викладено нижче.

Нижче наводимо план робіт для проведення еколого-токсикологічного експрес-біотестування зразків об'єктів території кормової бази бджолосімей демо-пасіки «Петродолина» (Одеська обл.):

- розроблено методичний підхід до визначення оперативним і доступним у польових умовах способом показників загальної токсичності різних об'єктів середовища (квітів рослин та субстрату, на якому вони ростуть) у межах продуктивного льоту бджіл окремої демонстраційної пасіки (10 бджолосімей);

- підготовано адаптований інструментарій для відбору зразків і проведення у польових умовах експрес-біотестування мікробіологічним методом з допомогою сухої культури інфузорій *Colpoda steinii*, що детально викладено у наших попередніх публікаціях (Sidashova et al., 2016-17);

- розраховано і підготовано за попередніми висновками наших скринінгових досліджень, необхідну кількість препаратів експрес-біотестів і розхідних матеріалів [10-11];

- підготовано з допомогою інтернет-ресурсу необхідні для проведення дослідження графічні зображення фрагментів GOOGLE-мап з визначеною площею (територія з окружністю до 3-5 км від центру демо-пасіки; рис. 1 і 2), де знаходяться об'єкти довкілля, дотичні до можливого токсичного впливу на кормову базу бджіл;

- проведено попереднє структурування території на GOOGLE-мапах із визначення графіку цвітіння окремих нектароносних (пилконосних) культур відповідно до календарю цвітіння, характерному для даної місцевості [15];

- розроблено структуру об'єктів дослідження, які знаходяться на території кормової бази бджіл демо-пасіки (грунти, водойми, площі дикорослих і культурних рослин-нектаро- і пилконосів, небезпечні і токсикогенні об'єкти – сміттєзвалища тощо);

- підготовано план відбору зразків відповідно до перебігу медоносного сезону з використанням попередньо зроблених нами розвідкових досліджень: заплановано відбір зразків (грунт, проби води, дикорослі і культурні рослини) з кожного гектару території в радіусі до 3-5-

ти км від центру локації демо-пасіки з орієнтацією на зображення GOOGLE-мапи;

- відповідно загальновідомої методики еколого-токсикологічного експрес-аналізу та проведених попередньо розвідкових скринінг-біотестів заплановано проведення 200-250 експрес-біотестувань зразків та фіксація наявності або відсутності в їх складі загальної токсичності у лабораторному журналі [6-7];

- у кінці сезону медозбору заплановано здійснити підсумковий аналіз отриманих впродовж всього дослідження результатів, їх статистичну обробку і порівняння відповідно до методики [16].

В якості матеріалів дослідження були заплановані різні об'єкти агроландшафту в межах кола з діаметром 3-5 км, схема яких структуровано надана рисунком 2.

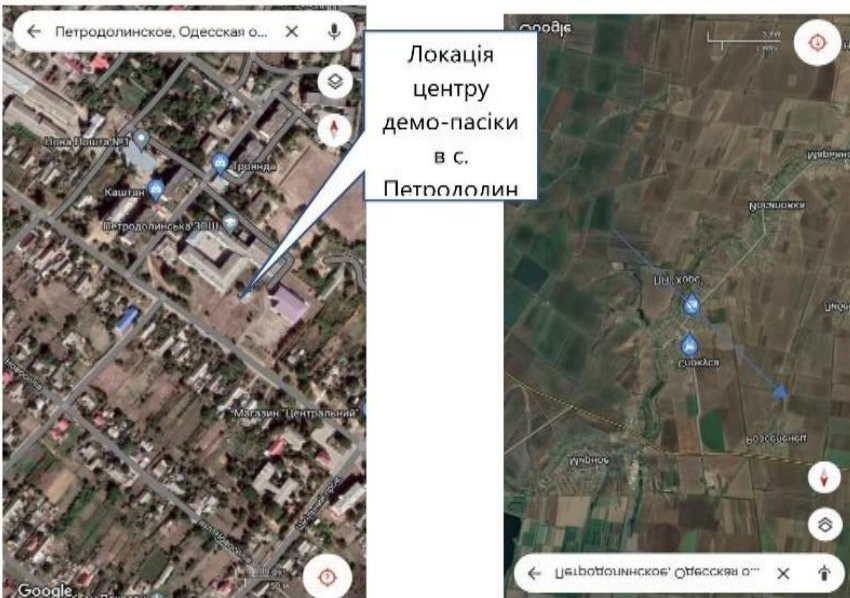


Рис1. Використання цифрового контенту для визначення кормових ресурсів бджіл та місць відбору зразків об'єктів довкілля навкруги (радіус території дослідження до 2-5 км) демо-пасіки по зображенням фрагментів GOOGLE-мапи з різною площею кормової території

а. Локація території демо-пасіки на фрагменті GOOGLE-мапи (радіус 50 м від центру пасіки)

в. Локація території демо-пасіки на фрагменті GOOGLE-мапи (радіусом 2 км від центру пасіки) 3

Детально методику дослідження зразків з допомогою препарату культури *Colpoda steinii*, яка зберігається в герметичних флаконах (рис. 3, а і в) впродовж 4-х місяців і може бути використана для випробування після 16-ти годинного культивування (оживлення) за температури 26-28 °С, нами було викладено у попередніх публікаціях [10-11]. Після інцестування інфузорій, проводили контроль їх рухливості (рис. 4) і використовували як біотест-індикатори визначення загальної токсичності відповідно до вимог настанови [7].

Проби зразків об'єктів середовища в межах кормової бази демо-пасіки (20 г, у двох повторюваннях) заплановано відбирати відповідно до вимог інструкції виробника препарату культури *Colpoda steinii* [7] з використанням модифікацій, розроблених у попередніх дослідженнях [10-11], що враховували фізичні характеристики зразків (грунт, вода, частини рослин тощо). Контроль рухливості тест-об'єктів проводили методом роздавленої краплі з п'яти різних точок мікроскопічного препарату (100х).

Відповідно до показників робочої шкали загальної токсичності [4, 16] у лабораторному журналі фіксували результати випробувань зразків по рівням: «гостро токсично», «токсично», «слабко токсично», «не токсично» (для кожного терміну тестування через три хвилини контакту водного екстракту зразку з інфузоріями, через 10 хв. і через 3 години). Відсутність загальної токсичності у зразку, тобто безпечність об'єкту експрес-дослідження відповідатиме візуальна картина у полі мікроскопа – рухливі інфузорії *Colpoda steinii* з типовою морфологією [4, 10, 16, 19]. Біометричну обробку одержаних результатів досліджень проведено за методикою [16].

Результати досліджень. За результатами попередніх розвідкових досліджень впродовж 2014-2021 років, проведених нами в трьох областях України і викладених в ряді публікацій [10], було визначено, що серед об'єктів зовнішнього довкілля, які мали дотичність до кормових ресурсів бджільництва, зустрічались зразки з ознаками загальної токсичності (табл. 1 і 2).

Таблиця 1. Результати еколого-токсикологічного експрес-біотестування проб питної води для тваринницьких підприємств у трьох областях України (2014-2019 рр.)

Область	Число проб	Результати випробувань, кількість зразків, %	
		нетоксичні	токсичні**
Дніпропетровська	10	100,00	0,00
Полтавська	6	66,67	33,33
Донецька	9	88,89	11,11
Одеська	10	63,50	37,50
Разом досліджено (M ± m)	35	79,67±8,79	20,48±8,95*

Примітка: * – $P < 0,01$ ($CV = 22,059$; $td = 4,723$); ** – показники всіх визнаних токсичними проб відповідали значенню «слабка загальна токсичність»

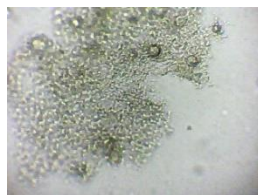


Рис. 3. Підготований зразок проби квіток чайної (а) і бузини дикорослої (в) (перед подрібненням квіток) та флакони сухої культури інфузорій *Colpoda steinii* і поживного середовища (для проведення попереднього інцестування тест-організмів).

Рис. 4. В полі зору мікроскопа (100x): оживлені, вже активні інфузорії колподи та ті інфузорії, які ще знаходяться в цистах. Рухливі форми вже живляться на колонії мікроорганізмів, що входять до у складу поживного середовища (*Bacillus subtilis*) та готуються до розмноження.

Серед обстежених областей України тільки джерела артезіанської питної води (Полтавська область) для тваринницьких підприємств не показали ознак токсичності, що свідчило за екологічне благополуччя території. В інших обстежених областях для напування тварин

використовували водопровідну хлоровану воду, що, відповідно, надало їй ознак слабкої токсичності у 11,11-37,50% ($P < 0,01$) випадків, які, вірогідно були пов'язані з підвищенням рівня вмісту сполук хлору у воді, бо інфузорії дуже чутливі до отруйної дії хлору. У таблиці 2 наведені результати обстеження вмісту загальної токсичності в різних частинах зелених рослин, а саме: у вегетативних органах (листя, стебла) або у репродуктивних (квітки разом із прилеглими частинами рослин).

Узагальнені результати розвідкових експрес-досліджень показали, що у 5,56% зразках рослин ($P < 0,001$) виявлено ознаки різних рівнів загальної токсичності (від помітної до слабкої), що демонструвало необхідність проведення більш розширених випробувань, для уточнення шкодочинності окремих елементів кормової бази пасіки впродовж сезону медозбору

Таблиця 2. Результати еколого-токсикологічного експрес-біотестування зразків квітучих рослин-нектароносів (Одеська область, 2021 р.)

Зразки рослин	Число проб	Результати випробувань, кількість зразків, %	
		нетоксичні	токсичні
Садіві культури (квітки)	6	83,33	16,67
Дикорослі рослини (квітки)	6	100,00	0,00
Культурні рослини (квітки – роза чайна)	3	100,00	0,00
Зелені вегетативні частини рослини (кукурудза кормова)	9	88,89	11,11
Трава пасовища (вегетативні частини рослин)	5	100,00	0,00
Разом досліджено ($M \pm m$)	29	94,44 \pm 3,51	5,56 \pm 3,51*

Прим.: * - $P < 0,001$ ($CV=7,858$; $td=17,886$)

Обговорення результатів. Для підтримання нормальної життєдіяльності окремої бджоли та бджолосім'ї в цілому існує потреба в чистій безпечній воді для пасіки, зокрема, враховуючи біологію комах, і на всій території продуктивного льоту бджіл (відкриті водойми тощо). Наші дослідження показали присутність слабкої загальної токсичності в значному відсотку (до 37,50%) проб питної водопровідної води деяких областей, що свідчить за необхідність приділити більше уваги забезпеченню якісною водою пасіки, що відмічено в ряді досліджень [1, 12].

Вплив на стан бджіл і показники якості меду відкритих джерел води, тих що знаходяться на територіях, які підпадали під дію токсикогенних факторів, що особливо актуально для післявоєнного часу, ще не вивчено. Вірогідно, визначення еколого-токсикологічних профілів окремих пасік може показати токсикогенний стан узагальненої картини питних джерел води, що змінився внаслідок ушкодження територій військовими діями, значення чого для всього агросектору і населення підкреслено у роботах українських вчених [5, 9].

Широкомасштабних досліджень загальної токсичності як окремих елементів кормової бази бджіл (зокрема, ґрунтів, на яких ростуть квітучі рослини, які найчастіше відвідують бджоли) на сьогодні відсутні. В численних дослідженнях українських і зарубіжних авторів надаються дані щодо вмісту токсичності лише окремих шкочинних елементів, як то важкі метали, радіонуклеїди, окремі хімічні речовини, присутні у засобах боротьби зі шкідниками рослин тощо [1, 8, 18]. Така ситуація не дозволяє розробити оптимальні заходи забезпечення біологічної повноцінності кормової бази бджіл для пасік, що знаходяться у дуже різних умовах довкілля.

Використання сучасних можливостей цифровізації агросектора (наприклад, використання GOOGLE-мап) допомагають у організації методик оптимізації оцінки токсикогенності середовища, що формує кормову базу бджільництва, на основі чого створюються умови розробки успішних заходів профілактики інтоксикацій бджолосімей і отримання меду з високими світовими стандартами якості.

Універсальність запропонованої методики експрес-оцінки еколого-токсикологічного профілю території формування продуктивності демонстраційної пасіки, що опирається на універсальний критерій оцінки інтегрованої загальної токсичності різних об'єктів (із допомогою тест-об'єктів – інфузорій колпод) дозволить оперативно оцінити і співставити рівень зміни шкочинності кормових ресурсів пасік, розташованих в дуже несхожих регіонах і сприяти науковому пошуку адекватних засобів боротьби із загрозами інтоксикації організму бджіл та продукції, яку вони виробляють. експрес-аналіз може дати наукову базу для розробки ефективної та оперативної профілактики екзоінтоксикацій об'єктів агроландшафтів і тварин, що на них мешкають.

Висновки. У результаті попередніх розвідкових експрес-досліджень показників загальної токсичності різних об'єктів аграрного виробництва було встановлено наявність токсичних складових, дотичних до формування кормової бази бджіл. Серед проб питної води (n=35) виявлено шляхом експрес-біотестування з допомогою сухої культури інфузорій *Colpoda steinii* 11,11-37,50% зразків зі слабкою токсичністю, а серед зразків

рослин (n=29) – від 0% до 16,67%, що свідчило за необхідність продовжувати скринінгові дослідження для встановлення еколого-токсикологічних профілів агроландшафтів на територіях в межах продуктивного льоту бджіл, як біоіндикаторів екологічного стану місцевості. Розроблена структурно-методична модель експрес-біотестування об'єктів кормових ресурсів демо-пасіки дозволяє формувати еколого-токсикологічний профіль за універсальними критеріями біологічної безпечності для значних територій України, ушкоджених хімічними забруднювачами внаслідок воєнної агресії.

Використані інформаційні джерела:

1. Adamchuk L. O. Efektivne vykorystannia bdzhil dlia zapylennia sadiv ta yagidnykiv : metodychni rekomendatsii. [Efficient vikorystannya bdzhil for sawing gardens and yagidnykiv: methodical recommendations] Kyiv : St-Druk, 2020. 130 s. (in Ukrainian).

2. Bakun Yu., Sidashova S. Orhanizatsiina model doradchoho suprovodu adaptatsii subiektiv hospodariuvannia ahropromysloвого vyrobnytstva do zminy klimatu. [Organizational model of advisory support of adaptation of agro-industrial production entities to climate change]. Naukovyi zhurnal. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. 2020. №2. P. 210–215. (in Ukrainian).

3. Hodovaia kormoobespechennost pchel. [Annual food supply of bees.] – [Electron resource – [Elektronnyi resurs]. – <https://www.obnogka.ru/osnovysoderzhaniya-silnyh-pchelynih-semej.html> (in Ukrainian).

4. Vynokhodov D. O. Byotestyrovanye na kulturnakh ynfuzoryi v dyahnostycheskoi profylaktyke pyshchevykh otravlenyi zhyvotnykh (obzor). [Biotesting on cultural ciliates in the diagnostic prevention of food poisoning in animals (review)]. Veterynarnaia patolohiya. 2006. №1. P. 90–96. (in Ukrainian).

5. Hruzдова V. O., Koloshko Yu.V. Skladovi harantii ekolohichnoi bezpeky u suchasnomu ahrokompleksi: Component guarantees of ecological safety in a modern agricultural complex]. Zb. mat. I Mizhnar. nauk.-prakt.konf. «Podolannia ekolohichnykh ryzykiv i zahroz dlia dovkillia v umovakh nadzvychnykh sytuatsii – 2022» (26-27 travnia 2022, Poltava – Lviv). Potava : NUPP, 2022. P. 48–51 (in Ukrainian).

6. Informatsiyni lyst pro novovvedennia v systemu okhorony zdorovia. Vykorystannia infuzorii Colpoda steinii dlia otsiniuvannia toksychnosti v umovakh laboratorii sanitarno-epidemichnoi sluzhby/ [Information letter on innovations in the health care system. Use of Colpoda steinii infusoria to assess toxicity in sanitaryepidemiological service laboratories]. Ukladachi: Hryhorasheva I.M, Lozytskyi V.P., in. Ukrmedpatentinform. K. : 2005. 3 s. (in Ukrainian).

7. Nastanova po zastosuvanniu preparatu kultury Colpoda steinii sukhoi dlia ekooho-toksykologichnykh doslidzhen ob'ektiv zovnishnoho seredovyscha, produktiv tvarynnystva ta ptakhivnystva. [Guidelines for the use of the drug culture of dry for eco-toxicological studies of environmental objects, livestock products and poultry]. Odesa, 2005. 2 s. (in Ukrainian).

8. Kotsymbas I., Malyk O., Petereha I., Chura D. Toksykobiologichnyi kontrol novykh zasobiv zakhystu tvaryn. [Toxicobiological control of new means of animal protection. Detection of long-term consequences]. Vyiavlennia viddalenykh naslidkiv. Veterynarna medytsyna Ukrainy. 1998. №2. P. 30–32. (in Ukrainian).

9. Krupei K. S., Riabko I. Iu. Ekologichni naslidky raketnykh obstriliv terytorii i akvatorii Ukrainy v umovakh viiny. [Ecological consequences of rocket attacks on the territories and waters of Ukraine during the war]. Zb. mat. I Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Podolannia ekolohichnykh ryzykiv i zahroz dlia dovkillia v umovakh nadzvychainykh sytuatsii – 2022» (26-27 travnia 2022, Poltava-Lviv) Potava : NUPP, 2022. P. 148-155 (in Ukrainian).

10. Sidashova S.O. Ekspres-biotestuvannia kormiv v umovakh fermy z vykorystanniam kultury infuzorii kolpody. [Express biotesting of feed in the farm using the culture of infusoria colpods]. Эксكليузывnye tekhnolohyy. 2017. №1 (46). P. 58–60 (in Ukrainian).

11. Stryzhak T. A., Sidashova S. O., Palahuta A. V. Metodyka ekspresdoslidzhennia toksykologichnoho profilu svynarskykh pidprijemstv. [Methods of express research of toxicological profile of pig enterprises]. ITB IT NAAN. 2016. №116. P. 211–216 (in Ukrainian).

12. Sidashova S. O., Susol R. S. Skansen iz demo-polianoiu likarskykh roslynmedonosiv yak innovatsiia u zabezpechenni bazy naukovo-vyrobnychykh doslidiv u suchasnykh rynkovykh umovakh. [Skansen with a demo-glade of medicinal honey plants as an innovation in providing a base of research and production research in modern market conditions]. Zb. nauk. st. «Rol naukovo-tekhnichnoho zabezpechennia rozvytku ahropromyslovoho kompleksu v suchasnykh rynkovykh umovakh» : mat. Vseukrainskoi naukovo-prakt. konf. (Dnipro, 25 liutoho, 2021 r.)/NAAN, DU Instytut zernovykh kultur. Dnipro, 2021. P. 508-511 (in Ukrainian).

13. Sidashova S., Bakun Yu. Perspektyvy rozvytku bioekonomiky Ukrainy za vykorystannia potentsialu orhanichnykh simeinykh pasik. [Prospects for the development of the bioeconomy of Ukraine using the potential of organic family apiaries]. Mat. dopovidei 5-ho Mizhnarod. naukovo-prakt. seminaru «Rozvytok bioenerhetychnoho potentsialu v silskomu hospodarstvi» (m. Kyiv, 7-8 liutoho 2020 r.). K.: Vydavnytstvo «Naukova stolytsia», 2020. P.132–134. (in Ukrainian).

14. Sidashova S. O., Yasko V. M., Kirovych N. O. Navchalna pasika yak model vprovadzhenia kontseptsii dualnoi osvity v ukrainskomu ahrarynomu sektori / [Educational apiary as a model for implementing the concept of dual education in the Ukrainian agricultural sector]. Naukovo-informatsiyni visnyk

biolohotekhnolohichnoho fakultetu. Vyp. 13. Kherson : KhDAU, VTs «Kolos». 2020. P. 341–347 (in Ukrainian).

15. Sidashova S. O., Kliebanova L. H., Popova I. M. Monitorynh zahalnoi toksychnosti obiektiv ahrolandshaftiv yak kormovoi bazy bdzhilnytstva. [Monitoring the overall toxicity of agro-landscape objects as a fodder base for beekeeping]. /Zb. mat. I Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Podolannia ekolohichnykh ryzykiv ta zahroz dlia dovkillia v umovakh nadzvychainykh sytuatsii – 2022», (26-27 travnia 2022 r., Poltava – Lviv). Poltava : NUPP, 2022. P. 340–344 (in Ukrainian).

16. Lakyn N. F. Byometryia: ucheb. posobyie [dlia byol. spets. vuzov]. [Biometrics: textbook. allowance [for biol. specialist. universities]. Moskva : Vysshaia shkola. 1990. 320 s.

17. Vinochodov D., Vinochodov V. Preparation for toxicological examination of poultry forder. International conference «Biothechnology St. Petersburg SYMBOL». 162 p. «Symbol 94». St.Petersburg. Russia. Semptember 21-23. 1994. Program and abstracts. SPb. 1994. P. 97–98.

18. Persoone. G. Toxit. <http://www.microbiotests.be/publications.html> 2014. Бельгія, Університет Гент. 19 p.

19. Pozdnyakova L. I., Lozitsky V. P., Grigorasheva I. N., Boschenko Y. A., Gridina T. L., Pozdnyakov S. V. Biological method for the water, food, foddres and enviroment toxic chemical materials contamination. Medical treatment of indoxications and decontamination of chemical agents in the area of terrorizm attac. Ed. C. Dishovsky, A. Pivovarov, H. Benschop. NATO Security through Science Series – A Chemistry and Biology, 2006. P. 225–230.

20. Sidashova S. L., Adamchuk, V., Yasko N., Kirovich D., Lisohurska H., Postoienko O., Lisogurska S., Furman L., Bezditko (2021). The inhibitory effect of Ukrain honey on probiotic bacteria. Postravinastvo Slovak Journal of Food Sciences. Vol. 16. P. 149–160. <https://doi.org/0.5219/1721>

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ТОРФ'ЯНИХ ПОЖЕЖ ТА МЕТОДИ ЇХ ЛІКВІДАЦІ В УКРАЇНІ У 2020 РОЦІ

Тищенко В. О., кандидат наук з державного управління, доцент,
Пруський А.В., доктор технічних наук, доцент,
Єременко С.А., доктор технічних наук, доцент,
Сидоренко В.Л., доктор технічних наук, доцент,
Скоробагатько Т.М., кандидат технічних наук

*Інститут державного управління та наукових досліджень
з цивільного захисту, м. Київ, Україна*

Пожежонебезпечний період 2020 відзначається як найгірший у новітній історії України за своїми наслідками. Так, за даними ДСНС України кількість пожеж тільки у природних екосистемах у 2020 році збільшилася майже на 50%, а загальна площа пройдена вогнем – у 4 рази (у 2020 році – 23791 пожежа на загальній площі 69615 га, у 2019 році – 16036 пожеж на площі 17249 га). У відкритих ландшафтах (суха рослинність, сміття, тощо) кількість пожеж збільшилася на 42%, а площа – на 52% (у 2020 році – 21974 пожежі на площі 24538 га, у 2019 році – 15520 пожеж на площі 16125 га). Тільки на початку березня 2020 року в Україні відбувалося 50-100 пожеж на перелогах, полях, заплавах і в лісах щоденно [1].

Серед пожеж природних екосистем слід виділити торф'яні пожежі, які являють собою глобальну загрозу у вигляді вагомих економічних і екологічних наслідків від них. Статистика торф'яних пожеж у світі останнім часом залишається невтішною. Великомасштабні пожежі на торфовищах трапляються в країнах Прибалтики, Польщі, в Північній Америці, Канаді, Великобританії, Фінляндії, Сінгапурі, Таїланді, Малайзії та ін. Масштабні торф'яні пожежі – щорічна проблема й для України, які найчастіше виникають у межах українського Полісся, Передкарпаття, Малеого Полісся, де зосереджені основні масиви торфових ґрунтів. У більшості заторфованих заплавах малих річок, що оточують Київ (Ірпінь, Здвиж, Тетерів, Остер, Трубіж та їх притоків), у заболочених притерасних частинах заплав Десни та Дніпра глибина залягання торфу місцями сягає 6-7 метрів [2].

Як приклад однієї із масштабних торф'яних пожеж, що виникла в Україні у 2020 році слід відмітити пожежу на території Чернігівської області, де під час проведення моніторингу пожеж в природних екологічних системах, було виявлено горіння торфу на території Гончарівської селищної ради біля с. Смолин (землекористувач – «Смолинський торфобрикетний

завод» філія ДП «Чернігівторф»). Загальна площа пожежі становила близько 90 га (окремими осередками), глибина залягання торфу 3-6 м. Для ліквідації пожежі було залучено 49 осіб та 15 одиниць техніки. Пожежу класифіковано як надзвичайну ситуацію об'єктового рівня [3].

Виникненню 80/90% усіх торф'яних пожеж сприяє людський фактор. Решта 10-15% пожеж можуть виникати від удару блискавок, проїжджаючого транспорту, а також внаслідок самозаймання торфу, причиною якого є екзотермічні теплові, хімічні та мікробіологічні процеси, що відбуваються всередині торфу. Пожежі торфовищ зазвичай поширюються на значно менші за розміром площі, ніж лісові пожежі, де торф може горіти в усіх напрямках, незалежно від напрямку та сили вітру, а під ґрунтом він горить навіть під час помірної дощу й снігопаду.

Наслідки торф'яної пожежі можуть бути дуже небезпечними, насамперед, йдеться про виділення значної кількості продуктів горіння та відповідно забруднення ними повітря. В результаті торф'яних пожеж згорає майже в 10 разів більше біологічної маси, в порівнянні з лісовими пожежами, а також в атмосферу виділяється значна кількість диму та токсичних газів, зокрема, «парникові» хімічно активні гази: CO₂ (діоксид вуглецю), NO (окис азоту), SO₂ (діоксид сірки) органічні сполуки NH₃ (аміак), H₂CO (формальдегід), C₂OH₁₂ (бензапірен), феноли, альдегіди) та інші сполуки. Зберігається дуже високий ризик інтоксикації людей, які проживають поблизу осередків загорання або тих, які знаходяться в зоні задимлення. Оскільки торф як правило не горить, а тліє, внаслідок чого виділяється величезна кількість диму, який може перевищувати густоту повітря в 10 раз. Через це дим не піднімається у верхні шари атмосфери, а залишається на висоті до 2-5 метрів, на рівні дихання людини. Також, окрім шкідливих сполук, що виділяються в атмосферу під час горіння торфу, такі пожежі сприяють забрудненню й ґрунтових вод [2].

Головною проблемою торф'яних пожеж є те, що загасити тліючий торф за короткий час майже неможливо, і найчастіше ліквідацію цих пожеж ускладнюють важкодоступність до районів гасіння, віддаленість їх від джерел водопостачання, нераціональність і неможливість залучення автотранспорту для доставки води тощо. Більше того, горіти торф може по всій глибині залягання, тому навіть коли здається, що пожежа згасла по поверхневим ознакам, через деякий час тліти починає знову із глибини. Такі пожежі небезпечні раптовими проривами вогню з під землі й тим, що їх край не завжди помітний. Виявити пожежу можна лише за характерним запахом продуктів горіння, місцями з-під землі просочується дим, а сама земля гаряча. Температура в товщі торфу охопленого пожежею, може сягати 1000 °C [4].

Торф'яні пожежі піддаються ефективній ліквідації переважно при

своєчасному виявленні. Виявити торф'яні пожежі на ранніх стадіях їх розвитку дуже складно. Єдиним надійним способом своєчасного виявлення торф'яних пожеж є регулярне наземне патрулювання.

Одним з найсучасніших напрямків моніторингу лісів, торфовищ і визначення їх пожежної небезпеки є використання дистанційного зондування поверхні землі. Традиційне використання авіації для патрулювання потребує значних коштів, що обумовлює зростання інтересу до використання саме супутникових систем зондування земної поверхні для виявлення та моніторингу пожеж.

Для гасіння торф'яних пожеж застосовують спеціальні торф'яні стволи, пожежні автомобілі, насосні станції, поливні магістральні трубопроводи тощо. При проведенні земляних робіт широко використовується спеціальна техніка: канавокопачі, екскаватори, бульдозери, грейдери та інші машини, придатні для цієї роботи. Гасити торф'яні пожежі дуже важко. Зазвичай для їх локалізації та гасіння використовують воду, а також окопування вогнища канавами шириною близько 1 м і глибиною до мінерального шару або до насиченого водою шару торфу. Гасіння пожеж на торфовищах ускладнюється також й тим, що при високих температурах відбувається термічний розклад фітомаси з виділенням бітумів і термобітумів, тобто гідрофобних сполук. При випаданні опадів бітуміровані частки торфу намокають, волога просочується між ними та йде в ґрунтові води, тому торф'яні поклади можуть горіти роками до повного вигорання родовища. Тож, використання виключно води для ліквідації торф'яних пожеж є недостатнім, оскільки вона погано змочує торф через свій високий поверхневий натяг. Крім того, для гасіння торф'яних пожеж потрібна велика кількість води, на 1 м³ торфу близько 1 м³ води. При цьому торф поглинає лише 5-8% води і швидко висихає, що призводить до нового його займання. Для підвищення змочувальної здатності води – це додавання до неї поверхнево-активних речовин, наприклад піноутворювача для гасіння пожеж у концентрації до 0,5%.

Ще одним способом гасіння торф'яних пожеж, є спосіб для реалізації якого в якості вогнегасної речовини застосовують димові гази або вуглекислий газ, які подають у шар торфу через спеціально улаштовані отвори на відповідних глибинах. У такому випадку вогнегасна речовина поступово проникає в усі пори торф'яної маси, де є кисень,

Розбавляючи його до концентрацій (менше 5% від всього об'єму повітря), попри яких горіння стає неможливим [5].

Підсумовуючи вищезазначене, слід наголосити, що одним із найефективніших способів боротьби із торф'яними пожежами є їх

недопущення, оскільки як вже зазначалося вище, у переважній кількості випадків ключову роль в їх виникненні відіграє саме людина.

Використані інформаційні джерела:

1. Інформаційно-аналітична довідка до засідання Ради... Режим доступу: <https://volysya-gromada.gov.ua/news/1616493203>.

2. Ярошовець К. А. Екологічні наслідки торф'яних пожеж. Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/12/81>.

3. Інформаційно-аналітична довідка про надзвичайні ситуації у квітні 2020 року. Режим доступу: <https://dsns.gov.ua/uk/operational-information/108870>.

4. Що необхідно знати про торф'яні пожежі. Режим доступу: <http://www.nmc-volyn.gov.ua/abcView/373>.

5. Справочное руководство по ликвидации лесных пожаров. Гродно. 2012. С. 160.

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ *BACILLUS SUBTILIS* ПРИ
БІОРЕМЕДІАЦІЇ НАФТОЗАБРУДЕНИХ ҐРУНТІВ ЗА
ДОПОМОГОЮ БІОТЕСТУВАННЯ**

**EFFICIENCY EVALUATION OF *BACILLUS SUBTILIS* FOR
BIOREMEDIATION OF PETROLEUM POLLUTANTS IN SOIL USING
BIOASSAY**

¹**Трохименко Г. Г.**, доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри екології та природоохоронних технологій, ¹**Недорода В. М.**, аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, ²**Степова О. В.**, доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри прикладної екології та природокористування

¹*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
Україна*

²*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», Україна*

¹**Trokhymenko G.G.**, professor, head of the department of ecology and environmental technologies, ¹**Nedoroda V.M.**, PhD student, ²**Stepova O. V.**, professor, head of the department of applied ecology and nature management

¹*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine*

²*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine*

Анотація. У даній роботі представлені результати дослідження фітотоксичності ґрунту при високому рівні нафтового забруднення. Штучно забруднені ґрунти піддавали впливу консорціуму нафтодеструкторів на основі штамів *Bacillus amyloliquefaciens* та *Bacillus subtilis*. Основною метою роботи є оцінка ефективності консорціуму мікроорганізмів для зниження фітотоксичності ґрунтів з високим рівнем нафтового забруднення. Визначення ефективності проводили за допомогою рослин-біоіндикаторів при дослідженні їхньої зворотньої реакції на забруднення ґрунтового середовища. В якості тест-систем в експерименті були використані *Raphanus sativus* var. *sativus*, *Sorghum bicolor* subsp. *Drummondii*, *Phleum pretense*, *Galéga officinális*, *Trifolium pretense*, *Medicágo sativa*, *Sinapis arvensis*. Різноманіття використаних індикаторних рослин забезпечило комплексний аналіз результатів нафтодеструкції, а також дозволило оцінити чутливість насіння кожного окремого виду до токсичних речовин.

Нафта є однією з основних потреб людини в сучасному світі, саме тому нафтова промисловість сьогодні є однією з галузей, що найбільш динамічно розвиваються [1]. Постійно зростаючі обсяги видобутку, транспортування та зберігання нафти призводять до інтенсифікації забруднення земель, екологічні наслідки якого можуть бути критичними як для людини, так і для природних екосистем. Загальною ознакою забруднення нафтою є велика кількість складових компонентів забруднення в кожному окремому випадку та їхня варіативність на відміну від більшості інших антропогенних забруднювачів.

При надходженні до ґрунту нафтових вуглеводнів, що не перевищують гранично допустиме екологічне навантаження, яке визначається максимальним обсягом і захисною здатністю екосистеми по відношенню до даного забруднювача, система здатна до самоочищення і самовідновлення [2]. Але ґрунти вважаються забрудненими, коли концентрація нафтопродуктів у них досягає такої величини, при якій починаються негативні екологічні зміни у навколишньому природному середовищі. Винайдення нових та вдосконалення існуючих технологій щодо відновлення нафтозабруднених земель, знешкодження та утилізація нафтошламових відходів є важливими заходами щодо вирішення проблем забруднення довкілля. На даний момент найбільш екологічними та перспективними вважаються методи, що призводять до повного розкладання органічних забруднювачів та дозволяють проводити очищення ґрунту без значних виробничих затрат [3, 4].

Одним із таких є метод біоремедіації ґрунтів та акваторій, заснований на здатності деяких мікроорганізмів до деструкції нафти і нафтопродуктів [5]. Використання мікроорганізмів нафтодеструкторів для очищення навколишнього середовища є не новою, але є все ж недостатньо вивченою областю досліджень. І на даний час триває пошук нових типів деструкторів вуглеводнів нафти і виявлення оптимальних умов їх ефективного використання. При деструкції нафти, що забруднює ґрунти, відбувається не просто зниження залишкового змісту, а й зміна фракційних складів, що обумовлено процесами перерозподілу нафти за ґрунтовим профілем. В умовах природного мікробіоценозу відбувається асиміляція різного ступеня різних фракцій нафти певними групами мікроорганізмів [6].

При реалізації біоремедіації з використанням біопрепаратів можуть виникнути обмеження та ускладнення, пов'язані з окремими нафтопродуктами, що входять до фракційного складу ґрунту. Це можуть бути вуглеводні, які слабо піддаються окисленню або токсичні для мікрофлори сірковмісні сполуками, представлені меркаптанами, сірководнем, сульфідами й похідними тіофена [7].

У результаті обробки нафтового забруднення біопрепаратами-нафтодеструкторами в навколишньому середовищі залишаються легкорозчинний бактеріальний білок, який не потребує подальшої утилізації, і нетоксичні продукти розкладання нафти. Продукти життєдіяльності бактерій є низькомолекулярними сполуками, а самі бактерії відмирають, даючи основу для формування гумусу (при використанні препарату для очищення ґрунту) або утворюючи донний мул (у разі застосування у воді) [8].

Огляд опублікованих даних показує, що мікроорганізми роду *Bacillus* мають високу стійкість до змін рН, температури, солоності та ефективні емульгуючі властивості при взаємодії з нафтовими вуглеводнями. Наприклад, використання галотолерантної морської бактерії *Bacillus licheniformis* LRK1 для перевірки її потенціалу виробництва біосурфактантів показав ефект емульгування нафти на 70%. Очищений в колонці біосурфактант аналізували за допомогою тонкошарової хроматографії (TLC) та інфрачервоної спектроскопії з перетворенням Фур'є (FTIR), що підтвердило природу отриманого біосурфактанту у вигляді ліпопептиду. Гравіметричний метод показав 24,23% розкладання моторного масла через 21 день інкубації нафтодеструкторів [9]. На підставі результатів експериментів встановлено, що для підвищення ефективності біодеградації доцільно використовувати змішані культури, що складаються з двох і більше мікроорганізмів. Чітких критеріїв складання штучних асоціацій нафтодеструкторів досі не вироблено, і до складу біопрепаратів включають штами, відібрані за принципом їх сумісності та високої нафторозкладної активності [10].

Частка легких вуглеводнів у нафтовій суміші сильно варіюється між різними нафтовими родовищами, починаючи від 97% за вагою в легких нафтах до всього лише 50% у важких нафтах і бітумах. Вуглеводні у сирій нафті в основному є алканами, циклоалканами та різними ароматичними вуглеводнями, тоді як інші органічні сполуки містять азот, кисень і сірку, а також сліди металів, таких як залізо, нікель, мідь і ванадій. Точний молекулярний склад сильно змінюється від родовища до родовища, але частка більшості хімічних елементів коливається в досить вузьких межах. Подібні особливості дають змогу підбирати та виділяти консорціуми мікроорганізмів для кожного окремого родовища, що, в свою чергу, забезпечує найбільшу ефективність їхньої подальшої взаємодії [11].

Біопрепарат протестований на базі Екологічної лабораторії Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. Вони були створені на основі штамів мікроорганізмів *Bacillus amyloliquefaciens subsp. plantarum* НШ-2, *Bacillus amyloliquefaciens* НШ-3 та *Bacillus subtilis* НШ-4. Дані мікроорганізми ізольовані з бурового шламу

Семиренківського газоконденсатного родовища Миргородського району Полтавської області. При цьому враховувалися фізіологічні, метаболічні та деструктивні властивості штамів, у результаті яких скомбінована асоціація здатна до деградації нафти та нафтопродуктів у широких діапазонах температур та рН.

Нині існує ряд сучасних методик оцінки токсичності ґрунту, але їх застосування зазвичай обмежене через їх високу трудомісткість та вартість. При цьому ефективний і відносно недорогий підхід до оцінки токсичності забруднених ґрунтів базується на застосуванні методів біотестування з використанням тест-систем. Біотестування спрямоване на оцінку загальної токсичної дії всього комплексу забруднюючих речовин за допомогою досліджуваних об'єктів. Основними перевагами методу є: наочність, зручність і простота експериментів, повторюваність і надійність результатів, економічність та об'єктивність [12]. Для виявлення токсичності ґрунту та водного середовища застосовують фітотести, в яких рослини здатні реагувати на забруднення, які фіксуються параметрами проростання насіння, швидкістю росту коренів та пагонів, тобто виступають як показники рівня токсичності ґрунту [13].

Розробка екологічних нормативів стосовно ґрунтів значно відстає від створення нормативів для інших середовищ (атмосфери, водних систем). Це пов'язано зі складністю та неоднорідністю об'єкта досліджень – ґрунт складається з чотирьох фаз: твердої, рідкої, газоподібної та біотичної. Ця властивість ґрунту, що відрізняє її від інших систем, багато в чому ускладнює нормування вмісту забруднюючих речовин у ґрунті та його адекватну екологічну оцінку [14].

Біологічні методи аналізу набули широкого поширення щодо визначення тих чи інших аспектів екологічного стану різних природних середовищ. Порівняно з хімічними методами аналізу, вони мають низку переваг, зокрема, здатність оцінювати кумулятивну дію набору забруднюючих речовин [15].

Але саме метод пророщування вищих рослин у забрудненому ґрунті дає найбільш чітку картину фітотоксичності при регулярному використанні біопрепарату. Взаємодія мікрофлори ґрунтів, нафтового забруднення та підбраного консорціуму мікроорганізмів-нафтодеструкторів показує більш повну картину при аналізі вегетаційного періоду тест-культур. А також в подальшому за допомогою використання більш складних методів, наприклад хроматографії, дозволяє оцінити фракційний склад ґрунту та зробити висновки, виходячи з розгорнутого комплексу зафіксованих параметрів [16].

Тому, враховуючи вищесказане, **мета дослідження** – визначення фітотоксичності зразків ґрунту, штучно забруднених нафтою, що піддавали

впливу нафтодеструкторів, за допомогою аналізу морфологічних показників рослин індикаторів.

Експеримент проводився в однакових пластикових склянках ємністю 180 мл. Проби нафтозабрудненого ґрунту (відповідну кількість нафти вносили у ґрунт до потрібної концентрації і перемішували) в однаковій кількості поміщали у склянки, після чого вирівнювали поверхню та зволожували однаковим (5 мл) об'ємом води. У підготовлені ґрунти висаджували насіння рослинних тест-систем в однаковій кількості. За основу оцінки токсичності ґрунту було обрано схожість рослин, висоту паростків та суху масу отриманої органічної речовини.

На перших етапах дослідження для визначення токсичності ґрунту використовувалося насіння редису «Сора», що пов'язано з високою чутливістю насіння до токсичних речовин [17].

У подальшому використовувалися різні рослинні тест-системи, а саме Суданська трава (*Sorghum bicolor subsp. Drummondii*), Тимофіївка лучна (*Phleum pratense*), Козлятник (*Galéga officinális*), Конюшина лучна (*Trifolium pratense*), Люцерна посівна (*Medicágo satíva*), Гірчиця польова (*Sinapis arvensis*).

Для забезпечення стабільних процесів нафтодеструкції біопрепарат вносили в кількості, розрахованій, виходячи зі сорбційної ємності зразків. Загальна маса кожного окремого зразка ґрунтосуміші складала ~70 грамів. Враховуючи умови навколишнього середовища, насамперед температуру (20-24°C) та освітлення (6000-9000 Люкс) полив біопрепаратом відбувся двічі на тиждень у різних концентраціях на різних етапах роботи. Між поливами біопрепаратом по мірі підсушування ґрунт зволожувався простою водою. Експеримент із насінням редису сорту «Сора» як первинний етап практичної роботи проводився протягом 26-ти діб. Для усіх інших тест систем дослідження проводилося протягом 12 повних тижнів.

Результати вимірювань оброблені методами математичної статистики як середнє \pm стандартне відхилення. З метою виявлення пріоритетних факторів та оцінки закономірностей значень, що спостерігалися, проводили аналіз методом виявлення головних компонентів із використанням кореляційної матриці.

Біотестування проводилося в лабораторних умовах із використанням стандартної методики «Ростового тесту», що дало можливість виявити екологічну токсичність зразків забрудненого ґрунту, які зазнали впливу нафтодеструкторів у контрольованих та відтворюваних умовах [18].

Використання редису *Raphanus sativus var. sativus* у якості тест-системи проводилося у різних вибірках, які відрізнялися між собою як за рівнем забруднення нафтою та нафтопродуктами, так і за концентрацією біопрепарату.

Динаміка росту рослин біоіндикаторів у різних умовах забруднення ґрунту та за різної концентрації нафтодеструкторів відображена на рисунках 1 та 2.

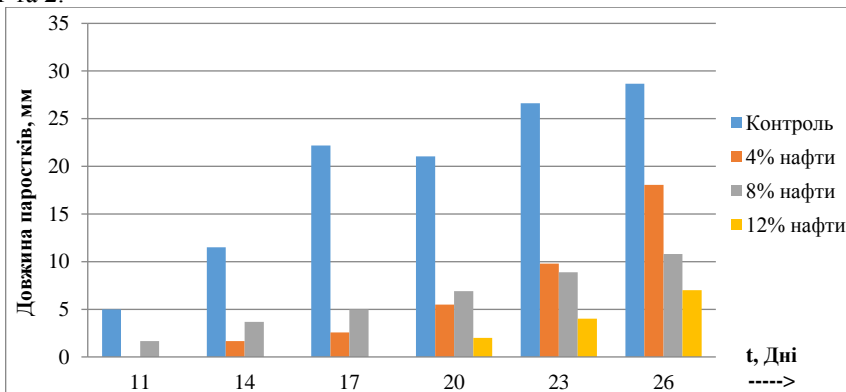


Рис. 1. Динаміка росту біоіндикатора в нафтозабрудненому ґрунті за використання 2% концентрату розчину мікроорганізмів-нафтодеструкторів

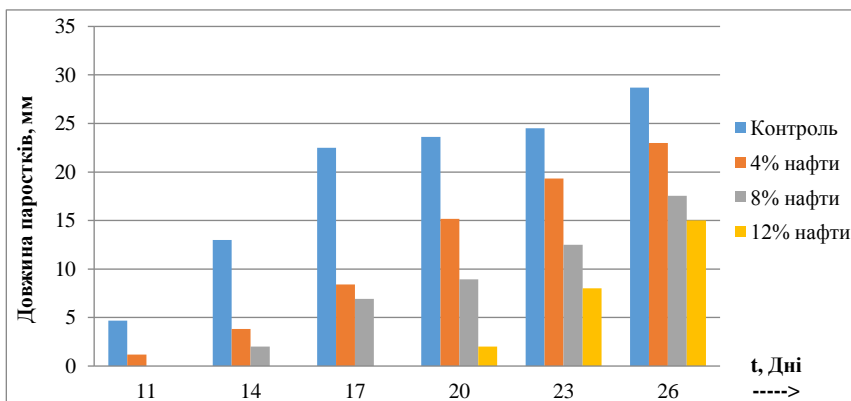


Рис. 2. Динаміка росту біоіндикатора в нафтозабрудненому ґрунті за використання 4% концентрату розчину мікроорганізмів-нафтодеструкторів

Проростання перших паростків зафіксовано в контрольних групах на 10-11 день експерименту. У склянках із високою концентрацією нафти проростання відбулося пізніше, на 12-13 день експерименту, відразу після 4-го поливу концентратом розчину на основі штаму *Bacillus amyloliquefaciens*

ssp. plantarum. При цьому у нафтозабрудненому ґрунті без використання нафтодеструкторів стабільно відбуваються процеси зів'янення, паростки вище 3-4 мм не проростають. Спостерігається пригнічення ростових процесів у всіх контрольних групах від 4 до 16% концентрації нафти (таблиця 1).

Таблиця 1. **Середньостатистична висота рослин на кінець експерименту (за групами), мм**

Концентрація розчину біопрепарату, %	Концентрація нафти, %				
	0	4	8	12	16
0	28,71 ± 3,97	-	-	-	-
2	-	18,06 ± 3,57	14,80 ± 1,93	15	-
4	28,66 ± 4,45	22,99 ± 3,74	17,54 ± 2,28	7,00 ± 0,72	-

Забруднення ґрунту нафтою без використання розчину спричинило більш негативний вплив на ріст на розвиток рослин індикаторів, ніж забруднення з використанням мікроорганізмів *Bacillus amyloliquefaciens* при тих самих дозах нафти (таблиця 2). Процеси зів'янення в умовах нафтового забруднення відбувалися навіть при використанні біопрепарату нафтодеструкторів, але кількість зафіксованих випадків, у порівнянні з контрольною вибіркою, значно менше.

Таблиця 2. **Фітотоксичний ефект нафтозабрудненого ґрунту з використанням нафтодеструкторів, %**

Концентрація розчину біопрепарату, %	Концентрація нафти, %			
	4	8	12	16
0	96,04	96,38	97,06	100
2	44,68	63,57	85,52	100
4	21,86	27,91	61,40	100

Присутність статистично достовірної різниці між середніми значеннями біопараметра у контрольному та досліджуваних варіантах свідчить про значні зміни ростових процесів у біоіндикаторів (редису сорту «Сора»).

Площа поверхні землі в кожній склянці складає однакові 0,02123 дм². Враховуючи кількість отриманої органічної речовини, спостерігаємо стабільне збільшення урожайності з підвищенням концентрації розчину від 2% до 4% в усіх протестованих варіантах.

За результатами біотестування нафтозабруднених ґрунтів, встановлено, що дози внесення нафти 4 та 8% не чинили гострої токсичної дії на рослини за умови використання 4% біопрепарату нафтодеструкторів. Достовірний рівень пригнічення склав 21,86% і 27,91%, відповідно. Істотне зменшення концентрації нафти отримується через поліфункціональність протестованих нафтодеструкторів. Виражені емульгуючі, антифунгальні та ростостимулюючі властивості наряду зі здатністю до окислення вуглеводнів знижують фітотоксичність ґрунту до прийнятної для росту рослин рівня. Емульгування (солубілізація) вуглеводнів за допомогою секретованих мікроорганізмами речовин покращує надходження забруднювачів з ґрунту в мікробні клітини і сприяє їх деградації. Антифунгальний та ростостимулюючий ефект полягає в антагоністичній дії по відношенню до патогенних і умовно патогенних мікроорганізмів, профілактиці та лікуванні мікотоксикозів і захисту рослин від фітопатогенних грибів. Ферменти мікроорганізмів, які здійснюють деградацію вуглеводнів, відносяться до класу змішаних функцій оксидоредуктаз (оксигеназ) і пов'язані з мембранними структурами клітин самих бактерій. Оксигенази каталізують включення одного атома кисню з його молекулярної форми в кінцеву метильну групу вуглеводню з подальшою деградацією його фітотоксичних властивостей включно.

Мікроорганізми секретують у навколишнє середовище різні біологічно активні речовини, в тому числі цитокиніни; таким чином, біомаса цих мікроорганізмів може грати роль ефективного біологічного добрива, що стимулює розвиток всієї мікробіоти в нафтозабрудненому об'єкті. Якщо зіставити результати обліку біомаси рослин індикаторів [19], що вирощуються в умовах польового досвіду на нафтозабруднених ґрунтах з даними біотестування (таблиця 3), то ніяких принципових протиріччя не виявляється. Тобто дослідження продуктивності ґрунту, забрудненого різними дозами нафти, за врожайністю наземної біомаси трав в умовах польового досвіду підтверджує результати лабораторного дослідження з визначення токсичності цих ґрунтів методом біотестування.

Виходячи з результатів попередніх досліджень, для подальшої роботи була обрана концентрація біопрепарату на рівні 4%. Подібна кількість мікроорганізмів-нафтодеструкторів надавала ґрунту найкращі ростостимулюючі властивості, не зважаючи на забруднення нафтою. У такій кількості біопрепарат не мав негативного впливу на ріст рослин та отриману масу органічної речовини.

В екотоксикологічному аналізі досліджувалися наступні тест-параметри: проростання насіння, висота пагонів, довжина коріння та маса органічної речовини. Результати фітотестування забруднених ґрунтів під впливом біопрепарату порівнювалися з результатами контролю ідентичних рослин в умовах відсутності забруднення.

Таблиця 3. **Середньостатистичні результати проростання насіння на кінець експерименту, мм**

Рослинна тест-система	Масове співвідношення нафтошламу та незабрудненого ґрунту					
	Контроль		1:1		2:1	
	Висота пагонів	Довжина коренів	Висота пагонів	Довжина коренів	Висота пагонів	Довжина коренів
<i>Sorghum bicolor subsp. Drummondii</i>	120.16 ± 19.07	95.79 ± 10.68	62.54 ± 8.40	71.27 ± 5.35	34.96 ± 5.70	42,59 ± 7.37
<i>Phleum pratense</i>	104.64 ± 13.75	81.87 ± 6.29	72.76 ± 9.62	60.18 ± 7.34	-	-
<i>Galéga officinális</i>	112.35 ± 20.92	94,16 ± 8.13	85.09 ± 15.72	70.97 ± 11.26	14.71 ± 3.19	31.79 ± 5.42
<i>Trifolium pratense</i>	92.08 ± 23.52	85.97 ± 18.60	43.82 ± 10.07	45.95 ± 9.52	-	-
<i>Medicágo satíva</i>	79.61 ± 12.24	98.49 ± 14.87	37.71 ± 7.96	59.67 ± 12.75	-	-
<i>Sinapis arvensis</i>	74.36 ± 10.77	68.59 ± 7.04	56.31 ± 8.78	49.32 ± 6.69	20.93 ± 3.37	35.42 ± 6.48

Проростання перших паростків зафіксовано в контрольних групах як на 3-4, так і на 9-10 дні експерименту. У склянках з високою концентрацією нафти проростання відбулося пізніше, на 6-7 та 14-15 дні, відповідно. Потрібно відмітити, що інтенсивність проростання значно змінювалася у дні поливу біопрепаратом, такі результати підтверджують його ростостимулюючі властивості.

Реакції тест-систем виявлялися на різних етапах проведення експерименту, в залежності від характеру та інтенсивності забруднення. На Рисунку 3 показано, що у рослин, вирощених у ґрунтах, забруднених нафтою, було виявлено певні зміни у лінійних розмірах коріння, надземної частини. Наприклад, якщо у контролі довжина надземної частини *Sorghum bicolor subsp. Drummondii* у віці 84 доби становила 120 мм, то у варіанті з 50% забрудненням нафтошламом від ваги ґрунту довжина рослини була лише 62 мм.

Кожна окрема тест-система виявила різну стійкість до забруднення нафтошламом, а також на вплив біопрепарату. Аналіз показників схожості насіння, кількості паростків, лінійних розмірів стебел і коренів, ваги

отриманої органічної речовини, тобто загальної продуктивності росту рослин у лабораторних умовах дозволив встановити взаємозв'язок різних рівнів забруднення нафтою та впливу на рівень забруднення тестового біопрепарату. Так, при співвідношенні маси нафтошлему до незабрудненої частини 4:1 у лабораторних умовах, не проросло жодного насіння рослин.

При нижчих показниках забруднення найбільш стабільні процеси проростання відбуваються із застосуванням *Sorghum bicolor subsp. Drummondii* та *Sinapis arvensis* у якості біотестів (таблиця 4). Але враховуючи, що це єдині з протестованих культур, які проростали навіть при відсутності біопрепарату, можна зробити висновок про меншу чутливість вказаних рослин до нафтового забруднення.

Таблиця 4. **Фітотоксичний ефект забрудненого ґрунту при використанні нафтодеструкторів, %**

Рослинна тест-система	Співвідношення кількості нафтошлему до масової частки незабрудненого ґрунту		
	1:1	2:1	4:1
<i>Sorghum bicolor subsp. Drummondii</i>	26.45	71.91	100
<i>Phleum pratense</i>	14.92	100	100
<i>Galéga officinális</i>	19.86	81.05	100
<i>Trifolium pratense</i>	46.73	100	100
<i>Medicágo satíva</i>	48.16	100	100
<i>Sinapis arvensis</i>	24.32	70.27	100

Масова загибель молодих рослин через деякий час після їх проростання у нафтозабрудненому ґрунті, зазначена в нашому експерименті, також спостерігалася багатьма авторами [20-21]. Цей ефект не пов'язаний з погіршенням фізичних властивостей нафтозабрудненого ґрунту, оскільки він відзначається і при внесенні у ґрунт із нафтою композитних сумішей, що відновлюють промивний та повітряний режим ґрунту [22]. Іншим поясненням може бути повільне проникнення в рослини вуглеводнів нафти, які зрештою викликають його пригнічення та загибель. Період первинної токсичної дії при нафтовому забрудненні не такий тривалий, тому що він обумовлений легкими фракціями вуглеводнів, які відносно швидко руйнуються використаними мікроорганізмами нафтодеструкторами.

У даному випадку в період проростання та початку росту рослин відбувається значна кількість загибелі паростків. Наприклад, для *Sorghum bicolor subsp. Drummondii* кількість зів'ялих рослин у середньому складає 10-14 штук при тому, що проросли у кожному окремому випадку не більше 30. Отримані результати є достовірними оскільки ефект повторювався в

десятьках обраних проб в ідентичних умовах, с десятками рослин у кожній окремій пробі ($p=0.05$). Подібні результати проростання спостерігаються для усіх тест-культур, окрім *Galéga officinális*. У даному випадку загибелі молодих рослин не відбувається і паростки, що прийнялися – продовжують рости, не виявляючи процесів зів'янення. Хоча при цьому, як видно з графіків, вегетаційний період *Galéga officinális* все одно піддається значному фітотоксичному впливу і процеси росту та розвитку інгібуються поллютантами, присутніми у зразках.

Треба зазначити, що найбільш стійким до фітотоксичного впливу при вмісті 50% нафтошламу у досліджених зразках є *Phleum pretense*, хоча при подальшому підвищенні забруднення – ростових процесів даної біоіндикаторної рослини не відбувається взагалі. Це може свідчити про високу чутливість *Phleum pretense* до приближення граничних концентрацій нафтозабруднення. З одного боку, подібна чутливість може слугувати ефективним контролем процесів фітостимуляції, тобто розвитку симбіотичних організмів, які беруть участь у процесах очищення ґрунту. Але, з іншого боку, відсутність ростових процесів знижує ефект ризодеградації (мікробіологічної деструкції у кореневій зоні рослин).

Паралельне тестування з використанням розчину показує значне зменшення негативного ефекту від забруднення ґрунту нафтою та нафтопродуктами. Контрольованим показником є дані вимірювань ростових процесів тест-культур під час вегетаційного періоду. Вони свідчать, що навіть при ступені забруднення нафтошламом 50% та при використанні біопрепарату в концентрації 4% зразки ґрунтів були лише помірно токсичні для рослин-індикаторів. У подальшому був проведений порівняльний хроматографічний аналіз ступеня деградації нафтопродуктів у ґрунті мікробіологічним консорціумом у поєднанні з різними рослинними тест-культурами.

У ході експерименту протягом перших 10-14 днів спостерігався значний відсоток загибелі молодих рослин внаслідок фітотоксичного впливу забрудненого ґрунту. При цьому після декількох тижнів регулярного поливу розчином нафтодеструкторів загибель тест-культур у зразках припинялася. Подібний результат показує необхідність проведення подальших досліджень з попереднім внесенням біопрепарату до ґрунту з метою зменшення первинної токсичності.

Забруднений нафтою ґрунт без використання розчину біопрепарату спричиняв більший негативний вплив на ріст та розвиток рослин-індикаторів, ніж зразки, де був використаний розчин біопрепарату при тих самих дозах нафти. Такі дані свідчать про позитивний вплив мікроорганізмів *Bacillus* на процеси деградації нафти.

Дослідження показали ефективність використання біопрепарату на основі штаму *Bacillus amyloliquefaciens ssp. plantarum* для оздоровлення ґрунту. Основна роль представленого штаму нафтодеструкторів – ферментативне окислення нафтопродуктів, з подальшим зниженням фітотоксичності забрудненого ґрунту, навіть при високих (12%) концентраціях нафти.

На наступному етапі експерименту проведено хроматографічне дослідження ступеня деструкції нафти у ґрунтових зразках внаслідок впливу мікроорганізмів-деструкторів роду *Bacillus*, результати якого в подальшому будуть оброблені та проаналізовані для розробки технології біоремедіаційного відновлення ґрунту.

Використані інформаційні джерела:

1. Литвиненко В. С., Козлов А. В., Степанов В. А. Углеводородный потенциал Урало-Африканского трансконтинентального нефтегазо-носного пояса // Журнал нефти «Технология разведки и добычи». 2017. №17. С. 1–9.
2. Шестопапов О. В. Охрана навколишнього середовища від забруднення нафтопродуктами : навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ», 2015. 116 с.
3. Дуброва О. А., Пятчанин С. В. Технология биологической обработки, обезвреживания и утилизации нефтеполютантов и нефтешламов. Топнефтегаз. 2013. №5(13). С. 22–27.
4. Філонов А. Е. Мікробні біопрепарати для очищення навколишнього середовища від нафтових забруднень в умовах помірного і холодного клімату. Пушино, 2016. 453 с.
5. Shevchuk L. The optimal way of biological cleaning of oil-contaminated soils. Mediterranean Journal of Biosciences. 2016. №1(3). P. 109–113.
6. Ossai I. C., Ahmed A., Hassan A. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. Environmental Technology & Innovation. 2019. №17. P. 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>
7. Wang X., Wang Q., Wang S. Effect of biostimulation on community level physiological profiles of microorganisms in field-scale biopiles composed of aged oil sludge. Bioresource Technology. 2012. №111. P. 308–315.
8. Брянская А. В., Уварова Ю. Е., Слынько Н. М. Теоретические и практические аспекты проблемы биологического окисления углеводородов микроорганизмами. Генетика, селекция. 2014. №4/2. С. 999–1012.
9. Nayak N. N., Purohit M. S., Tipre D. R., Dave S. R. Biosurfactant production and engine oil degradation by marine halotolerant *Bacillus licheniformis* LRK1. Biocatal. Agric. Biotechnol. 2020. №29. P. 71–78.

10. Bhaskar S., Supriyo R., Kaushik K. Bioremediation of oily sludge: A case base analysis to supply chain. *Resources, Environment and Sustainability*. 2020. №2, P. 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2020.100008>
11. Бахоніна Є. І., Арсланова Л. М., Гамерова Л. М. Деструкція нафтозабруднень ґрунтів із застосуванням спеціального комплексу мікробних біопрепаратів. *Нафтогазова справа*. 2013. № 4. С. 415–423.
12. Губачов О. І. Особливості використання рослин для біотестування ґрунтів з метою визначення рівня екологічної безпеки промислових територій. *Наук. вісн. КУЕІТУ. Нові технології*. 2010. №3 (29). С. 164–171.
13. Гродзинський Д. М., Шиліна Ю. В., Куцоконь Н. К. Застосування рослинних тест-систем для оцінки комбінованої дії факторів різної природи. *Фітосоціоцентр*. 2006. №4(12). 60 с.
14. Грицак Л. Р. Біоіндикаційні методи для потреб системного аналізу якості довкілля. *Тернопіль : Географія*, 2017. №2. С. 153–165.
15. Романюк О. І., Шевчик Л.З., Ощатовський І.В., Жак Т.В. Методика екологічного оцінювання нафтозабруднених ґрунтів. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*. 2016. №24(2). С. 264–269.
16. Ziolkowska A., Wyszowski M. Toxicity of petroleum substances to microorganisms and plants. *Ecological Chemistry and Engineerings*. 2010. №17. P. 73–82.
17. Бакіна Л. Г., Бардіна Т. В., Маячкіна Н. В. До методики фітотестування техногенно забруднених ґрунтів. *Дніпро : КНЦ РАН*, 2004. С. 167–169.
18. Джура Н. М. Можливості використання рослинних тест-систем для біомоніторингу нафтозабруднених ґрунтів. *Studia Biologica*. 2011. №3. С. 183–196.
19. Степанова А. Ю., Орлова Е. В., Терешонок Д. В., Долгих Ю. И. Получение трансгенных растений люцерны посевной (*Medicago sativa* L.) для повышения эффективности фиторемедиации нефтезагрязненных почв. *Экологическая генетика*. Т. XIII. 2015. С. 127–135.
20. Мотузова Г. В., Безуглова О. С. Экологический мониторинг почв. *Гаудеамус*. 2007. №11. 237 с.
21. Sunita J. Varjani, Vivek N. Upasani. A new look on factors affecting microbial degradation of petroleum hydrocarbon pollutants. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2017. №120. P. 71–83.
22. Han G., Cui B. X., Zhang X. X., Li K. R. The effects of petroleum-contaminated soil on photosynthesis of *Amorpha fruticosa* seedlings. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2016. №13. P. 2383–2392.

РОЗДІЛ II

ЕКОЛОГІЧНА ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА ТЕРИТОРІЙ



DISTRIBUTED ENERGY SYSTEMS IN URBAN CONDITION – CASE STUDY OF CHERKASY

Radomska M. M., PhD, Associate Professor, Associate Professor,
Burlo Y. V., student

National Aviation University, Ukraine

Abstract. The distributed energy systems increase independence and resilience of communities. Distributed energy systems should be based on renewable sources, which have minimal pressure on the environment. Solar installations are more relevant to urban conditions and cost-effective. The paper describes the pilot project of roof top solar power plants for the city of Cherkasy. A range of high-rise buildings was chosen, and the parameters of solar plants were defined for each building. Power generated by these photovoltaic panels should be used for general use facilities and the rest should be sold with «green tariff» mechanism, reducing the payback period to 4-8 years.

Growing urbanization raises concerns about various aspects of urban economy, in particular growing demand for energy. Under the conditions of limiting supply of conventional fuels and ageing infrastructure there is a need to invest efforts in the development of renewable sources of energy.

Energy systems with alternative energy have a number of undeniable advantages, including: ubiquity of location, minimal environmental impact, zero emissions, inexhaustibility, operational safety and a fairly profitable investment.

At the same time the issues of energy safety increase interest to independent energy provision in the form of distributed systems. These trends become increasingly popular in many countries of the world.

The aim of the given research is to assess the perspectives of distributed energy systems based on renewable sources for Ukrainian cities on the example of Cherkasy. The relevant tasks include comparison of advantages and disadvantages of centralized and distributed energy systems, study of the types of renewable energy sources applicable for urban distributed energy systems, development of the pilot project for the selected sites in the city of Cherkasy and assessments of the project's economic efficiency. The installation of individual renewable sources of energy is not new for Ukraine, but is more common in rural areas. In contrast, the pilot project offers an opportunity to cut expenses on power supply and increase energy security for apartment blocks at urban areas, using environmentally friendly and renewable sources.

Public utilities in Ukraine consume more than a third of the total amount of energy resources used in the country. The share of electricity consumption in

housing and communal services is almost twice the world average, so reducing the level of consumption of fuel and energy resources by housing and communal services is an urgent task. Electricity consumers in the city are public electric transport; utilities; social infrastructure facilities and industrial enterprises. However, residential buildings have lots of point, where the consumption of power is taking place indirectly: illumination of common premises, adjacent territory, work of elevators and pumps, etc. All this consumption points demonstrate low level of efficiency, but cannot be avoided for the considerations of safety and comfort. The primary source of power supply in all settlements of Ukraine is the integrated energy system, which is fed by nuclear power plants, thermal power plants, hydroelectric power plants, combined heat and power plants, and some power plants operating on alternative (renewable) sources of electricity (solar, wind). They are interconnected by main electrical networks.

The structure of generating capacities of the United Energy System of Ukraine from the point of view of ensuring effective regulation of frequency and power in the power system is suboptimal, due to the following main factors:

- a significant share of nuclear power plants, which, according to the technological regulations of their operation, are used to cover the basic part of the consumption schedule and are not involved in regulation;
- reduction of maneuverability of power units of thermal power plants running on solid fuel (wear and aging of equipment, deterioration of fuel quality);
- development of generating capacities that generate electricity using alternative sources is limited [1].

Today in Ukraine the cheapest electricity is nuclear and hydro, the most expensive is "green" - from the sun, wind. But over the last 10 years, a significant increase in the capacity of power plants running on alternative energy sources was observed. The partial reason for this is the implementation of a "green tariff" in the end of 2008. According to it, electricity obtained from alternative sources is purchased by the state at tariffs that are an order of magnitude higher than the market value. Such a program is designed until 2030 with a gradual reduction in the cost of 1 kW, and after its completion, the cost of green electricity will become standard. It is expected that in 2030 the share of electricity generation from renewable sources (including large hydroelectric power plants) will be about 25-30% [2].

These factors create favorable conditions for the development of renewable energy sources in Ukraine with increasing interest in the detached mode of their installation.

Distributed power generation is the concept of building a power generation system, which stimulates the production of energy by consumers themselves - individual farms, communities, enterprises. Energy is generated for own needs, but with the possibility of transferring its surplus to the general network at a «feed-

in tariff) or other support mechanism. Distributed generation facilities use local resources, primarily renewables, creating jobs in communities, bringing in investment and profits [3].

Modes of distributed generation systems are divided into categories according to the level of influence of environmental factors:

- Renewable sources with weakly controlled generation - use renewable resources, but the generation is significantly different depending on the time of day and weather conditions (wind power plants, solar power plants);
- Renewable sources with controlled generation – use renewable resources, have a stable generation during the established period of time (small hydroelectric power plants, geothermal, biogas plants, etc.);
- Non-renewable sources with controlled generation – use mostly traditional energy sources, but have a completely controlled generation process (cogeneration units, steam and gas turbines) [9].

Each such power plant must have installed equipment that will allow the network operator to see it in the central control system and, if necessary, limit its production if there is a risk of an emergency in a particular section of the network.

Advantages of distributed power generation are valuable and include:

- Energy independence: with distributed generation, citizens themselves generate electricity for their own consumption and reduce their dependence on obsolete inefficient energy systems. The only costs for distributed generation RES are the costs of maintenance, and they are relatively small and stable.
- New jobs in communities - distributed generation facilities are based on local energy sources and are installed directly near the consumer, thus relying on local labor resources. These jobs are long-lasting and, as the world practice shows, well paid. Many types of this work do not require professional skills, and can be mastered while working.
- Increase investment in one's own communities is achieved by getting revenue with the «green tariff» when selling excess electricity to the grid. Also cooperatives, condominiums or other forms of community organization, citizens can become co-owners of small energy production systems, and attract credit financing for their projects.
- Reducing negative health effects is provided by the use of renewable sources for the part or all needs. Small RES-based power plants will not produce emissions into the atmosphere.
- Reduction of electricity losses is one of the strongest advantages of the distributed energy systems, since the loss of electricity during transmission through networks is eliminated together with its loss.
- The reliability of the power supply from distributed power generation systems is increased due to small scale, which makes such installations less vulnerable to

natural disasters and anthropogenic factors [4]. Additionally small power plants are more efficiently controlled and maintained.

Disadvantages of distributed power generation systems are also present, but they are comparatively lower than advantages. Thus, small generation sources have the main disadvantage - low values of the efficiency factor.

Another noticeable drawback is the dependence renewable energy installations on weather conditions. Formalities to approve the installation also tangle the process and may be considered a serious obstacle, preventing more intensive development of this energy sector. Moreover, the paperwork process requires additional financial and time costs.

High cost of equipment and maintenance: despite the fact that the use of natural resources can save significant amounts on energy generation, the production of the equipment itself is a rather time-consuming and very expensive process. Nevertheless, the perspectives offered by such systems are positive and important. The development of distributed energy systems is gaining interest in many countries of the world. Thus, in Germany, the share of small generation systems installed by consumers has reached almost 20% of all installed capacity in the country. The country focused on the development of small solar stations in the early 1990s, and created a state program to support small SPP «Thousand Solar Roofs», which after success was transformed into the program «One Hundred Thousand Solar Roofs». The program has proven that the roofs of ordinary private homes are well-suited for decentralized photovoltaic production [6].

A good example of German experience is the village of Feldheim – it is the only settlement in Germany that is fully self-sufficient in renewable energy. Wind farms and two biomass biogas plants provide the town with heat, electricity and additional jobs. Most of the villagers took part in financing the project, which cost 0.5 million Euros. Each family bought a 3,000-euro stake in the company, which co-owns the grid [5]. 43 wind turbines and biogas plants heat and light houses, as well as provide 30 jobs for the local population. Another 20 jobs are provided by a local factory for the production of photovoltaic cells [5].

Certain problems in the development of distributed generation in Germany were initially caused by the lack of a requirement for «smart inverter», but from 2014 all new plants over 100 kW must be equipped with such equipment. In Ukraine, it is not yet mandatory to install such devices for power plants.

In the USA in 2015, distributed generation systems accounted for 40% of all installed during this period generating capacity of the United States, and the number of panels on the roofs increased 16 times compared to 2008. The country also actively uses small generation of RES in military industry to reduce refueling time fuel in combat, providing safer conditions for servicemen [6].

France is also implementing projects in the field of smart grid, in particular, the primary focus is on the creation of a separate regional system of distributed

generation with integrated facilities of renewable energy sources (wind and solar generators) and smart-network management [7].

The introduction of modern distributed energy generation systems requires a careful analysis of the advantages and disadvantages of the proposals available on the market, as well as the conditions in which they are expected to operate. At this stage, cogeneration units, systems with alternative energy sources, in particular solar and wind installations, heat pumps can be considered promising.

Taking into account energy resources, domestic infrastructure, climatic and geological conditions and given the world level of energy technologies, in our country it is advisable to install small power plants, using solar energy. Till now solar systems were mostly used for heating water in south regions, which means that half of the year in autumn/winter period such installations are not operating. We believe that transformation of solar energy to electricity will be more economically efficient.

In Ukraine, there producers of photovoltaic solar panels and some manufacturers can offer a full cycle of solar module production – from growing silicon to assembling the solar modules themselves [8]. There are two factories in Ukraine where you can perform all stages of creating a solar panel: from growing and cutting silicon to assembling a finished photomodule – Kvazar, Kyiv, and Prolog Semicor, Kyiv. There are other companies working within this sector:

1. «Manufacturers» without production facilities in Ukraine are companies that order ready-made panels from abroad (mainly China), and in Ukraine they only affix a label with a Ukrainian mark.

2. Partial cycle manufacturers are companies that purchase certain items from foreign manufacturers (mainly in China) and in Ukraine they assemble, distribute and provide warranty support [8].

Thus, Ukraine has its own energy potential in the field of the sale of solar installations. Solar installations are more relevant and cost effective than wind turbines because solar panels can be installed anywhere from the ground to the roofs of different types of houses, both private and local. At the same time, wind turbines should be installed in places where the average wind speed reaches 5-6.5 m/sec, which is not the case for most of Ukraine. Thus, the pilot project was developed for the city of Cherkassy based on solar energy

Cherkassy has significant potential for the development of renewable energy sources, primarily wind and solar. The average annual solar radiation in the region is up to 1300 kWh/m², which is enough to develop the solar power plants. Thus, it would be effective to use flat and concentrating solar collectors for solar power supply, using direct and scattered solar energy. Apartment blocks can use the roofs of their high-rise buildings to install solar panels.

In Cherkassy, there is an experience of generating power using the photovoltaic power plant on the roof of the building by the Gromova street, 138/6

(two sets with aggregated capacity of 30 kW each), on Patsayeva street, 99 (aggregated capacity of 100 kW) and photovoltaic power plant on the roof of the building at Chemists Avenue, 8 (aggregated capacity of 50 kW).

The choice of houses for individual power plants location should be based on the following criteria:

1. The absence of shading of the panels, which leads to a decrease in their actual power during operation.

2. The presence of a flat roof, which has a useful area larger than hipped roofs, for horizontal installation of panels.

Properly chosen characteristics and placement of photovoltaic modules primarily affect the efficiency of an individual power plant.

The next thing to focus on in such project is the type of crystals. In individual power plants, polycrystalline modules are more common and recommended. They work well at any inclination to the Sun, producing electricity even from reflected light. All panels from which the array is assembled are standardized in size and face value. At 260-290 W of power, their area varies about 1.5-1.7 m². The panels should be installed horizontally on the roofs, as this solves the problem of shading the panels and reduces the cost of their installation and further maintenance.

Power, generated by the roof top solar station, could be used for the provision of common utilities – illumination of stairways and stair cases, work of elevators and pumps etc. The cost of the power, supplied to the centralized network by green tariff, could be used for the maintenance and rehabilitation works at the building. Thus, the maximal efficiency of the project will be obtained by condominiums (ACMH).

Accounting these parameters, a range of building was chosen for the project (Fig. 1), with the total output of energy over 3600 kW (Table 1). In Ukrainian latitudes, SPP rarely provides more than 50% of the nominal value, only if the sunny weather clear skies in summer one can get the most out of the solar system. It should also be understood that all panels, regardless of type and characteristics are standardized in size and face value, and in this thesis for calculations to install SPP used only the usable area of the roof. Thus, by installing solar power plants people are investing in their energy independence, as home SPP is an opportunity to meet their own energy needs, be autonomous, gain some additional income after the payback period and develop the local economy. As for the solar power plant efficiency, when considering it without the «green tariff» involvement, the payback of such SPP will be about 20-30 years.

However in Ukraine, the law "green tariff" allows individuals to sell electricity to the state at a very favorable rate. This tariff determines the amount that the owner of the SPP (up to 30 kW) must receive from Oblenergo for the difference between produced and consumed energy. Oblenergo is also obliged to

purchase all the remaining energy in accordance with the law. In such case the payback of the network solar station under the green tariff with a capacity of up to 30 kW is about 5-8 years. For example, the building at the Gagarin Street, 23, has roof area of 471.86 m². During the year, the station proposed for this house (potential capacity is 40.5 kW) will produce 48600 kW of energy and will cost 36 450 USD (if the average cost of installing 5 kW unit is about 4500 USD).



Fig. 1. Pilot project sites

Table 1. The list of buildings for the location of solar power plants

#	Address	Number of floors	Roof area*	Maximal number of panels	Nominal capacity, kW
1	Gagarin, 17	1	1609,29	1072	278
2	Gagarin, 21	10	2002,37	1334	346
3	Gagarin, 23	11	471,86	314	81
4	Gagarin, 25	9	798,31	532	138
5	Gagarin, 27	9	798,31	532	138
6	Gagarin, 29	12	1731,61	1154	300
7	Gagarin, 33	10	2245,76	1497	389
8	Gagarin, 35	10	1211,03	807	209
9	Gagarin, 37	10	1012,56	675	175
10	Gagarin, 39	10	1054,55	703	182
11	Heroes of the Dnieper 81	10	3587,17	2391	621
12	Heroes of the Dnieper, 83	10	1048,64	699	181
13	Heroes of the Dnieper, 85	10	779,62	519	134
14	Sergeant Zhuzhomi, 6	10	834,76	556	144
15	Sergeant Zhuzhomi, 8	11	2157,81	1438	373
Total				14223	3689

*Roof area was calculated using Google Earth tools

In general, lighting of common areas for houses of this type requires on average 1000-1500 kW/h per year. The elevator works unevenly and consumes very different amounts of energy, but we can assume that the annual consumption, given the capacity of the elevator and elevator equipment of 6.75 kW, can be determined by the number of floors, which directly determines the number of inhabitants and hence the frequency of elevator use. Thus, for this building we can take the annual amount of electricity consumption by elevators at the level of 1200 kW/h per year.

Thus, the total consumption by these categories is 2200-2700 kW/h per year, which is 4.5-5.5% of the provided power supply. Thus, it is possible to fully meet the common needs, as well as use energy to obtain funds from the sale of the balance in the centralized network. Thus, in monetary terms, the energy produced is about 8000 USD per year. And the payback period will be slightly over 6 years, which proves efficiency of such investment.

Of course it is hard to expect that a condominium will manage to pay the cost of installation itself, there implementation of such projects will need some form of fundraising or application for credit funds or governmental assistance. Additionally, the success of distributed power supply solutions need simplification of permission acquisition procedure and wider support from local governments. Still, under current social situation and with the perspectives for the future environment dynamics in terms of climate change and air quality degradation due to conventional power production, attention should be paid to the initiatives, which offer efficient use of renewable resources and energy independence.

Used information sources:

1. Посібник з муніципального енергетичного менеджменту / Є. М.Іншеков, Є. Є.Нікітін, М. В.Тарновский, А. В.Чернявський. Київ : Поліграф плюс, 2014. 238 с.
2. Шевцов А. І., Бараннік В. О., Земляний М. Г., Рязова Т. В. Шевцов А. І. Основні питання політики розвитку електроенергетичної галузі України: Аналітична доповідь. Дніпропетровськ : Регіональний філіал Національного інституту стратегічних досліджень, 2011. 90 с.
3. Головка І., Астахова Е. Чому в Україні слід розвивати децентралізовану енергетику вже сьогодні? Київ : Екодія, 2018. 6 с.
4. Mudathir Funsho Akorede, Hashim Hizam, Edris Pouresmaeil. Distributed energy resources and benefits to the environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010. 14, P. 724–734.
5. Sabine Löbbe, André Hackbarth. The Transformation of the German Electricity Sector and the Emergence of New Business Models in Distributed Energy Systems. In: *Innovation and Disruption at the Grid's Edge* / Editor(s): Fereidoon P. Sioshansi. Academic Press, 2017. P. 287–318.

6. Anna M. Brockway. Distributed Generation Planning: A Case Study Comparison of California and New York Proceedings. University of California: Center for Sustainable Energy, 2017. 22 p.
7. Lebrouhi B.E., Schall E., Lamrani B., Chaibi Y., Kousksou T. Energy Transition in France. *Sustainability*. 2022. №14, 5818. P. 1–28.
8. Ukraine Solar Photovoltaic Power Market Outlook 2021-2030. Renewable Market Watch, 2021. 120 p.

МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПЕКИ СИСТЕМИ ПРОЦЕСУ ВИДОБУВАННЯ НАФТИ ДЛЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Аблесва І. Ю., кандидат технічних наук, доцент, старший викладач
кафедри екології та природозахисних технологій

Сумський державний університет, Україна

Ablieieva I. Yu., Candidate of Engineering Sciences (Doctor of Philosophy),
Associate Professor, Senior Lecturer of the Department of Ecology and
Environmental Protection Technologies

Sumy State University, Ukraine

Анотація. Для моделювання безпеки системи та оцінювання ризику використано метод аналізу ієрархії (МАІ) із застосуванням нечіткої логіки. Сформовано науково-методологічні підходи до застосування теорії нечіткої логіки в екологічних дослідженнях, зокрема під час проведення математичного моделювання безпеки системи «видобування нафти – бурові відходи – вплив на навколишнє середовище» та екологічного ризику. Проведено математичне моделювання безпеки системи процесу видобування нафти та екологічного ризику із застосуванням нечіткої нейронної гібридної мережі. Використовуючи удосконалену методологію моделювання безпеки системи процесу видобування нафти для навколишнього середовища із застосуванням методу аналізу ієрархії, встановлено ймовірність виникнення ризиків у проєкті із спорудження та експлуатації свердловини на території бурової на рівні 0,456. Кінцевий результат $0,3 < P_f < 0,7$, що належить до помірного діапазону ризику, тому досліджуваний проєкт з видобування нафти та транспортування вуглеводневої сировини може бути реалізований, проте потребує додаткового розроблення комплексу заходів із запобігання ризику.

Abstract. Analytic Hierarchy Process (AHP) using fuzzy logic was used to model system security and risk assessment. Scientific and methodological approaches to the application of fuzzy logic theory in environmental research, in particular during the mathematical modeling of safety of the system «oil production – drilling waste – environmental impact» and environmental risk. Mathematical modeling of the safety of the oil production system and environmental risk with the use of fuzzy neural hybrid network. Using an improved methodology for modeling the safety of the oil production system for the environment using the Analytic Hierarchy Process, the probability of risks in the project for the construction and operation of wells in the well at 0.456. The final

result is 0.3 < Pf < 0.7, which is a moderate risk range, so the studied project for oil production and transportation of hydrocarbons can be implemented, but requires further development of a set of measures to prevent risk.

Мета роботи полягає у встановленні ступеня екологічного та технологічного ризику для досліджуваного проєкту з буріння та експлуатації свердловини, зокрема видобування нафти, та транспортування вуглеводневої сировини.

Для досягнення зазначеної мети поставлено та вирішено такі завдання дослідження:

- розробити науково-методологічні підходи до оцінювання безпеки процесу видобування нафти як складної технічної системи;
- удосконалити методологію моделювання безпеки системи процесу видобування нафти для навколишнього середовища із застосуванням методу аналізу ієрархій;
- провести математичне моделювання безпеки системи «видобування нафти – бурові відходи – вплив на навколишнє середовище» та екологічного ризику із застосуванням нечіткої нейронної гібридної мережі.

Наукова новизна одержаних результатів. Із метою підвищення рівня екологічної безпеки нафтовидобувних територій та попередження ризику для навколишнього середовища від аварійних ситуацій під час видобування нафти одержано такі нові наукові результати:

- набули подальшого розвитку науково-методичні підходи до застосування теорії нечіткої логіки в екологічних дослідженнях, зокрема під час проведення математичного моделювання безпеки системи «видобування нафти – бурові відходи – вплив на навколишнє середовище» та екологічного ризику;
- удосконалено методологію моделювання безпеки системи процесу видобування нафти для навколишнього середовища із застосуванням методу аналізу ієрархій.

Практичне значення одержаних результатів полягає у встановленні ступеня екологічного та технологічного ризику для досліджуваного проєкту з буріння та експлуатації свердловини, зокрема видобування нафти, та транспортування вуглеводневої сировини на рівні помірний, що може бути основою для нафтовидобувних підприємств під час прийняття відповідних управлінських рішень.

Науково-методологічні підходи до оцінювання безпеки процесу видобування нафти як складної технічної системи. Оцінювання екологічного та технологічного ризиків процесу видобування нафти передбачає встановлення системи індексів, які будуть підлягати експертному

оцінюванню. Кінцева мета оцінювання безпеки системи полягає у визначенні рівня екологічної безпеки від реалізації такого проєкту для навколишнього середовища.

Характеристика ризиків у процесі видобування нафти зводиться до ідентифікації ризиків під час буріння нафтових свердловин та безпосередньо видобування і первинного транспортування нафти. Ризики такого комплексного проєкту, в якому взаємодіють кілька підсистем (інженерно-технологічна, екологічна та соціальна), можна охарактеризувати як імовірність виникнення специфічних небезпечних подій та непередбачуваних наслідків. Отже, ризик має такі основні ознаки: відмінність; серйозність; різноманітність; приховування; мінливість.

Встановлення системи індексів оцінки ризиків проєкту з видобування нафти має комплексний характер та потребує застосування системного підходу. Відповідно до особливостей ризиків у проєкті з буріння свердловини для видобування нафти та первинного її транспортування, та мети, яку необхідно досягти, фактор ризиків буде розбитий на різні складові елементи, потім він буде стратифікований, згрупований та об'єднаний відповідно до взаємодії та відношення членства між факторами задля формування ієрархії системи індикаторів. Взявши за основу дослідження [1] елементи в індексах першого рівня поставимо у домінування для попередньої позиції. Зважаючи на багатогранність та багатоаспектність досліджуваного проєкту, побудована відповідна система індексів оцінювання ризиків, яка наведена в таблиці 1.

Як бачимо, дві групи факторів ризику безпосередньо пов'язані із надзвичайними ситуаціями, що виникають під час буріння та експлуатації свердловини, видобування нафти та транспортування вуглеводневої сировини. Адже відповідно до [2] згідно з даними Державної екологічної інспекції в Сумській області з 2017 року по 2021 рік на території Охтирського району сталося 17 аварійних розливів нафти через розгерметизацію нафтопроводів, нафтоколекторів або через напірну лінію свердловини. Загальна площа забруднення ґрунту нафтою склала 39 899 м², загальний розмір збитків, завданих навколишньому середовищу через порушення природоохоронного законодавства, становив 600 000 грн. У результаті найбільш масштабної аварійної ситуації внаслідок розгерметизації нафтового пласта ГМП – вузла підключення до трубопроводу відбулося забруднення ґрунту площею 11 970 м². У результаті розгерметизації нафтопроводу підземних мереж ПТУО ОГПД «Охтирканафтогаз» ПАТ «Укрнафта» відбулося забруднення ґрунту нафтопродуктами з перевищенням ГДК – понад 851 раз, за хлоридами – у 700,1 рази більше, що стало найбільш небезпечною аварійною ситуацією за досліджуваний період.

Таблиця 1. Система індексів оцінювання ризиків проєкту з видобування нафти

Система індексів оцінювання ризиків проєкту U_i	Система індикаторів оцінювання ризиків проєкту U_{ij}
Природний фактор U_1	Геологічний фактор U_{11} Геодезичний фактор U_{12} Метеорологічний фактор U_{13} Хімічний фактор (сірководень) U_{14}
Екологічний фактор U_2	Ступінь забруднення атмосферного повітря викидами U_{21} Ступінь забруднення поверхневих та підземних вод рідкими відходами та стоками U_{22} Ступінь забруднення ґрунту буровими відходами та нафтою U_{23} Ступінь негативного впливу на біоту U_{24}
Технологічний фактор U_3	Стійкість свердловини U_{31} Властивість бурового розчину U_{32} Момент крутіння і тертя U_{33} Якість цементування U_{34} Якість трубопроводу U_{35}
Частота надзвичайних ситуацій U_4	Частота аварій бурового обладнання U_{41} Частота аварій допоміжного обладнання U_{42} Частота аварій на трубопроводах U_{43} Частота особистих нещасних випадків U_{44}
Наслідки надзвичайних ситуацій U_5	Ступінь руйнування бурового обладнання U_{51} Ступінь руйнування допоміжного обладнання U_{52} Ступінь руйнування трубопроводів U_{53} Тяжкість та кількість нещасних випадків U_{54} Збитки для навколишнього середовища U_{55}
Фактор превентивних заходів та оперативного реагування U_6	План ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС) U_{61} Кількість персоналу швидкої допомоги U_{62} Обладнання швидкої допомоги U_{63} Відстань до сусідніх бригад швидкої допомоги U_{64}
Фактор менеджменту U_7	Організація управління U_{71} Політика управління та реалізація U_{72} Керівний персонал U_{73} Навчання ризику U_{74}
Економічний фактор U_8	Витрати на навчання ризику U_{81} Витрати на превентивні заходи ризику U_{82} Витрати на промислові та технічні заходи U_{83} Витрати на страхування праці U_{84}

Усі індекси ризиків у першому рівні проєкту з буріння свердловини для видобування нафти та первинного її транспортування отримані шляхом узагальнення факторів ризику, які стосуються восьми аспектів. І потім кожен індекс фактору в першому шарі розкладається на кілька відповідних

факторних індексів у другому шарі. Цей інтегрований процес досягається шляхом використання методу нечіткої комплексної оцінки, а квантування ризику індексу факторів у кожному базовому шарі, як правило, дається фахівцями з управління ризиками буріння на основі їхнього досвіду та знань [3].

Методологія моделювання безпеки системи із застосуванням нечіткої логіки. Відповідно до моніторингу методології аналізу ризиків при експлуатації небезпечних промислових об'єктів, варто зазначити, що проблема врахування нестационарності технологічних процесів для вирішення завдань управління мінімізацією ризиків у нафтогазовому комплексі ніколи раніше не розглядалася. Застосовувані технології моніторингу ризик-менеджменту під час експлуатації не враховують постійно мінливу нестационарність виробничих процесів та їх системних взаємозв'язків.

На першому етапі аналізу ризиків, згідно з моделями «дерева відмов» подій, відомих як «Розгерметизація технологічного обладнання» та «Вибух у модулі опалення», існують фактори, які обумовлюють нестационарність технологічних процесів через до зовнішніх і внутрішніх причин експлуатації технологічного обладнання.

Другим етапом моделі «дерева відмов» є вихід з ладу елементів технологічного обладнання у вигляді розгерметизації з виходом продукту з апарату, що призводить до виливання, випаровування, перетворення вогню за сценаріями, які розглядаються з використанням подальше побудова моделей «дерева подій».

Для побудови «дерева відмов» технологічних установок із урахуванням нестационарності рекомендується з точки зору алгоритмізації така послідовність [4]:

- кількісна оцінка нестационарних показників, що належать до ЗІЗ;
- побудова кореляційних матриць впливу ушкоджуючих факторів на ступінь синергетичного ризику;
- кореляційний аналіз частоти надзвичайних ситуацій за величиною когерентності та інтервалом кореляції надзвичайних подій;
- побудова моделей «дерева відмов».

Вимоги до побудови формалізованих моделей «дерева подій» із урахуванням нестационарності ризиків:

- збір даних та статистичний аналіз надзвичайних ситуацій, що виникли;
- облік та аналіз нестационарності вибухо- і пожежної небезпеки та токсичності горючих речовин;
- аналіз умов послідовності сценаріїв розвитку надзвичайної події;

– оцінка періодичності виконання умов розвитку надзвичайних ситуацій;

– визначення структури «дерева подій» на основі розрахунку ймовірнісних оцінок за сценаріями розвитку аварій;

– визначення регламенту технічних та організаційних рішень локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій.

Оскільки ризики мають багато властивостей і на них легко впливають різні фактори при оцінці ризику проекту, усі відповідні фактори повинні бути всебічно враховані, коли оцінюємо ступінь ризику проекту та приймаємо рішення щодо цього питання. Розмір факторів ризику, які існують, зазвичай важко визначити. Важко уніфікувати, щоб отримати чітко яскраву лінію кордону, і нелегко точно судити про фактори ризику. Тому, коли ми проводимо оцінку ризику, нам необхідно використовувати деякі кількісні методи для опису нечітких понять, щоб нечіткі поняття стали відносно впевненими.

Для вирішення завдання визначення безпеки процесу видобування нафти та подальших операцій з видобутою сировиною доцільно використовувати нечітку нейронну гібридну мережу, яка зазвичай складається з чотирьох шарів: шару фазифікації вхідних змінних, шару фазифікації вхідних змінних, агрегація значень активації умови, рівень агрегації нечітких правил і вихідний рівень. У цьому випадку нечітка нейронна мережа працює стандартним чином на основі дійсних чисел. Нечіткою є лише інтерпретація результатів. Нечітка нейронна гібридна мережа – це нейронна мережа з чіткими сигналами, вагами та функцією активації, але з комбінацією x , w і p_2 за допомогою t -норми, t -конорми або деяких інших безперервних операцій. Входи, виходи та ваги нечіткої нейронної мережі є дійсними числами, що належать сегменту $[0, 1]$. Нечіткою нейронною мережею зазвичай називають чітку нейронну мережу, яка побудована на основі багаторівневої архітектури з використанням нейронів «I», «АБО».

Основна ідея оцінки ризику за допомогою нечіткого комплексного методу оцінки полягає в тому, щоб синтетично розглянути вплив усіх факторів ризику, встановити вагу, диференціювати ступінь важливості кожного фактору, описати нечіткі межі різних факторів за членством, і побудувати нечітку оціночну матрицю. За допомогою багаторівневої складної операції ми розраховуємо різний ступінь ймовірності рівня ризику, при якому високий ступінь ймовірності є остаточно визначеним значенням. Нарешті визначаємо рівень об'єкта оцінки.

1. Визначення факторів і ваги ризику. Ймовірно, набір факторів ризику становить $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$, U_i ($i = 1, 2, \dots, n$) – це перший i -ий фактор першого рівня (найвищого рівня ризику), а також визначаються деякі

фактори ризиків другого рівня, тобто $U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{im}\}$, серед яких U_{ij} ($j = 1, 2, \dots, m$) є фактором ризику другого рівня. Для визначення ваги індексів використовується метод аналізу ієрархій (МАІ), тобто математичний інструмент системного підходу до вирішення складних проблем прийняття рішень із використанням математики та психології. Відповідна вага надається на основі важливості різних факторів ризику на кожному рівні. Ваговий набір ризиків на першому рівні визначається як $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, а a_i ($i = 1, 2, \dots, n$) – це U_i у частці U , серед яких $\sum a_i = 1$ ($i = 1, 2, \dots, n$). Ваговий набір ризиків на другому рівні визначається як $W = \{w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{im}\}$, а w_{ij} ($j = 1, 2, \dots, m$) – це вага першого j фактору U_{ij} вирішального фактору U_i на другому рівні, серед якого $\sum w_{ij} = 1$ ($j = 1, 2, \dots, m$).

2. Перегляд ваги індексів ризику проекту. Після обробки методом МАІ матриця ваги виглядає наступним чином, тоді як A_{ij} – це вагомість і ступінь важливості, які отримуються після того, як перший i -ий експерт оцінить перший j -ий індекс і використовує метод МАІ для роботи. У наступній матриці m означає кількість експертів, а n — кількість індексів.

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & A_{ij} & \dots \\ A_{m1} & A_{m2} & \dots & A_{mn} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Для оцінки ступеня дисперсії ваги матриці від експертів необхідно розрахувати коефіцієнт подібності між ваговими коефіцієнтами, таким чином складається матриця коефіцієнтів подібності. Коефіцієнт подібності та матриця подібності R визначаються як:

$$R_{ij} = 1 - \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{k=1}^n (A_{ik} - A_{jk})^2}, \quad (2)$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} \\ \dots & \dots & R_{ij} & \dots \\ R_{m1} & R_{m2} & \dots & R_{mn} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де R_{ij} відноситься до ступеня подібності вагових результатів між експертами i та j при оцінці першого k -го пункту.

Відомо за наведеною вище формулою, чим менше R_{ij} , тим менше подібність. Крім того, n відноситься до розмірності ваги індексу, яка також є кількістю індексів оцінки.

3. Створення набору оцінок. Незалежно від того, скільки рівнів факторів міститься, набір оцінок має лише одиницю. Набір оцінок

застосовний до факторів ризику та факторів, на які впливає ризик. Оцінювальні контрольні показники, надані набором оцінок, можуть бути виражені як $V = \{v_1, v_2, \dots, v_p\}$, де v_k ($k = 1, 2, \dots, p$) – це перший k -ий можливий результат загальної оцінки.

4. Створення дворівневої матриці нечіткої оцінки. Група оцінки ризиків, що складається з експертів або керівників, оцінює поточний стан ризику відповідно до заданого контрольного показника оцінки. Ця оцінка є нечітким відображенням. Навіть для одного і того ж проекту оцінювання результати оцінювання можуть бути виражені лише розміром ступеню можливості першої j -ої шкали оцінки за першим i -им фактором, оскільки для різних оцінок можуть бути призначені різні оцінювачі. Цей ступінь можливості називається ступенем членства, позначається r_{ij} .

Ступінь членства r_{ij} визначається як кількість експертів, які складають першу шкалу оцінки j за першим i -им фактором / загальна кількість експертів, які беруть участь в оцінці, таким чином, нечітка матриця оцінки визначається як:

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & r_{ij} & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

5. Нечітка комплексна оцінка. Відповідно до нечіткої матриці оцінювання, набір нечітких комплексних оцінок e :

$$B = A \cdot R_{ij} = (a_1, a_2, \dots, a_n) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & r_{ij} & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_n). \quad (5)$$

Ймовірність виникнення ризиків проекту розраховується за формулою:

$$P_f = B \cdot V^T = (b_1, b_2, \dots, b_n)(V_1, V_2, \dots, V_n)^T. \quad (6)$$

Серед яких, b_i ($i = 1, 2, \dots, n$) означає ступінь належності першого i -го фактору щодо набору оцінок, коли ми виконуємо комплексне оцінювання об'єктів оцінки, що складається з факторів ризику.

6. Визначення розміру ризику методом рівної кривої ризику. Виявлені ризики поділяються на низький, середній і високий клас на основі методу кривої рівного ризику. Загалом, низький ризик означає лише незначний вплив на ціль проекту, а ймовірність виникнення також мала (менше 0,3).

Середній ризик означає що ймовірність настання велика (від 0,3 до 0,7) і ризик впливає на досягнення об'єкта проекту. Високий ризик означає, що ймовірність настання більша (0,7 і вище) і це дуже негативно впливає на досягнення проекту [5].

Моделювання безпеки системи із застосуванням нечіткої логіки. Теорія нечіткої логіки дозволяє уникнути недоліків детермінованого та імовірнісного підходів, про які було сказано вище, тому для оцінки поточного рівня ризику використовували нечіткі нейронні (гібридні) мережі. Використання лінгвістичних змінних під час оцінювання невизначених вхідних даних при встановленні факторів ризику дозволило виявити всі показники цих факторів ризику.

Для оцінювання обрано проект спорудження та експлуатації свердловини на території бурової, кінцевою метою якого є видобування нафти, тому до уваги беруться ризики і подальшого транспортування нафти по трубопроводам. Оцінювання ризику проводимо за допомогою описаної у підрозділі 3.2 методології багаторівневої нечіткої комплексної оцінки.

1 етап. Розрахунок ваги.

Застосовуючи експертне дослідження факторів ризику, шість експертів із досвіду управління ризиками, що можуть виникнути під час видобування нафти, оцінюють відносну важливість різних факторів, які впливають на буріння та експлуатацію свердловини, підраховують та обчислюють відносну вагу восьми факторів ризику в реалізації проекту:

$$A = (0,1, 0,2, 0,2, 0,1, 0,15, 0,15, 0,05, 0,05).$$

Водночас, обчислюючи одиничну вагу A_{ki} ($i=1,2,\dots,8$) підфакторів у наступному шарі відносно верхнього шару A_k ($k=1,2,3,\dots,8$) розташовуються окремо:

$$A_1 = (0,25, 0,25, 0,25, 0,25);$$

$$A_2 = (0,25, 0,25, 0,25, 0,25);$$

$$A_3 = (0,2, 0,2, 0,2, 0,2, 0,2);$$

$$A_4 = (0,2, 0,2, 0,5, 0,1);$$

$$A_5 = (0,1, 0,1, 0,4, 0,1, 0,3);$$

$$A_6 = (0,4, 0,2, 0,2, 0,2);$$

$$A_7 = (0,3, 0,2, 0,2, 0,3);$$

$$A_8 = (0,3, 0,3, 0,2, 0,2).$$

2 етап. Створення набору оцінок.

Шкала оцінки V розділена на п'ять рівнів. $V = (0,1, 0,3, 0,5, 0,7, 0,9)$ відповідно вказують на {низький, нижчий, середній, високий, вищий}. За результатами оцінки експертів розраховуємо коефіцієнти, що відповідають різним позиціям ризику для кожного підфактору. Наприклад, серед природних небезпек (U_1), є три особи, які вважають, що ризик геологічних факторів (U_{11}) є низьким (V_1). Тобто, що ступінь належності статті ризику

становить 0,5. Хоча інші фактори ризику визначаються аналогічним чином, тому матриця ступенів членства виглядає так:

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \begin{bmatrix} 0,2 & 0,4 & 0,2 & 0,2 & 0 \\ 0,2 & 0,4 & 0,2 & 0,2 & 0 \\ 0,2 & 0,4 & 0,2 & 0,2 & 0 \\ 0,2 & 0,4 & 0,2 & 0,2 & 0 \end{bmatrix} & R_5 &= \begin{bmatrix} 0,6 & 0,2 & 0,1 & 0,1 & 0 \\ 0,6 & 0,2 & 0,1 & 0,1 & 0 \\ 0 & 0,1 & 0,4 & 0,3 & 0,2 \\ 0,3 & 0,4 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0 & 0,1 & 0,3 & 0,4 & 0,2 \end{bmatrix} \\
 R_2 &= \begin{bmatrix} 0 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,1 \\ 0 & 0,2 & 0,4 & 0,3 & 0,1 \\ 0 & 0,25 & 0,25 & 0,4 & 0,1 \\ 0 & 0,4 & 0,25 & 0,25 & 0,1 \end{bmatrix} & R_6 &= \begin{bmatrix} 0,2 & 0,4 & 0,2 & 0,2 & 0 \\ 0,4 & 0,2 & 0,2 & 0,2 & 0 \\ 0,5 & 0,2 & 0,1 & 0,2 & 0 \\ 0,5 & 0,3 & 0 & 0,2 & 0 \end{bmatrix} \\
 R_3 &= \begin{bmatrix} 0,2 & 0,2 & 0,2 & 0,4 & 0 \\ 0,1 & 0,1 & 0,3 & 0,4 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,4 & 0,4 & 0 \\ 0,1 & 0,1 & 0,4 & 0,4 & 0 \\ 0,1 & 0,1 & 0,4 & 0,3 & 0,1 \end{bmatrix} & R_7 &= \begin{bmatrix} 0,5 & 0,2 & 0,2 & 0,1 & 0 \\ 0,6 & 0,2 & 0,1 & 0,1 & 0 \\ 0,6 & 0,2 & 0,1 & 0,1 & 0 \\ 0,5 & 0,2 & 0,2 & 0,1 & 0 \end{bmatrix} \\
 R_4 &= \begin{bmatrix} 0,3 & 0,1 & 0,4 & 0,2 & 0 \\ 0,3 & 0,1 & 0,4 & 0,2 & 0 \\ 0,1 & 0,2 & 0,2 & 0,4 & 0,1 \\ 0,3 & 0,4 & 0,2 & 0,1 & 0 \end{bmatrix} & R_8 &= \begin{bmatrix} 0,6 & 0,2 & 0,1 & 0,1 & 0 \\ 0,6 & 0,2 & 0,1 & 0,1 & 0 \\ 0,5 & 0,2 & 0,2 & 0,1 & 0 \\ 0,5 & 0,2 & 0,2 & 0,1 & 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

3 етап. Розрахунок первинної нечіткої комплексної матриці оцінки.

Матриця ваги кожної підмножини, що помножується на матриці членства, є первинною матрицею оцінки, тобто $B_k = A_k \cdot R_k$, отримуючи E. Нечітка підмножина E є результатом нечіткої комплексної оцінки першого рівня.

$$E = \begin{bmatrix} 0,2 & 0,4 & 0,2 & 0,2 & 0 \\ 0 & 0,263 & 0,3 & 0,338 & 0,1 \\ 0,12 & 0,12 & 0,34 & 0,38 & 0,04 \\ 0,2 & 0,18 & 0,28 & 0,29 & 0,05 \\ 0,24 & 0,15 & 0,28 & 0,27 & 0,15 \\ 0,36 & 0,3 & 0,14 & 0,2 & 0 \\ 0,54 & 0,2 & 0,16 & 0,1 & 0 \\ 0,56 & 0,2 & 0,14 & 0,1 & 0 \end{bmatrix}$$

4 етап. Розрахунок нечіткої комплексної матриці другого рівня.

Відповідний ваговий вектор основних факторів $A = \{a_1, a_2, \dots, a_8\}$, потім R виконується операція комплексного нечіткого оцінювання вдруге, нарешті отримується вектор підпорядкування показників цільового рівня U відносно набору оглядів.

$$V = A \cdot E = (0,209, 0,222, 0,254, 0,273, 0,056).$$

Отже, ймовірність виникнення ризиків у проєкті із спорудження та експлуатації свердловини на території бурової, кінцевою метою якого є видобування нафти, визначається як $P_f = B \cdot V^T$

$$P_f = B \cdot V^T = (0,209, 0,222, 0,254, 0,273, 0,056) * (0,1, 0,3, 0,5, 0,7, 0,9) = 0,456.$$

Використовуючи наведену вище модель, ми можемо розрахувати кінцевий результат $0,3 < P_f < 0,7$, що відноситься до помірного діапазону ризику, тому досліджуваний проєкт з буріння та експлуатації свердловини може бути реалізований. Водночас цей індивідуальний фактор ще стикається з більшим ризиком, має привернути увагу нафтовидобувних підприємства, а науково-технічний сектор все ще повинен контролювати вчасно, щоб уникнути розвитку у напрямі високого ризику. Вищенаведена модель може допомогти в оцінюванні та завчасному попередженні про ризику проєкту, тому для ризиків, відображених у моделі, потрібно розробити ряд цілеспрямованих заходів для їх покращення та запобігання.

У попередньому дослідженні [6] для попередження надзвичайних ситуацій систематизовано можливі причини технічного ризику та ризику відмов. У цілому їх можна описати таким чином.

Фактори технічного стану досліджуваної ділянки трубопроводу за даними трубних оглядів визначають вплив на ймовірність аварії, параметри дефектів, виявлених внутрішньотрубними снарядами. Конструктивно-технологічні фактори визначають вплив на ймовірність аварії конструктивних особливостей трубопроводів та якості будівельно-ремонтних робіт.

Фактори експлуатаційного навантаження потенційно небезпечних трубопроводів визначають вплив на ймовірність аварії за ступенем навантаження конструкції під час експлуатації та враховують циклічне навантаження внутрішнього або зовнішнього транспортного тиску, розміщення компресорних станцій у дослідженні. площа, а також можливість гідроудару. Фактори корозійного впливу визначають вплив на ймовірність аварії параметрів системи трубопроводів, що сприяють виникненню та розвитку корозійних дефектів.

Антропогенні фактори визначають вірогідність пошкодження мереж трубопроводів внаслідок антропогенної діяльності в районі їх розташування, що полягає в підвищенні ризику пошкодження трубопроводу внаслідок несанкціонованих робіт на їх трасах та аварій на сусідніх об'єктах. Фактори природних впливів – це параметри, що характеризують можливість пошкодження трубопроводу внаслідок руху ґрунту. Ці фактори визначаються ландшафтно-геохімічним положенням, кліматичними та гідрогеологічними умовами території об'єктів контролю, а саме нафто- та газопроводів.

У попередній роботі [2] з метою дотримання вимог екологічної безпеки для кожного родовища запропоновано план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС), згідно з яким визначаються потенційно небезпечні об'єкти в умовах аварій. План містить інструкції щодо повідомлення відповідних служб та організацій, які мають залучатися до ліквідації аварій та їх наслідків, перелік необхідних технічних засобів, способів збору та знешкодження забруднюючих речовин. Аналіз безпеки всієї системи видобутку, збору та транспортування вуглеводневої продукції показує, що найбільш імовірними аваріями при видобутку нафти і газу є нафтогазові (відкриті) фонтани з подальшою пожежею та проривами нафто- і газопроводів та займанням викидів

Проте подальшого дослідження потребує розроблення комплексу управлінських рішень та заходів щодо попередження виникнення ризику під час реалізації проекту з видобування нафти та транспортування вуглеводневої сировини, що стає можливим на підставі одержаних результатів дослідження із застосуванням розроблених науково-методологічних основ щодо використання методу аналізу ієрархії для моделювання екологічної безпеки системи.

Використані інформаційні джерела:

1. Li Shuquan, Chen Jie, Zhao Yanhua, Zhang Yan. Risk Evaluation Index System and Evaluation Method Study of High-tech Project. *Journal of Modern Management Science*. 2009. Vol. 9. P. 54–55.

2. Аблєєва І. Ю. Техногенні ризики, що асоціюються з нафтовидобувною діяльністю. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : збірник матеріалів VII Міжнародного молодіжного конгресу (Львів, 10–11 лютого 2022 р.). Київ : Яроченко Я. В., 2022. С. 64.

3. Gao Weidong, Wu Qingzhong, Wu Jiangfeng. Engineering Program Risk Assessment Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation. *Journal of Energy Technology and Management*. 2006. Vol. 4. P. 67–68.

4. Shi L., Shuai J., Xu K. Fuzzy fault tree assessment based on improved AHP for fire and explosion accidents for steel oil storage tanks. *Journal of hazardous materials*, 2014. Vol. 2014278. P. 529–538.

5. Xu Yang. Application of Equal Risk Curve Method in Engineering Project Risk Assessment. *Journal of Southwest University*. 2007. Vol. 1. P. 119–121.

6. Ablieieva I., Plyatsuk L., Trunova I., Burla O., Krasulia B. Scientific and methodological approaches to assessing the safety of oil production complexes as potentially dangerous objects. *Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»*. 2022. Vol. 11(1/2022). P. 8–17.

ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ РАДІАЦІЙНИХ АВАРІЙ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ

ATMOSPHERIC MODELLING AND DOSE PROJECTION UNDER HIGH UNCERTAINTY CONDITIONS

¹**Артемчук В. О.**, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора з науково-організаційної роботи, **Кириленко Ю. О.**, молодший науковий співробітник, ¹**Каменева І. П.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, ²**Попов О. О.**, член.-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, заступник директора з науково-організаційної роботи, ²**Ковач В. О.**, доктор наук з державного управління, провідний науковий співробітник, ²**Яцишин А. В.**, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник

¹*Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова
НАН України, Україна*

²*ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»,
Україна*

Artemchuk V. O., Dr., Deputy Director, ¹**Kyrylenko Y. O.**, Junior Researcher, ¹**Kameneva I. P.**, PhD, Senior Researcher, ²**Popov O. O.**, Corresponding member of the NAS of Ukraine, Dr., Deputy Director, ²**Kovach V. O.**, Dr., Senior Researcher, ²**Iatsyshyn A. V.**, Dr., Senior Researcher

¹*G. E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of NAS
of Ukraine, Ukraine*

²*State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of
National Academy of Sciences of Ukraine», Ukraine*

Анотація. У березні 2022 року Україна зіткнулась з варварським актом ядерного тероризму по відношенню до одного з найбільшого енергетичного об'єкту Європи – Запорізької АЕС. Як показала практика, оцінка стану та аналізу розвитку ситуації при умовах подібного військового нападу на об'єкт атомної енергетики є вкрай важкою та лише частково може регулюватися стандартними підходами до прогнозування перебігу можливої аварії. У даній публікації розкривається проблема оцінки наслідків радіаційних аварій. Особливу увагу приділено характеристикам джерела атмосферного викиду як основною ланкою нарощення невизначеностей на

етапі введення вихідних даних до систем підтримки прийняття невідкладних заходів щодо захисту населення. Представлені загальні підходи щодо підготовки вихідних даних з метою моделювання атмосферної дисперсії, прогнозування доз, виділені основні проблеми моделювання в умовах значної невизначеності та недостатності даних.

Abstract. *In March 2022, Ukraine faced a barbaric act of nuclear terrorism against one of Europe's largest nuclear facility, the Zaporizhzhia NPP. Experience has shown that assessing and analyzing the situation under such a military attack on a nuclear power facility is extremely difficult and can only be partially regulated by standard approaches to predicting the course of a possible accident. This section reveals the problem of assessing the radiological consequences of severe accidents at NPP. Particular attention is paid to the characteristics of the source term as the main link in increasing uncertainty at the stage of entering the initial data into decision support systems for emergency measures to protect the public. The general approaches concerning preparation of initial data for the purpose of modelling of atmospheric dispersion, dose projection are presented, the basic problems of modelling in the conditions of considerable uncertainty and insufficiency of data are allocated.*

Вступ. Сучасні підходи до аварійного реагування на радіаційні аварії на ядерних установках всього світу є когерентними та полягають у недопущення людських жертв та встановлення контролю над джерелом викиду радіоактивних речовин. Механізми та процедури щодо реагування на подібні події з урахування принципу мирного використання атомної енергії не розраховані на події терористичного або військового характеру. Існуючи програмні засоби оцінки, зокрема, системи підтримки прийняття рішень щодо захисту населення під час радіаційних аварій, – тому не є виключенням. Дані інструменти є найбільш ефективними за умови надання повного спектру вихідних параметрів, необхідних для запуску моделей. Проте, в непередбачених умовах процедури реагування потребуються прийняття рішень на базі неповного масиву даних або в рамках того обсягу інформації, який наразі є доступним для особи, що приймає рішення.

На сьогодні в світових кризових центрах використовуються сучасні інструменти оцінки, такі як європейська система ARGOS [0] або програмний комплекс американського регулюючого RASCAL [0]. З початку 90-х років у рамках наукових програм Європейської Комісії активно підтримується і координується розробка комплексної системи реального часу з підтримки прийняття рішень щодо позаоб'єктового реагування на радіаційні аварії – RODOS. Java-версія цієї системи носить назву JRODOS [0]. Наразі, продовжується подальший розвиток цього продукту, його вдосконалені

версії періодично представляються головним розробником JRODOS – Forschungszentrum Karlsruhe GmbH – від імені Консорціуму розробників JRodos, до складу якого входить 15 установ різних європейських країн. З 2013 року ця система успішно використовується в кризових центрах українських АЕС під час проведення заходів з аварійного реагування на ядерні та радіаційні аварії. Система JRODOS складається з низки математичних моделей та баз даних для проведення прогнозних оцінок наслідків можливих радіаційних аварій, планування невідкладних та довгострокових контрзаходів щодо захисту населення. Ця система спрямована на підвищення технічних та стратегічних можливостей реагування на випадок національних та транскордонних надзвичайних ситуацій. Моделі та бази даних JRODOS можуть бути адаптовані для різних характеристик місцевості розташування АЕС, географічних, кліматичних і екологічних умов. Використання цієї системи, за умови безперервного надходження даних чисельного метеорологічного прогнозу та вчасного інформування щодо хронології та активності викиду, дозволяє провести оперативне прогнозування радіаційних наслідків у локальному та глобальному просторових масштабах.

Проблема невизначеності. Деякі системи мають гнучкий інтерфейс та дозволяють задавати вихідні дані моделювання декількома варіантами. Варіативність підходу введення даних сприяє оперативному реагуванню на неповну сукупність інформації щодо стану аварійного об'єкту. Пакет первинних вихідних даних включає дані щодо джерела атмосферного викиду, метеорологічні умови, налаштування розрахунку, зокрема бажаний перелік результатів або їх формат.

На рис. 1 представлений вплив невизначеностей щодо джерела викиду за нестабільних метеорологічних умов. В даному випадку зони прийняття невідкладних контрзаходів щодо захисту населення при важкій аварії можуть суттєво різнитися в залежності моменту початку викиду.

Окрім хронологічної невизначеності часового розподілу викид, виділяють магнітуду та ізотопний склад, що може також можуть значно відрізнятись та залежити від початкової активності дозоутворюючих радіонуклідів в ядерному паливі. Наразі, в рамках великої кількості міжнародних проєктів розглядаються різноманітні погляди. На відміну від хронологічного, даний тип невизначеності можна суттєво нівелювати ще на етапі готовності до надзвичайних ситуацій шляхом порівняння існуючих підходів, як наприклад [0].

Невизначеність, що пов'язані з чисельними даними метеорологічного прогнозу досліджується WMO [0].

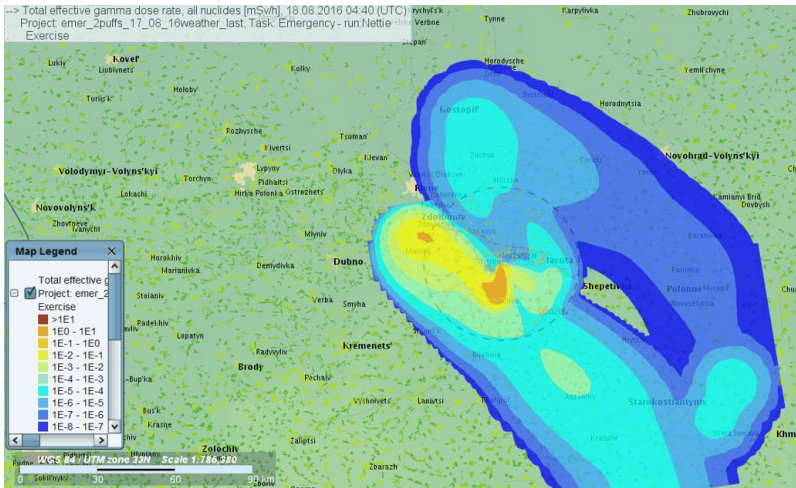


Рис.1. Ефект хронологічної невизначеності

Деякі СППР дозволяють проаналізувати наслідки подій для декількох варіантів метеорологічних умов або джерел викиду. Такі дослідження дозволяють вплив якості прогнозу на кінцевий результат, а саме конфігурацію зон прийняття невідкладних контражодів щодо захисту населення.

Радіонуклідний склад та фізико-хімічна форма. Радіонуклідний склад та фізико-хімічні форми викиду залежать від комплексу факторів: активності радіонуклідів в активній зоні аварійного реактора та/або басейну витримки (БВ) відпрацьованого палива, особливостей роботи систем безпеки, феноменологічного етапу пошкодження палива тощо. Для опису поведінки радіоактивної паро-газової суміші в межах контайнменту використовують групування за фізико-хімічними класами. Більш узагальнений розподіл радіонуклідів за фізико-хімічними формами також є властивим на етапах моделювання атмосферного шляху розповсюдження та транспорту за харчовими ланцюжками – інертні радіоактивні гази (ІРГ), аерозолі, органічна та молекулярна форма йоду. Причому, один і той самий радіонуклід, наприклад, ^{131}I , в різних формах має різний характер осадження на підстилаючу поверхню ґрунту, а також відіграє різну роль у дозоутворенні для різних шляхів опромінення.

Для опису транспорту радіонуклідів у замкненому аварійному приміщенні підприємств атомної галузі використовується ряд математичних моделей, що засновані на процесах тепломасообмінну та аеродинаміки. Ці моделі знаходяться у складі інтегральних розрахункових програмних продуктів таких як MELCOR [0], MAAP, CONTAIN та ін. Ці коди

використовують як аналітичні, так і чисельні методи розв'язку, оперуючи емпіричними та напівемпіричними співвідношеннями. За допомогою таких інструментів описується транспорт продуктів ділення ядерного палива, проводиться розрахунок потужності та складу викиду радіоактивних речовин з приміщень аварійного об'єкта в атмосферу. Провідні представники інтегральних кодів цієї групи мають подібну структуру та покривають основні етапи моделювання транспорту радіоактивних речовин у технологічних приміщеннях для більшості проектних та запроектних аварій, які розглядаються під час аналізу безпеки АЕС.

Так, наприклад, інтегральний комп'ютерний код інженерного рівня MELCOR [0] моделює протікання ВА на АЕС із легководними реакторами. Цей код розроблено в Sandia National Laboratories для регулюючого органу США. Наразі, цей код активно використовується країнами-членами МАГАТЕ, і Україні включно. MELCOR дозволяє моделювати широкий спектр аварійних процесів на реакторній установці (РУ). Наряду з такими процесами як тепло-гідралічна реакція систем РУ та суміжних споруд, деградація та переміщення паливних мас, взаємодія розплаву з бетоном будівельних конструкцій, генерація, транспортування та спалювання водню, тощо, код дозволяє моделювати транспорт продуктів ділення. В основу моделювання цим кодом входить нодалізаційна схема – просторове розбиття аварійного об'єкта на окремі об'єми за принципом пріоритетності внеску того чи іншого обладнання або приміщення у визначальні параметри аварійного процесу. Тепло-гідралічні параметри в рамках одного об'єму у певний момент часу вважаються однаковими. Продукти ділення MELCOR групуються за хімічними властивостями. В рамках одного класу поведінка елементів та їх ізотопів вважається однаковою.

Існують такі шляхи отримання даних щодо радіонуклідного складу радіоактивного викиду:

- 1) отримання інформації, що надходить із точок фактичних вимірів підсистеми контролю газоподібних викидів (вентиляційна труба);
- 2) використання загальної бібліотеки JRODOS щодо формування джерела викиду;
- 3) аналітичні оцінки щодо активності викиду відповідно до феноменологічних етапів пошкодження ядерного палива.

Якщо інформації, яка надходить за першим шляхом достатньо для проведення поточних розрахунків у системі JRODOS, два інших шляхи є бажаними але не обов'язковими для використання. Під час дефіциту інформації (повному або частковому) необхідно скористатися двома названими шляхами формування даних.

Вихідними даними для оцінки джерела викиду є дані щодо вмісту радіонуклідів в активній зоні реактора, в разі пошкодження активної зони,

або дані радіонуклідного складу та активності теплоносія, в разі відсутності понад нормативного пошкодження активної зони. Для формування даних можна скористатися даними загальної бібліотеки JRODOS. У ній повинні міститися джерела викиду за визначеними хронологічними етапами:

- вихід теплоносія першого контуру;
- вихід газового зазору твел;
- вихід продуктів ділення за рахунок часткового пошкодження палива активної зони (АкЗ);
- вихід продуктів ділення внаслідок розплавлення АкЗ (внутрішньокорпусна та позакорпусна фази).

Джерело викиду радіонуклідів за межі першого контуру обирається відповідно до типу та потужності реактора аварійного енергоблока.

Радіаційні характеристики викиду під час аварій з різним ступенем пошкодження АкЗ визначаються низкою хімічних елементів і інтенсивності їх виходом в теплоносій у разі пошкодження АкЗ. В документі NUREG-1465 [0] наведена інформація щодо орієнтовної відносної частки виходу продуктів ділення з АкЗ у повітряний простір контайнменту на різних етапах пошкодження ядерного палива реакторів типу PWR та BWR.

Під час оцінки радіаційних характеристик аварійного викиду окрему увагу приділяють розподілу за фізико-хімічними формами радіонукліду йоду, як дозоутворюючого радіонукліда за найбільш критичним шляхом опромінення. Для визначення швидкості сухого осадження та параметру вимивання йоду з радіоактивної хмари необхідно враховувати розподіл йоду за його фізико-хімічними формами. JRODOS дає можливість врахувати три форми йоду:

- аерозольна (CsI);
- елементарна/молекулярна (I₂);
- органічна (CH₃I).

У сучасних підходах щодо реалістичного прогнозування радіаційних наслідків аварій на реакторах водо-водяного типу виділяють такі розподіли за 2 шляхами виходу парогазової суміші: гермооб'єм (ГО) та швидкодіюча редуційна установка скиду пари в атмосферу (ШРУ-А). З метою консервативної оцінки (особливо для транскордонного переносу) обирається розподіл з більшою кількістю органічного йоду.

Шляхи витоку. Під час аварії радіонукліди можуть минути такий бар'єр як ГО (байпас ГО) або спочатку потрапити у повітряний простір контайнменту і вже потім через нещільності контайнменту надходити в навколишнє середовище. Перший шлях поширення характерний для аварій, зумовлених течєю першого контуру в другий (втрата герметичності трубочки парогенератора, відрив кришки колектора парогенератора), водночас радіонукліди, минаючи ГО, потрапляють одразу в другий контур і,

далі, без очищення надходять в атмосферу. Інший шлях поширення характерний для аварій, пов'язаних із розривом трубопроводів першого контуру аж до максимальної проектної аварії (гільйотинний розрив трубопроводу першого контуру максимального діаметра).

Для коректної оцінки виходу радіонуклідів із ГО до оточуючого середовища треба враховувати наявність чи відсутність очищення. Залежно від шляху поширення викид може піддаватися різним механізмам очищення і утримання радіонуклідів, як, призначеними для цього спеціалізованими системами очищення (спринклерна система, барботаж), так і під впливом природних механізмів очищення (осадження, розпад). Водночас, ступінь очищення для ГО, як правило, залежить від тривалості витримки радіонуклідів в ГО. Під фактором очищення розуміється відношення активності йодів і довгоживучих аерозолів, які вийшли в навколишнє середовище до активності, що утворилася внаслідок аварії (дані NUREG-1228 [4]).

У разі викидів після очищення на фільтруючих засобах (якщо їх працездатність збережена впродовж протікання аварії), враховується ефективність фільтруючої системи, через яку проходить парогазова суміш. Водночас, розподіл радіоїоду за фізикохімічними формами різко змінюється. Практичні розрахунки показують, що під час аварійного сценарію із використанням сучасних фільтруючих засобів на легководних реакторах, дозоутворюючими групами будуть ІРГ та органічна сполука радіоїоду. Водночас, у таких сценаріях час затримки перед викидом у атмосферу відіграє значну роль у результатах розрахунку в системі JRodos.

У разі надходження радіонуклідів в ГО швидкість їх виходу залежить від ступеня герметичності та величини існуючої нещільності ГО. У міжнародній практиці прийняті такі інтенсивності витоку з ГО:

– 0,1-0,3 %/доба (нормальне протікання для контайнментів реакторів типу PWR, 0,3 %/доба – ВВЕР-1000);

– 100 %/доба (відмова ізолюючих клапанів контайнменту);

– 100 %/год (відповідає руйнуванню контайнменту).

Час затримки радіонуклідів перед викидом в атмосферу (час після закінчення ланцюгової реакції в АкЗ) є визначальним фактором у розрахунку доз опромінення населення, насамперед, в частині зовнішнього опромінення від ІРГ (доза від хмари) та радіоїодів (доза від інгаляції). Знаючи активність радіонуклідів в АкЗ на кінець кампанії та сталі напіврозпаду можна знайти активність у будь-який момент після зупини реактора або активність парогазової суміші (ПГС) у будь-який момент її витримки у вільному просторі ГО.

Ефективна висота викиду. Методичні підходи щодо визначення ефективної висоти викиду у різних літературних джерелах представлені

досить неоднозначно. Втім, зазначимо, що у всіх цих підходах вводяться поняття:

- викид із високих труб;
- викид із низьких труб (керівництво № 50-SG-S3 МАГАТЕ [0]).

У другому випадку з метою підвищення ступеня реалістичності розрахунку, також, враховується ефект аеродинамічного джерела викиду (оцінка початкових параметрів атмосферної дисперсії).

У рамках розрахунку в реальному часі для визначення підймання парогазової суміші динамічною складовою та внаслідок внутрішньої енергії викиду за поточними параметрами в ГО користуються попередньо запрограмованими обчислювальними процедурами (Mathcad/Excel) згідно з методикою МАГАТЕ № 50-SG-S3 для випадків:

- нестійких та нейтральних категорій стійкості атмосфери (середньої та високої висоти шару перемішування);
- для умов стабільної атмосфери (малої висоти шару перемішування).

Також, зауважимо, що зниження ефективної висоти викиду підвищує ступінь консерватизму результатів оцінки радіаційних наслідків, особливо, у ближніх зонах.

Система JRODOS дозволяє задати фактичну висоту викиду та враховувати підймання парогазової суміші динамічною складовою та внаслідок внутрішньої енергії викиду за допомогою додаткових параметрів, таких як теплова потужність викиду, вертикальний потік та площа перерізу (сопла ШРУ-А, вентруби тощо).

Типи введення вхідних даних. Сучасні системи підтримки прийняття рішень мають досить гнучку політику щодо введення початкових даних розрахунку, що дозволяє вводити як частку викиду від початкової активності так і потужність викиду на інтервалі або інтегральний викид.

Сучасні СПІР переходять до стандарту бібліотек джерел в форматі IRIX (International Radiological Information Exchange, [0]), який суттєво полегшує обмін даними між організаціями та в міжнародному контексті (табл. 1).

Використання даних аварійного моніторингу. Застосування даних вимірювань поблизу аварійного енергоблоку (система АСКРО, мобільні засоби, пости УкрГМЦ та ін.) сприяє уточненню моделі та підтвердженню результатів моделювання атмосферної дисперсії та прогнозування доз опромінення. Проте, в разі нападів військового характеру або окупації, дані системи частково можуть бути недоступні. Окремим питанням залишається достовірність інформації, яка надається за допомогою постів контролю радіаційної обстановки.

Наразі в Україні відсутня інтегрована автоматизована система моніторингу для виявлення, аналізу та прогнозування можливих наслідків

радіаційних аварій, викиди, внаслідок яких можуть поширюватися за межі санітарно-захисних зон атомних електростанцій, інших ядерних установок та радіаційно небезпечних об'єктів в Україні та за її межами. Проте, на період до 2024 року планується розробка інтегрованої автоматизованої системи радіаційного моніторингу [0].

Таблиця 1. Типи джерел за способами введення вхідних даних щодо частки/активності викиду СППР JRODOS [0]

Тип вводу даних	Опис
F1	Доля входу Fractions [%] на інтервалі від початкової активності у паливі (Inventory).
F5	Активність викиду Released activity [Bq] на інтервалі з переліку радіонуклідів RODOS.
F3	Активність викиду Released activity [Bq] на інтервалі для I-131 та суми значень активності радіонуклідів для груп ІРГ, аерозолів (включно з можливістю задання розподілу по фракціям аерозолів).
F4	Активність викиду Released activity [Bq] на інтервалі для йодів, ІРГ, аерозолів (включно з можливістю задання розподілу по фракціям аерозолів).
F2	Активність викиду Released activity [Bq] на інтервалі індивідуально по кожному нукліді з прив'язкою до початкової активності у паливі (Inventory).
F6	Активність викиду Released activity [Bq] на інтервалі індивідуально по кожному нукліді без прив'язки до початкової активності у паливі (Inventory).
F7	Потужність викиду Activity release rate [Bq/s or Bq/h] на інтервалі індивідуально по кожному нукліді без прив'язки до початкової активності у паливі (Inventory).

На шляху розвитку інструментарію з оцінки радіаційних наслідків у реальному часі наразі стоїть чимало викликів. Нині одним із амбіційних напрямів розвитку СППР є вирішення зворотної задачі щодо визначення координат та характеристик джерела викиду за результатами вимірів на місцевості.

Як показує практика розрахунків, проведених для лісової пожежі у зоні відчуження і зоні безумовного (обов'язкового) відселення (ЗВіЗБ(О)В), зазвичай вдається досить швидко оцінити інтегральні характеристики активності викиду за умови наявності даних вимірювань у ближній зоні викиду. Втім, коли йдеться про відносно великі просторові масштаби, ця процедура потребує значного часу на збір та обробку даних для проведення інверсійного розрахунку.

Проведення інверсійних оцінок для подій у великих просторових масштабах потребують залучення спеціалізованих програмних засобів та окремих методичних підходів. Крім того, задача ускладнюється тим, що в кожному випадку формат та повнота вихідних даних є індивідуальними. На сьогодні питання формування універсальних підходів щодо вирішення зворотної задачі залишається відкритим.

Висновки. Наслідки актів ядерного тероризму або військових атак на об'єкти атомної енергетики можуть суттєвий вплив на оточуюче середовище та є суттєво асоційованими із великими невизначеностями або недостатністю вихідних даних для проведення розрахунків. Зазвичай сучасні інструменти моделювання аварійної готовності та реагування, так як системи підтримки прийняття рішень не розроблюються для використання в умовах невизначеності.

Разом із тим, існує чимало методичних підходів щодо формування викиду при подіях, які супроводжуються значними викидами радіоактивних речовин в навколишнє середовище. Ці підходи допомагають наблизити, а інколи, відтворити динамічну картину щодо концентрацій радіонуклідів в повітрі, випадіннях та дозволяють провести комплексний вплив на населення та навколишнє середовище. Огляд особливостей їх застосування показав, що розробки підходів щодо опису джерела викиду є ефективним інструментом для надання вихідних даних в різних варіантах та формах, необхідних для розрахунків радіаційних наслідків в системах підтримки прийняття рішень та інших програмних засобах.

На прикладі СППР розглянуто основні характеристики джерела викиду, які представляють пакет вихідних даних для проведення моделювання атмосферної дисперсії та прогнозування дози опромінення населення під час важкої аварії на АЕС. Виявлено, що наразі не існує універсальної методології та процедур реагування на події із високим ступенем невизначеності, зокрема, в даних щодо джерела викиду. Дана проблема потребує подальших досліджень та аналізу досвіду, отриманого експертами кризових центрів України під час реагування на військовий напад на Запорізьку АЕС на початку березня 2022 року.

Використані інформаційні джерела:

1. ARGOS Hoe S., McGinnity P., Charnock T. et al. (2009). ARGOS Decision Support System for Emergency Management.
2. Ramsdell J. V. Jr., Athey G.F., Rishelc J.P. (2013). RASCAL 4.3 User's Guide, PNNL.JRodos user's guide An off-site emergency management system for nuclear accidents. Karlsruhe Institute of Technology (KIT). March 2017.
3. Java-based RODOS version. Website JRODOS URL: <https://resy5.iiket.kit.edu/JRODOS/>

4. Benchmarking of Fast-Running Software Tools Used to Model Releases During Nuclear Accidents. Nuclear Safety NEA/CSNI/R(2015)19. 2016.

5. Sørensen, J. H., Schönfeldt, F., Sigg, R., Pehrsson, J., Lauritzen, B., Bartnicki, J., Klein, H., Cordt Hoe, S., & Lindgren, J. Added Value of uncertainty Estimates of SOurce term and Meteorology (AVESOME). Nordic Nuclear Safety Research, 2018.

6. MELCOR Computer. Code Manuals. Vol. 1: Primer and Users' Guide. Version 2.2.9541 2017.

7. NUREG-1465 Accident Source Terms for Light-Water Nuclear Power Plants. Reported by U.S. Nuclear Regulatory Commission.

8. Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting. A Safety Guide. Safety series № 50-SG-S3. IAEA, Vienna, 1980.

9. Mukhopadhyay S.; Baciu F.; Saluja G.; Segarra J.; Albinet F. Application of International Radiological Information Exchange (IRIX) standards for radiation monitoring data reporting, 2018.

10. Розпорядження КМУ «Про схвалення Стратегії інтегрованої автоматизованої системи радіаційного моніторингу на період до 2024 року» від 29 квітня 2022 р. № 323-р., Київ.

РОЗВИТОК БІОГАЗОВОГО ВИРОБНИЦТВА ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ВІДХОДІВ СВИНОКОМПЛЕКСУ

DEVELOPMENT OF BIOGAS PRODUCTION IN THE PROCESSING OF PIG WASTE WASTE

Барун М., кандидат економічних наук, доцент кафедри екології,
Кот А., здобувач другого рівня вищої освіти

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

Barun M., Candidate of Economic Sciences, Department of Ecology,
Kot A., applicant for the second level of higher education

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

Анотація. Постійне збільшення обсягів виробництва сільськогосподарських підприємств, збільшення відходів та недостатня увага до питань їх утилізації призвело до критичної ситуації в цій сфері. Відходи часто створюють економічне та екологічне навантаження в окремих секторах сільського господарства та первинної обробки продукції, що може бути збільшено регіональною спеціалізацією рослинництва та тваринництва. Однак більшість відходів виробництва продукції в цій сфері можуть приносити користь суспільству. Використання відходів тваринництва та отримання біогазу, як альтернативного джерела для виготовлення енергії, вирішить питання не тільки утилізації відходів а й отримання додаткового прибутку.

Abstract. The constant increase in the production of agricultural enterprises, the increase in waste and the lack of attention to the issues of their utilization have led to a critical situation in this area. Waste often creates economic and environmental burdens in certain sectors of agriculture and primary processing, which can be increased by regional specialization of crop and livestock production. However, most production waste in this area can benefit society. The use of livestock waste and biogas as an alternative source for energy production will solve the problem not only of waste disposal but also of additional income.

У зв'язку зі збільшенням населення та низьким розвитком управління відходами, утворюється надмірне накопичення відходів, що призводить до забруднення середовища. Індикатори та зміна управління відходами

допоможуть змінити цю ситуацію та знайти новий варіант розвитку даної сфери управління.

Сільськогосподарське виробництво ділиться на 3 типи джерел утворення відходів виробництва, а саме: вирощування продукції рослинництва, тваринництво та аквакультуру. Сільськогосподарські відходи можуть мати вигляд рідини, субстензії та твердий стан. Їх поділ може залежати від сирової сільськогосподарської продукції, яка була вирощена та залишила невикористані відходи після вирощування фруктів, м'яса, риби, птиці, молочної продукції та зернових культур.

Поводження з відходами – це діяльність та дії, які необхідні для управління відходами від їх утворення до остаточного знешкодження. Таке визначення терміну надає Організація об'єднаних націй. Ці дії включають в себе збирання, транспортування, обробку та утилізацію відходів, моніторинг та регулювання процесу поведження з відходами. Процес утворення відходів прямо залежить від виду діяльності сільськогосподарського підприємства. Можна виокремити вирощування рослин, тварин та морських жителів.

Більшість відходів сільськогосподарського виробництва вважається небажаними або такими, які переробляти не є економічно вигідно. Розглядаючи окремо види відходів сільськогосподарського виробництва залежно від типу підприємства, можна зазначити, що в кожного з них є свої особливості. В ринкових умовах, відходи аграрного виробництва вважаються неприбутковими та таким продуктом, який не може брати участь у подальшому виробництві, адже після проходження повного циклу товару, цей продукт залишається непотрібним.

Однак, більшість відходів виробництва продукції аграрної сфери можуть приносити користь суспільству. Не зважаючи на це, більшість економічних стратегій підприємств не передбачають переробку або використання відходів. Головна причина в тому, що збирання, транспортування та утилізація відходів сільського господарства є дешевшим, ніж переробка їх в торф чи газ.

Розвиток аграрного виробництва призводить до нераціонального використання методів збільшення врожайності та надмірного використання хімікатів. Що, в свою чергу, веде до збільшення відходів виробництва сільськогосподарської продукції та забруднення екосистеми загалом.

Сільське господарство виробляє 23,7 млн. тонн їжі щоденно у всьому світі. Таке зростання сільськогосподарського виробництва збільшує тиск на навколишнє середовище з подальшим впливом на ґрунт, водні ресурси, повітря, що несе ризик для здоров'я населення та стійкості екосистеми.

Сільськогосподарські відходи та побічні продукти виробництва, зазвичай, – це залишки рослин або тварин, які не можуть перероблятися в

їжу або корм для тварин. Вони включають в себе відходи тваринництва (гній, труп тварин), відходи виробництва продукції рослинництва (наприклад, відбирання з фруктів та овочів, стебла та бадилля рослин), відходи харчової продукції та токсичні і небезпечні відходи (гербіциди, пестициди та інші хімікати).

Відходи часто створюють економічне та екологічне навантаження в окремих секторах сільського господарства те первинної обробки продукції, що може бути збільшено регіональною спеціалізацією рослинництва та тваринництва.

Однак, відходи сільського господарства або побічні продукти можна перетворити на цінні ресурси (біоенергія, біодобрива, біоматеріали) використовуючи інтенсифіковані процеси конверсії [1].

Біомасою називається будь-яка органічна речовина, що отримана від тварин або рослин та може бути доступна на відновлюваній основі. До біомаси відносять відходи виробництва продукції рослинництва, тваринництва, деревина, муніципальні органічні відходи тощо. В процесі переробки біомаси, утворюється енергія, однак біомаса в процесі переробки може використовуватись як паливо або перероблятися у газ.

Енергетика з використанням біомаси зайняла важливе місце у енергобалансі низки країн світу. Наприклад, у Німеччині на частку енергетики на біомасі припадає більш ніж 24% всієї енергетики, у Швеції – 21%, у Австрії та Данії – 7 та 12% відповідно. Загалом, в країнах ЄС з біомаси отримують 14% від загальної потреби в енергії. Лідером в Європі є Німеччина, при цьому, лише 7% від загального виробництва біогазу знаходиться в газопроводах. Решта використовується для потреб виробника безпосередньо. Перспективою є те, що 10-20% потреби в країні натурального газу може бути замінено біогазом.

Важливим фактором для використання в Європі біогазових установок є підвищення цін на імпорт енергоносіїв, пов'язані з цим політичні та економічні ризики та подальша підтримка держави біогазової енергетики, яка полягає в тому, що держава має зобов'язання викупити електроенергію за «зеленим тарифом». Це стимулює появу нових підприємств біогазової енергетики.

Ринок біогазу в США розвивається значно повільніше, ніж в Європі. Незважаючи на велику кількість ферм, на території країни функціонує близько 200 заводів по виробництву біогазу, що працюють на відходах сільського господарства. Близько 80% всіх біогазових проектів США базуються на молочно-товарних фермах, де використовують гній ВРХ для переробки його в енергію.

Україна є великою аграрною державою з потужним потенціалом щодо виробництва біогазу. Ще одне досить важливе питання, яке вирішують

біогазові проекти – це питання екології. Ці проекти зменшують використання інших видів палива і, як наслідок, зменшуються небезпечні викиди в атмосферу [2].

Для України, одним з перспективних напрямів є переробка біомаси тваринництва (гною, пташиного посліду) в біогаз (який потім використовується для виробництва енергії або палива) шляхом анаеробного зброджування.

На сьогодні, в Україні діє 49 установок, які виробляють енергію з біогазу та працюють за «зеленим тарифом». Загальна встановлена потужність таких установок – 86 МВт, що майже у 5 разів більше, ніж наприкінці 2015 року (18 МВт). З них 59 МВт (21 установка) працюють на відходах сільського господарства, 27 МВт (28 установок) – на твердих побутових відходах. Протягом 2018 року було введено 12 МВт біогазових потужностей (12 установок), протягом 2019 року – 40 МВт (16 установок).

Біогаз – це газова горюча суміш, яка на 50-70% складається з метану, утворюється з органічних сполук шляхом мікробіологічного анаеробного процесу. До складу біогазу входять 30 - 40 % вуглекислого газу (CO_2) і невеликі кількості сірководню (H_2S), аміаку (NH_3), водню (H_2) та оксиду вуглецю (CO) [3]. Утворення біогазу можна поділити на 4 етапи (рис. 1)



Рис. 1 Етапи утворення біогазу [3]

Важливим моментом у виробництві біогазу є використання відновлюваних джерел енергії, що часто є одночасно і відходами. Використання аграрної сировини або органічних відходів створює середовище для утворення екологічних ефектів при їх перевезенні, використанні та зберіганні.

Одне з найважливіших питань в Україні, є утилізація та безпечна переробка відходів птахофабрик (пташиного посліду) та ферм, що

спеціалізуються на вирощенні ВРХ. Переробка відходів тваринництва може бути розглянута як найкраща з технологій, адже переробка відходів на біогазових заводах зменшує екологічні проблеми та має значні економічні переваги у вигляді децентралізації виробництва енергії [4]

За дослідженнями, що провели спеціалісти різних країн світу, була розрахована кількість отриманого біогазу шляхом анаеробного зброджування (табл. 1).

Таблиця 1. **Вихід біогазу при зброджуванні відходів сільського господарства**

Вид тварин	Кількість біогазу на 1 м ³ об'єму реактору, м ³ /добу	Кількість біогазу на 1 голову, м ³ /добу	Кількість біогазу на 1 м ² (1 т) біомасу, м ³	Кількість біогазу на 1 кг внесеної органічної речовини, м ³
Ферми ВРХ	0,5-2	0,6-1,5	15-25	0,2-0,45
Свині	0,5 -2	0,8-1,8	25-35	0,3- 0,5
Птахи	0,5-2	1,0-2,0	40-50	0,5- 0,6

Екологічний ефект біогазового виробництва полягає в екологічно безпечній переробці органічних відходів та побічних продуктів тваринного походження, за рахунок метанового зброджування [4].

Біоенергетика займає 70% серед всіх відновлюваних джерел енергії і є важливою складовою «зеленої» енерготрансформації в Україні. На думку експертів, Україна може повністю замінити імпорт енергії за рахунок власного виробництва біогазу [5].

Важливими учасниками цього процесу можуть бути аграрні підприємства, що спеціалізуються на вирощенні птиці, свиней, цукрових буряків, які щорічно утворюють велику кількість біомаси. Розвиток біогазового виробництва значно знизить негативний вплив на навколишнє середовище та покращить екологічну ситуацію [6].

Ця сфера є досить прибутковим бізнесом, саме тому в Україні зростає кількість компаній та інвесторів, які видобувають біогаз на сільськогосподарських підприємствах, сміттєзвалищах або полігонах відходів за допомогою біогазових установок.

Якщо розділити суму інвестицій на кількість наявних в країні установок, вийде майже 1 мільйон євро інвестицій у кожен такий об'єкт, та майже 1 мільйон 628 тисяч євро за 1 МВт біогазових потужностей. Тож цей вид бізнесу потребує великих стартових вкладень.

Як повідомляє Держенергоефективності (ДАЕЕ), у квітні 2019 року прийнято Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії». Цей закон робить можливою добровільну участь інвестиційних проєктів електроенергетики з біомаси в аукціонах, також

передбачає суттєву державну підтримку шляхом фіксації аукціонної ціни протягом 20 років.

У жовтні 2015 року набрав чинності Закон України «Про ринок природного газу», відповідно до якого виробники біогазу або інших видів газу з альтернативних джерел мають право на отримання доступу до газотранспортних і газорозподільних систем, газосховищ, установки LNG та на приєднання до газотранспортних та газорозподільних систем, якщо дотримано технічні норми та стандарти безпеки згідно із законодавством [7].

Агрохолдинги у 2020 році вводили в експлуатацію нові біогазові установки та в цьому ж році члени експертної ради біоенергетичних асоціації України оголосили, що за даними «Держенергоефективності України», в Україні налічується всього 34 біогазові станції для яких встановлено зелений тариф, 24 з яких направлено на виробництво електричної енергії (решта - на випуск теплової енергії). Багато компаній заявляють про плани по будівництву і розширенню біогазових потужностей, фахівці вважають, що в цілому інтерес інвесторів до таких проєктів в найближчій перспективі буде нижче, ніж в 2018-2019 рр. [4].

У сучасних умовах органічні матеріали визнаються одним з найбільших джерел енергії. У світі щорічно утворюється понад 160 млрд. тон поновлюваних ресурсів у вигляді біологічної маси, яка може використовуватися в якості сировини для біогазових установок.

Залежно від сировинної бази, цілей створення біогазової установки, фінансових можливостей і інвесторів здійснюється вибір технології переробки біологічної маси. Етапи проєктування біогазових установок зображені на рис. 2.



Рис. 2. Етапи проєктування біогазових установок [4].

Свинячий гній можна досить ефективно використовувати для виготовлення добрив, кормових домішок, біогазу й електроенергії. Найефективнішою перевагою переробки свинячих відходів вважаємо переробку їх на біогаз. Крім біогазу, можна отримувати електроенергію,

тепло, біодобрива. Розглянемо ефективність використання біогазових установок на прикладі підприємства ZorgBioGas, яке знаходиться в Німеччині. Економічні показники переробки відходів від життєдіяльності свиногокомплексу на біогазових установках виробництва ZorgBioGas наведено в таблиці 2 [8].

Таблиця 2. Техніко-економічні показники переробки відходів свиногокомплексу на біогазовій установці виробництва «ZorgBioGas» [8]

Показники	Продуктивність переробки органічних відходів, т/добу
Вихід біогазу, м ³ /добу	9591
Споживана електропотужність, кВт-год	4320
Споживана теплова енергія, кВт-год	1530
Обслуговуючий персонал, осіб	6
Необхідна земельна площа, га	0,42
Вихід твердих біодобрив (70 % вологості), т на добу	137,01
Вихід рідких біодобрив (95 % вологості), тон на добу	96,88
Загальна вартість проекту будівництва біогазової установки, тис. грн.	90852,46
У тому числі:	
збір вихідних даних	131,15
обладнання	51475,41
будівництво	14754,10
проектна документація	1868,85
монтаж обладнання	1639,34
дозволи та погодження	2295,08
отримання технічних умов проекту	1311,48
пуско-накладна, навчання	1311,48
Когенераційна установка (Jenbacher) Австрія 1063кВт	16065,57

Під час еколого-економічних розрахунків можна побачити, що більш економічно ефективними є установки потужнішого типу, оскільки вони забезпечують відносно нижчі питомі витрати основних ресурсів, тому можна сказати, що біогазові установки залежить від виробничої потужності свиногокомплексу.

У таблиці 3 наведено розрахунок виходу посліду, що здійснений на основі нормативних даних про вихід посліду природної вологості (9 %) за добу від свиней.

Проведені розрахунки свідчать про те, що придбання біогазової установки може бути економічно доцільним тільки тим підприємствам, які можуть забезпечити нормативне використання їх проектної потужності.

Таблиця 3. Розрахунок виходу відходів свинокомплексу та можливих обсягів одержання від його переробки біогазу й біодобрив

Показники	Аграрна компанія
Середньорічне поголів'я свиней, голів	5000
Вихід гною за рік від усього поголів'я, тон	11180
Вихід біогазу з 1 т гною, м ³	166
Можливий вихід біогазу за рік, тис м ³	2423,6
Вихід біодобрив з 1 т добриву, тонн	0,39
Можливий вихід біодобрив за рік, тонн	5694

Також розрахунковим методом розрахували нормативні витрати на виробництво біогазу та біодобрив (таблиця 4). Затрати основних видів ресурсів визначено з урахуванням нормативних даних, наведених на офіційному сайті «ZorgBioGas» [8].

Таблиця 4. Розрахунок нормативних витрат на виробництво біогазу та біодобрив із відходів свинокомплексу

№	Показники	Значення
1	2	3
1	Загальна вартість проекту, тис. грн.	90852,5
2	Вихід біогазу за рік, тис. м ³	9591
3	Споживана електропотужність за рік, тис кВт-год	4320
4	Ціна електроенергії, грн/кВт	1,68
5	Витрати на електроенергію, тис. грн.	7257,60
6	Споживана теплова енергія за рік, тис кВт-год	1530
7	Необхідно природного газу для отримання річної потреби теплової енергії, тис. м ³	170
8	Ціна природного газу, грн/1000 м ³	6,22
9	Витрати на природний газ, тис. грн.	1057
10	Річний обсяг гною, направлений на переробку, тис. т	11180
11	Нормативна собівартість 1 т гною, грн.	25,0
12	Загальна вартість гною, тис. грн.	279,5
13	Чисельність працівників – усього, осіб	6
14	Витрати на оплату праці, тис. грн.	829,6

Продовження таблиці 4

1	2	3
15	Відрахування на соц. заходи (22,2 %), тис. грн.	184,2
16	Амортизація, тис. грн.	6056,8
17	Інші витрати, тис. грн.	302,8
18	Всього виробничих витрат на біогаз, тис. грн	7652,9
19	Нормативна виробнича собівартість 1000 м ³ біогазу, грн.	797,9
20	Витрати на збут 1000 м ³ біогазу (10 %), грн.	79,8
21	Нормативна повна собівартість 1000 м ³ біогазу, грн.	877,72
22	Вихід твердих біодобров за рік, т	137,01
23	Вихід рідких біодобров за рік, т	96,88
24	Нормативні витрати на транспортування, складування, зберігання та збут 1 т біодобров, грн.	170
25	Всього нормативних витрат на біодобрива, тис. грн.	23,3
26	Всього виробничих витрат на експлуатацію біогазової установки, тис. грн.	8441,5

Розрахунок амортизації здійснено, виходячи з прямолінійного методу її нарахування та нормативного терміну експлуатації установки, визначеного компанією-виробником, який становить 15 років.

Виходячи з того, що під час спалювання в когенераційній установці 1 м³ біогазу маємо 3 кВт електроенергії. Отже, при переробці 2423,6 тис. м³ біогазу можна отримати 7270,8 тис. кВт електроенергії, яка належить до альтернативних джерел енергії і є екологічно чистою. Її можна реалізувати за зеленим тарифом, величина якого, згідно із Законом України «Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії» станом на 2021 рік становить 3,96 грн/кВт-год [5].

Розрахунок чистої приведеної вартості за екологічним проектом наведено у таблиці 5.

Результати розрахунків показали, що проект є ефективним оскільки коефіцієнт індекс прибутковості складає 1,432, що є більше чим одиниця; термін окупності складає 10,5 років, що є менше чим тривалість цього проекту, одже він є доцільно прийнятним.

Як зазначено вище, біогаз – це суміш, яка складається з метану, діоксиду вуглецю, сірководню, а також значної кількості інших газів.

Переробка добрив свинокомплексу на біогаз є найперспективнішим вкладенням в своє підприємство, бо біогаз є важливим продуктом як альтернативна енергетика [9].

Таблиця 5. Розрахунок чистої приведеної вартості за екологічним проектом

Роки	Інвестиційний прибуток, тис. грн.	Інвестиції, тис. грн.	Чистий грошовий потік, тис. грн.	Коефіцієнт дисконтування за $D_c = 10\%$	Чистий дисконтований грошовий потік, тис. грн.	Коефіцієнт дисконтування за $D_c = 8\%$	Чистий дисконтований грошовий потік, тис. грн.	Коефіцієнт дисконтування за $D_c = 6\%$	Чистий дисконтований грошовий потік, тис. грн.
1	2.6408	90852,5	264445	1,000	--64445	1,000	264445	1,000	-64445
2	26408		26408	1,100	24007	1,080	24452	11,06	24913
3	26408		26408	1,210	21825	1,166	22640	1,124	23503
4	26408		26408	1,331	19841	1,260	20963	1,191	22172
5	26408		26408	1,464	18037	1,360	19410	1,262	20917
6	26408		26408	1,611	16397	1,469	17973	1,338	19733
7	26408		26408	1,772	14906	1,587	16641	1,419	18616
8	26408		26408	1,949	13551	1,714	15409	1,504	17563
9	26408		26408	2,144	12319	1,851	14267	1,594	16569
10	26408		26408	2,358	11199	1,999	13210	1,689	15631
11	26408		26408	2,594	10181	2,159	12232	1,791	14746
12	26408		26408	2,853	9256	2,332	11326	1,898	13911
13	26408		26408	3,138	8414	2,518	10487	2,012	13124
14	26408		26408	3,452	7649	2,720	9710	2,133	12381
15	26408		26408	3,797	6954	2,937	8991	2,261	11680
Σ	396116	90852,5	305263	x	130093	xx	153267	xx	181015

Біогазова установка приносить користь не тільки для підприємства, а також для держави:

1. Тепло. При охолодженні генератора в якому спляють біогаз утворюється тепло у вигляді гарячої води, це можна використовувати для обігріву приміщень, як для населеного пункту, теплиць, так і для самого свинокомплексу для опалювання приміщень тварин.

2. Електроенергія. Дасть змогу не витратити електроенергію та продавати її державі за зеленим тарифом.

3. Після видалення з органічних відходів біогаз і бактерії з'являється корисні рідкі органічні добрива, які можна в подальшому використовувати для власних потреб.

4. Одним та самим головним пунктом є вирішення екологічної проблеми підприємства це утилізація гнійної ями на підприємстві.

Як показує дослідження, то переробка органічних відходів на біогаз вирішить проблеми не тільки сільських і підвищить реальні доходи населенню.

Обґрунтування прогнозного екологічного ефекту від реалізації проекту переробки відходів на біогаз на 15 років виконано на основі попередніх результатів дослідження, які показали, що валовий річний викид забруднюючих речовин в атмосферу від майданчика компостування свиногокомплексу, становить: 10,165 тонн метану, 0,5530 тон аміаку, 0,6378 тонн сірководню (табл. 6).

Таблиця 6. Еколого-економічна оцінка загальних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від майданчика компостування свиногокомплексу

Назва забруднюючої речовини	Ставки податку, грн/т	Ринкова оцінка з урахуванням потенціалу глобального потепління, грн/т	Кількість викиду, т/рік	Усього податкових екологічних платежів, грн/рік	Усього екологічних збитків з урахуванням потенціалу глобального потепління, грн/рік
Аміак	459,85	-	0,5530	254	-
Сірководень	7879,65	-	0,6378	5026	-
Метан	92,37	14175	10,1650	939	144089
Усього				6219	144089

Розмір екологічних збитків із урахуванням потенціалу глобального потепління визначено, спираючись на такі дані: ставку за викиди парникових газів (переведених у CO₂ екв.) прийнято в розмірі 25 доларів США/тон (675 грн./тонн) [7]; 1 тонна метану (CH₄) рівна 21 тонн CO₂ – еквівалента; відповідно сума еколого-економічного збитку від емісії метану як парникового газу становить 144089 грн.

Гній агропромислової компанії кожен день привозиться на біогазову установку і завантажується в приймальний резервуар. Сировина в приймальному резервуарі гомогенізується. Приймальний резервуар оснащений зануреними

мішалками. З приймального резервуару змішана сировина подається в ферментатор за допомогою насосу [3].

У ферментаторі субстрат підігрівається до температури 38-40 °С. Теплоносієм для підігріву виступає контур відведення тепла від генераторів. Ферментатори працюють в мезофільному режимі. Підігрітий субстрат постійно перемішується вертикальною мішалкою. Середній час збродження в ферментаторі становить 16 днів. В газгольдері усереднюється тиск газової системи. Тиск біогазу не перевищує 0,5 кПа. Далі біогаз надходить на систему охолодження, що являє собою теплообмінник з холодоагентом, температура якого регулюється роботою чіллера. Потім біогаз по трубопроводу потрапляє в компресор, де його тиск піднімається до 80-100 mbar для подачі в генератори. Газопровід обладнаний системою відбору конденсату.

Преброджена маса з реактора подається на сепаратор за допомогою насосу. Сепаратор розділяє преброджену масу на тверду та рідку фракцію. Тверда фракція (добрива) вивантажуються на майданчик, рідка фракція (фільтрат) потрапляє в резервуар фільтрату, звідки перекачується в технологію та існуючу лагуну або на поля фільтрації.

Всі комунікації прокладені на естакадах та поверхні землі. Реактори та доброджувачі розміщені на фундаменті та не заглиблюються в землю. Технічні приміщення та приміщення для обладнання зблоковані з ферментаторами. Все обладнання та комунікації мають вільний та легкий доступ для обслуговування та ремонту [3].

Схема роботи БГУ з утилізатором тепла – тепловим насосом зображена на рис. 3.

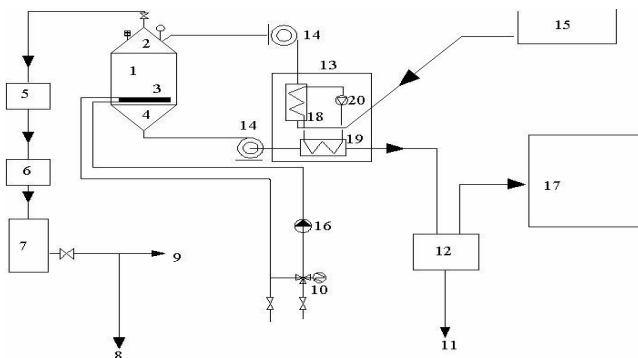


Рис. 3. Технологічна схема вироблення біогазу з тепловим насосом [3]

На рисунку 2 зображено: 1 – реактор установки з конусами доверху і донизу; 2 – верхній конус установки для збору біогазу; 3 – нагрівальний елемент трубчастого типу; 4 – нижній конус для збору шлам; 5 – пристрій для видалення

сірки; 6 – пристрій для видалення вуглекислого газу; 7 – газгольдер; 8 – трубопровід, що транспортує газ на потреби господарства; 9 – трубопровід, що транспортує газ на потреби БГУ; 10 – сервопривод із триходовим клапаном; 11 – трубопровід, що транспортує рідку фазу шламу на полив; 12 – розділювач фаз відпрацьованого субстрату; 13 – тепловий насос для рекуперації тепла відпрацьованого шламу; 14 – фекальний насос для подачі і видалення субстрату; 15 – резервуар-збірник органічних відходів; 16 – циркуляційний насос системи теплопостачання БГУ; 17 – поле висушування сухої частини шламу; 18 – конденсатор теплового насоса; 19 – випарник теплового насоса; 20 – компресор із терморегуляційним вентилям теплового насоса.

Питання використання альтернативних джерел для виготовлення енергії – одне з найактуальніших у всьому світі. Біогазові установки стають важливою складовою енергетичного та промислового комплексів. Їх переваги беззаперечні: це не лише отримання палива, яке можна використовувати для виробництва електроенергії, інших промислово-побутових потреб виробничих комплексів, а й вирішення питання утилізації відходів – замість витрат на їх вивезення та захоронення підприємство отримує додатковий прибуток.

Економічно обгрунтований біоенергетичний потенціал України значною мірою залишається невикористаним. Для реалізації потенціалу біоенергетики потрібно розвивати не лише експортні потужності, але і внутрішній ринок споживання біопалив. Розвиток внутрішнього споживання біопалив, як свідчить європейський досвід, практично неможливий без державної підтримки та створення економічних стимулів для використання відновлювальних ресурсів [10].

Технічно досяжний енергетичний потенціал ВДЕ України оцінюють у близько 70 млн. т н. е. на рік, що практично дорівнює річному кінцевому споживанню енергії. Використання окремих видів альтернативних джерел енергії залежать від наявності відповідних ресурсів, технологічних можливостей їх використання, а у кінцевому випадку від собівартості енергії, що буде отримана.

Перспективним напрямом розвитку у сфері енергоощадних технологій сільських територій є використання біогазових установок. Це зумовлюється рядом причин, серед яких:

- різке зростання тарифів на електричну та теплову енергію;
- зменшення надійності (часті відключення електропостачання) і якості енергії, зокрема в сільській місцевості;
- наявність місцевих біоенергоресурсів: відходів тваринництва, рослинництва, побутових відходів, що можуть використовуватися для створення енергії;
- щорічна відновлюваність місцевих біоенергоресурсів;
- зменшення антропогенного навантаження на землі та скорочення

викидів парникових газів в атмосферу через недопускання спалювання побічної продукції і можливість використання залишків бродіння як добриво;

– зростання автономності систем енергозабезпеченості, тощо [3].

Біогаз є кліматично нейтральним, оскільки біомаса, яка використовується, протягом усього вегетаційного періоду забирає з атмосфери вуглекислий газ, який потім знову вивільняється під час при спалюванні біогазу або біометану. В ідеальному випадку можна досягти його кліматично нейтрального або навіть позитивного використання. Крім того, біогаз і біометан, що застосовуються у виробництві електроенергії, замінюють собою викопні енергоносії, такі як вугілля, природний газ і нафта, використання яких спричиняє велику кількість парникових викидів.

Окрім значного впливу викидів з попереднього циклу (виробництва біогазу) і відповідних параметрів (типу процесу енергопостачання, використання відходів, викидів метану тощо), на кількість викидів суттєво впливає ефективність використання тепла в різних концепціях установок. Результатом підвищення теплової ефективності є істотне зниження викидів парникових газів. В основному у виробництві електроенергії у всіх концепціях установок із застосуванням усіх категорій субстратів спостерігається значне скорочення парникових викидів у порівнянні з викопними енергоносіями (суміш енергій; електроенергія, вироблена з вугілля).

Залишки від процесу бродіння з біогазових установок використовуються в якості добрив у сільському господарстві. Залишки від бродіння є повноцінним добривом, яке за своєю дією схоже на мінеральні добрива. В хімічному плані вони є набагато менш агресивними, ніж сирий гній, вміст азоту в них є вищим, а запах менш інтенсивним. Залишки від бродіння містять значну кількість легкодоступного для рослин азоту, крім того – фосфор, калій, сірку та мікроелементи. Поживний склад залишків бродіння можуть сильно коливатися, в залежності від субстратів, які використовуються

Таким чином, необтяжені залишки бродіння можна вважати високоякісним органічним добривом, яке має відповідний економічний еквівалент. Економічна вигода від використання залишків бродіння відповідає в Німеччині, в залежності від норми їх внесення в ґрунт, економічному показнику від 250,- до 350,- €/га, оскільки ними можна замінити витратомісткі мінеральні добрива, ціна яких є залежною від цін на нафту і газ і значно підвищилася в процесі зростання ціни на нафту. Крім того, виробники біогазу можуть продавати залишки бродіння як високоякісне органічне добриво.

Враховуючи зростання цін на енергоносії, загострення екологічних проблем, розвиток технологій у сфері альтернативних джерел енергії

економічна доцільність впровадження альтернативної енергетики не підлягає сумнівам. Біомаса являє собою величезне джерело доступної відновлюваної енергії, що робить використання її в Україні дуже перспективним. Біоенергетика, створює також економічні та екологічні передумови для стимулювання розвитку сільських територій [3].

Використані інформаційні джерела:

1. Екологія підприємства. ECOBUSINESS: URL: <https://ecolog-ua.com/news/yakuu-potencial-vprovadzhennya-pererobky-vidhodiv-silskogo-gospodarstva/> (дата звернення 10.06.2022).

2. Біогаз: майбутнє світової енергетики. «Український екологічний альянс»: URL: <http://ukrecoaliance.com.ua/biohaz-maybutnie-svitovoi-enerhetyku/> (дата звернення 07.06.2022).

3. Чернявський С. С., Халак В.І., Ференц Л.В. Біогазові системи та їх використання у сільгоспвиробництві // Агробізнес сьогодні. 2016. №20. С. 60–62.

4. Шість екологічних ефектів реалізації біогазових проєктів. Зелена модернізація. URL: <https://ecolog-ua.com/news/6-ekologichnyh-efektiv-realizaciyi-biogazovyh-proyektiv/> (дата звернення 10.06.2022).

5. Зелені тарифи України: URL: <https://dlf.ua/ua/znizhenozeleni-tarifi-v-ukrayini/> (дата звернення 13. 06. 2022)

6. Бурлакова І. М., Кубатко О. В., Зябіна Є. І. Еколого-економічний потенціал використання біогазових технологій у сільському господарстві // Вісник СДУ. Сер.: Економіка. 2013. №4. С. 19–25.

7. Кучер А. В. Стратегічні напрями розвитку низьковуглецевого землекористування як запоруки стійкості до змін клімату: моногр. Харків : ФОРМ Бровін О. В., 2019. 202 с.

8. ZorgBiogas: URL: <https://zorg-biogas.com/ru/otraslevye-resheniya/> (дата звернення 11.06.2022)

9. Shkromada O., Fotina T., Petrov R., Nagorna L., Bordun O., Barun M., Babenko O., Karpulenko M., Tsarenko T., Solomon V. Development of a Method of Protection of Concrete Floors of Animal Buildings from Corrosion at the Expense of Using Dry Disinfectants. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. №4. Pp. 112.

10. Сфера біогазу в Україні: великі перспективи та реальність. Енергетичний Перехід в Україні: URL: <https://energytransition.in.ua/sfera-biohazu-v-ukraini-velyki-perspektivu-ta-real-nist/> (дата звернення 07.06.2022).

11. Аграрные компании по мощности биогазовых установок. Энергия «зеленых»: URL: <https://latifundist.com/rating/energiya-zelenyh-top-5-agrarnyh-kompanij-po-moshchnosti-biogazovyh-ustanovok/> (дата звернення 10.06.2022).

**ОЦІНКА РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІД
ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. ЗАПОРІЖЖЯ
ВИКИДАМИ ЗВАЖЕНИХ ЧАСТОК ПИЛУ ВІД СТАЦІОНАРНИХ
ДЖЕРЕЛ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

**COMMUNITY HEALTH RISK ASSESSMENT FROM ATMOSPHERIC
AIR POLLUTION WITH EMISSIONS OF SUSPENDED DUST
PARTICLES FROM STATIONARY SOURCES OF INDUSTRIAL
ENTERPRISES THE CITY OF ZAPORIZHZHIA**

Белоконь К. В., кандидат технічних наук, доцент, заступник директора з наукової роботи, **Гордієнко Д. Р.**, аспірант

Запорізький національний університет, Україна

Belokon K.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Research, **Hordiienko D. R.**, graduate student

Zaporizhzhia National University, Ukraine

Анотація. У роботі розглядається оцінка ризику для здоров'я населення від впливу викидів промислових підприємств м. Запоріжжя. У складі викидів стаціонарних джерел промислових підприємств присутні різноманітні хімічні сполуки, з яких найбільш розповсюдженими є зважені частки пилу. Потрапляння їх до організму людини приводить до погіршення здоров'я, ураження органів та систем, виникнення хронічних захворювань. Розраховано неканцерогенний ризик для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря зваженими частками пилу при довічному та гострому інгаляційному впливі, додаткові випадки смерті при хронічній інгаляційній дії зважених часток. Середні значення коефіцієнтів небезпеки в 2016-2020 роках перевищують допустимий рівень та знаходяться на високому рівні при довічному впливі та на середньому рівні при гострому впливі.

Abstract. The paper considers the assessment of the risk to public health from the impact of emissions from industrial enterprises in the city of Zaporizhzhia. Emissions from stationary sources of industrial enterprises contain a variety of chemical compounds, of which the most common are suspended dust particles. Their entry into the human body leads to poor health, damage to organs and systems, and the emergence of chronic diseases. The non-carcinogenic risk to public health from air pollution with suspended dust particles during lifelong and acute inhalation exposures, additional deaths due to chronic inhalation exposure

to suspended particles were calculated. The average values of the hazard coefficients in 2016-2020 exceed the permissible level and are at a high level for lifetime exposure and at an average level for acute exposure.

Бурхливий розвиток промисловості призводить до появи перед людством гострої проблеми збереження екологічних систем. Останніми роками екологічні системи потерпають від впливу антропогенних факторів. Тому прогноз зміни екологічних систем в наслідок вказаних причин є актуальним завданням, вирішення якого складається з двох етапів: а) дослідження процесу забруднення навколишнього середовища викидами промислових підприємств; б) оцінка впливу шкідливих забруднень на атмосферу.

В атмосферному повітрі сучасних міст присутні сотні різних хімічних класів органічної та неорганічної природи, які поступають з чисельних джерел, як правило, антропогенного походження. Основними джерелами надходження шкідливих речовин в атмосферне повітря міст є металургійні підприємства та автотранспорт, а найбільш розповсюдженими забруднюючими речовинами – пил (зважені речовини різної природи), сполуки сірки, оксиди азоту, оксид вуглецю та вуглеводні (кілька сотень хімічних речовин). Саме вони вносять найбільший вклад у формування екологічно залежних захворювань та станів. Саме тому, об'єктивна оцінка рівня забруднення атмосферного повітря є актуальною проблемою, а гігієнічна діагностика стану навколишнього природного середовища, коректна оцінка реальних рівнів впливу на організм людини продовжує залишатись однією з найважливіших задач екології.

Таким чином, метою роботи було встановити рівні ризику для здоров'я населення Заводського та Вознесенівського районів від забруднення атмосферного повітря зваженими частками пилу.

У відповідності до поставленої мети, дослідження було спрямовано на вирішення наступних завдань: розрахувати та оцінити неканцерогенні ризики за коефіцієнтами небезпеки (HQ) та додаткові ризики смерті (IRM) для здоров'я експонованого населення, що зазнає впливу від забруднення атмосферного повітря викидами зважених часток пилу.

Об'єкт дослідження – вплив викидів зважених часток пилу на формування інгаляційного ризику для здоров'я населення, що проживає у зоні дії викидів стаціонарних джерел.

Предмет дослідження – ризики для здоров'я населення, обумовлені інгаляційним впливом забрудненого атмосферного повітря (неканцерогенні ризики, індивідуальні ризики смерті).

Вперше в м. Запоріжжя оцінено ймовірність виникнення небезпеки для здоров'я населення, обумовленої забрудненням атмосферного повітря

викидами зважених часток пилю; обґрунтовано необхідність вивчення вмісту зважених часток РМ₁₀, які входять до складу пилю недиференційованого за складом у викидах промислових підприємств, як провідного фактору ризику для здоров'я населення.

При виконанні роботи було використано загальну процедуру методології оцінки ризику для здоров'я населення (Human Health Risk Assessment), розроблену та рекомендовану Агентством США з охорони довкілля. Статистична обробка результатів проводилась з використанням комп'ютеризованої програми Microsoft Excel.

Повна, або базова, схема оцінки ризику передбачає проведення чотирьох взаємопов'язаних етапів, а саме: ідентифікацію небезпеки, оцінку експозиції, характеристику небезпеки (оцінку залежності «доза-відповідь»), характеристику ризику, методика виконання яких описана в [1, 2].

Характеристика ризику розвитку неканцерогенних ефектів для окремих речовин проводиться на основі розрахунку коефіцієнта небезпеки (*HQ*) за формулою:

$$HQ = \frac{AC}{RfC},$$

де *HQ* – коефіцієнт небезпеки;

AD – середня доза, мг/кг;

AC – середня концентрація, мг/м³;

RfD – референтна (безпечна) доза, мг/кг;

RfC – референтна (безпечна) концентрація, мг/м³.

Під зваженими частками розуміється сума всіх індивідуальних твердих зважених речовин і аерозолів, що викидаються підприємством в атмосферне повітря після очищення відхідних газів та позначаються у світовій літературі як TSP. Зважені речовини (TSP) при оцінці ризику представлені безпосередньо як більш специфічні частинки діаметром 10 мікрон і менше (РМ₁₀), а не як загальний обсяг TSP з урахуванням допущення, прийнятого в США, що РМ₁₀ = 0,55 · TSP.

Забруднення повітря РМ₁₀ характеризується середньорічною концентрацією суми цих частинок (вираженої в мг/м³ або в мкг/м³), вимірної в атмосферному повітрі в зоні дихання дорослої людини.

Індивідуальний коефіцієнт ризику (*SF*), що відображає число додаткових випадків смерті від вдихання суми зважених речовин РМ₁₀ протягом усього життя із зростанням концентрації на кожні 10 мкг/м³, розраховується за формулою [1]:

$$SF = IRM \cdot 71,2 \cdot 365,$$

де IRM – передбачуваний рівень добової смертності в місті Запоріжжі, пов'язаної з впливом концентрації $10 \text{ мкг/м}^3 \text{ PM}_{10}$ щодня на все населення міста;

71,2 років – очікувана тривалість життя в місті Запоріжжі у обох статей у середньому (середня тривалість життя чоловіків становить 65,9 років, а жінок – 76,43);

365 – число днів у році.

$$IRM = \frac{10585 \cdot 0,005}{365 \cdot N},$$

де 10585 – число випадків смертей у місті Запоріжжі, виходячи з показника 14,2 осіб на 1000 чоловік населення;

0,005 – зростання добової смертності на кожні $10 \text{ мкг/м}^3 \text{ PM}_{10}$;

365 – число днів у році;

N – чисельність населення у м. Запоріжжя.

Число додаткових випадків смерті в кожній рецепторній точці від концентрації PM_{10} , зумовленої викидами досліджуваного підприємства, розраховується за формулою [1]:

$$AM = C \cdot SF \cdot N,$$

де C – концентрація PM_{10} в мкг/м^3 ;

N – кількість населення, що проживає в рецепторній точці.

Основними причинами забруднення повітряного басейну є потужний промисловий комплекс та застарілі технології на підприємствах. Стан навколишнього середовища також визначається рівнем урбанізації. В Україні одним із великих промислових центрів є Запоріжжя. Його промисловий профіль сформовано підприємствами чорної та кольорової металургії. За обсягами викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря Запорізька область займає четверте місце. Її вклад у загальнодержавне забруднення від різних джерел складає 4,4-6,7%.

Як об'єкт дослідження було вибрано Заводський та Вознесенівський райони. Заводський район – індустріальний центр міста Запоріжжя і зона екологічного лиха. Район, зосередивши в собі значні промислові потенціали, опинився перед багатьма екологічними проблемами. Населення змушене жити в умовах подальшої деградації навколишнього середовища та погіршення здоров'я. Показником цього є в 1,5 разів більш висока, в порівнянні з ситуацією в цілому по місту, смертність мешканців району,

найбільш близько розміщеного до основного промислового майданчика міста.

Основними забруднювачами атмосферного повітря Заводського району є: зважені речовини, двоокис азоту, фенол, фтористий водень, сірководень, сірковуглець, сірчаний ангідрид, мідь та її сполуки, марганець та його сполуки, алюмінію оксид, хлор та його сполуки, сірчана кислота, хром та бенз(а)пірен.

У Заводському районі, порівняно з іншими районами міста, вищий рівень захворюваності. На першому місці стоять гострі захворювання органів дихання різної етіології, з кожним роком за словами медиків збільшується кількість хронічних захворювань, хвороби крові і систем кровообігу, серцево-судинної системи, рухового апарату, імунної системи. Тому виникає потреба в проведенні досліджень у визначенні зон найбільшого техногенного навантаження підприємств підвищеної небезпеки на стан здоров'я населення.

Характеристика сценарію і маршруту впливу забруднюючих речовин, обраних для умов Заводського та Вознесенівського районів, представлена в таблиці 1. Пріоритетний шлях надходження забруднюючих речовин в організм людини є інгаляційний шлях, аналізованим середовищем визначено – атмосферне повітря.

Таблиця 1. Сценарій і маршрут впливу забруднюючих речовин

Елементи аналізу експозиції	Характеристика експозиції	
Агенти	хімічні забруднюючі речовини	
Джерела	викиди підприємств Заводського району в атмосферне повітря від стаціонарних організованих джерел	
Шлях впливу	інгаляційний (дихання повітрям)	
Тривалість експозиції	неканцерогенні ефекти – 30 років	
Географічне охоплення	Заводський та Вознесенівський райони м. Запоріжжя	
Період оцінки	2016-2020 роки	
Тип впливу за часом контакту	гострий	хронічний (70 років)

Як джерела забруднення обрано такі об'єкти: ПАТ «Запоріжсталь», ПАТ «Дніпроспецсталь», ПАТ «Запорізький завод феросплавів», ПАТ «Український графіт», ПАТ «Запоріжвогнетрив», ПрАТ «Запоріжжкокс», ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат».

На даному етапі було проведено аналіз наявності даних відносно референтних рівнів при гострих та хронічних впливах пилу та вказані ті

критичні органи/системи та ефекти, які відповідають встановленим референтним дозам/концентраціям (табл. 2).

Таблиця 2. **Параметри токсичності зважених речовин від стаціонарних джерел**

Назва речовини	ГДК _{м.р.} , мг/м ³	ГДК _{с.д.} , мг/м ³	КН	RfC, мг/м ³ , вплив на органи і системи*	ARfC, мг/м ³ , вплив на органи і системи*
Зважені речовини	0,5	0,15	3	0,075, ОД, ССС, ВДР, смерть	0,3, ОД
Зважені речовини, розміром не менш 10 мкм	-	-	-	0,05, ОД, ССС, ВДР, смерть	0,15, ОД

Що стосується направленості дії та впливу пилу на здоров'я населення (органи та системи), то можна зазначити, що пил викликає широкий спектр порушень стану здоров'я людини, які можна розглядати як різні форми прояву токсичних ефектів, які реєструються на молекулярному, клітинному, тканинному, популяційному рівнях. Постійний тиск забрудненого повітря на здоров'я населення впливає на показники захворюваності та смертності. В першу чергу – це збільшення хронічних захворювань органів дихання, серцево-судинних захворювань [3].

Зважені речовини з розмірами менше 10 мкм наносять значні незворотні збитки у вигляді скорочення тривалості життя за рахунок додаткових випадків смерті. Вплив РМ₁₀ за 24 години призводить до підвищення добової смертності від 0,5 до 1,6% на кожні 10мкг/м³, а при збільшенні середньодобової концентрації РМ₁₀ на 10 мкг/м³, частота патологічних симптомів з боку органів дихання підвищується на 2,4% [4].

При визначенні експозиції з метою оцінки ризику для здоров'я населення, обумовленого техногенним забрудненням атмосферного повітря, найактуальнішим питанням було визначення експонованої популяції. Необхідно було встановити чисельність населення, на яке впливають шкідливі чинники такого забруднення. При цьому потрібно враховувати, як щільність населення в рецептурних точках, так і географію розташування джерел забруднення, аби популяція в рецептурній точці підпадала під порівняно однакову (в якісному і кількісному відношенні) дію шкідливих чинників забруднення атмосферного повітря в зонах проживання населення.

По план-схемах основних промислових майданчиків 7 підприємств м. Запоріжжя (рис. 1) було уточнено положення стаціонарних джерел

викидів забруднюючих речовин. План-схеми було отримано з матеріалів проведених інвентаризацій в останні роки.



Рис.1. Геокодування джерел викидів

Статистика населення у місті Запоріжжі та в Заводському і Вознесенівському районах представлена в таблиці 3.

Таблиця 3. Статистика населення у місті Запоріжжі та у Заводському та Вознесенівському районах

Роки	Чисельність м. Запоріжжя, тис. осіб	Чисельність Заводського району, тис. осіб	Чисельність Вознесенівського району, тис. осіб
2016	757,302	50,600	102,400
2017	748,058	51,076	102,400
2018	745,432	55,500	101,500
2019	735,325	56,209	100,083
2020	731,922	56,209	100,083

Вплив викидів зважених речовин на здоров'я населення: смертність від серцево-судинних захворювань, від захворювань органів дихання. Число дітей і підлітків, що страждають бронхітом (вік менше 18 років). Частота симптомів з боку верхніх відділів дихальних шляхів, з боку нижніх відділів дихальних шляхів. Частота кашлю та загострення бронхіальної астми.

На основі розрахованих рівнів експозиції були встановлені характеристики ризику для Заводського та Вознесенівського районів від забруднення атмосферного повітря зваженими речовинами, обумовлені

викидами підприємств, які включали [5-14]: неканцерогенні ризики (коефіцієнти небезпеки для зважених часток пилу (HQ); число додаткових випадків смерті (AM) при хронічній інгаляційній дії зважених частинок діаметром < 10 мкм (PM₁₀).

Результати розрахунків коефіцієнтів небезпеки при оцінці інгаляційних впливів викидів забруднюючих речовин від промислових підприємств при хронічному та гострому впливах на досліджуваних вулицях Заводського та Вознесенівського районів свідчать про наявність перевищень безпечних рівнів (HQ > 1) та представлені в таблиці 4.

Таблиця 4. Значення коефіцієнтів небезпеки при оцінці хронічних та гострих інгаляційних впливів викидів пилу від промислових підприємств Заводського та Вознесенівського районів за 2016-2020 рр.

Рік		Заводський район, хронічний вплив	Заводський район, гострий вплив	Вознесенівський район, хронічний вплив	Вознесенівський район, гострий вплив
TSP	2016	6,80	1,700	6,00	1,50
	2017	6,93	1,733	8,53	2,13
	2018	7,60	1,900	7,20	1,80
	2019	7,30	1,899	7,27	1,82
	2020	5,18	1,294	6,99	1,75

Коефіцієнти небезпеки зважених речовин Заводського та Вознесенівського районів при хронічному та гострому впливах представлено на рис. 2 та 3.

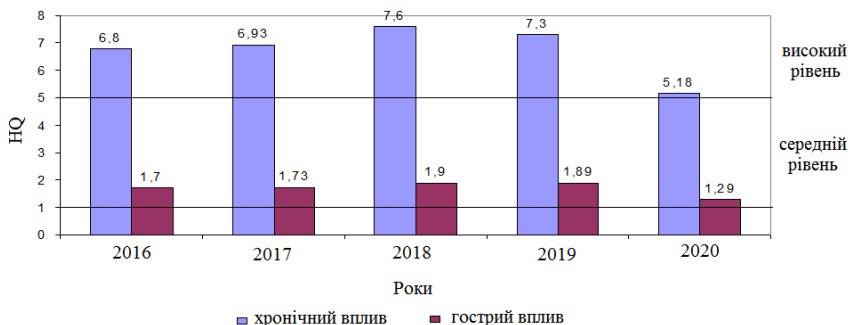


Рис. 2. Річні середні значення коефіцієнтів небезпеки при оцінці хронічних та гострих інгалаційних впливів викидів зважених речовин від промислових підприємств в Заводському районі за період 2016-2020 рр.

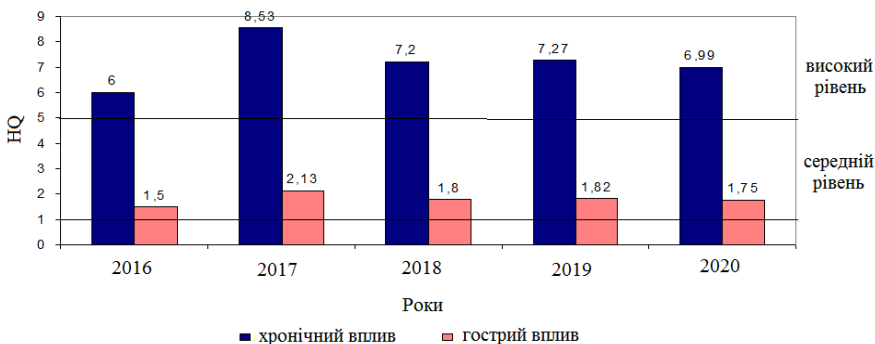


Рис. 3. Річні середні значення коефіцієнтів небезпеки при оцінці хронічних та гострих інгалаційних впливів викидів зважених речовин у Вознесенівському районі за період 2016-2020 рр.

Середні значення коефіцієнтів небезпеки в 2016-2020 рр. перевищують допустимий рівень та знаходяться на високому рівні при довічному інгалаційному впливі у Заводському районі, $HQ = 5,18 \div 7,6$ та Вознесенівському районі, $HQ = 6 \div 8,53$, та на середньому рівні – при гострому впливі у Заводському районі, $HQ = 1,29 \div 1,9$ та Вознесенівському районі, $HQ = 1,5 \div 2,13$.

Результати розрахунків коефіцієнтів небезпеки в середньому по районах свідчать про наявність перевищень безпечних рівнів (рис. 4).

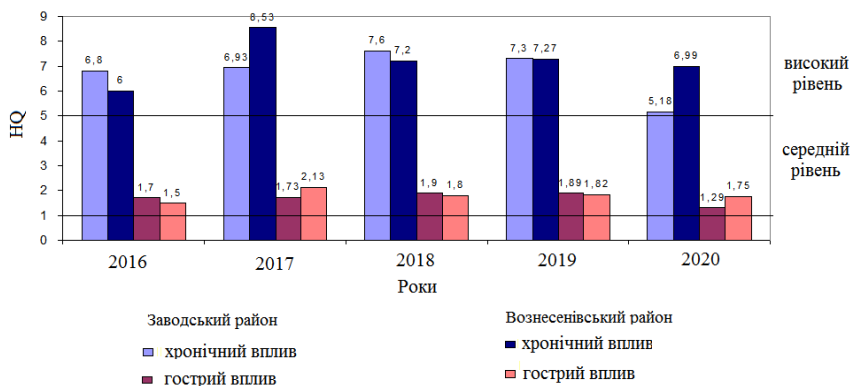


Рис. 4. Середні значення коефіцієнтів небезпеки при оцінці хронічних та гострих інгаляційних впливів викидів зважених речовин у досліджуваних районах за період 2016-2020 рр.

Розрахунки додаткових випадків смерті від дії зважених часток представлені в таблиці 5.

Таблиця 5. Число додаткових випадків смерті від дії зважених речовин (PM₁₀) у досліджуваних районах в 2016-2020 рр.

Район	Індивідуальний коефіцієнт ризику (SF)	Передбачуваний рівень добової смертності у місті Запоріжжі, (IRM)	Число додаткових випадків смерті в кожній рецепторній точці від концентрації PM ₁₀ (AM)				
			2016	2017	2018	2019	2020
Заводський район на все населення	0,005	$1,945 \cdot 10^{-7}$	71	69	86	87	59
Заводський район на 10 000 населення	0,005	$1,945 \cdot 10^{-7}$	14	14	16	16	11
Вознесенівський район на все населення	0,005	$1,945 \cdot 10^{-7}$	128	179	152	152	146
Вознесенівський район на 10 000 населення	0,005	$1,945 \cdot 10^{-7}$	13	18	15	15	14

Розрахунки додаткових випадків смерті від дії завислих часточок у Заводському районі представлено на рис. 5.

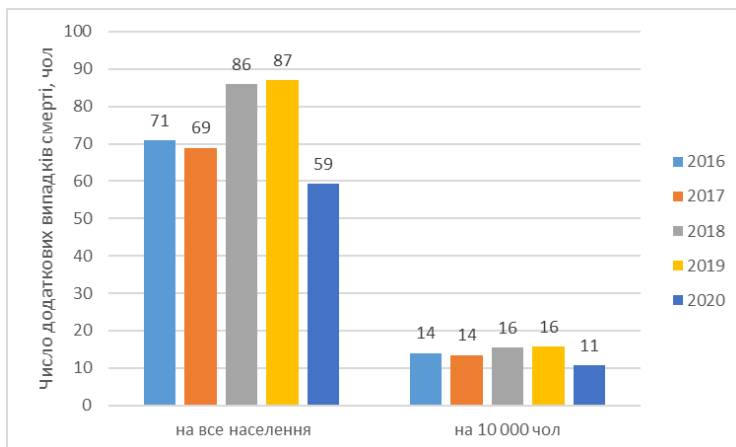


Рис. 5. Число додаткових випадків смерті від дії завислих речовин (PM₁₀) на досліджуваних вулицях Заводського району в 2016-2020 рр.

Вони складають 71 в 2016 році, 69 в 2017 році, 86 в 2018 році, 87 в 2019 році, 59 у 2020 році на все населення Заводського району, або у перерахунку на 10 000 населення: 14 в 2016 році, 14 в 2017 році, 16 в 2018 році, 16 в 2019 році, 11 в 2020 році, що свідчить про зменшення у 2020 році додаткових випадків смерті від дії завислих часточок PM₁₀.

Розрахунки додаткових випадків смерті від дії завислих часточок у Вознесенівському районі представлено на рис. 6. Вони складають 128 в 2016 році, 179 в 2017 році, 152 в 2018 та 2019 роках, 146 у 2020 році на все населення Вознесенівського району, або у перерахунку на 10 000 населення: 13 в 2016 році, 18 в 2017 році, 15 в 2018 та 2019 роках, 14 в 2020 році, що свідчить про зменшення у 2020 році додаткових випадків смерті від дії завислих часточок PM₁₀.

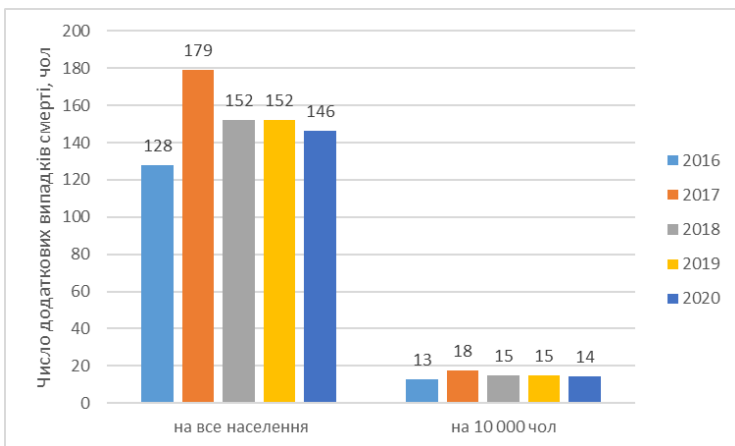


Рис. 6. Число додаткових випадків смерті від дії завислих речовин (PM₁₀) на досліджуваних вулицях Вознесенівського району у 2016-2020 рр.

Висновки:

1. Середні значення коефіцієнтів небезпеки в 2016-2020 рр. перевищують допустимий рівень та знаходяться на високому рівні при довічному інгаляційному впливі у Заводському районі на рівні $HQ = 5,18 \div 7,6$ та Вознесенівському районі на рівні $HQ = 6 \div 8,53$.

2. Середні значення коефіцієнтів небезпеки в 2016-2020 рр. перевищують допустимий рівень та знаходяться на середньому рівні при гострому впливі у Заводському районі на рівні $HQ = 1,29 \div 1,9$ та Вознесенівському районі на рівні $HQ = 1,5 \div 2,13$.

3 Розрахунки додаткових випадків смерті від дії завислих часточок у Заводському районі складають 71 в 2016 році, 69 в 2017 році, 86 в 2018 році, 87 в 2019 році, 59 у 2020 році на все населення Заводського району, або у перерахунку на 10 000 населення: 14 в 2016 році, 14 в 2017 році, 16 в 2018 році, 16 в 2019 році, 11 в 2020 році, що свідчить про зменшення у 2020 році додаткових випадків смерті від дії завислих часточок PM₁₀.

4 Розрахунки додаткових випадків смерті від дії завислих часточок у Вознесенівському районі складають 128 в 2016 році, 179 в 2017 році, 152 в 2018 та 2019 роках, 146 у 2020 році на все населення Вознесенівського району, або у перерахунку на 10 000 населення: 13 в 2016 році, 18 в 2017 році, 15 в 2018 та 2019 роках, 14 в 2020 році, що свідчить про зменшення у 2020 році додаткових випадків смерті від дії завислих часточок PM₁₀.

Використані інформаційні джерела:

1. Методичні рекомендації. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря: Наказ МОЗ № 184 від 13.04.2007 р. К., 2007. 28 с.
2. Сердюк А. М., Турос О. І., Картавцев О. М., Петросян А. А., Бережний Є. О., Дюканов В. Г. Методичні рекомендації з оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря викидами промислових джерел. Київ, 2005. 38 с.
3. Сердюк А. М., Тимченко О. І., Линчак О. В., Слагін В. В. Здоров'я населення України: вплив генетичних процесів. *Журнал АМН України*. 2007. Т. 13, №1. С. 78–92.
4. Тимченко О. І. Загрози для здоров'я населення від впливу антропогенних чинників та можливості їх попередження. Київ : Полімед, 2005. 265 с.
5. Белоконь К. В. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря міста Запоріжжя викидами автотранспорту. *Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки)*. 2015. Вип. 2(27). С. 200–205.
6. Белоконь К. В., Манідіна Є. А., Куранова Я. О. Дослідження впливу викидів металургійних підприємств на забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя. *Металургія*. 2018. Вип. 1 (39). С. 136–140.
7. Белоконь К. В., Троїцька О. О., Куранова Я. О. Забруднення атмосферного повітря міста Запоріжжя як чинник канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я його мешканців. *Еко Форум – 2018*: зб. тез доп. ІІ спеціалізованого міжнародного Запорізького екологічного форуму, 30 травня – 1 червня 2018 р. Запоріжжя : Запорізька торгово-промислова палата, 2018. С. 6–7.
8. Белоконь К. В. Дослідження впливу викидів промислових підприємств на забруднення атмосферного повітря в Заводському районі м. Запоріжжя. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2018. Вип. 2 (33). С. 91–96.
9. Belokon K., Belokon Y., Klymenko L. Analysis of ecological safety of emissions from production of carbon products. *Environmental problems*. 2019. Т. 4. №1. С. 52–56.
10. Белоконь К. В., Михайлуца О. М., Зануда Т. О., Тарабан Є. В. Прогнозування розсіювання в атмосферному повітрі викидів промислових підприємств, що містять оксид вуглецю і вуглеводні. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2019. №2 (35). С. 104–109.
11. Matukhno E., Belokon K., Shatokha V., Baranova T. Ecological aspects of sustainable development of metallurgical complex in Ukraine. *Procedia*

Environmental Science, Engineering and Management. 2019. Т. 6. №4. С. 671–680.

12. Белоконь К.В., Троїцька О. О., Тарабан С. В. Аналіз та оцінка ризику впливу забрудненого атмосферного повітря для здоров'я населення м. Запоріжжя. III спеціалізований міжнародний екологічний форум «Еко Форум – 2019». Запоріжжя : Запорізька торгово-промислова палата, 2019. С. 31–32.

13. Тулушев Є. О., Белоконь К. В., Грибіненко Г. Т., Терехов Р. Дослідження забруднення атмосферного повітря міста Запоріжжя у 2017 році як фактор ризику для здоров'я його мешканців. IV регіональний науковий симпозіум в рамках концепції «Єдине здоров'я». Київ : МЕТАВІОТА, 2019. С. 436.

14. Белоконь К.В. Аналіз екологічної безпеки викидів промислових підприємств, що містять оксид вуглецю та вуглеводні. XVII Міжнародна науково-технічна конференція «*Проблеми екологічної безпеки*». Кременчук : КрНУ, 2019. С. 96–100.

УДК 504.656

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ
ЛОГІСТИЧНОЇ СТРУКТУРИ РЕГІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ
ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ**

**METHODOLOGICAL BASICS FOR FORECASTING THE
DEVELOPMENT OF THE LOGISTICS STRUCTURE OF REGIONAL
WASTE MANAGEMENT SYSTEMS**

Бредун В. І., кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної екології та природокористування

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», Україна*

Bredun V., Associate Professor of Applied Ecology and Nature Management Department

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine

Анотація. Питання щодо збору, утилізації та захоронення відходів виробництва та споживання актуальні практично для всіх регіонів України. Збір, транспортування та видалення є взаємопов'язаними етапами процесу рекультивзації населених пунктів. У рамках розроблення Регіонального плану поводження з відходами в Полтавській області до 2030 року (далі – РПУВ або регіональний план) необхідно створити та забезпечити ефективне функціонування системи поводження з відходами в Полтавській області. Техніко-логістична складова системи поводження з відходами є суттєвою основою, яка визначає ефективність усієї системи поводження з відходами. Особливого значення набувають логістичні питання на довгострокові періоди планування при впровадженні багатоступінних транспортних концепцій. Але, по-перше, перспективний період, закладений в регіональному плані, становить лише 9 років. По-друге, регіональний план передбачає різноманітну реалізацію. По-третє, існує ряд факторів, які впливають на структуру та перспективи розвитку логістичної складової системи поводження з відходами. Ці обставини обґрунтовують необхідність розробки чіткої методики проведення комплексного аналізу технічної та матеріально-технічної складової регіональної системи поводження з відходами для кожного територіального утворення як невід'ємної частини регіональної системи управління відходами, а також можливих перспектив її розвитку.

Abstract. *Issues related to the collection, disposal and disposal of production and consumption waste are relevant for almost all regions of Ukraine. Collection, transportation and disposal are interrelated stages of the settlement reclamation process. As part of the development of the Regional Waste Management Plan in the Poltava Region until 2030 (hereinafter referred to as the Regional Waste Management Plan or Regional Plan), it is necessary to create and ensure the effective functioning of the waste management system in the Poltava Region. The technical and logistical component of the waste management system is an essential basis that determines the effectiveness of the entire waste management system. Logistics issues for long-term planning periods are of particular importance when implementing multi-stage transport concepts. But, firstly, the prospective period laid down in the regional plan is only 9 years. Secondly, the regional plan provides for various implementation. Thirdly, there are a number of factors that affect the structure and development prospects of the logistics component of the waste management system. These circumstances justify the need to develop a clear methodology for conducting a comprehensive analysis of the technical and logistical component of the regional waste management system for each territorial entity as an integral part of the regional waste management system, as well as possible prospects for its development.*

Для регіонального рівня поводження з відходами визначальними для економічної, технологічної та екологічної ефективності системи поводження з відходами є питання розробки концепцій логістики збору комунальних відходів, у тому числі побутових.

Основними практичними завданнями логістичного планування регіональних/територіальних систем збору відходів є:

- забезпечення всіх населених пунктів необхідними санітарно-побутовими приміщеннями;
- визначення оптимальних рішень щодо методів збирання відходів;
- забезпечення економічно та екологічно обґрунтованих нормативно регламентованих систем санітарного очищення територій;
- визначення необхідної матеріально-технічної бази;
- визначення необхідного персоналу.

У рамках розроблення Регіонального плану управління відходами [1] (РПУВ) реалізовано перший етап вирішення всього комплексу вищевказаних завдань. РПУВ передбачає поступове збільшення частки населення, охопленого централізованою системою збору побутових відходів (із завданням до 90% населення області до 2030 р.), з одночасним переходом до багаторівневої структури системи збору та транспортування побутових відходів (зменшення кількості полігонів, збільшення кількості сортувально-

перевантажувальних станцій, робота регіональних сміттепереробних комплексів).

Перший етап – збір побутових відходів на територіях ТГ (відповідає сценарію №1 – основний). Другий етап – транспортування ТПВ від місцевих до регіональних РООВ (еквівалент сценарію №3 – перспективний або сценарію №2 – альтернативний).

Оптимальний прогноз логістичної структури можливий за умови розуміння тенденцій її розвитку в прогнозованому періоді з огляду на специфіку регіональних факторів. На цей період існують методики розвитку регіональних систем поводження з ТПВ за відомими показниками [2]. Проте актуальним є питання прогнозування розвитку логістичних структур за рахунок взаємодії комплексу соціально-технологічних факторів, що виникли під впливом регіональних умов.

Аналіз концепцій розвитку логістичної організації регіональної системи управління відходами є одним із підходів до вирішення задачі щодо зниження ризиків реалізації регіональних проектів системи управління відходами та підвищення їх ефективності. Завдяки цьому вдається налагодити найбільш перспективні види та технології організації матеріально-технічного забезпечення поводження з відходами в регіоні.

Відповідно до поставленого завдання нами розроблено структурно-логічну схему процесу прогностичного дослідження розвитку регіональної системи поводження з ТПВ (рис. 1). Особливістю даної схеми є врахування всіх аспектів формування логістичної складової регіональної системи поводження з відходами.

Дослідження перспектив розвитку логістичної організації регіональних систем управління відходами базуються на: детальному структурно-генетичному та факторному аналізі концепцій розвитку логістичної організації регіональних систем управління відходами, передбачених регіональними планами; визначенні типу логістичної організації системи поводження з відходами з огляду на містобудівну структуру регіону; дослідження демографічного розвитку регіону та визначення критеріїв включення населених пунктів у логістичні концепції; прогноз трафіку; встановлено критерії вибору транспортних засобів, визначення перспективної видової бази сміттевозів; аналіз основних транспортних шляхів, критеріїв використання дорожньої мережі, процесів створення дорожньої мережі області та планів її модернізації.

Аналіз концепцій розвитку логістичної організації регіональної системи поводження з відходами дозволяє встановити найбільш перспективні види та технології логістичної організації поводження з відходами в регіоні.

Аналітичний огляд топології сміттевозів, їх основних характеристик та особливостей використання дозволяє встановити найпоширеніші типи сміттевозів, що зустрічаються на сьогоднішній день в Україні, визначити перспективні типи та скласти видову базу сміттевозів для подальшого аналізу.



Рис.1. Методологія прогностичних досліджень розвитку логістичної структури регіональних систем поводження з відходами

Важливим елементом логістичної структури є дорожня мережа. Комплексний аналіз транспортних маршрутів, доріг, що входять до них (створення переліку доріг, їх категорій та параметрів, стану пошкодженості доріг), планів модернізації вулично-дорожньої мережі дозволяє визначити найбільш критичні ділянки мережі доріг в регіоні пропозиції щодо їх модернізації та ремонтних робіт та запобігання технологічним небезпекам у реалізації регіональних стратегій управління відходами.

Демографічна ситуація в регіоні є фактором, який визначає обсяги утворення та транспортування відходів та відповідні вимоги до мережі доріг. Визначення перспектив логістичної організації поводження з відходами базується на аналітичних дослідженнях попередніх етапів та встановленні критеріїв включення населених пунктів до логістичних схем на основі аналізу прогнозних демографічних показників населених пунктів.

Системи видалення відходів із населених пунктів можуть реалізовуватися за різними сценаріями залежно від місцевих умов (найбільш населені пункти, щільність і тип забудови районів, кількість жителів, які обслуговуються системою, наявність і тип місць компактного утворення відходів, віддаленість). інфраструктури поводження з відходами від місць їх утворення, наявності резервних територій, економічних, соціальних та інших умов тощо) у формі як прямого, так і двоступеневого та змішаного розміщення відходів. Таким чином, формування регіональної системи управління відходами на регіональному рівні значною мірою визначається особливостями окремих громад.

Більшість громад області має селищно-сільський тип логістичної організації, яка суттєво впливає на фактори формування логістичної структури системи поводження з відходами. Одним із таких факторів є демографічна ситуація в суспільстві. Це безпосередньо впливає на прогнозовані обсяги утворення та транспортування ТПВ. За даними [1], коефіцієнт зміни чисельності населення з 2022 року до 2025 та 2030 років у Полтавській області становить 0,964 та 0,921 відповідно. Тому чисельність населення регіону невпинно скорочується.

Ще одним важливим аспектом, зумовленим демографічними факторами, є зменшення кількості перспективних населених пунктів. Цей спад відображає наслідки урбаністичних процесів, які відбувалися в Україні протягом останніх десятиліть. Наслідком цього стало зменшення чисельності сільського населення. Нині на території Полтавської області є значна кількість сіл, в яких майже немає населення.

Наприклад, за даними [3], із 30 населених пунктів на території Опішнянського товариства 9 мають населення менше 10 осіб, і це переважно люди похилого віку. Ці села не мають ані промислової, ані соціальної

інфраструктури. Тому при плануванні системи поводження з відходами на муніципальному рівні в сучасний час включення цих населених пунктів до систем водовідведення є економічно та екологічно недоцільним. На етапі довгострокового планування системи поводження з відходами Опішнянського територіального товариства, в рамках реалізації ПЗП [1], вищевказані 9 сіл мають бути виключені з системи. Основними наслідками цього рішення є:

- практично повна відсутність його впливу на показник обсягу транспортування ТПВ;
- через просторове розташування цих населених пунктів у межах муніципалітету їх виключення з логістичної структури призводить до значного скорочення довжини сміттевозів.

Ще одним важливим чинником можливого скорочення вивезення побутових відходів є використання їх окремих компонентів у власному господарстві в сільській місцевості. В межах області, за даними [1], вага цього фактору може становити до 12,33% від загальної кількості побутових відходів.

Процес логістичного планування маршрутів збору побутових відходів є інформаційно-аналітичним. Для забезпечення його оптимальності важливо раціонально організувати інформаційні потоки в системі планування. Ми запропонували наступну структуру інформації планування логістики (рис. 2).

Основними інформаційними елементами цієї структури є нормативно-правова база, база даних соціально-демографічної інформації, база даних побутових відходів, база спецтехніки, державна програма поводження з відходами та геобаза даних.

У структурі програмного комплексу ГІС всі компоненти взаємопов'язані. Робоче середовище програмного забезпечення ГІС працює з двома базами даних: базою регіональної системи управління відходами та базою геоданих по регіону. В результаті комплексної обробки даних у програмному середовищі ГІС користувач отримує кінцеву інформацію у вигляді розрахунково-зображувального матеріалу логістичної складової регіонального проекту поводження з ТПВ.

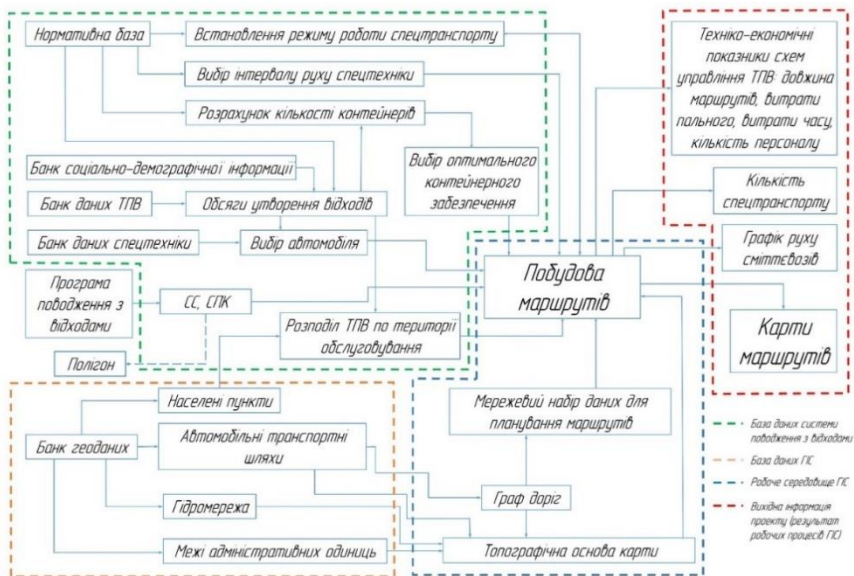


Рис. 2. Структурно-логічна схема інформаційного забезпечення процесу планування маршрутів збору ТПВ

Давайте уважніше розглянемо діаграму вище. На підставі нормативних документів планується вид руху спецавтомобілів (вибирається тривалість зміни). Тоді цей параметр може бути скоригований за результатами розрахунку, але відповідно до нормативів, встановлених КЗІП України.

На підставі [4] попередньо вибрано інтервал руху сміттєвозів.

Дані про соціальний склад і чисельність населення, яке проживає в районі планового ремонту, відбираються з бази даних із соціально-демографічною інформацією. На основі цих даних та з урахуванням бази даних побутових відходів формується інформація про приблизний якісний та кількісний склад побутових відходів, яка є основою для визначення кількості відходів у зоні постачання або [4]. Отримані таким чином дані служать основою для розрахунку кількості контейнерів. Результати розрахунків є рекомендаціями щодо вибору оптимального контейнерного забезпечення для зони обслуговування або запровадження безконтейнерного способу збору відходів.

База даних додаткового обладнання містить інформацію про:

1. Наявність сміттєзбиральної техніки, її стан, техніко-експлуатаційні

характеристики, адміністративна приналежність.

2. Спеціальне обладнання, яке пропонує спеціалізований магазин – стан, техніко-експлуатаційні характеристики, вартість, виробник, досконалість системи гарантії та післягарантійного обслуговування.

На підставі інформації про кількість утворених побутових відходів та розподіл побутових відходів на території постачання приймається рішення про те, чи достатньо наявного обладнання, чи необхідно придбати додатковий або навіть замінити транспортний парк. Важливим елементом, який визначає стратегію побудови логістичних концепцій, є програма управління відходами, наприклад [5]. Цей документ, заснований на ретельному комплексному аналізі соціальних, економічних та екологічних характеристик регіону, становить основну концептуальну основу логістики твердих побутових відходів у регіоні. Ці положення регулюють вибір методів і систем збору відходів (єдина система або система роздільного збору, система розподіленого або централізованого збору, контейнерний або безконтейнерний, одноступеневий або багатоступеневий збір).

Наведена схема (рис. 2) передбачає можливість централізованого збору ТПВ до смітесортувальної станції з подальшим транспортуванням залізницею до регіонального сміттепереробного комплексу. Оскільки процес збору ТПВ безпосередньо геоприв'язаний, база геоданих є невід'ємною частиною інформаційної структури проекту розробки маршруту. Зараз широко поширені відкриті та комерційні електронні бази геоданих. Перевага їх використання полягає в можливості автоматизації процесу проектування за допомогою прикладних програмних комплексів на базі геоінформаційних технологій.

Як видно з рисунку 2, база геоданих містить інформацію про всі елементи географічного середовища, які беруть участь у проектуванні маршруту. На основі інформації про розташування населених пунктів складається схема розподілу ТПВ по території обслуговування. Дані про межі адміністративних одиниць визначають площу зони обслуговування. До речі, існуючий адміністративний поділ території не завжди має сенс з точки зору логістики відходів. Часто виникають ситуації, коли доцільніше запровадити субрегіональний підхід або принцип концентрації агломерацій, як на прикладі планування маршрутів збору твердих побутових відходів у Козельщанському районі Полтавської області, про який йдеться нижче.

Оскільки основним видом транспорту для збору твердих побутових відходів є автомобіль, то для побудови схеми вулиць використовуються дані про елементи автотранспортної мережі. Схема вулиць містить інформацію про всі лінійні елементи вуличної мережі, їх тип, дані про їх перетин у горизонтальній і вертикальній площинах, варіанти поворотів, напрямки та обмеження руху.

Процес побудови маршруту відбувається в спеціалізованому програмному середовищі, в якому зв'язуються необхідні елементи бази даних, розраховуються маршрути та генеруються результати.

Результатами розрахунків є маршрутні карти, інформація про тип та кількість необхідного спецтранспорту, графік їх роботи, техніко-економічні показники розроблених систем збору ТПВ (довжина маршрутів, витрата палива, час, витрачений на технічне обслуговування, площа, необхідна чисельність персоналу тощо).

Вирішення проблем оптимізації систем поводження з відходами на рівні окремого муніципалітету має здійснюватися в рамках оптимізації всієї системи управління відходами регіону.

Відповідно до наведеної методології можна визначити перелік базової інформації, необхідної для прогнозування:

1. Перелік чинних та планованих регіональних і місцевих нормативно-правових актів у сфері поводження з твердими побутовими відходами (побутовими відходами) та іншими побутовими відходами (див. бібліографію).

2. Діючі норми накопичення побутових відходів.

3. Генеральні плани або плани територіального розвитку муніципалітетів.

4. Технічний регламент утилізації відходів.

5. Інформація про наявність спеціального транспорту та обладнання.

6. Особливість об'єктів РООВ.

7. Організації, які займаються збором твердих побутових відходів і вивезенням їх на полігони.

8. Характеристика пунктів збору твердих побутових відходів.

9. Особливість дорожньої мережі регіону.

10. Інформація про стан дорожньої мережі та плани щодо її модернізації.

Використані інформаційні джерела:

1. Регіональний план управління відходами у Полтавській області до 2030 року. Полтава, 2021.

2. Наказ Міністерства екології та природних ресурсів №142 від 12.04.2019 зі змінами від 10.09.2021 Наказ №586 «Про затвердження Методичних рекомендацій з розроблення регіональних планів управління відходами». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0142737-19#Text>

3. Опішнянська громада. Картка громади. Режим доступу: <http://opishnya.gromada.org.ua/structure>

4. Правила визначення норм надання послуг з вивезення побутових відходів. Затверджені Наказом Міністерства з питань ЖКГ України від 30.07.2010р. №259.

5. «Комплексна програма поводження з твердими побутовими відходами у Полтавській області на період 2017–2021 роки», Полтава, 2017, 154 с.

**МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНОЇ АВАРІЇ
З ТРИВАЛИМ ЗНЕСТРУМЛЕННЯМ НА ЕНЕРГОУСТАНОВКАХ
ІЗ ВВЕР**

**MODELLING OF ENVIRONMENTALLY DANGEROUS ACCIDENT
WITH LONG-TERM DE-ENERGIZATION AT WWER NUCLEAR
POWER REACTORS**

¹Ващенко В. М., ²Скалозубов В. І.,
²Комаров Ю. В., ³Кордуба І. Б., ²Гриб В. Ю.

¹ Національний авіаційний університет, Київ, Україна

² Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, Україна

³Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ,
Україна

¹Vashchenko V. M., ²Skalozubov V. I., ²Komarov Yu. O. ,
³Korduba I. B., ²Hryb V. Yu

¹ National aviation university, Kyiv, Ukraine

² Odessa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine

³Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine

Анотація. Представлено розроблену консервативну теплогідродинамічну модель екологічно небезпечної аварії на ядерних енергоустановках на базі реакторів типу ВВЕР для модернізованої стратегії керування аваріями з тривалим повним знеструмленням (ТПЗ) що заснована на перспективних пасивних системах безпеки: система компенсації тиску і рівня охолоджувача в реакторі, система пароскидальних пристроїв у другому контурі, система аварійного живильного паропривідного насоса від парогенератора та система пасивного відведення тепла шляхом використання природної циркуляції через парогенератор. Результати модельних розрахунків показали що проектна стратегія керування аваріями з ТПЗ не здатна успішно виконати безпекові функції виведення залишкових тепловиділень з активної зони ядерного реактора та функції з підтримання потрібного рівня живильної води в парогенераторах. При цьому в проектній стратегії керування аварією з ТПЗ також порушені умови безпеки за максимальною температурою оболонок тепловіділяючих елементів (ТВЕЛ) та за

максимально допустимим рівнем живильної води в парогенераторі. Модернізована стратегія керування екологічно небезпечними ядерними аваріями з ТПЗ успішно виконує функції та умови безпеки.

Ключові слова: реактори ВВЕР, ядерна енергоустановка, стратегія керування аваріями, тривале повне знеструмлення, парогенератор, розрахункове моделювання.

Abstract. A new conservative thermohydrodynamic model of an environmentally hazardous accident at nuclear power plants is presented for a modernized strategy for managing long-term complete power outages. This model is based on WWER type reactors based on advanced passive safety systems. Such passive safety systems include a system for compensating the pressure and level of the coolant in the reactor, a system of steam discharge devices in the secondary circuit, a system of emergency feed pump from the steam generator and a system of passive heat removal using natural circulation through the steam generator. The results of model calculations showed that the design strategy for TPP accident management is not able to successfully perform the safety functions of removing residual heat from the core of a nuclear reactor and the function of maintaining the required level of feed water in steam generators. At the same time, the design strategy for accident management with TPZ also violates the safety conditions for the maximum temperature of the shells of fuel elements (TVEL) and the maximum allowable level of feed water in the steam generator. The modernized strategy for managing environmentally hazardous nuclear accidents with TPP successfully fulfills the functions and safety conditions.

Keywords: WWER reactors, nuclear power plant, accident management strategy, long-term complete power failure, steam generator, calculated modeling.

Вихідна аварійна подія з тривалим повним знеструмленням (ТПЗ) ядерних енергетичних реакторних установок (ЯЕРУ) на АЕС Fukushima-Daiichi, внаслідок затоплення від цунамі проммайданчика АЕС, стала одією з головних причин важких запроектованих аварій з розплавленням ядерного палива і, як наслідок, екологічно катастрофічних парогазових вибухів [1]. Головні уроки Фукусімської аварії вказали на необхідність розробки ефективних стратегій керування аваріями на ЯЕРУ з ТПЗ. При цьому відомо, що питанням моделювання

Екологічно небезпечних аварій на ЯЕРУ вже виконано багато досліджень, наприклад, [2-25]. Результати аналізу ядерних аварій з тривалим повним знеструмленням ЯЕРУ на базі реакторів ВВЕР-1000 кодом RELAP 5/V 3.2 проведені у звітах експлуатуючої організації ГП НАЭК «Енергоатом» [2-5 і ін.]. Було виявлено, що: у разі відносно швидкого відновлення електробезпечення власних потреб ЯЕРУ аварії в результаті

знеструмлення протікають в проектному режимі без порушення умов ядерної безпеки; для забезпечення умов ядерної безпеки досить працездатності однієї системи аварійних живильних електронасосів (АЖЕН); при проектній стратегії керування аваріями (ПСКА) ТПЗ пасивними системами безпеки умови ядерної (і, відповідно, екологічної безпеки) за максимально допустимою температурою оболонок твєлів порушуються. Модернізована стратегія керування аваріями (МСКА) з тривалим повним знеструмленням на ЯЕРУ с ВВЕР може бути основана на додатковому використанні перспективних пасивних систем безпеки, що не вимагають електроживлення: система аварійного живильного насоса з пароприводом від парогенератора і система пасивного відведення тепла з активної зони реактора (АЗР) через парогенератор. Тому саме виконання аналізу проектної стратегії керування аваріями (ПСКА) і модернізованої стратегії керування аваріями (МСКА) з тривалим повним знеструмленням визначає актуальність даної роботи.

Консервативна тепло гідродинамічна модель екологічно небезпечної ядерної аварії з тривалим повним знеструмленням (ТПЗ). Запишемо сценарій подій аварії з ТПЗ: аварійний останов реактора, головного циркуляційного насоса (ГЦН) та живильних насосів парогенератора (ПГ); закриття швидкодіючого запірною відсічного клапана (ШЗВК); тривале повне знеструмлення з відмовою дизель-генераторів; відмова на відновлення електроживлення; відмова всіх електронасосів систем безпеки; керування аварією пасивними системами безпеки.

Проектні пасивні системи безпеки: система компенсації тиску в контурі реактора; паро скидальні пристрої (ПСП) другого контуру.

Перспективні пасивні системи безпеки: система аварійного живильного насоса з пароприводом від парогенератора (АЖНПП); система пасивного відведення тепла від активної зони реактора (АЗР) через парогенератор (СПВТ ПГ).

Блок-схема для якої виконувалися розрахунки при аварії з ТПЗ приведена на рис. 1.

Основні консервативні припущення: 1) нехтуємо впливом витратами «вибігу» турбоживильного насоса на умови теплообміну; 2) температура ядерного палива в центральній частині паливної матриці покладається максимальною.

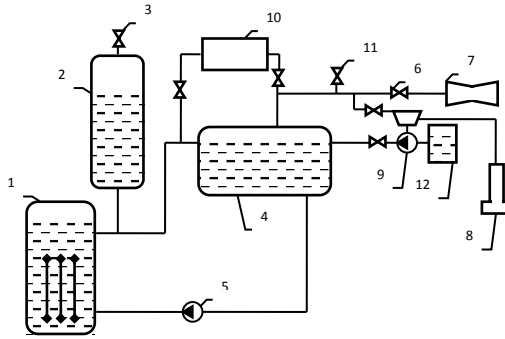


Рис. 1. Модельна схема яденої аварії з ТПЗ: 1 – ядерний реактор; 2 – компенсатор тиску; 3 – запобіжні клапани; 4 – парогенератор (ПГ); 5 – головний циркуляційний насос (ГЦН); 6 – блок запобіжний відсічний клапан (ЗВК); 7 – турбіна; 8 – деаератор; 9 – АПНПП; 10 – СПОТ ПГ; 11 – ПСУ; 12 – бак для живильної води.

Рівняння балансу мас і теплової енергії для об'ємів пари і охолоджувача в реакторі має наступний вигляд:

$$\frac{d(\rho_V V_{VR})}{dt} = G_{VR}, \quad V_R = V_{VR} + V_T, \quad (1)$$

$$\rho_T \frac{dV_T}{dt} = G_{GC}(t) + G_K(t) - G_1(t) - G_{VR}, \quad (2)$$

$$\frac{d(\rho_V i_V V_{VR})}{dt} = G_{VR} r_V, \quad (3)$$

$$\rho_T \frac{dV_T i_T}{dt} = F_0 R_{f0}^{-1} (T_f - T_0) + \alpha_T F_0 R_{f0} (T_0 - T_T) - F_{VG} R_{VG}^{-1} (T_T - T_L). \quad (4)$$

До попередніх рівнянь слід додати рівняння теплового балансу для реактора і об'єму парогенератора для другого контуру:

$$N_T(t) = F_0 R_{f0}^{-1} (T_f - T_0) + \alpha_T F_0 R_{f0} (T_0 - T_T) - F_{VG} R_{VG}^{-1} (T_T - T_L) \quad (5)$$

Рівняння руху охолоджувача в реакторному контурі довжиною L_1 і площею прохідного перетину Π_1 :

$$\frac{d}{dt}(G_1 + G_{GC} + G_K) = \frac{\Pi_1}{L_1} \left[P_{VR} - \frac{\xi_1}{\rho_T \Pi_1^2} (G_1 + G_{GC} + G_K)^2 + (\rho_T - \rho_V) g h_1 \right], \quad (6)$$

де $G_{GC}(t)$, $G_1(t)$, $G_K(t)$ – масові витрати «вибігу» головного циркуляційного насоса (ГЦН), на вході в реакторний контур та між компенсатором тиску (КТ) і реакторним контуром відповідно; ξ_1 – сумарний коефіцієнт гідравлічного опору в реакторному контурі; h_1 – висота реакторного контура.

Залежність від часу $G_{GC}(t)$ можна визначити за чисельною апроксимацією результатів розрахункового моделювання [4, 5]. Для масових витрат між КТ і реакторним контуром запишемо:

$$G_K(t) = \begin{cases} \mu_K \Pi_{TT} \sqrt{2\rho_T \Delta P_{KT}} & \text{при } \Delta P_{KT} = \Delta P_{VK} + g\rho_T(H_K + L) - P_{VR}, \\ -\mu_K \sqrt{2\rho_T |\Delta P_{KT}|} & \text{при } \Delta P_{KT} < 0. \end{cases} \quad (7)$$

Наступне рівняння для балансу мас і енергії об'ємів КТ:

$$(V_K - \rho_T \Pi_K H_K) \frac{d\rho_V}{dP_{VK}} \frac{dP_{VK}}{dt} - \rho_V \Pi_K \frac{dH_K}{dt} = -G_{iK}, \quad \rho_T \Pi_K \frac{dH_K}{dt} = -G_K, \quad (8)$$

$$\frac{d[\rho_V (V_K - \rho_T \Pi_K H_K) i_V]}{dt} = -G_{iK} i_V, \quad (9)$$

де t – час тривалості аварійного процесу; ρ_V , ρ_T – щільність пари і охолоджувача відповідно; V_{VR} , V_T – об'єм пари і охолоджувача в реакторі відповідно; G_{VR} , G_K – витрати на пароутворення в активній зоні реактора ($G_{VR} = 0$ $T_T < T_{TS}$) і охолоджувача між КТ і реакторним контуром відповідно; i_V , i_T – питома ентальпія пари і охолоджувача відповідно; r_V – прихована теплота пароутворення; T_f , T_0 , T_L – максимальная температура ядерного палива, оболонки твела і живильної води в ПГ відповідно; P_{VK} , P_{VR} тиск пари в КТ і в реакторі відповідно; F_0 , F_{VG} – сумарна площа теплообміну твелів і зануреної в живильну воду поверхні ПГ; α_T – коефіцієнт тепловіддачі на поверхні твела [7]; H_K – рівень охолоджувача в КТ; L – висота з'єднувального трубопроводу між КТ і контуром охолодження

реактора; μ_K – коефіцієнт витрат між КТ і контуром охолодження реактора; Π_T, Π_K – площа прохідного перетину охолоджувача між КТ і контуром охолодження реактора та в об’ємі КТ відповідно; V_K – не заповнений конструкціями об’єм компенсатора тиску (КТ); $N(t)$ – потужність залишкового тепловиділення реактора; g – прискорення сили тяжіння.

Витрати маси через запобіжні клапани імпульсно-запобіжного пристрою КТ (ЗК ІЗП КТ):

$$G_{iK} = \begin{cases} \mu_{iK} \Pi_{iK} \sqrt{2\rho_V (P_{VK} - P_{g0})} & \text{при } P_{VK} \geq P_{\max}, \\ 0 & \text{при } P_{VK} < P_{\max}, \end{cases} \quad (10)$$

де μ_{iK} – коефіцієнт витрат через ЗК ІЗП КТ; Π_{iK} – площа прохідного перетину ПК; P_{G0}, P_{\max} – тиск в герметичному об’ємі і максимально допустимий тиск в компенсаторі тиску (КТ) (критерій відкриття запобіжного клапана ІЗП КТ) відповідно.

Коефіцієнти термічних опорів твела R_{f0} та міжконтурного об’єму R_{VG} :

$$R_{f0} = \delta_f / \lambda_f + \delta_g / \lambda_g + \delta_0 / \lambda_0, \quad (11)$$

$$R_{VG} = \delta_{VG} / \lambda_{VG} + 1 / \lambda_{VG}, \quad (12)$$

де $\delta_f, \delta_g, \delta_0, \delta_{VG}$ – товщини паливної матриці, газового проміжку, оболонки твела і теплообмінних трубок парогенератора (ПГ) відповідно; $\lambda_f, \lambda_g, \lambda_0, \lambda_{VG}$ – коефіцієнти теплопровідності паливної матриці, газового проміжку, оболонки твела і теплообмінних трубок ПГ відповідно; α_{VG} – коефіцієнт тепловіддачі на зовнішній поверхні теплообмінних трубок ПГ [7]; V_R – об’єм реактора не заповнений конструкціями.

Після перетворення рівнянь (1) – (9) отримуємо:

$$\frac{dP_{VR}}{dt} = f_1(P_{VR}, V_T, P_{VK}, H_K, G_1), \quad (13)$$

$$\frac{dV_T}{dt} = f_2(P_{VR}, V_T, P_{VK}, H_K, G_1), \quad (14)$$

$$\frac{dP_{VK}}{dt} = f_3(P_{VR}, V_T, P_{VK}, H_K, G_1), \quad (15)$$

$$\frac{dH_K}{dt} = f_4(P_{VR}, V_T, P_{VK}, H_K, G_1), \quad (16)$$

$$\frac{dG_1}{dt} = f_5(P_{VR}, V_T, P_{VK}, H_K, G_1). \quad (17)$$

Початкові умови:

$$P_{VR}(t=0) = P_{R0}, \quad V_T(t=0) = V_{T0}, \quad H_K(t=0) = H_{K0}, \quad G_1(t=0) = G_0, \quad P_{VK}(t=0) = P_{R0} + \rho_T g(H_{K0} + L) \quad (18)$$

де G_0 – квазістаціонарні витрати охолоджувача на номінальній потужності реактора N_0 .

Рівняння поточної температури оболонки твела у випадку аварійного процесу:

$$T_0(t=0) = \frac{N(t) + (\alpha_T F_0 - R_{VG}^{-1} F_{VG}) T_T + R_{VG}^{-1} T_L(t)}{F_0 (\alpha_T - R_{T0}^{-1})}, \quad (19)$$

$$T_0(t=0) = T_{00}, \quad N(t=0) = N_0. \quad (20)$$

Потужність залишкового тепловиділення $N(t)$ визначалося за допомогою відомої експериментальної апроксимації [6] для ядерного палива реактора ВВЕР.

Рівняння балансу мас і теплової енергії для об'єму парогенератора (ПГ):

$$\frac{d\rho_V V_{VG}}{dt} = G_{LV} - G_{VA} - G_{VC} = \frac{d\rho_V}{dP_{VG}} \frac{dP_{VG}}{dt} + \rho_V \frac{dV_{VG}}{dt}, \quad (21)$$

$$\rho_L \frac{dV_{LG}}{dt} = G_A + G_{VC} - G_{LV}, \quad V_G = V_{VG} + V_{LG}, \quad (22)$$

$$\rho_L \frac{dV_{LG}^i}{dt} = F_{VG} R_{VG}^{-1} (T_0 - T_L) + G_A i_{LA} - G_{LV} r_V + G_{VC} i_{LC}, \quad (23)$$

$$\frac{d(\rho_V V_{VG} i_V)}{dt} = G_{LV} r_V - (G_{VA} + G_{VC}) i_L. \quad (24)$$

Рівняння руху в паропроводі АПНПП и СПОТ парогенератора (ПГ) відповідно мають вигляд:

$$G_{VA} = \mu_V \Pi_{VA} \sqrt{2\rho_V (P_{VG} - P_0)}, \quad (25)$$

$$G_{VC} = \Pi_C \sqrt{(\rho_L - \rho_V) \rho h_C / \xi_C}. \quad (26)$$

Рівняння теплового балансу для теплообмінної поверхні СПОТ ПГ:

$$G_{VC} [r_C + \tilde{N}_P (T_{LS} - T_{LC})] = \alpha_C F_C (T_{LS} - T_{G0}), \quad (27)$$

де ρ_V, ρ_L – щільність пари і живильної води ПГ відповідно; G_{LV}, G_{VA}, G_{VC} – витрати маси пароутворення в об'ємі ПГ, пари в паропроводі аварійного живильного насоса з паропроводом від парогенератора (АЖНПП) і в СПОТ ПГ відповідно; P_{VG} – тиск пари в парогенераторі (ПГ); V_G, V_{VG}, V_{LG} – не заповнений конструкціями сумарний об'єм ПГ, пари і живильної води відповідно; i_L, i_{LA}, i_{LC} питома ентальпія питательной води в об'ємі ПГ, в гідроємностях аварійного живильного електронасоса (АЖЕН) і на виході з СПОТ ПГ відповідно; $G_A = 35$ кг/с – номінальні втрати живильної води АЖНПП, що відповідає номінальним витратам АЖЕН; μ_V – коефіцієнт витрат пари в паропроводі; Π_{VA}, Π_C – площа прохідного перетину паропроводу АЖНПП і СПОТ ПГ відповідно; ξ_C – сумарний коефіцієнт гідравличного опору СПОТ ПГ; C_p – питома теплоємність конденсата; r_C прихована теплота конденсації; T_{LS}, T_{LC}, T_{G0} – температура насичення при конденсації, конденсата на виході і СПОТ ПГ і навколишнього середовища в гермооб'ємі відповідно; α_C – коефіцієнт тепловіддачі на теплообмінній поверхні СПОТ ПГ.

Теплогідравлічні та конструкційно-технічні параметри систем/обладнання визначалися у відповідності з [2-5, 7, 8].

Після перетворень системи рівнянь (21-27) маємо:

$$\frac{dP_{VG}}{dt} = f_6(P_{VG}, H_{LG}, i_L), \quad (28)$$

$$\frac{dH_{LG}}{dt} = f_7(P_{VG}, H_{LG}, i_L), \quad (29)$$

$$\frac{di_L}{dt} = f_8(P_{VG}, H_{LG}, i_L). \quad (30)$$

При початкових умовах:

$$P_{VG}(t=0) = P_{VG0}, \quad H_{LG} = V_{LG} / F_{LG}(t=0) = H_{LG0}, \quad i_{LG}(t=0) = i_{LG0} \quad (31)$$

де G_{LG} – площа прохідного перетину живильної води в парогенераторі (ПГ).

Результати розрахункового моделювання. Умови забезпечення успішного виконання функцій безпеки (ФБ ОТ) и ФБ ПГ:

$$T_0 < T_{lim}, \quad H_{LG} > H_{min}, \quad (32)$$

де T_{lim} – максимально допустима температура оболонки твела; H_{min} – мінімально допустимий рівень живильної води в ПГ. Для реакторів ВВЕР $T_{lim} = 1474$ К, $H_{min} = 1,35$ м [4].

Визначальні параметри забезпечення функцій безпеки (ФБ) для аварій з тривалим повним знеструмленням (ТПЗ): тиск в ядерному реакторі P_{VR} і парогенераторі (ПГ) P_{VG} ; рівні охолоджувача в ядерному реакторі H_T та живильної води H_{LG} .

Розв'язки системи рівнянь консервативної тепло гідродинамічної моделі (13-18, 28-31) отримані відомим чисельним методом Рунге-Кутта. Моделювання було проведено для двох стратегій керування екологічно небезпечними ядерними аваріями зТПЗ:

ПСКА (пасивна стратегія керування аврїями), яка здійснюється пасивними системами безпеки компенсатора тиску (КТ) і ПСК (пасивних систем керування) другого контура;

МСКА (модернізована система керування), яка здійснюється пасивними системами безпеки КД, ПСК, АЖНПП (аварійно живильного насоса пароприводу) і СПВТ (системи пасивного відведення тепла) ПГ.

Результати аналіз результатів чисельного моделювання визначальних параметрів та умов забезпечення функцій безпеки (ФБ) ОТ і ФБ ПГ на різних етапах аварійного процесу для ПСКА і МСКА представлені в табл. 1.

Аналіз результатів розрахункового моделювання на основі консервативної теплогідродинамічної моделі показує, що ПСКА (пасивні системи керування аврїями) з тривалим повним знеструмленням не забезпечують успішного виконання функцій безпеки ФБ ОТ і ФБ ПГ, а також умов безпеки (32). Модернізована стратегія керування аврїями (МСКА) з тривалим повним знеструмленням забезпечує успішне виконання функцій

безпеки ФБ ОТ і ФБ ПГ, а також умов безпеки (32).

Таблиця 1. Результати моделювання визначальних параметрів функцій безпеки

Час процесу	Стратегія керування аварією	Поведінка визначальних параметрів функцій безпеки	Забезпечуваність виконання функцій безпеки
0-2·10 ³ с	ПСКА	Тиск в ядерному реакторі зменшується внаслідок останова ГЦН. Рівень охолоджувача в реакторі підтримується за рахунок витрат «вигібу» ГЦН і зниження рівня в КД. Тиск пари в ПГ збільшується до умов спрацювання ПСК. Рівень живильної води в ПГ суттєво знижується внаслідок інтенсифікації процесів пароутворення до гранично допустимих значень.	ФБ ПГ не забезпечена
	МСКА	Тиск в реакторі зменшується; рівень охолоджувача в реакторі підтримується. Тиск пари і рівень живильної води в парогенераторі (ПГ) підтримується підживленням ПГ системами пасивного відведення тепла (СПВТ) ПГ та АПНПП без спрацювання ПСК. Рівень живильної води в ПГ зменшується на 10 % от першо початкового і більше гранично допустимих значень.	ФБ ВТ і ФБ ПГ забезпечуються
Більше 2·10 ³ с	ПСКА	Тиск в реакторі і ПГ збільшується до максимально допустимих значень (періодичне спрацювання ПК ПСК КТ та клапанів ПСК). Рівень охолоджувача в реакторі нульовий на 14,0·10 ³ з аварійного процесу; а рівень живильної води в ПГ - на 17,0·10 ³ с. Температура оболонки твелів різко збільшується з 7,0·10 ³ с і досягає гранично допустимих значень (1473 °К) на 19,5·10 ³ с	ФБ ОТ і ФБ ПГ не обеспечены
	МСКА	Тиск у реакторі збільшується до умов «гарячого» останова без спрацювання ПК ПСК КТ. Рівень охолоджувача в реакторі знижується на 30 % від початкового до 10,0·10 ³ с аварійного процесу і далі підтримується постійним. Тиск в ПГ зменшується до 0,3 МПа на 20,0·10 ³ с аварійного процесу. Рівень живильної води залишається постійним (нижче на 10 % від початкового). Максимальна температура оболонки твелів збільшується до 360 °С на 6,5·10 ³ с і далі знижується до початкового значення. Причини порушення умов ядерної та екологічної безпеки відсутні до 72 годин аварійного процесу.	ФБ ОТ і ФБ ПГ забезпечуються до 72 годин аварійного процесу

Висновки:

1. Розроблена консервативна тепло гідродинамічна модель аварії на ядерній енергетичній реакторній установці з реакторами типу ВВЕР для

проектної та модернізованої стратегії керування аваріями з тривалим повним знеструмленням (ТПЗ).

2. Проектна стратегія керування аваріями з ТПЗ базується на пасивних системах безпеки яким не потрібне енергозабезпечення – це система компенсації тиску й рівня охолоджувача в ядерному реакторі, а також система пароскидпльних пристроїв другого контуру. Модернізована стратегія керування аваріями з ТПЗ базується на додатковому застосуванні перспективних пасивних систем безпеки: система аварійного живильного насоса з пароприводом від парогенератора і система пасивного відведення тепла шляхом природної циркуляції через парогенератор.

3. У результаті розрахункового аналізу на основі розробленої консервативної тепло гідродинамічної моделі встановлено, що проектна стратегія керування аваріями з ТПЗ не здатна забезпечити успішне виконання функцій безпеки для відведення залишкових тепловиділень з активної зони ядерного реактора та для підтримання необхідного рівня живильної води в парогенераторах. Умови безпеки за максимальною температурою оболонки твелів і максимально допустимим рівнем живильної води в парогенераторі порушуються при проектній стратегії керування аваріями з тривалим повним знеструмленням.

4. Модернізована стратегія керування аваріями з ТПЗ забезпечує успішне виконання функцій та умов безпеки.

Використані інформаційні джерела:

1. IAEA *International Fact Expert Mission of the Fukushima-Daiichi NPP Accident Following The Great East Japan Earthquake and Tsunami*. IAEA Mission Report (IAEA, 2011). 160 p.

2. *Проект углубленного анализа безопасности энергоблока № 5 ЗАЭС*. Заключение отчет по анализу критериев успеха систем. Расчетное обоснование №100 52DL 12R. (Энергодар: ГП НАЭК «Энергоатом», 2000) 536 с.

3. EP25-2004.210.JL.2. *Потеря электроснабжения собственных нужд. Корректировка и обновление ВАБ энергоблока № 5 ЗАЭС*. Расчетное обоснование критериев успеха. Приложение G1.1. (Энергодар: ГП НАЭК «Энергоатом», 2004). 365 с.

4. EP01/2016.100.ОД.1-Т.1. *Расчет теплогидравлических параметров для всех режимов эксплуатации оборудования РУ энергоблока №3 ОП ЗАЭС* (Энергодар: ГП НАЭК «Энергоатом», 2016). 566 с.

5. EP25-2004.210.ОД.2. *Корректировка и обновление ВАБ энергоблока № 5 ЗАЭС. Обесточивание энергоблока с отказом дизель-генераторов*. Приложение G2.1 (Энергодар: ГП НАЭК «Энергоатом», 2004). 365 с.

6. Хизанцян А. М., Оганесян Л. С.. Остаточные энерговыделения при

аварийных остановах реакторов типа ВВЭР. Известия НАН РА и ГИУА LX-1 (2007). С. 100–106.

7. Кириллов П. Л. и др. *Справочник по теплогидравлическим расчетам ядерных энергоустановок*. 2-е издание (Москва: Энергоатомиздат, 1990). 360 с.

8. Skalozubov V.I. et al. Analysis of Nuclear safety in Diversification of Westinghouse Fuel Assemblies at WWER 1000. Nuclear Physics and Atomic Energy 20-2 (2019). 159–163.

9. KIM91a. *Thermohydraulische Analysen on Kuhlmittelverlustorfällen mit... ATHLET/FLUT*. Band I: Text; Band II: Bilder (GRS-A-1834/I, GRS-A-1834/II, 1991).

10. 43-923.203.022.AB.01. *Отчет по анализу безопасности. Блок 2. Хмельницкая АЭС* (К.: Киевэнергопроект, 2004).

11. *Оценка безопасности АЭС. ВВЭР 1000/B-320*. ГРС-114 (Германия, 1995).

12. NUREG-1489. *A Review of NRC Staff Uses of Probabilistic Risk Assessment* (Washington: US NRC, 1994).

14. *Термогидравлический расчет максимального давления в гермообъеме РУ ВВЭР 1000/302*. Отчет Госкоматом (Южноукраинск : ОП ЮУАЭС, 1996).

15. 23.1.27.ОБ.05.03. *Техническое обоснование безопасности сооружения и эксплуатации АЭС. Южно-Украинская АЭС. Блок 1*. (ОАО ХИ «Энергопроект», 1991).

16. NUREG/CR-4674, ORNL/NOAC-232. *Precursors to Potential Severe Core Damage Accidents: 1992*. V. 17 (US NRC, 1993).

17. *Анализ аварий на ядерных энергетических установках*. Отчет №122-0000.0240-ОТ1 (Москва: Атомэнергопроект, 1991) 206 с.

18. Antropov V., Bukrinsky A., Shvyryaev Yu.. Development of Methodology and List of BDFA for WWER-1000 for Quantitative Analysis. SAM-99 Information Exchange Forum on «Severe Accident Management», Obninsk, Russia, October 18-22, 1999.

19. *Accident Management Programs in Nuclear Power Plants. A Guidebook*. Technical Report Series №368 (Vienna: International Atomic Energy Agency, 1994).

20. 38-223.203.003.ОБ.06.01. *Отчет по анализу безопасности энергоблока № 4 Ровенской АЭС* (ГП НАЭК «Энергоатом», 2004).

21. CNS-RM-2005/08 FINAL. Convention on Nuclear Safety. Summary Report. Third Review Meeting of the Contracting Parties, Vienna, Austria, April 11-22, 2005.

22. Skalozubov V.I. et al. Method for determination of water hammer conditions and consequences in pressurizers of nuclear reactors. Turkish Journal of Physics 43-3 (2019). 229–235.

23. Skalozubov V. et al. Analysis of Reliability-Critical Hydraulic Impact Conditions at WWER-1000 NPP Active Safety Systems. *Nuclear & Radiation Safety*. 1(81) (2019). 42–45.

24. Skalozubov V. et al. Water Hammers in Transonic Modes of Steam-Liquid Flows in NPP Equipment. *Nuclear & Radiation Safety*. 2(82) (2019). 46–49.

25. Skalozubov V. et al. Optimization of Reliability in the Modernization of Heating Equipment. *Problems of Atomic Science and Technology*. 4(110) (2017). 84–87.

26. Skalozubov V. et al. Optimization of Strategies for Extending the Operation of Systems Important for the Safety of Nuclear Power Plants. *Problems of Atomic Science and Technology* 2(114). 2018. 85–88.

АНАЛІЗ СТАНУ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ТА ДИНАМІКИ ЗАХВОРЮВАНОСТІ

ANALYSIS OF THE HEALTH STATUS OF THE POPULATION OF POLTAVA REGION AND DYNAMICS OF SICKNESS RATE

Ганошенко О.М., кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
прикладної екології та природокористування

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», Україна*

Hanoshenko O., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Applied Ecology and Nature Management Department

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine

Анотація. Здоров'я населення є важливим соціальним індикатором, що відображає благополуччя населення, його соціально-економічне, демографічне, санітарно-гігієнічне та екологічне становище. Нагальним питанням є збереження здоров'я населення, в тому числі запобігання негативного впливу на нього факторів навколишнього середовища. Зараз наша країна перебуває у стані надзвичайної ситуації – воєнному стані, тому виникають додаткові екологічні ризики та загрози для довкілля та здоров'я населення України. Стрімко зростає загроза стресу, інфекцій та антисанітарії, тобто Україні загрожують спалахи інфекційних хвороб. Окрім цього, воєнний стан у країні ускладнив доступ пацієнтів до необхідних медичних послуг та лікарських засобів. Загальна захворюваність населення оцінюється за показниками поширення хвороб та первинної захворюваності. Тенденція уперше зареєстрованих випадків захворювання населення Полтавської області носить мінливий характер, відбуваються коливання – спади рівня захворюваності чергуються з його підвищенням. Також до хвороб, частота випадків яких безпосередньо залежить від стану навколишнього середовища і мають достатньо високий рівень захворювань слід віднести: хвороби системи кровообігу, сечостатевої системи, шкіри та підшкірної клітковини й травми, отруєння та деякі інші наслідки дії зовнішніх причин. Таким чином, стан здоров'я населення Полтавської області викликає занепокоєння і потребує постійного моніторингу та впровадження заходів задля покращення стану довкілля. Відповідно важливим є те, що основні завдання Регіонального плану управління відходами у Полтавській області до 2030 року спрямовані на зменшення

кількості місць видалення відходів, що у свою чергу приведе до зменшення надходження емісії забруднюючих речовин у навколишнє середовищі та можливості зниження рівня захворювання населення області.

Abstract. *Population health is an important social indicator that reflects the well-being of the population, its socio-economic, demographic, sanitary, hygienic and environmental situation. The urgent issue is the preservation of public health, including the prevention of the negative impact of environmental factors on it. Now our country is in a state of emergency – a state of war, so there are additional environmental risks and threats to the environment and the health of the population of Ukraine. The threat of stress, infection and unsanitary conditions is growing rapidly, i.e. Ukraine is threatened by outbreaks of infectious diseases. In addition, martial law in the country has complicated patients' access to necessary medical services and medicines. The general morbidity of the population is assessed by disease prevalence and primary morbidity rates. The trend of first registered cases of diseases in Poltava region has a variable nature, there are fluctuations – declines in morbidity rate alternate with its increase. Also among the diseases whose incidence rate directly depends on the state of the environment and a sufficiently high level of disease should be included: diseases of the circulatory system, the urogenital system, skin and subcutaneous tissue and injuries, poisoning and some other effects of external causes. Thus, the state of health of population in Poltava oblast causes concern and requires continuous monitoring and taking measures to improve the environment. Accordingly, it is important that the main objectives of the Regional Waste Management Plan for Poltava Oblast until 2030 are aimed at reducing the number of waste disposal sites, which in turn will lead to reduction of emissions of pollutants into the environment and the possibility of reducing the level of disease in the region.*

Стан здоров'я населення є важливим соціальним індикатором, що відображає благополуччя населення, його соціально-економічне, демографічне, санітарно-гігієнічне та екологічне становище. Один із факторів який впливає на здоров'я та тривалість життя населення – екологічний, а саме стан атмосферного повітря, водних об'єктів, ґрунтового середовища та особливості клімату. Тому нагальним питанням є збереження здоров'я населення, в тому числі запобігання негативного впливу на нього факторів навколишнього середовища.

Антропогенний вплив на навколишнє середовище сприяє зростанню захворюваності різними хворобами, що призводить до погіршення стану здоров'я населення. Показники захворюваності і смертності залежать від великої кількості факторів – соціальних, економічних і, не в останню чергу, екологічних.

Проте, зараз Україна перебуває у стані надзвичайної ситуації – воєнному стані, тому виникають додаткові екологічні ризики та загрози для довкілля та здоров'я населення України. Наразі маємо надавати перевагу такому вагомому фактору, як забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення. Під час воєнних дій на людей на фронті і в тилу звальюється одночасно багато чого. Стрімко зростає загроза стресу, інфекцій та антисанітарії, тобто Україні загрожують спалахи інфекційних хвороб. Зокрема, тимчасово захоплена російськими військами Херсонщина вже на порозі серйозних ускладнень, де є проблеми з водопостачанням, контролем за станом питної води, продуктами харчування тощо. Найбільш критичним зараз є Маріуполь, де можливе поширення інфекційних захворювань, а також Луганська, Донецька і Херсонська області. Там немає доступу до питної води належної якості і немає доступу до медичної допомоги. Проте лікарі дають відповідь щодо того, чи можуть інфекційні захворювання з цих територій поширитися на інші регіони: «Система контролю і профілактики хвороб зараз працює в усіх областях України, тому ситуація у тих регіонах, де є адекватний контроль за питним водопостачанням, є керованою. Тож будь-які випадки інфекційних хвороб доволі швидко локалізуються на підконтрольних територіях. Тому ризику поширення зараз немає» – зауважив головний санітарний лікар Ігор Кузін [1].

Із метою подолання екологічних ризиків, загроз та наслідків збройної агресії проти нашої країни, відповідно до наказу Міністерства охорони здоров'я України «Деякі питання забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення під час ліквідації наслідків збройної агресії Російської Федерації проти України» № 597 від 08.04.2022 року, керівникам обласних та міських центрів контролю та профілактики хвороб задля запобігання можливого розповсюдження небезпечних хвороб, необхідно:

- забезпечити проведення дослідження якості та безпечності питної води, що подається населенню, у тому числі з нецентралізованих джерел водопостачання за санітарно-хімічними та мікробіологічними показниками;
- до отримання результатів лабораторних досліджень рекомендувати проведення гіперхлорування води, з метою недопущення спалахів інфекційних хвороб, пов'язаних із водним шляхом передавання;
- забезпечити проведення дослідження ґрунту біля (навколо) місць аварій хімічних об'єктів, сховищ пального, хімікатів, промислових підприємств;
- рекомендувати обласним, міським військовим адміністраціям та органам місцевого самоврядування провести обстеження шахтних колодязів, каптажів джерел та бюветів, їх ремонт, чищення та дезінфекцію;

- забезпечити проведення санітарно-епідеміологічної розвідки та профілактики інфекційних хвороб, у тому числі висипного та черевного тифу, дизентерії, туляремії, інших особливо небезпечних інфекцій;

- забезпечити проведення індикації та ідентифікації збудників особливо-небезпечних інфекцій з обстеженням об'єктів зовнішнього середовища та проведення диференційних діагностичних та досліджень матеріалу від людей з підозрою на особливо-небезпечні інфекції (в залежності від ландшафту ендемічних захворювань на конкретній території) [2].

Воєнний стан у країні ускладнив доступ пацієнтів до необхідних медичних послуг та лікарських засобів. Департамент охорони здоров'я Полтавської міської ради звернувся до людей, які евакуйовані з територій інших міст України та наразі мешкають в місті Полтава, та надав інформацію про можливість укласти декларацію з сімейними лікарями в будь-якому закладі міста, що надають первинну медико-санітарну допомогу. Це дозволить отримати безкоштовну медичну допомогу в повному обсязі.

Зважаючи на ведення воєнного стану в Україні відповідно до Указу Президента України від 24.02.2022 №64, рішенням виконавчого комітету Полтавської міської ради від 17.03.2022 року внесені зміни до цільової програми «Сучасна медична діагностика на 2022 рік», щодо розширення її дії на внутрішньо переміщених осіб з невідкладними станами. Тому усі громадяни України мають можливість отримувати вчасну медичну допомогу [3].

На стан здоров'я людей впливають всі складові довкілля – повітря, вода, ґрунти і біота. Маємо невтішну статистику – постійне зменшення кількості населення області (рис. 1), так за останні 10 років чисельність постійного населення Полтавської області зменшилося на 112,6 тис. осіб, що становить 7,5%.

Загальна захворюваність населення оцінюється за показниками поширення хвороб та первинної захворюваності. Тенденція уперше зареєстрованих випадків захворювання населення Полтавської області носить мінливий характер, так з 2011 р. по 2013 р. спостерігається зниження поширеності хвороб серед населення та зниження рівнів первинної захворюваності, а далі відбуваються коливання – спади рівня захворюваності чергуються з його підвищенням (рис. 2).

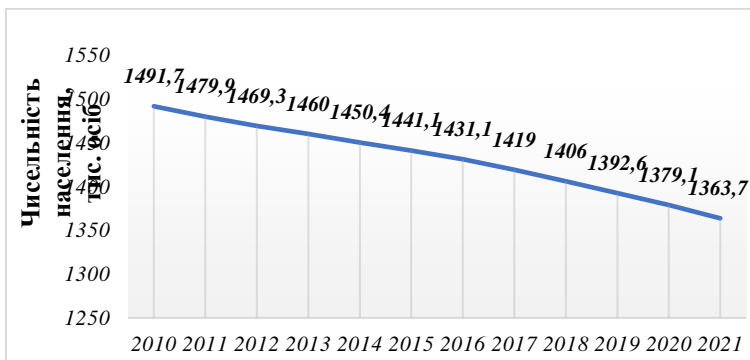


Рис. 1. Динаміка зміни чисельності постійного населення Полтавської області 2010-2021 рр.

Найбільшу частку серед уперше зареєстрованих хвороб становлять хвороби органів дихання, що свідчить про особливе значення стану атмосферного повітря на здоров'я населення. Також до хвороб, частота випадків яких безпосередньо залежить від стану навколишнього середовища і мають достатньо високий рівень захворювань слід віднести: хвороби системи кровообігу, сечостатевої системи, шкіри та підшкірної клітковини й травми, отруєння та деякі інші наслідки дії зовнішніх причин. Що також підтверджують дані аналізу структури госпіталізацій та надання допомоги за відділеннями (рис. 3).

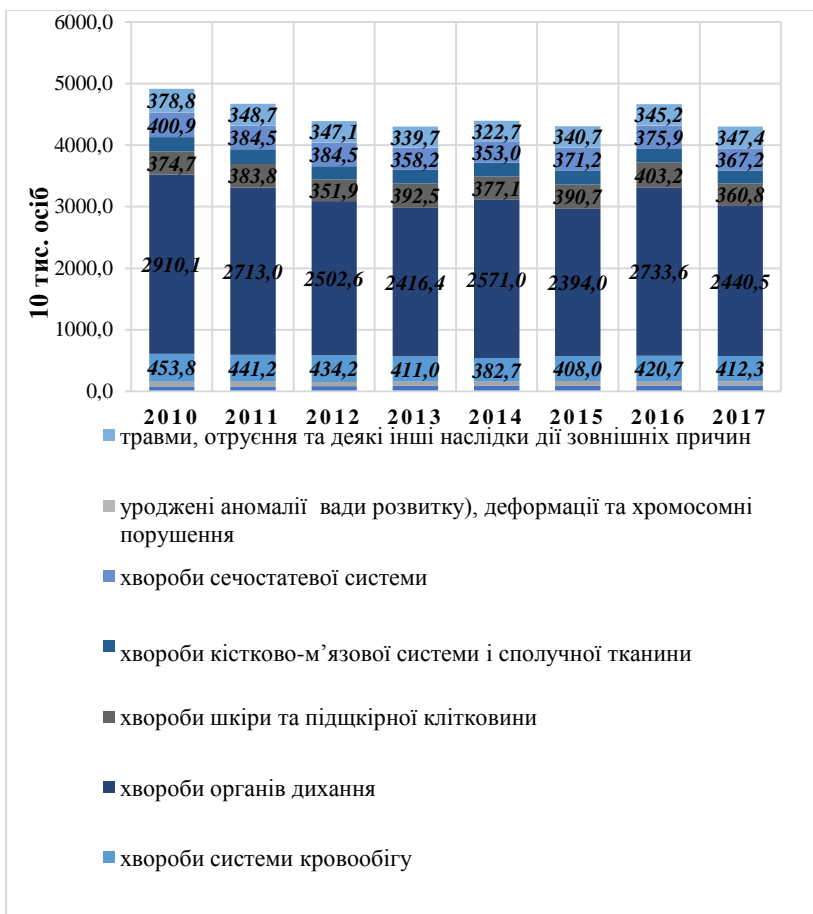


Рис. 2. Динаміка вперше зареєстрованих випадків захворювань у Полтавській області 2010-2017 рр.

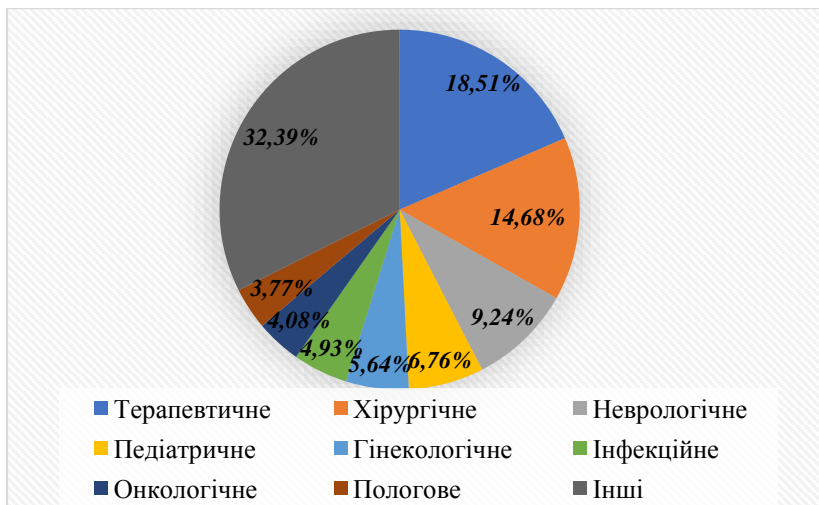


Рис. 3. Аналіз структури госпіталізацій та надання допомоги за відділеннями у Полтавській області 2017-2019 рр.

<http://uoz.gov.ua/%d0%b0%d0%bd%d0%b0%d0%bb%d1%96%d1%82%d0%b8%d1%87%d0%bd%d1%96-%d0%b4%d0%b0%d0%bd%d0%bd%d1%96-%d0%be%d1%85%d0%be%d1%80%d0%be%d0%bd%d0%b8-%d0%b7%d0%b4%d0%be%d1%80%d0%be%d0%b2%d1%8f/7-%d0%b7%d0%b0%d0%b3%d0%b0%d0%bb%d1%8c%d0%bd%d0%b0-%d0%b0%d0%bd%d0%b0%d0%bb%d1%96%d1%82%d0%b8%d0%ba%d0%b0-%d0%be%d0%b1%d0%bb%d0%b0%d1%81%d0%bd%d0%be%d1%97-%d1%96%d0%bd%d1%84%d0%be%d1%80%d0%bc%d0%b0/7-2-%d0%ba%d0%be%d0%bc%d0%bf%d0%bb%d0%b5%d0%ba%d1%81%d0%bd%d0%b8%d0%b9-%d0%b0%d0%bd%d0%b0%d0%bb%d1%96%d0%b7-%d1%81%d1%82%d1%80%d1%83%d0%ba%d1%82%d1%83%d1%80%d0%b8-%d0%b3%d0%be%d1%81%d0%bf%d1%96%d1%82/>

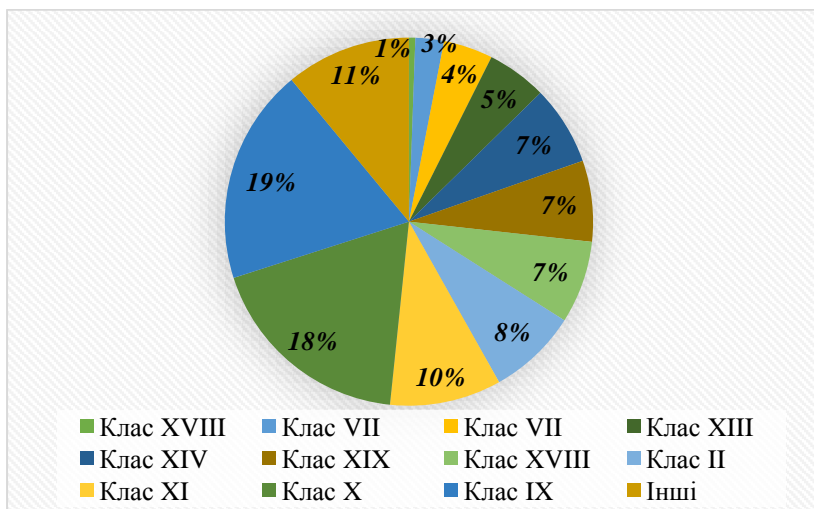
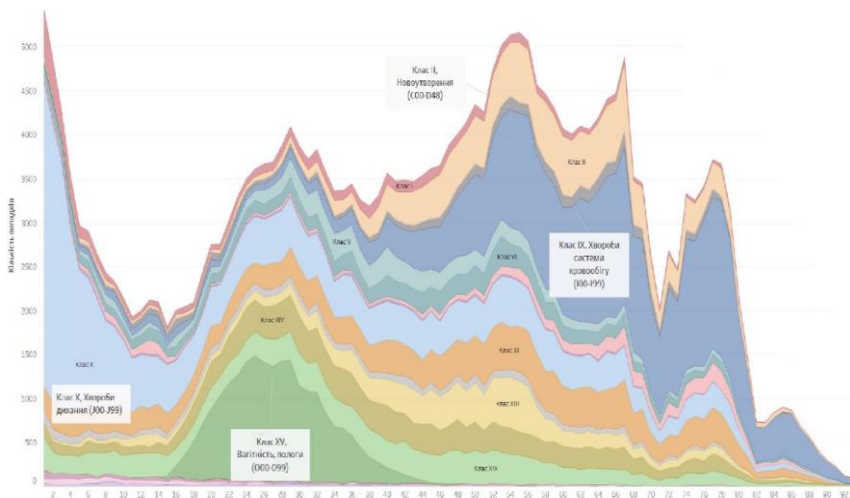


Рис. 4-5. Графічне представлення загальної структури госпітальної захворюваності населення за класами МКХ-10* та віком Полтавської області та відповідної структури госпіталізації 2017-2019 рр.

<http://uoz.gov.ua/%d0%b0%d0%bd%d0%b0%d0%bb%d1%96%d1%82%d0%b8%d1%87%d0%bd%d1%96-%d0%b4%d0%b0%d0%bd%d0%bd%d1%96->

[http://uoz.gov.ua/%d0%b0%d0%bd%d0%b0%d0%bb%d1%96%d1%82%d0%b8%d1%87%d0%bd%d1%96-%d0%b4%d0%b0%d0%bd%d0%bd%d1%96-%d0%be%d1%85%d0%be%d1%80%d0%be%d0%bd%d0%b8-%d0%b7%d0%b4%d0%be%d1%80%d0%be%d0%b2%d1%8f/7-%d0%b7%d0%b0%d0%b3%d0%b0%d0%bb%d1%8c%d0%bd%d0%b0-%d0%b0%d0%bd%d0%b0%d0%bb%d1%96%d1%82%d0%b8%d0%ba%d0%b0-%d0%be%d0%b1%d0%bb%d0%b0%d1%81%d0%bd%d0%be%d1%97-%d1%96%d0%bd%d1%84%d0%be%d1%80%d0%bc%d0%b0/7-9-%d0%b0%d0%bd%d0%b0%d0%bb%d1%96%d1%82%d0%b8%d0%ba%d0%b0-%d0%be%d0%b1%d0%bb%d0%b0%d1%81%d0%bd%d0%be%d1%97-%d1%96%d0%bd%d1%84%d0%be%d1%80%d0%bc%d0%b0/d1%86%d1%96%d0%b9%d0%bd%d0%be%d1%97-%d1%81%d0%b8/](http://uoz.gov.ua/%d0%b0%d0%bd%d0%b0%d0%bb%d1%96%d1%82%d0%b8%d0%ba%d0%b0-%d0%be%d0%b1%d0%bb%d0%b0%d1%81%d0%bd%d0%be%d1%97-%d1%96%d0%bd%d1%84%d0%be%d1%80%d0%bc%d0%b0/7-9-%d0%b0%d0%bd%d0%b0%d0%bb%d1%96%d1%82%d0%b8%d0%ba%d0%b0-%d0%be%d0%b1%d0%bb%d0%b0%d1%81%d0%bd%d0%be%d1%97-%d1%96%d0%bd%d1%84%d0%be%d1%80%d0%bc%d0%b0/d1%86%d1%96%d0%b9%d0%bd%d0%be%d1%97-%d1%81%d0%b8/)

**Примітка до рисунку 1.4-1.5 МКХ-10 (ICD-10) є загальноприйнятою класифікацією для кодування медичних захворювань, розробленою ВООЗ. Введена в дію у 1993р. Складається з 21-го розділу, кожен з яких містить підрозділи з кодами хвороб і станів.*

КЛАС II Новоутворення (C00-D48)

КЛАС VI Хвороби нервової системи (G00-G99)

КЛАС VII Хвороби ока та придаткового апарата (H00-H59)

КЛАС IX Хвороби системи кровообігу (I00-I99)

КЛАС X Хвороби органів дихання (J00-J99)

КЛАС XI Хвороби органів травлення (K00-K93)

КЛАС XIII Хвороби кістково-м'язової системи та сполучної тканини (M00-M99)

КЛАС XIV Хвороби сечостатевої системи (N00-N99)

КЛАС XV Вагітність, пологи та післяпологовий період (O00-O99)

КЛАС XVIII Симптоми, ознаки та відхилення від норми, виявлені при клінічних та лабораторних дослідженнях, не класифіковані в інших рубриках (R00-R99)

Як видно з діаграм (рис. 4-5), у період 2017-2019 рр. найбільшу кількість складають хвороби системи кровообігу, органів дихання, травлення та новоутворення.

Головними причинами смертності населення у Полтавській області залишаються хвороби системи кровообігу (70,5% від загальної кількості померлих), новоутворення (14,3%) та зовнішні причини смерті (4,6%) (рис. 6).

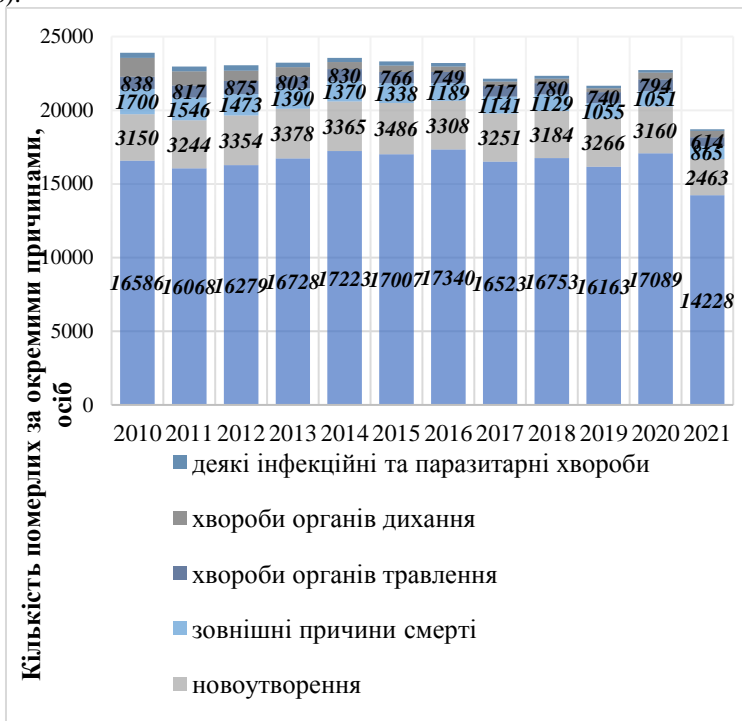


Рис. 6 Динаміка кількості померлих за окремими хворобами у Полтавській області 2010-2021* рр.

*Данні за 2021 р. вказані станом на кінець жовтня 2021 р.

За даними Департаменту охорони здоров'я Полтавської обласної державної адміністрації в 2019 році показники захворюваності дещо зменшилися: хвороби системи кровообігу з 484,0 на 10 тис. дорослого населення у 2018 році до 406,0 у 2019 р., в тому числі на ішемічну хворобу серця – з 115,2 на 10тис. населення до 90,6, на стенокардію – з 47,3 до 32,6, цереброваскулярні хвороби з гіпертонічною хворобою – з 46,7 до 45,8, гіпертонічну хворобу – з 198,0 до 164,1 на 10тис. населення. Як наслідок зменшилася смертність від хвороб системи кровообігу з 1190,6 (2018 р.) до 1165,3 на 100 тис. населення у 2019 році. Також відмічене зниження рівня смертності від злоякісних новоутворень з 198,7 на 100 тис. населення

(2018 р.) до 196,5 у 2019 р.; летальність первинних онкохворих до одного року зменшилася з 30,4% у 2018 р. до 24,9 у 2019 році.

Упродовж останніх років проводиться робота щодо здійснення соціально-гігієнічного моніторингу забруднення атмосферного повітря в стаціонарних точках на території житлової забудови, на межі санітарно-захисних зон промислових об'єктів, у зонах відпочинку населення та автошляхах з інтенсивним рухом транспорту.

При цьому у 2019 році проведено дослідження 11938 проб атмосферного повітря, з них 4945 проб – у містах та 6993 проби – у сільських поселеннях. Перевищення гранично-допустимої концентрації зафіксовані у 0,2% проб. За даними Головного управління статистики у Полтавській області основними забруднювачами атмосферного повітря від стаціонарних джерел в області є промислові підприємства добувної (40,6%), в тому числі добування нафти сирової та природного газу (17,7%), добування металевих руд (22,5%); переробної (32,2%), в т.ч. нафтопереробної (23,2%) промисловості; постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря (1,0%); транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність – 16,5 % (Статистичний збірник «Викиди забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднень за 2019 рік»).

Найбільші обсяги викидів характерні для районів з розвинутою нафтогазовою сферою – Лохвицький, Гадяцький, Зіньківський, Решетилівський, Шишацький, Диканський та Лубенський, а також промислових міст – Кременчук та Горішні Плавні (колишнє місто Комсомольськ).

Як свідчать лабораторні дослідження, забруднення приземного шару атмосфери в населених пунктах області здебільшого створюють – пил, оксид вуглецю, діоксид азоту, діоксид сірки. Місця видалення відходів, зважаючи на їх велику кількість у Полтавській області, є одними з основних джерел потрапляння забруднюючих та небезпечних речовин у навколишнє середовище. До складу емісій забруднюючих речовин, що надходять в атмосферне повітря від площинних джерел - полігонів й звалищ ТПВ, належать такі мікрокомпоненти як пил, сірчистий ангідрид, формальдегід, оксиди вуглецю, альдегіди та органічні кислоти, які є джерелами неприємних запахів, а також фіксуються сліди HF і діоксинів, толуол, аміак, ксилол.

Але на сьогодні при відсутності достатніх даних моніторингу стану довкілля в районах розташування полігонів й звалищ ТПВ, можна лише констатувати той факт, що ризик для здоров'я населення від таких площинних джерел як полігони й звалища ТПВ має опосередкований і пролонгований характер за причини постійних емісій забруднюючих та

небезпечних речовин у довкілля (в атмосферне повітря, ґрунтове середовище та водні об'єкти).

Тому головною метою розроблення Регіонального плану управління відходами у Полтавській області до 2030 року стало створення та забезпечення ефективного функціонування системи управління відходами у Полтавській області на інноваційних засадах, впровадження стратегічного планування, що передбачає виконання ряду заходів, спрямованих на реформування та удосконалення системи управління відходами у Полтавській області та її окремих територіальних громадах і населених пунктах, вибір оптимальної системи поводження з відходами та практичні заходи, що необхідні для її впровадження.

Заплановані Планом об'єкти оброблення та перероблення побутових відходів (сортувально-переробні комплекси, сортувальні станції та перевантажувальні станції, площадки компостування тощо) є також потенційними джерелами емісій забруднюючих речовин у довкілля й відповідно потенційного негативного впливу на здоров'я населення.

За результатами вищенаведеної інформації можна зробити висновки, що наразі спостерігаються тенденції щодо погіршення стану довкілля, однією з причин чого є неефективне функціонування сфери поводження з відходами.

Відповідно у ситуації, якщо проект Регіонального плану управління відходами у Полтавській області до 2030 року не буде упроваджено, то проблеми, пов'язані з управлінням відходами в області, не будуть мати необхідного базису для їх вирішення, відповідно негативно впливати на інші сфери діяльності та формувати низку додаткових проблемних питань:

1. Відсутність облаштування систем захисту підземних вод, атмосферного повітря, ґрунтового середовища у відповідності до вимог чинного законодавства, відсутність методики проведення оцінки ризику на довкілля і здоров'я населення призведуть до негативний впливу на дихальну, серцево-судинну, нервову системи людини, кишково-шлунковий тракт, підвищеного ризику виникнення інфекційних хвороб і погіршення умов життєдіяльності населення.

2. Відсутність інфраструктури вилучення небезпечних компонентів створить ризик для здоров'я населення, пов'язаний з високою токсичністю небезпечних речовин, що може провокувати появу онкологічних захворювань, загострення алергічних реакцій, хвороб серцево-судинної та нервової систем, загальне зниження імунітету.

Як захід із мінімізації такого негативного впливу на умови життя та здоров'я людей можна розглядати дотримання встановлених законодавством України розмірів санітарно-захисних зон від житлової

забудови до місць розташування полігонів і звалищ ТПВ та об'єктів оброблення/перероблення відходів.

Таким чином, стан здоров'я населення Полтавської області викликає занепокоєння і потребує постійного моніторингу та впровадження заходів задля покращення стану довкілля. Відповідно важливим є те, що основні завдання Плану спрямовані на зменшення кількості місць видалення відходів, що у свою чергу приведе до зменшення надходження емісій забруднюючих речовин у навколишнє середовище та можливості зниження рівня захворювання населення області.

Зараз Україна знаходиться у стані війни, тому майже неможливо передбачити усі наслідки, що з цим пов'язані. Наразі Полтавська область не зазнала великого руйнівного впливу, за виключенням Кременчуцького району, порівняно з іншими областями України. Проте, вона є прихистком для значної кількості тимчасово переміщених осіб, що у свою чергу корегує стан здоров'я та динаміку захворюваності населення області. Відповідно до Закону України «Про захист інтересів суб'єктів подання звітності та інших документів у період дії воєнного стану або стану війни», органи державної статистики призупиняють оприлюднення статистичної інформації. Тому складно проаналізувати ситуацію, що склалася на території області у даний час, із урахуванням усіх змін.

Наслідки для здоров'я населення під впливом вищезазначених проблем важко підтвердити чи спростувати, оскільки вони мають неспецифічний і часто опосередкований та пролонгований характер. Тому відтермінування Плану призведе до посилення негативних тенденцій щодо рівня захворюваності та смертності населення Полтавської області. У результаті невирішеність даних проблемних питань призведе до ефекту суттєвих сукупних дій, що надалі погіршуватимуть санітарно-епідеміологічну та екологічну ситуацію в Полтавській області.

Використані інформаційні джерела:

1. Україні загрожують спалахи інфекційних хвороб – головний санітарний лікар: веб-сайт. URL: <https://tsn.ua/zdorovyie/aktualnaya-tema/ukrayini-zagrozhuuyut-spalahi-infekciynih-hvorob-golovniy-sanitarniy-likar-2065114.html>

2. Наказ Міністерства охорони здоров'я України «Деякі питання забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення під час ліквідації наслідків збройної агресії Російської Федерації проти України» №597 від 08.04.2022 року.

3. Офіційний сайт Полтавської міської ради та виконавчого комітету: веб-сайт. URL: <https://rada-poltava.gov.ua/people/depohzdor/>

**ВИЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ВИРОБНИЦТВА RDF
ДЛЯ ЗАМІЩЕННЯ ВИКОПНИХ ПАЛИВ
В ЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ**

**EVALUATION OF POTENTIAL OF RDF PRODUCTION TO
SUBSTITUTE FOSSIL FUEL IN ENERGY SECTOR OF UKRAINE**

Гапонич Л. С., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник, **Топал О. І.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділом, **Голенко І. Л.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, **Кобзар С. Г.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інститут теплоенергетичних технологій НАН України

Haponych L.S., Ph.D., senior researcher, leading scientist,
Topal O.I., Ph.D., senior researcher, head of division,
Golenko I.L., Ph.D., senior researcher,
Kobzar S.G., Ph.D., senior researcher, leading scientists
*Institute of Thermal Energy Technology of National Academy of Sciences of
Ukraine, Ukraine*

Анотація. В останні роки в Україні щорічно збирають 11-13 млн. т твердих побутових відходів (ТПВ), 11-12 млн. т із яких вивозять та складають на полігони та сміттєзвалища. Таке неефективне поводження із ТПВ призводить до щорічної втрати значної кількості енергоресурсів та цінних матеріалів, погіршення екологічної ситуації. Водночас, один з основних пріоритетів поводження з ТПВ полягає у їх комплексній переробці – окремому збиранні, сортуванні, механіко-біологічній обробці та виробництві RDF для подальшої утилізації. Використання в енергетиці RDF здатне частково замінити дефіцитні в Україні органічні палива. Визначено обсяги, морфологічний та елементний склад потенційного RDF для України у розрізі міст та областей тощо. Теплоота згоряння необроблених (несортованих) ТПВ становить 5,0-7,5 МДж/кг, осереднена для України – 6,8 МДж/кг. Частка складових ТПВ, яку можна вилучити для виробництва RDF в Україні складає 25-26%. Потенціал щорічного виробництва RDF в Україні складає 2,8-3,2 млн. т. Діапазон теплоти згоряння RDF виготовленого з ТПВ України складає 13-16 МДж/кг, що відповідає 3 та 4 класам якості згідно з ДСТУ EN 15359:2018. При залученні цих палив в енергетику можна отримати щорічно близько 3000-3500 млн кВт·год. теплової енергії. Потенціал заміщення природного газу складає близько 1 млрд м³, вугілля – 2 млн т.

Abstract. During recent years Ukraine collects 11-13 million tons of municipal solid waste (MSW) annually. Among the above MSW 11-12 million tons are disposed and stored in landfills and dumps. Such ineffective usage of MSW leads to the annual loss of a significant amount of energy and valuable materials, while making harm to the environment. Meanwhile, one of the main priorities to manage municipal solid waste is their complex processing – separate collection, sorting, mechanical and biological treatment and production of RDF for further utilization. The use of RDF in energy sector can partially replace Ukraine's gap in fossil fuels. In given work the volumes, morphological and ultimate composition of RDF to be potentially produced in Ukraine are determined related to cities and regions. The heating value of bulk (unsorted) municipal solid waste is found 5.0–7.5 MJ/kg with average value of 6.8 MJ/kg for Ukraine. The share of solid waste components that can be extracted for RDF production in Ukraine is 25-26%. It was evaluated that the potential of annual RDF production in Ukraine could be 2.8-3.2 million tons. It is found that the range of low heating value of RDF made from MSW in Ukraine can be 13-16 MJ/kg, which corresponds to 3 and 4 quality classes according to DSTU EN 15359: 2018. By involving these fuels to the energy sector, it is possible to produce about 3 000-3 500 million kWh thermal energy annually. The potential to substitute natural gas is about 1 billion m³ or coal – 2 million tons.

Сьогодні в енергетиці України гостро повстало питання заміщення викопних палив, переважно вугілля та газу, які є обмеженими під час воєнного стану і, видається, будуть обмеженими у повоєнний час, альтернативними. Серед альтернативних видів палива слід окремо виділити важливу групу твердих видів палива, які отримуються з твердих побутових відходів (ТПВ), зокрема відновлені палива RDF [1]. Виробництво та використання в енергетиці палива з ТПВ здатне частково замінити дефіцитні в Україні органічні палива [2-4].

Тверді побутові відходи (ТПВ) класифікуються як відходи, що збираються муніципалітетами або іншими органами місцевого самоврядування. У більшості випадків вони включають: господарсько-побутові відходи, відходи, що утворюються в садах, дворах і парках, відходи підприємств торгової сфери та громадських установ. Згідно ст. 1 Закону України «Про відходи» від 21.01. 2010 р. побутові відходи – це відходи, що утворюються в процесі життя і діяльності людини в житлових та нежитлових будинках і не використовуються за місцем їх накопичення.

Обсяги збирання ТПВ в останні роки в Україні сягають 11-13 млн. т (див. табл. 1, узагальнені дані Міністерства регіонального розвитку,

будівництва та житлово-комунального господарства України та Державної служби статистики України]).

Таблиця 1. Поводження з ТПВ в Україні в 2016-2020 рр.

Рік	Обсяги збирання	Пункти вторинної сировини		Сміттєпереробні підприємства та ділянки компостування		Сміттєспалювальні установки		Полігони	
	тис. т	тис. т	%	тис. т	%	тис. т	%	тис. т	%
2016	11562,6	226,6	1,1	145,4	1,3	256,7	2,2	11033,9	95,4
2017	11271,2	146,2	1,3	269,9	2,4	246,7	2,2	10617,4	94,1
2018	11857,2	146,5	1,2	261,7	2,2	208,1	1,8	11240,9	94,8
2019	11459,4	128,6	1,1	305,9	2,7	199,2	1,7	10827,1	94,5
2020	12634,9	118,7	0,9	336,5	2,7	181,3	1,4	11992,2	94,9

Якщо у 2000 р. в Україні в середньому утворювалося 180 кг ТПВ на особу, то у 2020 р. цей показник перевищив 300 кг, це при тому, що тільки 77-78% населення України охоплено послугами з вивезення побутових відходів.

У 2020 р. в Україні було перероблено і утилізовано всього 5% ТПВ. Майже 95% зібраних і не оброблених ТПВ в Україні вивозять та складають на полігонах, а це 11–2 млн. т щорічно. Для порівняння, за даними Євростату в 2020 р. 28 країнами ЄС (447 млн осіб) було утворено 225,7 млн. т ТПВ, 98% цих відходів піддалися обробці. На полігони було видалено 51,6 млн. т відсортованих відходів, або 22,85% від загальної кількості ТПВ.

На початку 2021 р. в Україні налічувалося 6045 полігонів, із них 261 (4,3% від загальної кількості) вже були перевантажені, а 868 (14%) не відповідали умовам безпеки. Загальна площа полігонів та звалищ складала 8761 га, площа полігонів, що не відповідає умовам безпеки – 1505 га. Кількість полігонів (звалищ), які не діють – 355, їх загальна площа сягає 638 га. За даними Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 р. більше 99% функціонуючих полігонів не відповідають європейським вимогам – Директиві № 1999/31/ЄС про захоронення відходів. Відтак, «формально безпечних полігонів» в Україні близько 64,2%. Крім того, щороку утворюється близько 20 тис. несанкціонованих сміттєзвалищ. За даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, у 2020 р. утворилося 22630 таких сміттєзвалищ загальною площею 557 га. Орієнтовні обсяги вивезення ТПВ на несанкціоновані сміттєзвалища у 2020 р. досягли 15-22 млн. т.

Станом на кінець 2020 р. на 26 полігонах України влаштовано системи вилучення біогазу та експлуатуються установки для виробництва електроенергії, потужність яких досягла 30 МВт. Кількість утилізованого біогазу у 2020 р. склала 64.0 млн м³ (з них 50% метане). Кількість виробленої на біогазі електроенергії у 2020 році склала 112.3 ГВт·год. В Україні працює тільки один сміттєспалювальний завод «Енергія» в м. Київ. Максимальна проектна потужність заводу становить 350 тис. т ТПВ на рік за умови спалювання відходів з теплою згоряння 10 МДж/кг. При спалюванні відходів з теплою згоряння 5,7 Мдж/кг (наявною в м. Київ за нашими розрахунками [5]) потужність заводу знижується до 200 тис. т на рік. Окрім заводу «Енергія» ще експлуатується сміттєспалювальна установка в м. Люботин Харківської області та дві мобільні сміттєспалювальні установки в м. Харкові.

Таке поводження з ТПВ призводить до щорічної втрати значної кількості енергоресурсів та цінних матеріалів, які містяться у відходах, їхня відокремлена частина, що містить органічну складову, має використовуватись для виробництва електричної та теплової енергії в екологічно безпечній спосіб. Згідно Закону України «Про Основні засади (Стратегію) екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.03.2019 розв'язання цієї проблеми є ключовим завданням у вирішенні питань енерго- та ресурснезалежності держави.

Крім того, у 2020 р. було утворено 1,5 тис. т ТПВ 1-3 класів небезпечності, тільки 0,5 тис. т із них утилізовано. Згідно Закону України «Про відходи» небезпечні відходи у складі побутових відходів мають збиратися окремо від інших видів ТПВ, а також відокремлюватися на етапі збирання чи сортування та передаватися спеціалізованим підприємствам, що одержали ліцензії на здійснення операцій у сфері поводження з небезпечними відходами. В Україні кадмій (Cd), ртуть (Hg), талій (Tl) та їх сполуки згідно Наказу Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 27.06.2006 №309 «Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел» належать до I класу небезпеки.

Ще одна з проблем, пов'язаних із складуванням ТПВ на полігонах – біохімічне розкладання з утворенням звалищного газу, компонентами якого є парникові гази CH₄ та CO₂ [4, 6]. Згідно з Міжурядовою групою експертів з питань зміни, викиди з сміттєзвалищ становлять 18% від загального обсягу викидів метану в атмосферу, що в останні роки становить до 70 млн. т щорічно. В Україні викиди CH₄ з полігонів ТПВ в останні роки складають 300-330 тис. т. Накопичення CH₄ у товщі полігону може призвести до самозаймання ТПВ. Некероване горіння супроводжується утворенням токсичних речовин, зокрема діоксинів.

Термічна обробка – це високотемпературні хімічні процеси, під час яких органічні речовини розщеплюються з утворенням інших з більш простим хімічним складом. Основною метою будь-якої термічної обробки є перетворення відходів з утворенням речовин, які мають менший вплив на навколишнє середовище та здоров'я людей, і, як наслідок, зменшення кількості та обсягів речовин, які підлягають остаточній утилізації, водночас отримання відновлення енергетичного вмісту матеріалу. Для різних видів відходів застосовуються різні види термічної обробки.

На сьогодні в світі широко застосовують три види термічної обробки відходів [1, 7, 8]: інсінерація (найбільш поширений процес); піроліз – термічна деструкція органічного матеріалу при відсутності кисню; газифікація – часткове окислення. Інсінерація – це спалювання відходів або палива з ТПВ у контрольованому процесі на установках спалювання відходів. Інсінератор – це установка для утилізації різних типів відходів (в тому числі палив з ТПВ) шляхом високотемпературного контрольованого спалювання з подальшим очищенням димових газів. Температура в цих установках спалювання коливається від 800 до 1450 °С [1]. Гранічним значенням теплоти згоряння ТПВ для комерційної інсінерації є величина 6 МДж/кг. Інсінерація дозволяє суттєво зменшити об'єм (на 90%) та масу (на 75%) ТПВ [1, 8]. Інсінерація дозволяє вловлювати шкідливі речовини, які утворюються при спалюванні ТПВ, та/або зменшувати їх викид.

При термічній переробці ТПВ утворюється енергія, яка може бути використана для виробництва електроенергії та теплоти. Використання технології «Відходи в Енергію» («Waste-to-Energy» або WtoE) є одним з найбільш надійних та ефективних шляхів економії органічного палива та зменшення викидів парникових газів. Термін WtoE включає не тільки інсінерацію змішанного потоку ТПВ, а й отримання відновлюваного палива з побутових та/або промислових відходів – RDF (Refuse Derived Fuel), SRF (Solid Recovered Fuel) та біогазу із подальшою їх утилізацією на ТЕС, ТЕЦ або на цементних заводах [1, 4, 8–10]. Refuse – в англійській мові це загальний термін для визначення твердих побутових та комерційних або промислових відходів. Термін RDF зазвичай відноситься до відокремленої висококалорійної фракції перероблених ТПВ.

Розроблено дві технології для відокремлення висококалорійної фракції ТПВ, яку можна використовувати як RDF/SRF: механіко-біологічне оброблення (МБО) ТПВ із отриманням RDF/SRF палив та/або біогазу і суха стабілізація [1, 10–13]. МБО відходів об'єднує механічні (роздільне збирання, сортування за допомогою сит, барабанів, магнітів і ін., змішування, сушіння, подрібнення, пресування, гранулювання) і біологічні методи. Такі сировини як папір, скло, пластик і метал ідуть на переробку. Фракції ТПВ, що біологічно розкладаються, можуть бути відправлені на

компостування і анаеробне зброджування. Всі інші фракції, а це близько третини ТПВ, є сировиною для твердого відновленого палива – RDF/SRF. При використанні технології сухої стабілізації залишкові відходи (без інертів та металів) піддаються біологічній обробці: ефективно підсушуються і стабілізуються за допомогою процесу компостування. При цьому утворюється паливо з високою теплою згорання. Цей процес, розроблений у Німеччині, має торговельну назву «Trockenstabilat». Тобто, RDF – це органічне паливо, отримане при видаленні вторинної сировини та негорючих матеріалів із ТПВ. Якісні характеристики RDF можуть варіюватися.

Тверде відновлюване паливо (Solid Recovered Fuel, SRF) – це тверде паливо, отримане з безпечних відходів, в тому числі твердих побутових, промислових і комерційних відходів, включаючи папір, картон, дерево, текстиль та пластмасу, які можуть будуть використані для відновлення енергії в установках спалювання або спільного спалювання з вугіллям [4]. SRF може піддаватися додатковій обробці для збільшення теплоти згорання. SRF має відповідати вимогам класифікації та специфікації які були розроблені Технічним комітетом CEN/TC 343 «Solid Recovered Fuels» та викладені у Європейському стандарті EN 15359:2011 «Solid recovered fuels – Specifications and classes». Схема класифікації SRF використовує три основні параметри: теплоту згорання, концентрацію Cl і Hg (дивись табл. 2). Стандарт EN 15359:2011 прийнятий в Україні методом підтвердження на мові оригіналу (англійській) – «Тверде відновлювальне паливо. Технічні характеристики та класи (EN 15359:2011, IDT)».

Таблиця 2. Класифікація SRF згідно з ДСТУ EN 15359:2018

Класифікаційний параметр	Класи				
	1	2	3	4	5
Теплота згорання (Q_i), МДж/кг	$\geq 25,0$	$\geq 20,0$	$\geq 15,0$	$\geq 10,0$	$\geq 3,0$
Хлор (Cl), % (на суху масу, d)	$\leq 0,2$	$\leq 0,6$	$\leq 1,0$	$\leq 1,5$	$\leq 3,0$
Ртуть (Hg), мг/МДж	$\leq 0,02$	$\leq 0,03$	$\leq 0,08$	$\leq 0,15$	$\leq 0,50$

У залежності від складу ТПВ і технології виробництва може бути отримано RDF/SRF з різною теплою згорання (3-25 МДж/кг) та виду – у вигляді порошку або гранул різного розміру і густини. Кількість RDF/SRF, що виробляється з ТПВ, може змінюватись від 25 до 55% (за масою) залежно від країни, типу збирання, методів обробки та вимог до якості [1, 10]. Перевагами цього підходу до переробки ТПВ є те, що відходи перетворюються на товарну продукцію, яка може накопичуватись, складуватись, транспортуватись.

Виробництво і споживання RDF/SRF палив в світі щорічно збільшується [1, 3, 9, 10, 13, 14]. У США працює 12 заводів WtoE, які мають потужність від 360 до 3000 т RDF на добу і загалом обробляють близько 6 млн т щорічно (20% від потужності США) [13]. У країнах ЄС у 2015 р. близько 13,5 млн. т, а у 2017 р. вже близько 17,5 млн. т. RDF/SRF утилізовано на заводах WtoE, при спільному спалюванні з вугіллям при виробництві цементу та на ТЕС і ТЕЦ, як комунальних та промислових [10]. Виробництво і споживання RDF/SRF найбільш розвинуто в Німеччині, Італії, Австрії, Великій Британії. У 2009 р. у Німеччині у 2005 р. було вироблено 1.8 млн т, а у 2009 р. – 7,2 млн. т RDF/SRF, причому 68% з них було спалено на заводах WtoE: 45% за технологією спалювання на решітці, 23% за технологією киплячого шару [3]. У Польщі щорічно виробляється близько 4 млн. т RDF. В Італії, у 2019 р. на заводах інсінерації муніципальних відходів було спожито 5,7 млн т RDF, 0,75 млн т SRF 3 класу та 0,65 млн. т SRF 4 класу [14]. Класифікація SRF вказана згідно EN 15359:2011 (дивись табл. 2). Треба зазначити, що щорічний потенційний попит на RDF/SRF в Європі складає 53-63 млн. т. В країнах ЄС на заводах WtoE споживаються RDF/SRF із теплою згоряння 6,4-17,0 МДж/кг, при цьому середнє значення теплоти згоряння складає – 10,3 МДж/кг [1, 10].

Для спалювання ТПВ та RDF/SRF застосовують такі технології: спалювання на решітках, включаючи зворотньо-поступальну решітку, рухому решітку, ланцюгову решітку, решітку, що охолоджується водою, обертові печі та спалювання в різних модифікаціях киплячого шару [1, 7, 12]. У Європі і світі близько 90% заводів WtoE для спалювання оброблених ТПВ та RDF/SRF широко використовують технології спалювання на рухомих решітках [1, 13]. Технологія киплячого шару потребує певного діапазону розмірів частинок ТПВ. Це можна досягти роздільним збиранням відходів та/або застосуванням попередньої обробки, тому саме інсінератори з киплячим шаром переважно застосовуються для спалювання RDF/SRF.

Світовими лідерами в сфері WtoE є фірми Babcock & Wilcox (із 1939 р. побудовано більше 500 заводів у 30 країнах), Hitachi Zosen Corporation (із 1934 р. 458 заводів, у т. ч. 197 заводів у Європі та 195 в Японії), Mitsubishi Heavy Industries Environmental & Chemical Engineering Co., Ltd (більше 200 заводів фз 1964 р.) та Takuma CO., Ltd. (більше 350 заводів фз 1963 р.).

Треба зазначити, що найбільшу ефективність відновлення енергії досягають ті установки WtoE, які виробляють теплоту. В роботі [15] за результатами аналізу техніко-економічних показників роботи 314 установок WtoE в країнах ЄС встановлено, що середні витрати RDF/SRF (в одиницях умовного палива (у.п.)) на виробництво 1 кВт-год. енергії на установках, що виробляють теплоту, становлять 435 г у.п./кВт-год. (теплових), при

сумісному виробництві теплової та електроенергії – 647г у.п./кВт-год., при виробництві електроенергії – 1424 г у.п./кВт-год. 90% теплоти, яке споживає населення у Копенгагені, отримується за рахунок спалювання RDF або відсортованих ТПВ, 85% – у Вільнюсі, 80% – у Стокгольмі, 60% – у Парижі.

В Україні виробництво RDF/SRF знаходиться на стадії проектування та будівництва. Так у м. Житомир у березні 2022 р. планувалося закінчення будівельно-монтажних робіт на сміттєпереробному заводі потужністю 40 тис. т RDF. Проектом передбачено глибину переробки ТПВ з використанням технології МБО на рівні 90%. Подібні проекти почали реалізуватися у різних містах України – Львові, Хмельницькому, Кам’яниці-Подільському та інших.

ТПВ та RDF/SRF є найбільш доступними і одними з найбільш економічно доцільних поновлюваних джерел енергії, що використовується в тепловій енергетиці. Так, вартість електроенергії на СЕС коливається від 230 до 550 Євро/МВт-год., ВЕС – від 70 до 300 Євро/МВт-год., ТЕС на біомасі – від 50 до 300 Євро/МВт-год., геотермальні ТЕС – від 100 до 200 Євро/МВт-год., а ТЕС на ТПВ – від 25 до 80 Євро/МВт-год. [16]. Крім того, при споживанні ТПВ вирішується важлива соціальна задача – утилізація відходів. Однак затрати на будівництво заводів WtoE на порядок вищі за будівництво ТЕС на вугіллі.

Треба підкреслити, що термічна утилізація відходів, яка відбувається без урахування особливостей їх морфологічного та елементного складу може призводити до утворення вкрай небезпечних для людини сполук [1, 17, 18]. Залучення RDF у енергетику має відбуватись із забезпеченням їх термічної переробки в екологічно безпечний спосіб відповідно до вимог Директиви №2010/75/ЄС про промислові викиди, виконання якої є обов’язковим в рамках підписаної Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом.

Крім того, в останні роки збільшилася кількість досліджень, присвячених розробці технологій спільного спалювання RDF з іншими паливами, в тому числі з природним газом та вугілля на ТЕС та ТЕЦ [16, 19]. Такі роботи щодо українського RDF також потребують інформації щодо його теплоти згорання, морфологічного та елементного складу. Враховуючи вищезазначене, метою роботи було визначення обсягів, теплоти згорання, морфологічного та елементного складу RDF з урахуванням умов його формування в Україні.

Ключовими характеристиками відходів є морфологічний, хімічний, фракційний склад та теплота згорання. Ці характеристики ТПВ не є постійними, вони залежать від країни, регіону, міста чи селища їх утворення, сезону утворення. ТПВ – це механічна суміш різних за походженням та характеристиками компонентів, тому її склад є випадковим, оскільки до ТПВ можуть потрапляти різноманітні предмети та матеріали, але, разом з тим,

він є прогнозованим за основними компонентами.

Морфологічний склад ТПВ – це структура його складових, яка виражена в процентах за масою. Міністерством з питань житлово-комунального господарства України затверджено Методичні рекомендації морфологічного складу твердих побутових відходів (Наказ №39 від 16.02.2020 р.). Згідно цього документу морфологічний склад ТПВ рекомендується визначати за наступною класифікацією: харчові відходи (овочі, фрукти, відходи садівництва тощо); папір та картон; полімери (пластик, пластмаси); скло; чорні та кольорові метали; текстиль; деревина; шкіра, гума; небезпечні відходи (батареї, сухі та електролітичні акумулятори, тара від розчинників, фарб, ртутні лампи, телевізійні кінескопи тощо); кістки, залишок твердих побутових відходів після вилучення компонентів (дрібне будівельне сміття, каміння, вуличний змет тощо).

Встановлено, що усереднений морфологічний склад ТПВ України наступний: харчові відходи – 38%, папір та картон – 15%, полімери (пластмаса, ПЕТФ пляшки, полімерна плівка, ТетраПак упаковка) – 13%, скло – 10%, чорні та кольорові метали – 1 %, текстиль – 6%, деревина – 1%, шкіра, гума – 1%, будівельне сміття – 5%, інші відходи (вуличний зм'ят, листя, гігієнічні засоби, кістки, комбіновані відходи, небезпечні відходи тощо) – 10% [5, 16]. Для великих міст України харчові відходи складають від 30 до 45%, папір та картон – від 5 до 24%, полімери – від 8 до 20%, скло – від 4 до 16%, чорні та кольорові метали від 0,5 до 5%, текстиль – від 2 до 13%, деревина – від 0,1 до 4%, шкіра, гума від 0,5 до 5%; дрібні будівельні відходи – від 0,3 до 3,5%; вуличний зм'ят, листя – від 0 до 6%; гігієнічні засоби – від 2,3 до 3,5%; комбіновані відходи – від 0,4 до 1%; небезпечні відходи – від 0,1 до 0,5%, інше від 2 до 30% [16, 20].

Фракційний склад ТПВ – це частка відходів певного розміру. Вміст різних фракцій коливається і суттєво залежить від країни, сезону, кліматичної зони та ін. У роботі [21] показано, що близько 2% від загальної маси ТПВ складають фракції розміром більше 350 мм. Це великогабаритні відходи, а саме побутова техніка, меблі, куски будівельних конструкцій. Близько 90% ТПВ має фракції менше 250 мм, 85% – менше 150 мм, менше 10% – 250-350 мм, 2% – фракції розміром більше 350 мм. Для ТПВ м. Київ спостерігається близький розподіл по фракціях: 88% ТПВ має фракції до 250 мм, 84% – до 150 мм, 10% – 250-350 мм, 2% – більше 350 мм [20].

Встановлено, що теплота згоряння необроблених (несортованих) ТПВ становить для різних областей України 5,0-7,5 МДж/кг, для різних міст України 5,5-7,5 МДж/кг, осереднені для України – 6,8 МДж/кг. Для порівняння, теплота згоряння ТПВ країн ЄС становить 6,5-15 МДж/кг, Японії 7,4 МДж/кг, а Канади та США 9,0-9,3 МДж/кг. Теплота згоряння

полімерних складових може коливатися в межах 17-40 МДж/кг [1, 10, 14].

На рис. 1 для різних регіонів та міст України показано кількісний показник частки ТПВ придатних для виробництва RDF – відокремленої фракції перероблених ТПВ, яка включає полімери, папір, картон, деревину та текстиль. Кількісний показник таких залишків для різних регіонів України складає 23,0–42,0% від загальної кількості ТПВ. У середньому для України частка складових ТПВ придатних для RDF складає 28%.

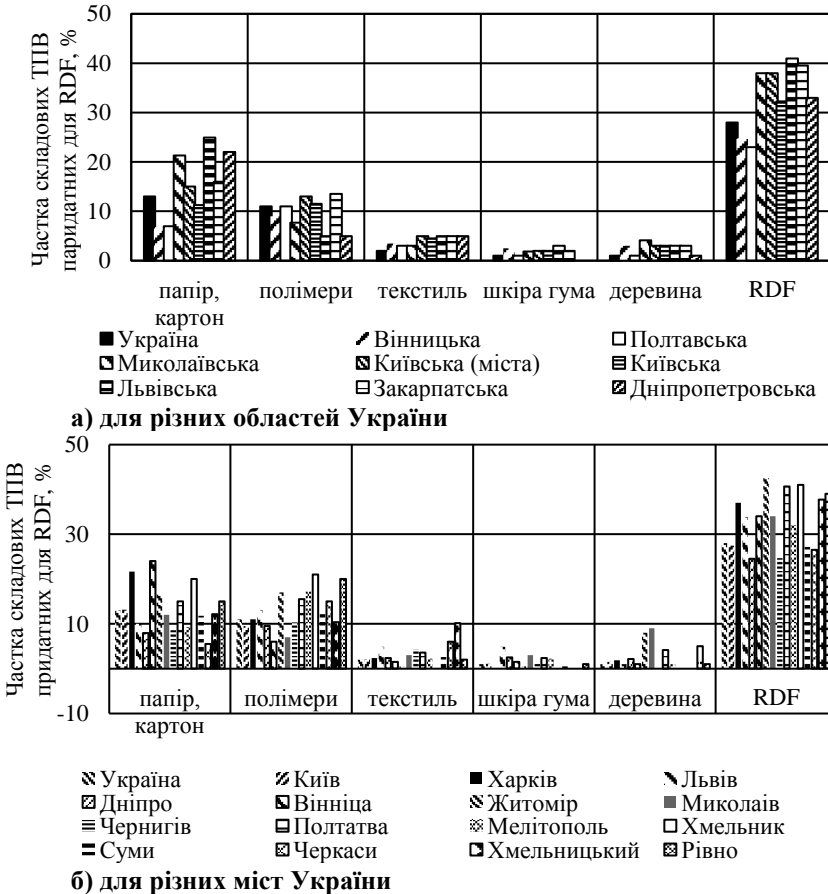


Рис.1. Частки складових ТПВ придатних для виробництва RDF

Треба зазначити, що в останні 5 років в Україні на пункти вторинної сировини та сміттєпереробні підприємства потрапляє 2,3–3,7% від загальної кількості зібраних ТПВ (дивись табл. 1), з них близько 80% (в середньому 2,8% від загальної кількості ТПВ, [20]) припадає на папір, картон, деревину, полімери. З урахуванням цього частка складових ТПВ, яку можна вилучити для виробництва RDF, складає 25-26% (дивись табл. 3).

Таблиця 3. Потенціал виробництва RDF в Україні для 2016-2020 рр.

Рік	Обсяги збирання	Пункти вторинної сировини		Сміттєпереробні підприємства		Частка складових придатних для виробництва RDF		Потенціал виробництва RDF	
	тис. т	%	тис. т	%	тис. т	%	тис. т	%	тис. т
2016	11562,6	1,1	126,6	1,2	143,8	28,0	3237,5	26,2	3029,4
2017	11271,2	1,3	146,2	2,3	259,9	28,0	3155,9	25,1	2829,1
2018	11857,2	1,2	146,5	2,2	260,1	28,0	3320,0	25,3	3000,0
2019	11459,4	1,1	128,6	2,6	303,3	28,0	3208,6	25,0	2864,9
2020	12634,9	0,9	118,7	2,6	336,5	28,0	3537,8	25,2	3184,0

Потенціал виробництва RDF в Україні складає 2,8-3,2 млн. т. Можливий морфологічний склад RDF для різних областей, міст та України в цілому показано на рис. 2.

Встановлено можливий осереднений морфологічний склад RDF для України: папір, картон та інша макулатура – 47,0%; полімери, в тому числі пластик, поліетилен, поліпропілен, синтетичні волокна, багатошарова упаковка та ін. – 39,0%; шкіра, шкірозамінники, шкіряні та гумові вироби – 3,5%; текстиль різних типів – 7,0%; деревина та похідні від неї – 3,5%.

У таблиці 4 наведено елементний склад, вихід легких та теплоту згорання RDF для різних областей, міст та України в цілому. Елементний склад RDF вихід легких ТПВ (V^d , % на суху масу) розраховано за їх морфологічним складом [16, 19] та елементним складом компонентів ТПВ [1, 2, 16, 18, 20]. Елементний склад палива або його компонентів (на робочий стан) це волога W^r , зола A^r , сірка S^r , вуглець C^r , водень H^r , кисень O^r та азот N^r . Нижча теплота згорання на робочий склад палива Q_i^r , МДж/кг, розрахована за формулою Менделєєва:

$$Q_i^r = 4,18(81C^r + 300H^r - 26(O^r - S^r) - 6(9H^r + W^r)) \times 10^{-3}.$$

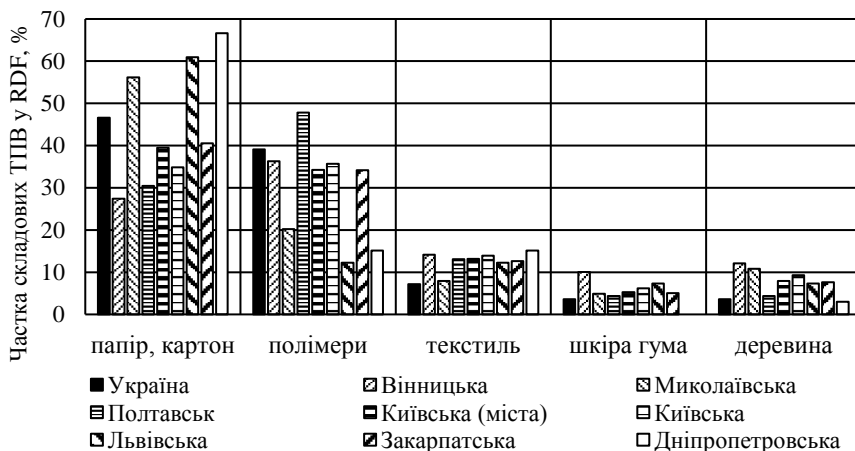


Рис. 2. Можливий морфологічний склад RDF для різних областей та міст України

Окрім елементів, наведених у табл. 4, RDF містить важкі метали та шкідливі речовини. Типовий вміст в RDF цих величин (на суху масу, г) наступний: $Cu^f \leq 0,8\%$, $Pb^f = 130-300$ мг/кг, $Cd^f = 4-9$ мг/кг, $Cu^f = 235-500$ мг/кг, $Hg^f = 0,6-1,2$ мг/кг, $Tl^f = 1-2$ мг/кг, $Mn^f = 150-300$ мг/кг, $V^f = 10-25$ мг/кг, $Ni^f = 50-100$ мг/кг, $Co^f = 8-12$ мг/кг, $As^f = 5-13$ мг/кг, $Cr^f = 85-140$ мг/кг, $Sb^f = 50-150$ мг/кг, $Sn^f = 35-70$ мг/кг.

Діапазон теплоти згорання RDF виготовленого з ТПВ України складає 13,1-15,9 МДж/кг. Це відповідає 3 та 4 класам SRF згідно з ДСТУ EN 15359:2018 (дивись табл. 2). Для збільшення теплоти згорання RDF можна додавати горючі фракції промислових і комерційних відходів.

Таблиця 4. Елементний склад, вихід летких та теплота згорання RDF виготовленого з ТПВ різних областей, міст та України в цілому

Область України	Елементний склад (г), %							V ^d , %	Q ^r , МДж/кг
	C ^r	H ^r	O ^r	N ^r	S ^r	A ^r	W ^r		
Україна	37,6	5,3	34,6	0,4	0,2	10,9	11,0	77,2	14,1
області									
Вінницька	40,4	5,6	30,6	0,7	0,3	10,2	12,2	74,0	15,9
Дніпропетровська міста	39,1	5,3	36,4	0,8	0,2	7,0	11,2	78,0	14,5
	села	37,2	5,3	31,2	0,7	0,3	14,0	11,3	75,6
Закарпатська	38,9	5,4	33,2	0,7	0,2	9,9	11,7	76,0	14,8
Київська (міста)	39,0	5,4	33,1	0,7	0,3	9,8	11,7	75,9	14,9
Київська	39,2	5,5	32,4	0,7	0,3	10,0	11,9	75,5	15,1
Миколаївська	39,4	5,4	34,2	0,5	0,2	7,8	12,5	76,0	14,9
Полтавська	37,7	5,3	33,2	0,7	0,2	11,9	11,0	76,6	14,4
міста									
Вінниця	39,3	5,4	35,7	0,4	0,2	7,9	11,1	77,1	14,7
Дніпро	40,0	5,6	31,2	0,5	0,4	10,8	11,5	74,5	15,7
Житомир	35,5	5,0	34,6	0,2	0,2	10,4	14,1	76,5	13,1
Запоріжжя	39,0	5,3	33,5	1,2	0,1	7,9	13,0	74,9	14,8
Київ	38,1	5,3	34,4	0,5	0,2	10,1	11,4	76,8	14,3
Миколаїв	40,3	5,5	30,9	0,5	0,3	7,3	15,2	73,0	15,6
Мелітополь	37,5	5,4	32,6	0,4	0,3	13,2	10,6	76,2	14,5
Полтава	38,4	5,4	32,9	0,5	0,2	10,5	12,1	75,7	14,7
Рівно	36,0	5,2	34,7	0,4	0,2	12,7	10,8	77,7	13,5
Суми	36,9	5,2	35,1	0,5	0,2	11,7	10,4	78,0	13,8
Харків	37,0	5,1	36,4	0,4	0,2	9,3	78,1	11,6	13,6
Хмельник	34,7	5,0	36,5	0,2	0,2	12,9	79,0	10,5	12,7
Хмельницький	39,0	5,3	33,5	1,2	0,1	7,9	13,0	76,3	14,7
Черкаси	5,2	33,9	33,9	1,0	0,2	12,9	10,2	77,9	13,8
Чернігів	38,8	5,4	33,2	0,8	0,2	11,0	10,5	76,7	14,8

Наші розрахунки показують, що в Україні є в наявності потенціал для щорічного виробництва 2,8-3,2 млн. т RDF з теплою згорання 13-16 МДж/кг, або 1,3-1,6 млн. т у. п. При залученні цих палив в енергетику можна отримати щорічно близько 3000-3500 млн кВт·год. теплової енергії.

Потенціал заміщення природного газу складає близько 1 млрд м³, вугілля – 2 млн. т.

Висновки:

1. Обсяг утворення ТПВ в Україні за останні роки сягає 11-13 млн т. Щорічно 11–12 млн т зібраних і не оброблених ТПВ вивозять та складають на полігонах та сміттєзвалищах. Таке поводження з ТПВ призводить до щорічної втрати значної кількості енергоресурсів та цінних матеріалів, погіршення екологічної ситуації.

2. Основна тенденція в управлінні ТПВ полягає у їх комплексній переробці – окремому збиранні, сортуванні, механіко-біологічній обробці та виробництві RDF. Перевагою цього підходу є перетворення відходів на товарну продукцію, яка може накопичуватись, складуватись, транспортуватись, якісні характеристики якої можуть варіюватися. Виробництво та використання в енергетиці RDF здатне частково замінити дефіцитні в Україні органічні палива при виробництві електроенергії та теплоти з дотриманням вимог ЄС до питань управління відходами.

3. Визначено обсяги, морфологічний та елементний склад потенційного RDF на для України у розрізі міст та областей тощо. Теплота згоряння необроблених (несортованих) ТПВ становить 5,0-7,5 МДж/кг, осереднена для України – 6,8 МДж/кг.

4. Частка складових ТПВ, яку можна вилучити для виробництва RDF в Україні складає 25-26%. Потенціал щорічного виробництва RDF в Україні складає 2,8-3,2 млн. т. Діапазон теплоти згорання RDF виготовленого з ТПВ України складає 13-16 МДж/кг, що відповідає 3 та 4 класам якості згідно з ДСТУ EN 15359:2018. Отримане паливо може піддаватися додатковій обробці для збільшення теплоти згоряння. При залученні цих палив в енергетику можна отримати щорічно близько 3000-3500 млн. кВт·год. теплової енергії. Потенціал заміщення природного газу складає близько 1 млрд. м³, вугілля – 2 млн. т. Крім того, таке поводження з відходами дозволить суттєво зменшити обсяги видалення ТПВ на сміттєзвалища.

Використані інформаційні джерела:

1. Neuwahl F., Cusano G., Gómez Benavides J., Holbrook S. & Roudier S. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). *Publications Office of the European Union, Luxembourg*. 2019. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC118637>.

2. Ramsay M., Hestin M., Thonier G., et al. Towards a better exploitation of the technical potential of waste-to-energy. *European Commission, Joint Research Centre*. 2018. DOI: <https://data.europa.eu/doi/10.2791/870953>

3. Weber K., Quicker P., Hanewinkel J., Flamme S. Status of waste-to-energy in Germany, Part I – Waste treatment facilities. *Waste Management & Research*. 2020. 38 (1): 23-44. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X19894632>.

4. Гапонич Л. С., Голенко І. Л., Топал О. І. Нормативне регулювання, сучасний стан поводження та перспективи енергетичного використання твердих побутових відходів в Україні// Проблеми загальної енергетики. 2019. 58, 45–54. DOI: <https://doi.org/10.15407/pge2019.03.045>.

5. Буляндра О., Гапонич Л., Голенко І., Топал О. Перспективи використання палива з твердих побутових відходів на ТЕЦ цукрових заводів. //Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2020. Т. 26, №3. С. 138–146.

URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/32159>

6. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5: Waste. Chapter 5: Incineration and open burning of waste. IPCC. 2006. 26 p. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>.

7. Topal O., Holenko I., Haponych L. Clean utilization of municipal solid wastes and alternative fuels derived from it // Environmental problems. 2020, Т.5, №4, pp. 202–209. DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2020.04.202>

8. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5: Waste. Chapter 5: Incineration and open burning of waste. IPCC. 2006. 26 p. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>.

9. Mutz D., Hengevoss D., Hugl C., Gross T. Waste-to-Energy Options in Municipal Solid Waste Management. A Guide for Decision Makers in Developing and Emerging Countries. *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Eschborn, May 2017*. 58 p. URL: https://www.giz.de/en/downloads/GIZ_WasteToEnergy_Guidelines_2017.pdf

10. Gendebien A., Leavens A., Blackmore K., Godley A., Lewin K., Whiting K. J. & Davis R. Refuse derived fuel, current practice and perspectives: Final Report. European Commission – Directorategeneral Environment. 2003. URL: <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/rdf.pdf>.

11. Гелетуха Г. Г., Марценюк З. А. Обзор технологий добычи и использования биогаза на свалках и полигонах твердых бытовых отходов и перспективы их развития в Украине // Экотехнологии и ресурсосбережение. 1999. №4. С. 6–14.

12. Haponych L., Golenko I., Topal A. Current status of municipal solid waste management in Ukraine// Proceedings of 2nd International Scientific Conference «Chemical Technology and Engineering»: Proceedings. June 24–28th, 2019, Lviv, Ukraine. P. 291–298. DOI: <https://doi.org/10.23939/cte2019.01.291>

13. Themelis N., Barriga M., Estevez P., Velasco M. Guidebook for the Application of Waste to Energy Technologies in Latin America and the Caribbean.

WTE Guidebook, Earth Engineering Center, Columbia University. 2013. 228 p. URL: <https://gwcouncil.org/wte-guidebook-for-latin-america-and-the-caribbean/>

14. Cernuschi S., Grosso M., Viganò F., Zanetti M., Panepinto D., Ragazzi M. & Lombardi F. White Paper on Municipal Waste Management. Milano : Utilitalia. 2020. URL: <https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2021/03/WHITE-PAPER-DEFINITIVO-2-24-febbraio-2021.pdf>.

15. Reimann D. O. CEWEP Energy Report III: Results of Specific Data for Energy. Plant Efficiency Factor and NCV of 314 European Waste-to-Energy (WtE) Plants. *Germany: Confederation of European Waste to Energy Plants*. 2012. URL: https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2017/10/1069_13_01_15_cewep_energy_report_iii.pdf.

16. Кобзар С. Г., Топал О. І., Гапонич Л. С., Голенко І. Л. Моделювання процесу сумісного спалювання природного газу з паливами із твердих побутових відходів// Електронне моделювання. 2020. (42). С. 74–92. DOI: <https://doi.org/10.15407/emodel.42.06.072>.

17. Rada E. C., Cioca L.-I., Lonescu G. Energy recovery from Municipal Solid Waste in EU: proposals to assess the management performance under a circular economy perspective// *MATEC Web of Conferences 121*. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712105006>.

18. Komilis D., Evangelou A., Giannakis G., Lymperis C. Revisiting the elemental composition and the calorific value of the organic fraction of municipal solid wastes// *Waste Management*. 2012. (32). Pp. 372–381. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.034>.

19. Lin H., Ma X. Simulation of co-incineration of sewage sludge with municipal solid waste in a grate furnace incinerator// *Waste Management*. 2012. (32). pp. 561–567. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.032>.

20. Схема санітарного очищення м. Києва. ТОМ 2. «Технологічна частина поводження з відходами». Київ: ДП «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства». 2011. URL: <http://golos.kievcity.gov.ua/files/2014/6/19/TOM-2.pdf>.

21. Каратєєва О. І., Коваль О. А., Гроза В. І. Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського господарства. Миколаїв : МНАУ, 2018. 190 с. URL: <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/4379>

**ПОТЕНЦІАЛ РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО СТВОРЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОЛОГООРІЄНТОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ
ПРОЦЕСІВ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**POTENTIAL FOR THE DEVELOPMENT OF RESEARCH ON THE
DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF ECOLOGICALLY
ORIENTED DESIGN OF ENVIRONMENTAL PROCESSES**

Грінюв В. Г., доктор технічних наук, професор, завідувач лабораторії проблем розробки родовищ корисних копалин Відділення фізики гірничих процесів, **Хорольський А. О.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, **Косенко А. В.**, кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, Україна

Hrinov V., Doctor of Technical Science, Professor, Head of laboratory,
Khorolskyi A., Candidate of Technical Science, Senior Researcher,
Kosenko A., Candidate of Technical Science, Junior Researcher

M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics the NAS of Ukraine

***Анотація.** Мета дослідження – розробити новий підхід на основі аналізу наявних ресурсів досліджень зі створення технології оптимального проєктування природокористування шляхом оцінки можливості розрахунків порівняння економічних та екологічних варіантів сценаріїв освоєння родовища. Розроблено «Європейський» варіант моделі демонстрації різноманітності можливих сценаріїв освоєння родовищ. Він може бути реалізований як відображення поетапної зміни стану запасів родовищ у період їх експлуатації як ациклічний граф та після його перетворення. в мережу можна оптимізувати за допомогою відповідного програмного забезпечення. Демонстрація потенціалу розвитку досліджень у напрямку оптимізації мережевих моделей методом динамічного програмування, що достатньо для реалізації економічної оцінки екологічного аспекту освоєння родовищ корисних копалин, наведено на прикладі розрахунків в умовах реальних родовищ корисних копалин. Уперше запропоновано застосовувати методи динамічного програмування на мережах та графах для проєктування процесів освоєння родовищ корисних копалин шляхом дослідження зміни стану запасів від балансових до списання. за еколого-економічним критерієм. Запропонований підхід*

наукомістких процедур ухвалення рішень дозволяє обґрунтовувати область ефективної експлуатації родовищ корисних копалин альтернативними розробниками з різними правами на користування надрами і різними фінансовими можливостями, трудовими і матеріальними ресурсами, проводити геолого-економічну переоцінку запасів родовищ перспективних для іноземних інвестицій, а також шляхом багатократних варіантних розрахунків запропонувати найбільш екологопереважний варіант.

Ключові слова: раціональне природокористування, відпрацювання родовищ, екологія, технологія проектування, комп'ютерна програма, проектування сценаріїв, динамічне програмування, інновація.

Abstract. Purpose – analysis of existent resources of researches on creation of technology of the optimal planning of the use by nature by the estimation of possibility of calculations of comparison economic and ecological variants of scenarios of mastering of deposit. The European variant of model of demonstration of variety of possible scenarios of mastering of deposits can be realized as a reflection of stage-by-stage change of the state of supplies of deposits in the period of their exploitation as the acyclic graph and after his converting into a network can be optimized by means of corresponding software. Demonstration of potential of development of researches in direction of optimization of network models by the method of the dynamic programming, what sufficient for realization of economic evaluation of ecological aspect of mastering useful of deposits, brought around to the example of calculations in the conditions of the real deposits. First it offers for the rational use nature as a method of active the state mountain range at working off the deposits of minerals to carry out a design on the ecological and economic criteria of network of mountain processes as a stage-by-stage change of the state of their supplies from balance to the eventual products (including wastes of production) of the dynamic programming in accordance with that made decision on every stage must be the best in relation to a process on the whole a method. On the basis of reliable geological and mine terms state information deposit and modern mine and concentrating technologies, and also at presence of classic calculable methods it is possible to realize potential of development of fundamental researches in relation to creation of technology of optimal planning of the effective mastering of deposits.

Keywords: rational use by nature, working off deposits, ecology, technology of planning, computer program, design of scenarios, dynamic programming, innovation.

Попри те, що надра України відрізняються від багатьох сучасних розвинених країн наявністю великої різноманітності геологічно розвіданих родовищ корисних копалини, зараз дати загальну оцінку фактичній ролі

природних ресурсів в економічному розвитку України досить важко. Але на тлі історії розвинених і відсталих країн, які мають власні природні багатства, ми виглядаємо як велика провінція [1]. Рівень природокористування у нас не відповідає світовому, тому за наявності такої різноманітної і перспективної мінеральної бази, як, наприклад, родовища рідкісних і благородних металів, енергетичні корисні копалини або залізородні родовища, держава не отримує відповідних доходів.

Відомчі норми, які регламентують технологічне проектування є по багатьох видах галузевої діяльності, але, на жаль, у нас в країні досі відсутні нормативи по розробці кольорових металів. Також в нашій державі не має власної бази по збагаченню руд по рідким і благородним металам. В якості прикладу, факт не ефективної розробки Клінцовського і Мужієвського родовищ із елементами декларативності і, як наслідок, в даний час там здійснюється розробка та утилізація відвалів.

В Україні на інвестування геологорозвідувальних робіт і експлуатацію родовищ окрім суспільно-політичних чинників значною мірою впливає недостатня увага з боку держави на фінансування геологічної галузі, а також слабкий зв'язок між геологами і гірниками як на рівні галузей так і підприємств.

Наявність негативної реальності в раціональному природокористуванні надрами також пояснюється тим, що сучасний рівень експлуатації родовищ з цінними корисними копалинами відрізняється високими вимогами до інженерного забезпечення гірничих робіт і обґрунтування ухвалення рішень [2]. А це, у свою чергу, вимагає достатнього високого рівня уваги і ресурсів з боку держави, а також професійним відношенням до складних науково-технічних проблем ефективного вилучення цінних корисних копалин з екологічно шкідливим виробництвом, які розташовані в центрі Європейського континенту. Такий науковий напрям можна реалізувати тільки в незалежній установі, що стоїть на державних позиціях, а такою в нашій країні продовжує залишатися національна академія наук України.

Зараз в цивілізованих країнах, все частіше, в якості головного критерію для ухвалення рішень при освоєнні ресурсів надр, на перше місце виходить екологічний аспект [3]. Більше того, проблема раціонального освоєння надр ускладнюється тим, що сучасні умови припускають орієнтування на формування нової моделі економіки, яка має бути пов'язана з цілеспрямованим переходом до «зеленої» низьковуглецевої або вуглецевонейтральної моделі, яка адаптована до змін клімату.

При цьому вагому роль тут відіграє здатність виконавців застосовувати нові практики управління за обмежених державних ресурсів. Таке управління на усіх рівнях не має передбачати «ручного управління»,

повинно бути достатньо мотивованим, зберігати інституційну пам'ять та вміти протистояти лобістам із різних сфер економіки і енергетики зокрема [4].

Сучасна технологія оптимального проектування природокористування повинна поєднувати в собі аналіз економічних та екологічних стратегій відпрацювання родовищ корисних копалин на основі оптимізації мережевих моделей, які є відображенням процесу зміни стану запасів родовища від балансових запасів до кінцевої продукції, включаючи відходи виробництва. Нові підходи щодо раціоналізації відпрацювання родовищ корисних копалин базуються на проведенні фундаментальних досліджень наукового напрямку щодо створення способів активного керування станом гірничого масиву, який належить до головних напрямів діяльності Відділення фізики гірничих процесів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України [5]. Таким чином, потенціал розвитку досліджень у вигляді наявного досвіду, ресурсної бази та можливості моделювання багатопараметричних завдань дозволяє створювати варіанти сучасних вітчизняних технологій інтенсифікації видобутку корисних копалин в межах раціонального, комплексного і екологічно безпечного освоєння визначених видів родовищ.

Реалізацію інтенсифікації видобутку корисних копалин із забезпеченням екологічності, раціонального використання надр, безпеки ведення гірничих робіт та підвищення якості видобутої сировини найбільш ефективно можна здійснити за рахунок вилучення і переробки корисних копалин за проектами, які будуть виконані за технологією оптимального проектування природокористування із залученням сучасних інформаційних технологій [6].

Простір проектування відпрацювання конкретного родовища корисної копалини формується в межах технічного завдання на розробку проекту освоєння цього родовища, в якому повинно бути оптимально визначені усі проектні параметри, що забезпечать раціоналізацію природокористування надрами.

Для обґрунтування сучасної методології розробки технічного завдання на проектування раціональної експлуатації балансових запасів родовища до рівня кінцевої продукції необхідно вирішити наступні завдання.

- проаналізувати гірничу технологію [7] як сукупність способів зміни природного стану надр, а також технологічні схеми гірничозбагачувального виробництва, які реалізуються у вигляді ланцюгів послідовно здійснюваних процесів;

- проаналізувати перелік і рівень складності процесів вилучення з надр продукції гірничого виробництва [8], а також відповідних параметрів, які характеризують властивості цих процесів;

- обґрунтувати критерії оптимальності при розробці родовищ корисних копалин [9], оскільки у відповідності до типу корисної копалини критерії оптимальності можуть бути різними;

- проаналізувати взаємозв'язок питань при освоєнні запасів родовищ корисних копалин із завданнями, які не пов'язані із гірничими роботами [10];

- дослідити процедуру відпрацювання родовища корисної копалини та її переробки на кінцеву продукцію [11], а також перелік багатопараметричних завдань щодо гірничих процесів; обмежений різноманітними показниками родовища;

- запропонувати підходи та інструменти; характерною особливістю яких буде застосування декомпозиційного підходу [12], що дозволяє враховувати між собою непов'язані та різні за ступенем впливу параметри; розроблені рекомендації можуть бути підґрунтям для розробки відповідних засобів та систем підтримки прийняття рішень;

- обґрунтувати простір проектування [10], який обмежений різноманітними показниками родовища і можливостями власника ліцензії на розробку родовища за усіма визначеними проектними параметрами.

Обґрунтування способу і системи розробки родовища, виробничої потужності і терміну дії підприємства, видів гірничо-видобувного обладнання, засобів механізації, інших проектних рішень і розрахункових параметрів слід проводити методами, які застосовуються в практиці проектування гірничодобувних підприємств, з використанням чинних галузевих норм технологічного проектування, державних будівельних норм, проектів діючих підприємств-аналогів, даних науково-технічних досліджень.

Сумарний ефект від кожного варіанту рекомендується підраховувати з використанням дійсних на момент оцінки цін, нормативів і досягнутих показників передових методів праці, новітньої техніки і прогресивної технології видобутку і переробки мінеральної сировини. Але при цьому слід зазначити, що аналогів експлуатації деяких родовищ, наприклад, золоторудних родовищ немає ні в Україні, ні в Європейському Союзі. Значний досвід і прогресивні технології вилучення з надр благородних металів існують на американському, азіатському і африканському континентах. Інтегральний сумарний економічний ефект, за якими б цінами він не розраховувався (незмінним або поточними), і який би метод обліку чинника часу при цьому не застосовувався (активний або пасивний), є відносною величиною, що служить критерієм для вибору найкращого

варіанту для проекту освоєння родовища з точки зору особи, яка приймає рішення (ОПР).

Оцінка екологічного аспекту для прийняття рішень щодо стратегії освоєння родовищ полягає у фінансовому порівнянні двох сценаріїв освоєння – оптимального з економічної точки зору з екологічно переважним. Реалізувати процедуру порівняння цих варіантів в проєкті може бути запропоновано на базі розробки методології моделювання процесу освоєння родовища на усіх етапах отримання кінцевої продукції за економічними показниками (мінімальна собівартість, прибуток) і моделювання процесу освоєння родовища з урахуванням екологічних переваг на усіх етапах розробки і збагачення копалини. При цьому процес відпрацювання родовища слід розглядати як постійний та безперервний у часі, ефективність якого формується прийняттям рішень від стадії дослідження родовища до списання запасів.

При моделюванні зміни стану запасів родовища на кожному етапі виробничого процесу слід приймати оптимальне рішення, щодо обґрунтування раціональних параметрів експлуатації, які полягають не тільки в зменшенні собівартості видобутку але і мінімізації негативного впливу на довкілля.

Область застосування екологоорієнтованої технології оптимального проєктування природокористування при розробці родовищ корисних копалин не залежить від виду корисної копалини, оскільки визначення сценарію виробництва кінцевої продукції, для конкретного родовища, повинно здійснюватися за рахунок моделювання процесу відпрацювання запасів копалини від балансових запасів до кінцевої продукції. Відповідна модель після перетворення ациклічних графів в мережу може бути оптимізована за допомогою програмного забезпечення. У перспективі така технологія може бути застосована як на критичних мінеральних ресурсах, наприклад, у вугільній галузі, так і стратегічних – рідкісних і благородних металів.

У відповідності до завдань досліджень необхідно проаналізувати можливі варіанти при прийнятті рішень на етапах освоєння запасів конкретного родовища корисної копалини. Наприклад, у випадку розробки родовищ рідкісних і благородних металів [13], яка включає максимальну кількість етапів їх освоєння, необхідно урахувати усі варіантів розкриття таких родовищ, структуру та технологію виймання запасів із надр, переміщення гірничої маси, а також спорудження і експлуатації об'єктів енергопостачання, транспорту, забезпечення трудовими ресурсами разом із соціально-культурним, поверхневого і підземного комплексів гірничо-збагачувального підприємства.

Оскільки відпрацювання родовища корисної копалини та її переробка в кінцевую продукцію характеризується багатопараметричними завданнями щодо гірничих процесів, а також урахуванням багатьох питань, які не пов'язані з гірничими роботами, то процедура прийняття рішень альтернативними ліцензіатами (ОПР) з різними правами та можливостями з питань проектування розробки родовища в умовах обмежених ресурсів або експлуатації в несприятливих умовах потребує залучення сучасних інформаційних технологій для попереднього обґрунтування простору проектування процесів розробки родовищ.

Серед опублікованих робіт по застосуванню динамічного програмування слід виділити роботу [14] по оптимізації процесу видобутку і переробки міді в Європі. Перший досвід рішення завдань і їх реалізації по вибору оптимальних стратегій освоєння родовищ на азіатському континенті був отриманий при розгляді експлуатації цінних родовищ у вигляді невеликих кімберлітових трубок і руд рідкісних і благородних металів [15, 10].

Формулювання завдання – визначення рентабельності експлуатації золоторудних родовищ, виявлених або очікуваних до відкриття, розташованих по усій території України з урахуванням інфраструктури, що склалася або запланованої, а також врахуванням зіставлення і аналізу можливостей розробника і показників родовища.

Вивчення результатів досліджень в цьому напрямі показує, що це завдання може входити в клас завдань, який охоплює мережеві і графські моделі [16, 17]. Характерною особливістю таких завдань (якщо тільки вони правильно відображають реальну ситуацію) є велика розмірність, що обумовлює необхідність пошуку ефективніших алгоритмів оптимізації [18, 19], які дозволяють б економити обчислювальні ресурси конкретних систем і забезпечувати їх гнучкість по відношенню до зміни початкових даних. Плідною основою для побудови таких алгоритмів може служити їх представлення на мережах і графах.

На рис. 1 зображений варіант графа (європейський) із 38 вузлами, який формалізує багатоваріантну модель освоєння родовищ рідкісних і благородних металів максимально орієнтовану на українські умови.

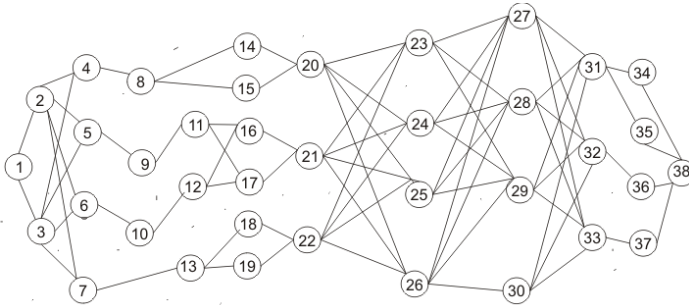


Рис. 1. Альтернативний граф моделі європейського варіанту освоєння родовища з цінною корисною копалиною

Як аналог був взятий граф [10], який включає реальні варіанти вилучення цінних руд в умовах великих відстаней і територій з не досить розвинутою дорожньо-транспортною і енергетичною інфраструктурою на освоюваних територіях, та був апробований у реальних, але сибірських умовах, не порівнянних з європейськими.

У цьому форматі європейський варіант моделі демонстрації різноманітності можливих підходів освоєння родовищ цінних корисних копалини принципово відрізняється як з економічної точки зору так і з екологічної. Після аналізу структури моделей освоєння родовищ на півночі [13] і можливих варіантів в Україні і їх невеликого тестування [20] виявилось, що на останньому етапі моделювання процесу освоєння в сибірському варіанті графа показник прибутку необхідно прибрати, оскільки він тут не доречний. Річний прибуток від отримання кінцевої продукції є додатковим критерієм, оскільки він не входить в сценарій повної собівартості стратегії отримання золота.

Параметри моделі на етапах освоєння можна оптимізувати на мінімум за можливими критеріями, наприклад, варіант собівартості видобутку і переробки 1 тонни руди з транспортними витратами. Також можливий варіант із мінімальними приведеними витратами на 1 т видобутої руди.

Кінцевий баланс слід розраховувати з урахуванням ціни металу і варіантів його собівартості на тлі екологічних аспектів. У цьому полягає основна мета моделювання на передпроектному етапі підготовки технічного завдання для проектування при відомій ціні золота і орієнтовному прогнозі рівня його вилучення на конкретному родовищі.

Знаходження найкоротшого шляху від вузла 1 до вузла 38 може бути здійснено тільки із використанням методу динамічного програмування. Детальний алгоритм знаходження найкоротшого шляху від початкового вузла до кінцевого описаний в роботі [13].

Принцип оптимальності для нашого завдання включає поняття стратегії. Стратегія визначає дугу (i, j) , що входить в кожного з вузлів j , окрім першого ($j=1$). Існує безліч стратегій для цієї ациклічної мережі. Стратегія називається оптимальною для вузла j , якщо вона виявляє дуги, що утворюють найкоротший шлях від вузла 1 до вузла j . Оптимальна стратегія характеризує оптимальний сценарій освоєння родовища.

Для оптимізації параметрів на етапах зміни стану балансових запасів родовищ корисних копалини розроблена сучасна комп'ютерна «Програма динамічного програмування альтернативного графа на мінімум «DinMin.v2_2019» [21], яка призначена для вибору сценарію освоєння родовищ корисних копалин з мінімальними витратами, мінімально можливими збитками і максимальним прибутком з урахуванням взаємодії екологічних норм будівництва, видобутку, транспорту та переробки, як ланок однієї системи, яка працює на кінцевий результат у вигляді ринкового товару.

За результатами обчислювальних експериментів визначаються параметри відпрацювання родовища в грошовому відображенні, на підставі яких можна зробити промислову економічну оцінку цього родовища. В якості вихідних показників моделі використовуються: вартість вилучення з 1 тонни руди корисних компонентів, повна собівартість видобутку, транспортування і переробки 1 тонни руди, майбутні приведені витрати на 1 тонну видобутої руди, питоми капітальні витрати на освоєння запасів родовища, річний прибуток від отримання кінцевої продукції, вартість корисних копалини, що будуть вилучені з надр.

Безумовно, показники, які виходять при моделюванні етапів освоєння родовища, не можуть розглядатися в якості остаточних значень керуючих параметрів. Вони мають рекомендаційний характер, який дозволяє гірникам на передпроектній стадії приймати рішення по доцільності або черговості відпрацювання аналогічних родовищ.

Крім того, аналогічна процедура моделювання процесів зміни стану запасів родовищ дозволяє геологам виявляти найбільш «перспективні» площі для пошуків відповідної корисної копалини.

Розрахунки також можуть показати мінімальний за запасами розмір родовища, доступного для експлуатації вахтовим або експедиційним методами. Шляхом багатократних варіантних розрахунків можна обґрунтувати зміну кондицій.

Розроблена програма динамічного програмування дозволяє оцінити не лише економічну перевагу, але і екологічну [22]. Для цього необхідно вершини графа упорядкувати відповідно до оцінки незалежної експертизи екологічних переваг. При оптимізації такої моделі рекомендується стратегія по найбільш екологічно переважному сценарію освоєння запасів родовища.

При зіставленні економічної і екологічної оптимальних стратегій освоєння, в яких альтернативи відповідають ГДК (гранично допустима концентрація), різниця витрат визначає об'єм фінансування на заході зі зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище при вилученні відповідних запасів з надр. Якщо варіант етапу процесу освоєння явно екологічно не прийнятний, то відповідну вершину графа можна обважнювати, щоб вона не потрапила в стратегію. За допомогою інструментарію оцінки прийняття рішень [6] можна знайти раціональний варіант сценарію освоєння реального родовища з урахуванням існуючої інфраструктури, цін на послуги і товари, можливостей існуючого гірничо-збагачувального устаткування і цін на метал, а також обліку екологічних аспектів на окремих етапах.

Підрахований оптимальний шлях - мінімум за собівартістю на 1 тонні руди на етапах освоєння родовища до отримання кінцевої продукції (рис. 2). Шлях у мережевій моделі відповідає найкращім етапам стратегії відпрацювання родовища: 1-2-4-8-14-20-23-27-31-34-38 (довжина шляху – 125 умовних одиниць).

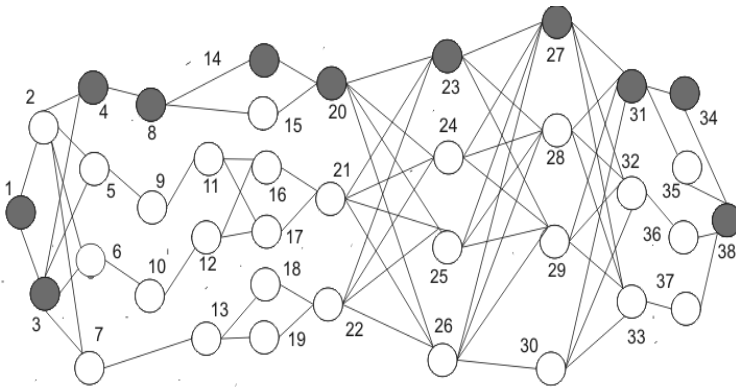


Рис.2. Визначення стратегії відпрацювання родовища у відповідності до альтернативного графу моделі європейського варіанту освоєння родовища з цінною корисною копалиною, який зображено на рис. 1

Із урахуванням розроблених інструментів оцінки екологічних аспектів в різних сценаріях освоєння родовищ був прорахований варіант сценарію освоєння з урахуванням ліквідації старої збагачувальної фабрики. В даному випадку оптимальна стратегія пролягає через вершини: 2-4-8-14-20-23-27- 32-36-38. довжина шляху – 145 одиниць (рис. 3). Виконуючи такі

попередні розрахунки можна зрозуміти слабкі і сильні сторони рішень на етапах освоєння родовища.

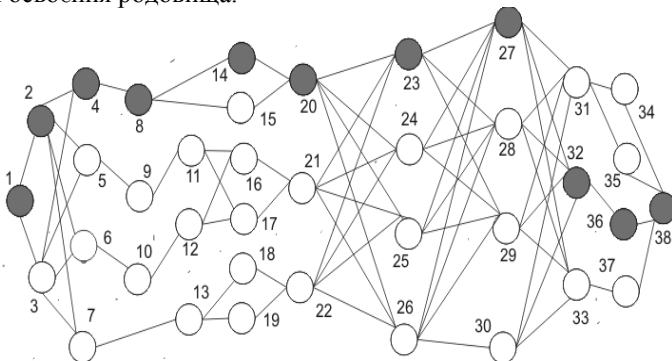


Рис. 3. Варіант сценарію освоєння родовища з урахуванням ліквідації старої збагачувальної фабрики

Для демонстрації потенціалу розвитку досліджень в напрямку оптимізації мережевих моделей методом динамічного програмування було здійснено економічну оцінку екологічного аспекту освоєння родовищ корисних копалини з урахуванням існуючої інфраструктури, цін на послуги й товари, можливостей існуючого гірничо-збагачувального устаткування та ціни на метал. Процедура такої оцінки полягає у фінансовому порівнянні двох сценаріїв освоєння – оптимального з економічної точки зору і екологічно переважного.

Найбільш екологічно переважний (попередня думка) прийнятний варіант передбачає сценарій: 1-3-4-8-14-20-26-29-32-36-38 (довжина шляху – 173 одиниці). Поступається цьому варіанту сценарій з вершинами: 1-2-7-13-18-22-25-27-31-35-38 (довжина шляху – 202 одиниці). Інші вершини в сценаріях освоєння родовища, явно поступаються описаним двом варіантам.

Реалізація усіх варіантів (оптимальних і тим більше екологічних) залежить від показників вилученого вмісту металу із видобутої руди і його ціни на Лондонській біржі металів.

Ресурс потенціалу дослідження спирається на запатентовані авторами комп'ютерні програми з сучасним інтерфейсом [6], які реалізують класичні світові алгоритми дискретної математики по оптимізації багатопараметричних завдань: Е. Дейстри [23, 24], Р. Флойда [25], Р. Белмана [14, 26], маржинального вибору економічних параметрів [27, 28], а також вибір критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності [29, 30], а також на реалізацію представленого підходу розрахунками на реальних виробничих об'єктах [28, 31, 32], та показує, що дана методологія працює і у

форматі ринкової економіки дає класичні результати за умови достовірності початкових даних.

Застосування наведених результатів дослідження дозволяє на стадії передпроектної підготовки розробити завдання на проектування конкретного родовища у вигляді «Технічного завдання на розробку проекту раціонального освоєння родовища корисних копалин».

Варто відзначити, що в процесі виконання дослідження вперше запропоновано для раціонального природокористування в якості способу активного керування станом гірничого масиву при відпрацюванні родовищ корисних копалин здійснювати моделювання за екологічними та економічними критеріями мережі гірничих процесів у вигляді поетапної зміни стану їх запасів від балансових до кінцевої продукції (включаючи відходи виробництва) методом динамічного програмування, у відповідності до якого прийняті рішення на кожному етапі мають бути найкращими відносно процесу в цілому [33].

Послідовність виконання обов'язкових завдань при виконанні технічного завдання наступна:

- визначається раціональний обсяг продукції гірничо-збагачувального підприємства із максимальним прибутком або мінімальними збитками в короткостроковому періоді;

- визначається оптимальний сценарій виробництва кінцевої продукції для конкретного родовища на базі процедури класичного методу динамічного програмування багатопараметричного процесу відпрацювання надр:

- обґрунтовується область ефективної експлуатації родовища із здійсненням економічної оцінки екологічного аспекту виробництва кінцевої продукції.

Таким чином, на основі достовірної геолого-гірничої інформації про стан родовища і сучасних гірничо-збагачувальних технологій, а також за наявності класичних обчислювальних методів можна реалізувати потенціал розвитку фундаментальних досліджень щодо створення технології оптимального проектування ефективного освоєння родовища корисних копалин.

Результати досліджень у цьому напрямі можуть бути застосовані при створенні потужних якірних проектів з нарощування власного мінерально-сировинного комплексу України, які закладуть фундамент для формування позитивного іміджу країни на світовому ринку. Це в свою чергу буде прикладом перетворення нових знань в конкретні прикладні розробки і технології та може призвести до нових якісних зрушень в економіці країни.

Використані інформаційні джерела:

1. Грінюв В. Г., Хорольський А. О. Можливості ефективного освоєння рудних родовищ із запасами рідкісних і благородних металів. Фізико-технічні проблеми горного виробництва. 2018. №20. С. 113–122.
2. Грінюв В. Г., Деуленко А. И., Николаев П. П., Череповский П. В. 2013. Технологические аспекты физики горных процессов. Наукові праці Укр НДМІ НАН України. 2013. №13(1). С. 197–208.
3. Хорольський А., Гринев В. Выбор сценария освоения месторождений полезных ископаемых. Геология и охрана недр. 2018. №68. С. 68–75.
4. Геєць В. Економіка України в імперативах низьковуглецевого розвитку. Наукова доповідь: Інститут економіки та прогнозування НАН України. 2022. 25 с.
5. Гринев В., Хорольський А. Моделирование сценария освоения месторождений ценных руд на условиях динамического программирования. II Бекжановские чтения: материалы международной конференции, Алматы, Республика Казахстан. 2019. С. 114–119.
6. Грінюв В., Хорольський А. Нові підходи і результати досліджень по раціоналізації відпрацювання родовищ корисних копалин Фізико-технічні проблеми горного виробництва. 2021. №23. С. 178–203.
7. Горная энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия. 2009. 640 с.
8. Хорольський А., Гринев В. Оцінка і вибір параметрів при розробці родовищ корисних копалин. Фізико-технічні проблеми горного виробництва. 2020. №22. С. 118–140.
9. Грінюв В., Хорольський А. Оптиміальне проектування параметрів гірничозбагачувальних підприємств для раціонального освоєння цінних родовищ України. Фізико-технічні проблеми горного виробництва. 2019. №21. С. 124–145.
10. Гринев В. Решение проблем разработки рудных месторождений Севера. Новосибирск : ВО «Наука». 1992. 205 с.
11. Гринев В. Г., Хорольський А.А. Система поддержки принятия решений при разработке месторождений полезных ископаемых. Горно-геологический журнал. 2017. №51(3). С.18–24.
12. Грінюв В., Хорольський А. Дослідження основ технології оптимального проектування раціонального користування родовищами цінних копалин. Мінеральні ресурси України. 2020. №2 . С. 19–24.
13. Гринев В., Изаксон В., Зубков В. Решение горных задач на ЭВМ при освоении рудных месторождений. Новосибирск : Наука, Сибирская издательская фирма РАН. 1999. 215 с.
14. Shwartz W. Dynamisches Programmierew erläutert am Beispiel der Optimierung von Kupfer gewinnungsverfahren. Erzmetall. 1968. Vol. 10. Pp. 455–460.

15. Гринев В., Слепцов А. Поиск и результаты исследований в направлении повышения эффективности разработки рудных месторождений Севера. Повышение эффективности освоения рудных месторождений Севера. ЯНЦ СО АН СССР. 1989. С. 3–16.

16. Барвайс Д. Справочная книга по математической логике. Москва : Наука. 1982. 400 с.

17. Зыков А. Основы теории графов. Москва : Наука. 1987. 384 с.

18. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: практическое руководство. Москва : Мир. 1982. 238 с.

19. Асельдоров М., Донец Г. Киев : Наукова думка. 1991. Представление и восстановление графов. 96 с.

20. Гриньов В., Хорольський А., Каліущенко О. Розроблення екологічних сценаріїв ефективного освоєння цінних родовищ корисних копалин. Мінеральні ресурси України. 2019. №2. С. 46–50.

21. Гриньов В., Хорольський А. Комп'ютерна програма «Програма динамічного програмування альтернативного графу на мінімум» («Din_Min.v2_2019»). Авторське право та суміжні права. 2020. №58. С. 340–341.

22. Khorolskyi A., Hrinov V., Kaliushenko O. Network models for searching for optimal economic and environment alstrategies for field development. Procedia Environmental Science, Engineering and Management. 2019. Vol. 6(3). Pp. 463–471.

23. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. М. : Мир. 1981. 323 с.

24. Dijkstra E.W. A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. Numer Math. 1959. Part 1. Pp. 269–271.

25. Floyd R. Algorithm 97, Shortest Path, Comm. ACM.1962. Vol. 5. Pp. 345.

26. Моудерав Д., Элмаграби. С. Исследование операций в 2-х т. Пер. з англ. М. : Мир. 1984. Т.1. 712 с. Т.2. 264 с.

27. Макконнелл К. Р., Брю С. Л. Экономикс: принципы, проблемы, политика. В 2-х т. Пер. з англ. 11-го вид. Т2. М. : Республика. 1993. 399 с.

28. Амоша А., Логвиненко В., Гринев В. Комплексное освоение угольных месторождений Донецкой области: монография. Донецк : Институт экономики промышленности НАН Украины. 2007. 216 с.

29. Кофман А. Введение в прикладную комбинаторику. М. : Мир. 1978. 479 с.

30. Хорольський А. О., Гриньов В. Г. Проектування технологічних схем гірничого виробництва в умовах. Фізико-технічні проблеми горного виробництва. 2018. №.20. С. 132–146.

31. Гринев В., Череповский П., Деуленко А. Инновационные перспективы эксплуатации угольных пластов крутого падения. Днепр : Пороги. 2015. 180 с.

32. Грінєв В.Г., Хорольський А.О. Визначення раціонального обсягу вилучення корисних копалин із надр: маржинальний підхід. Економіка промисловості. 2020. №3 (91). С. 82–95.

33. Khorolskyi A., Hrinov V., Mamaikin O., Fomychova L. Research into optimization model for balancing the technological flows at mining enterprises. In E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 201. P. 01030.

**КОАГУЛЯЦІЙНЕ Й ЕЛЕКТРОКОАГУЛЯЦІЙНЕ ОЧИЩЕННЯ
СТІЧНИХ ВОД МОЛОКОЗАВОДІВ: ЕКОЛОГІЧНІ ТА
ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ**

**COAGULATION AND ELECTROCOAGULATION TREATMENT OF
DAIRY WASTEWATER: ECOLOGICAL AND
CHEMICAL-TECHNOLOGICAL ASPECTS**

¹**Данченко Ю. М.**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри екологічної безпеки, ²**Андронов В. А.**, доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи

¹*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
м. Львів, Україна*

²*Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, Україна*

¹**Danchenko Yu. M.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Environmental Safety ²**Andronov V. A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research

¹*Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine*

²*National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

Анотація. *Надано порівняльну характеристику екологічних, колоїдно-хімічних і технологічних аспектів утворення та встановлення ефективності застосування коагулянтів для очищення стічних вод молокозаводів. Коагулянти отримані двома різними способами: хімічним – гідролізом солей у стічних водах і способом електрохімічного розчинення металічних анодів під час електролізу. Показаний взаємозв'язок між ефектом очистки, рН середовища, механізмом гідролізу і концентрацією різних солей при хімічному способі отримання коагулянтів. Встановлено, що при застосуванні хімічного способу найбільш ефективним є додавання $FeCl_3$ в концентрацією 150-200 мг/дм³ при рН середовища 9,5-10. Показано, що хімічна природа коагулянтів (гідроксидів металів, іонів лужних солей) для електрокоагуляційного очищення стічних вод залежить від умов проведення процесу: показника рН стічних вод, наявності різних забруднювачів, сили та густини електричного струму, часу проведення електрокоагуляції. Встановлено, що при електрокоагуляції кислих та слабо кислих стічних вод ($4 < pH < 6$) головним чином утворюються частинки молекулярної будови $Al(OH)_3$, які здійснюють основну коагулюючу дію та забезпечують високий ефект очистки. При цьому більшою мірою реалізується адсорбційний*

механізм коагуляції. При електрокоагуляції нейтральних та слабо лужних стічних вод ($9 > \text{pH} > 6$) в якості коагулюючих речовин виступають мономерні та полімерні алюмінієві іони лужних солей, які забезпечують більш високу ефективність очищення. При цьому реалізується змішаний механізм видалення забруднювачів: наряду з адсорбційною можлива електростатична коагулююча дія. Встановлено, що додавання лужної добавки після електрокоагуляції є більш ефективним та дозволить скоротити терміни процесу електрокоагуляції. При цьому ефект очистки стічної води залишається достатньо високим (98-99%). Це забезпечує економію електроенергії та позитивно впливає на еколого-економічну оцінку технології.

Однією з найбільших за об'ємом і концентрацією забруднень у стічних водах є молочна галузь, яка складається з різних видів підприємств: молокоприймальні пункти, сепараторні відділення, міські молочні заводи, сироробні і маслоробні заводи. На території України в даний час розташовано близько 300 підприємств з переробки молока, які за обсягом сировини можна розділити на три групи: великі – близько 40 підприємств (більше 100 тис. тонн молока на рік), середні (50-100 тис. тонн молока на рік) – близько 50 підприємств та малі – близько 200 підприємств (менше ніж 50 тис. тонн молока на рік). На підприємствах молочної галузі стічні води складають близько 90 % від використовуваної підприємствами чистої води. При середніх питомих витратах води 5 м^3 на тонну молока, в залежності від потужності, за добу на підприємствах утворюється близько 500 м^3 стічних вод.

Стічні води молокопереробних підприємств відносяться до категорії висококонцентрованих екологічно небезпечних вод з нестабільним складом; є складними гетерогенними системами, сумішшю іонних і молекулярних розчинів, суспензій, емульсій та колоїдних розчинів (золей). Дисперсна фаза цих вод представлена твердими неорганічними частинками, емульсованими нерозчинними краплями жиру, частинками сирного зерна, коагульованого білка, органічних кислот, лактози, колоїдними частинками органічних забруднень тощо.

Одним із ефективних методів очистки та знешкодження висококонцентрованих промислових стічних вод є коагуляція, за якої в стічну воду вносяться коагулянти. Внаслідок коагуляції утворюється шлам, який необхідно утилізувати. Отримання коагулянтів для очищення здійснюється двома способами – хімічним та електрохімічним. Хімічний спосіб полягає у додаванні в стічну воду хімічних реагентів солей металів електролітів – сульфатів, хлоридів, гідроксосолей алюмінію або феруму, хлоридів кальцію тощо. Кристалічні солі металів, потрапляючи у воду,

розчиняються, гідратуються, дисоціюють та гідролізуються з утворенням колоїдних частинок малорозчинних гідроксидів металів – коагулянтів. Заряджені колоїдні частинки гідроксидів характеризуються надлишковою поверхневою енергією та підвищеною адсорбційною здатністю, що дозволяє ефективно видаляти як дисперговані, так і розчинені у стічних водах забруднювачі. Додавання солей забезпечує не тільки видалення основних забруднювачів – жирів, білків, органічних кислот, лактози, завислих речовин, а й біогенних елементів – сполук нітрогену й фосфору, а також нітрат-, хлорид-, сульфат-іонів тощо. Недоліками хімічного способу отримання коагулянтів є необхідність додаткового обладнання для зберігання та дозування хімічних реагентів, а також вторинне забруднення стічних вод сульфатами, хлоридами тощо. Більш екологічним та економічним способом отримання коагулянтів – гідроксидів металів, є електрохімічне розчинення металічних (алюмінієвих, залізних, мідних, цинкових тощо) анодів в розчинах електролітів, який використовується в електрокоагуляційному методі очищення стічних вод різного хімічного складу [1-3].

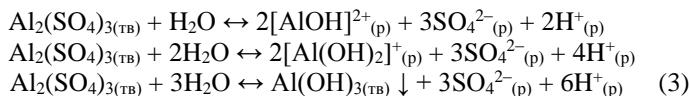
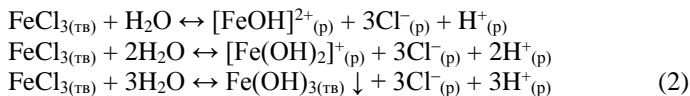
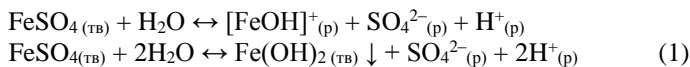
Метою дослідження є порівняльна характеристика екологічних, колоїдно-хімічних і технологічних аспектів утворення коагулянтів хімічним та електрохімічним способом, а також встановлення ефективності застосування коагулянтів для очистки стічних вод молокозаводів, які отримані двома способами: хімічним – гідролізом солей у стічних водах і способом електрохімічного розчинення металічних анодів під час електролізу.

Для дослідження обрано стічні води молокопереробного підприємства Сумської області (Україна). Для проведення досліджень протягом двох робочих змін відбирались проби стічних вод з ділянки приймання молока, лабораторії, сирного цеху, апаратного відділення, цеху масла, цеху плавлених сирів та відділення реалізації. З урахуванням внеску у загальний стік кожної ділянки підприємства формувався загальний стік із усередненим складом стічних вод.

Для здійснення хімічного способу отримання коагулянтів обрані найбільш поширені на практиці солі, які гідролізуються з утворенням малорозчинних гідроксидів: алюміній сульфат $Al_2(SO_4)_3$, ферум сульфат $FeSO_4$, ферум хлорид $FeCl_3$ у вигляді 5% водних розчинів. В якості лужної добавки використовувався натрій гідроксид $NaOH$ у вигляді 5% водного розчину. Ефективність коагуляційної очистки досліджувалась за наступними показниками стічної води: водневий показник pH, прозорість та кількість етеророзчинних речовин.

Після додавання солей металів алюміній сульфату $Al_2(SO_4)_3$, ферум сульфату $FeSO_4$ та ферум хлориду $FeCl_3$ до стічної води відбувається гідроліз

катіонів металів з утворенням іонів основних солей, малорозчинних гідроксидів та вивільнення протонів за наступними схемами хімічних рівнянь:



Внаслідок гідролізу утворюються малорозчинні гідроксиди металів $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ та катіони лужних солей $[\text{FeOH}]^+$, $[\text{Fe}(\text{OH})_2]^+$, $[\text{FeOH}]^{2+}$, $[\text{AlOH}]^{2+}$, $[\text{Al}(\text{OH})_2]^+$, які утворюють коагулянти, що здатні адсорбувати на поверхні різні забруднювачі. Частинки коагулянтів з адсорбованими забруднювачами з часом укрупнюються та осідають у вигляді осаду (шламу). При цьому водневий показник рН стічних вод знижується за рахунок утворення іонів гідрогену H^+ в результаті гідролізу. На рис. 1 представлені закономірності зниження рН стічних вод після додавання солей металів різної хімічної природи.

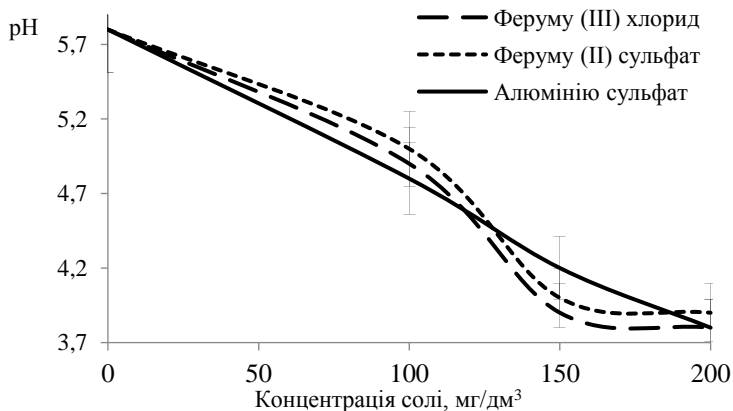


Рис. 1. Зменшення рН стічних вод після додавання солей металів [4, 5]

Як видно з представлених на рис. 1 результатів, при збільшенні концентрації солей феруму гідроліз відбувається принципово за іншим механізмом, ніж гідроліз солі алюмінію. Процес гідролізу солей феруму протікає нерівномірно і його характер не залежить від заряду катіону. Зі збільшенням концентрації солі феруму в діапазоні до 100 мг/дм³ гідроліз відбувається повільно, в діапазоні 100-150 мг/дм³ спостерігається стрибок рН середовища, а в діапазоні концентрацій більше 150 мг/дм³ – кислотність середовища практично не залежить від концентрації солі, тобто гідроліз не відбувається. Гідроліз алюміній сульфату в усьому діапазоні концентрації відбувається рівномірно і рН середовища майже прямопропорційно зменшується зі збільшенням концентрації солі. Аналізуючи схеми рівнянь гідролізу (1-3) можна стверджувати, що найбільше зниження рН стічної води має забезпечувати додавання алюміній сульфату (3) та феруму (III) хлориду (2). Але результати, що представлені на рис. 1, свідчать про наступне: найбільше підвищення кислотності середовища забезпечується додаванням солей феруму, а саме, феруму (III) хлориду. При цьому мінімальне значення рН=3,8 досягається при концентрації солей більше 150 мг/дм³. Таке ж значення рН при додаванні солі алюмінію досягається тільки при концентрації солі до концентрації більше 200 мг/дм³. Отже, найбільшим ступенем гідролізу характеризується феруму (III) хлорид, додавання якого у стічну воду, очевидно, пов'язано з утворенням коагулянтів, які мають забезпечити найбільший ступінь очистки.

Підкислення стічних вод після додавання солей та коагуляції забруднювачів є небажаним. Адже після видалення шламу фільтрат з кислим рН не може потрапляти у системи водовідведення. З метою підвищення рН стічних вод після додавання солей, у стічну воду додавався розчин лугу натрій гідроксиду. Це, очевидно, впливає на механізм утворення коагулянтів і, відповідно, на ефект очистки стічних вод. На рис. 2-4 представлені графіки залежностей ефекту очистки (за вмістом етеророзчинних речовин) від природи і концентрації доданої солі металу та рН середовища після додавання лугу.

Як видно з представлених залежностей, механізм адсорбції етеророзчинних речовин на поверхні коагулянтів на основі феруму відрізняється від механізму адсорбції на поверхні коагулянтів на основі алюмінію. У випадку коагулянтів феруму процес вилучення етеророзчинних речовин в значній мірі залежить від рН середовища і зростає при підвищенні лужності стічної води (рис. 2, 3). При цьому ефект очистки зростає на 2-10%.

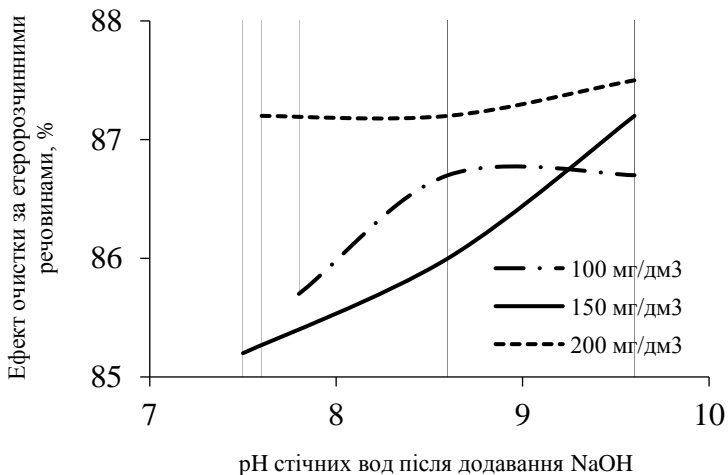


Рис. 2. Залежність ефекту очистки (за вмістом етеророзчинних речовин) від концентрації доданої солі FeCl_3 та рН стічної води [4, 5]

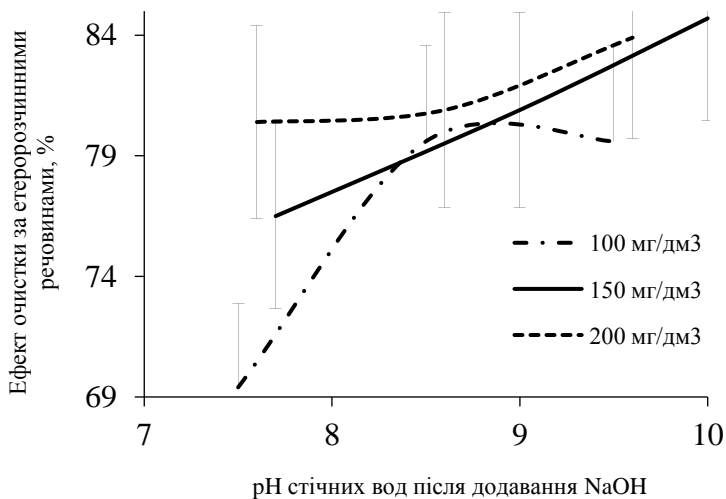


Рис. 3. Залежність ефекту очистки (за вмістом етеророзчинних речовин) від концентрації доданої солі FeSO_4 та рН стічної води [4, 5]

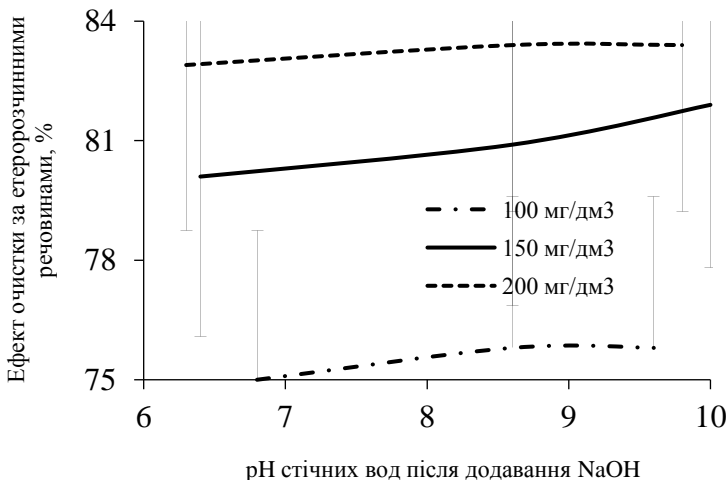


Рис. 4. Залежність ефекту очистки (за вмістом етеророзчинних речовин) від концентрації доданої солі $Al_2(SO_4)_3$ та рН стічної води [4,5]

На процес адсорбції етеророзчинних речовин на поверхні коагулянтів алюмінію рН середовища практично не впливає або впливає неістотно (рис. 4). При цьому ефект очистки зростає на 0,5-2%. Найбільший вплив рН середовища спостерігається при концентрації всіх доданих солей 100-150 мг/дм³. При додаванні солей з концентрацією 200 мг/дм³ ефект очистки несуттєво залежить від рН середовища. Але саме ця концентрація забезпечує максимальний ефект очистки в усіх випадках. Найбільший ступінь очистки від етеророзчинних речовин 87-88% забезпечується додаванням феруму (III) хлориду з концентрацією 150-200 мг/дм³ при рН середовища 9,5-10. Більший ефект очистки при додаванні ферум (III) хлориду можна пояснити наступними причинами. Очевидно, на відміну від $FeSO_4$ та $Al_2(SO_4)_3$ при гідролізі $FeCl_3$ утворюється колоїдна дисперсна система з частинками коагулянту з великою питомою поверхнею. Це забезпечує найбільшу адсорбційну здатність і, відповідно, найвищий ступінь очистки стічних вод.

Отже, в результаті дослідження закономірностей та умов гідролізу солей $FeSO_4$, $Al_2(SO_4)_3$ і $FeCl_3$ у стічних водах молокозаводів, були встановлені особливості утворення коагулянтів та порівняльна характеристика коагулюючої дії в залежності від природи та концентрації солі. Показаний взаємозв'язок між ефектом очистки, рН середовища, механізмом гідролізу і концентрацією різних солей. У результаті проведених досліджень встановлено, що при очистці стічних вод молокозаводів від

етеророзчинних речовин найбільш ефективним є додавання FeCl_3 в концентрації 150-200 мг/дм³ при рН середовища 9,5-10. Проте, необхідно зазначити, що додавання солей має і негативні аспекти. При додаванні хлоридів або сульфатів металів у стічні води потрапляє велика кількість відповідно хлорид- або сульфат-іонів, які спричиняють вторинне забруднення. Зважаючи на те, що вихідні стічні води молокозаводів зазвичай містять близько 170-400 мг/дм³ хлорид-іонів та 150-160 мг/дм³ сульфат-іонів, використання солей металів та застосування хімічного способу отримання коагулянтів не завжди є виправданим. У такому випадку необхідний пошук та застосування безреагентних фізико-хімічних методів отримання коагулянтів, наприклад, електрохімічний.

При використанні анодів із металів, під час електролізу, відбувається електрохімічне розчинення з переходом у розчин іонів металів, які згодом утворюють коагулянти. Новоутворені коагулянти мають підвищену адсорбційну активність до колоїдних і завислих частинок і використовуються у процесах електрокоагуляційної очистки стічних вод. При електрокоагуляції стічних вод можуть протікати інші електрохімічні, фізико-хімічні та хімічні процеси, які відбуваються у наступній послідовності: електрофоретичне концентрування (спрямований рух дисперсій як вільно заряджених частинок і концентрування їх біля поверхні електродів); електролітичне розчинення анодів та утворення гідроксидів металів; поляризаційна коагуляція дисперсних частинок; упаковка первинних агрегатів і флокуляційна коагуляція; флотажія утворених агрегатів бульбашками електролітичних газів. Усі ці процеси в комплексі забезпечують високий ступінь очистки забруднених стічних вод, які знаходяться у різних фазово-дисперсних станах.

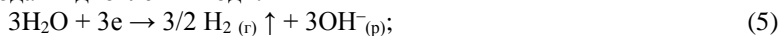
На процес електрохімічного утворення коагулянтів впливає багато факторів: матеріал розчинених анодів, кількість анодів в електролізері, рН середовища, сила току, наявність у стічних водах інших електролітів, величина електричної напруги, тривалість процесу електрокоагуляції тощо. Ефективність електрокоагуляції зазвичай оцінюється за ступенем очистки стічних вод від конкретного виду забруднень, які характеризуються певним показником.

У випадку використання анодів з алюмінію схеми основних хімічних реакцій утворення коагулянтів, що відбуваються в процесі електрокоагуляції стічних вод наступні:

- на алюмінієвих анодах окислення алюмінію:



- на катодах відновлення води:



- утворення коагулянту в кислому або нейтральному середовищі:



- утворення коагулянту в лужному середовищі:



У лужному середовищі окрім гідроксиду алюмінію (7) утворюються мономерні $[\text{AlOH}]^{2+}$, $[\text{Al}(\text{OH})_2]^+$, $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ та полімерні $[\text{Al}_2(\text{OH})_2]^{4+}$, $[\text{Al}_2(\text{OH})_5]^+$, $[\text{Al}_6(\text{OH})_{15}]^{3+}$, $[\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}]^{5+}$ катіони та аніони, які утворюють коагулянти, що здатні підвищувати ефективність електрокоагуляції завдяки тому, що мають як позитивні, так і негативні заряди. Проте, підвищення вихідного значення рН стічних вод може, навпаки, зменшити ефективність очистки за рахунок утворення гелевого шару з гідроксиду, який уповільнює процеси окиснення і, відповідно, утворення коагулянту.

Для дослідження закономірностей електрохімічного утворення коагулянтів електрокоагуляція проводилась на лабораторній установці, яка включає електролізер з органічного скла і розмірами 18 см × 15 см × 4 см. Об'єм стічної води, що оброблявся, складав близько 1 дм³. Площа алюмінієвих електродів складала близько 250 см². Електрокоагуляція проводилась упродовж 10 хвилин при густині електричного струму 50 А/м². Перед обробкою до стічної води додавалась лужна добавка, що дозволило варіювати показник рН від 4,0 до 8,7. В якості лужної добавки використовувався натрій гідроксид NaOH у вигляді 5% водного розчину. Ефективність очистки досліджувалась за наступними показниками стічної води: водневий показник рН, хімічне споживання кисню (ХСК), прозорість, кількість етеророзчинних речовин (ЕРР), вміст ортофосфат-іонів $[\text{PO}_4]^{3-}$ та іонів амонію $[\text{NH}_4]^+$. Результати дослідження впливу рН на процес очистки стічних вод наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Вплив показника рН на закономірності утворення коагулянтів та ефективність очистки стічних вод [6]

рН		ХСК, мгО/дм ³	ЕРР, мг/дм ³	Ефект очистки, %	
до електрокоагуляції	після електрокоагуляції			за ХСК	за ЕРР
4,0	-	12000	1260	-	-
4,0	5,0	1200	22	90,0	98,3
4,9	5,6	1200	9	90,0	99,3
5,8	6,2	1200	7	90,0	99,4
6,7	7,2	1100	7	90,9	99,4
7,6	7,2	1100	5	90,9	99,6
8,7	7,2	1080	2	91,0	99,9

Як видно з представлених результатів, після електрокоагуляції стічної води без додавання лужної добавки ефект очистки за ХСК та ЕРР дорівнює

90 та 98,3% відповідно. Додавання лужної добавки перед електрокоагуляцією до рН вихідної води 4,9-5,8 не впливає на ефект очистки за ХСК і в незначній мірі збільшує (приблизно на 1%) ефект очистки за ЕРР. При цьому рН води після електрокоагуляції зростає. Отже, можна стверджувати, що при проведенні електрокоагуляції в кислому та слабко кислому ($pH \approx 4,0-5,8$) середовищі у воді відбуваються електрохімічні процеси (4-6). При цьому переважає процес окислення води на катоді (5) з утворенням OH^- іонів, що призводить до незначного зростання рН середовища наприкінці електрокоагуляції. Очевидно, що в таких умовах утворення алюмінієвих іонів не відбувається, адже це неодмінно призвело б до зменшення рН. Тому можна зробити висновок, що при електрокоагуляції кислих та слабко кислих стічних вод ($4 < pH < 6$) головним чином утворюються частинки молекулярної будови $Al(OH)_3$, які здійснюють основну коагулюючу дію та забезпечують певний ефект очистки. При цьому, очевидно, більшою мірою реалізується адсорбційний механізм видалення забруднювачів.

Якщо перед електрокоагуляцією додавати лужну добавку до утворення нейтрального та слабко лужного середовища, то після обробки спостерігається наступне. Ефект очистки стічних вод дещо зростає як за ХСК (на 1%), так і за ЕРР (на 1,6%). При цьому показник рН води після обробки залишається нейтральним і не залежить від кількості доданої лужної добавки. Очевидно, це пов'язано з додатковим підкисленням стічної води внаслідок гідролізу мономерних $[Al(OH)]^{2+}$, $[Al(OH)_2]^+$ та полімерних $[Al_2(OH)_2]^{4+}$, $[Al_2(OH)_5]^+$, $[Al_6(OH)_{15}]^{3+}$, $[Al_{13}(OH)_{34}]^{5+}$ алюмінієвих іонів, що утворюються в надлишку OH^- іонів. При проведенні електрокоагуляції в нейтральному та слабко лужному середовищі у воді відбуваються електрохімічні процеси (4, 5, 7). Але процес утворення коагулянту у вигляді $Al(OH)_3$ за схемою (7) вочевидь практично не відбувається. Отже, при електрокоагуляції нейтральних та слабко лужних стічних вод ($9 > pH > 6$) в якості коагулюючих речовин виступають мономерні та полімерні алюмінієві іони, які є зарядженими частинками. Це і забезпечує більш високий ефект очистки стічних вод. При цьому реалізується змішаний механізм видалення забруднювачів – поряд із адсорбційним можливий електростатичний механізм коагулюючої дії.

Результати експериментів дозволили припустити, що додавання лужної добавки може бути більш ефективним після процесу електрокоагуляції стічних вод. Для перевірки цієї гіпотези були проведені дослідження по електрокоагуляції стічних вод з різним терміном проведення електрокоагуляції – 3, 5, 7 та 10 хвилин. Додавання лужної добавки до показника $pH=7,5$ та $pH=9,0$ здійснювалось після процесу електрокоагуляції. Оброблена вода з доданою лужною добавкою перемішувалась. Після

фільтрування у фільтраті визначались прозорість, ХСК, вміст фосфат-іонів, іонів амонію та етеророзчинних речовин Отримані результати представлені на рис. 5-10 та в табл. 2.

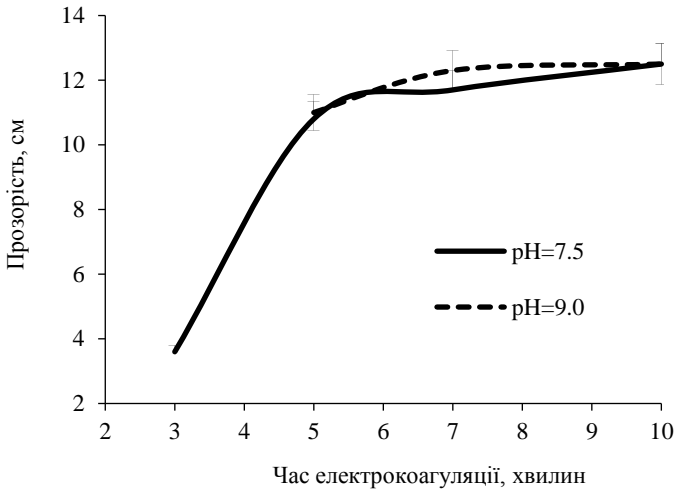


Рис. 5 Залежність прозорості стічних вод від рН та часу електрокоагуляції [6]

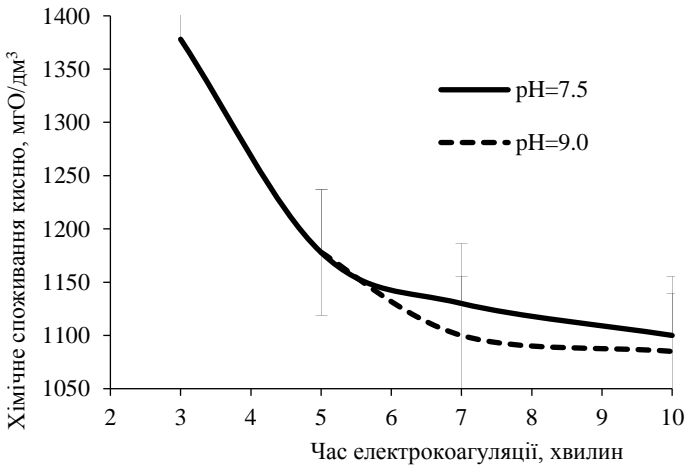


Рис.6 Залежність ХСК стічних вод від рН та часу електрокоагуляції [6]

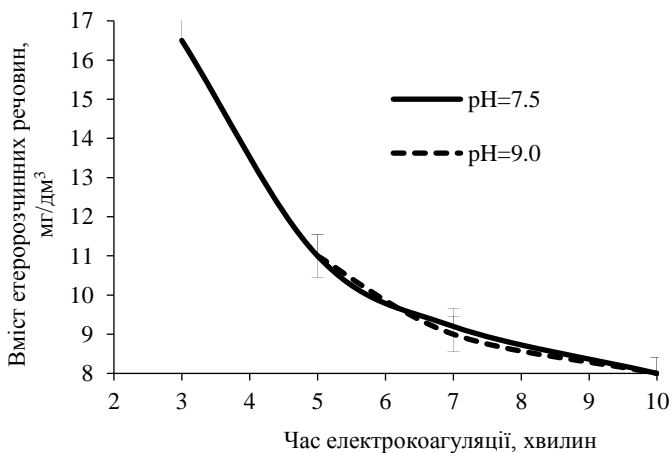


Рис. 7 Залежність вмісту ЕРР у стічних водах від рН та часу електрокоагуляції [6]

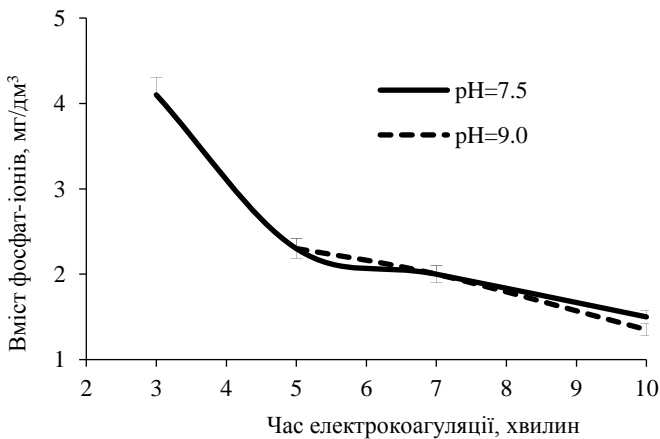


Рис. 8 Залежність вмісту фосфат-іонів у стічних водах від рН та часу електрокоагуляції [6]

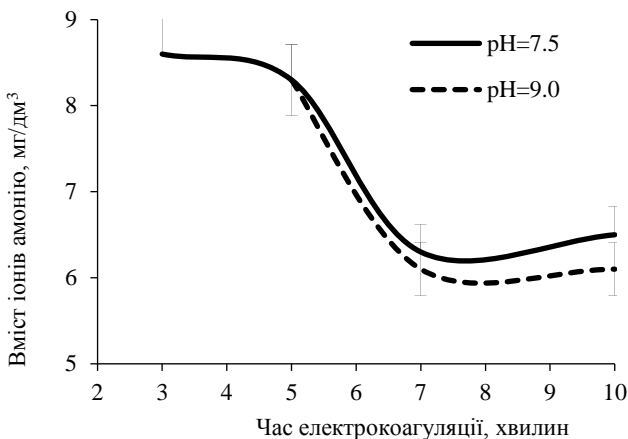


Рис. 9 Залежність вмісту іонів амонію в стічних водах від рН та часу електрокоагуляції [6]

Таблиця 2. Вплив рН та часу електрокоагуляції на ефект очищення стічних вод

Час електрокоагуляції, хвилин	рН	Ефект очистки, %				
		за прозорістю	за ХСК	за ЕРР	за вмістом фосфат-іонів	за вмістом іонів амонію
3	7.5	83.2	73.1	97.5	97.2	14.3
5	7.5	94.4	77.1	98.3	98.4	17.5
7	7.5	94.9	78.0	98.6	98.6	37.7
10	7.5	95.2	78.6	98.8	99.0	35.0
5	9.0	94.5	77.1	98.3	98.4	17.5
7	9.0	95.1	78.6	98.6	98.6	39.0
10	9.0	95.2	78.8	98.8	99.1	39.0

Виходячи з результатів експерименту, можна зробити наступні висновки. Закономірності впливу рН та часу електрокоагуляції на хімічний склад стічної води можна розділити на два періоди. Перший період обмежений часом електрокоагуляції від 3 до 5 хвилин. Під час цього періоду ефект очистки стічної води від будь-яких забруднювачів не залежить від рН. Другий період обмежується часом електрокоагуляції від 5 до 10 хвилин. В цей період значення рН впливає на ефект очистки: з підвищенням рН зростає. Отже, як видно з представлених даних, додавання лужної добавки після електрокоагуляції є більш ефективним та дозволить скоротити термін

процесу обробки. При цьому ефект очистки стічної води залишиться достатньо високим (98-99%). Це забезпечить економію електроенергії та позитивно вплине на еколого-економічну оцінку технології. Також із отриманих результатів можна зробити висновок, що значення показника рН суттєво не впливає на закономірності утворення коагулянтів, механізм коагулюючої дії та ефект очистки стічних вод.

Отже, в результаті проведених досліджень надана порівняльна характеристика екологічних, колоїдно-хімічних і технологічних аспектів утворення коагулянтів двома різними способами та встановлена ефективність застосування коагулянтів для очистки стічних вод молокозаводів. Коагулянти отримані двома способами: хімічним – гідролізом солей у стічних водах і способом електрохімічного розчинення металічних анодів під час електролізу.

Використані інформаційні джерела:

1. Andronov V. A., Danchenko Yu. M., Makarov Ye. O., Obizhenko T. M. Research of the regularities of forming and chemical composition of sewage water of a dairy processing company. *Technogenic and ecological safety*. 2020. 7 (1/2020). P. 13–21.

2. Андронов В. А., Данченко Ю. М., Макаров Є. О. Обґрунтування використання електрохімічних методів для попередньої очистки стічних вод молокопереробних підприємств. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: збірник наукових статей XV Міжнародної науково-практичної конференції. Харків : УКРНДІЕП. ПП «Стиль-Іздат», 2019. С. 9–13.

3. Андронов В. А., Макаров Є. О., Данченко Ю. М., Обіженко Т. М. Хімічний склад та закономірності утворення стічних вод молокопереробного підприємства. Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «*Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика*». Херсон, 2020. С. 232–236.

4. Andronov Vladimir, Makarov Yevhen, Danchenko Yuliya, Obizhenko Tatyana, Colloid-chemical regularities of reagent wastewater treatment of dairies. *Materials Science Forum*. 2021. 1038. P. 235–241.

5. Андронов В. А., Макаров Є. О., Данченко Ю. М., Обіженко Т. М. Колоїдно-хімічні аспекти реагентної очистки стічних вод молокозаводів. *Problems of Emergency Situations*: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Харків : Національний університет цивільного захисту України, 2021. С. 236–237.

6. Макаров Є. О., Андронов В. А., Данченко Ю. М. Електрохімічне утворення коагулянтів на основі алюмінію для очищення молочних стічних вод. *Problems of Emergency Situations* : Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Харків : Національний університет цивільного захисту України, 2022. С. 260–263.

**МОНІТОРИНГ СМІТТЄЗВАЛИЩ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ
ВІДХОДІВ: ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО
ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ**

**MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS MONITORING: CURRENT
EXPERIENCE WITH REMOTE SENSING DATA**

Даншина С. Ю., доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри
геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі

*Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Україна*

Danshyna S. Yu., Doctor of Technical Science, Associate Professor of Dept. of
Geo-information Technologies and Space Monitoring of the Earth

National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine

Анотація. *Мета досліджень – підвищення об’єктивності оцінок стану сміттєзвалищ шляхом розроблення та впровадження моделей інформаційної технології аналізу їх показників, отриманих при дослідженні просторово-розподілених даних із використанням геоінформаційних систем (ГІС). Аналіз проблеми підтвердив, що ефективний моніторинг сміттєзвалищ для забезпечення дотримання законодавства у сфері поводження з відходами є ускладненим, що потребує розроблення спеціалізованих моделей, орієнтованих на застосування ГІС при формуванні відповідних оцінок. Запропоновано підхід до оцінювання стану сміттєзвалищ на основі теоретико-множинного та функціонального моделювання. Розроблено структуру інформаційної технології аналізу показників при оцінюванні стану сміттєзвалищ, використання якої надає змогу формувати об’єктивні судження про їх стан на основі просторових даних. Практичне застосування запропонованого підходу для оцінювання стану сміттєзвалищ Харківської області підтвердило його ефективність при вирішенні завдань оцінювання динаміки утворення відходів, дотримання норм експлуатації, визначення відповідності їх стану чинним законодавчим і будівельним нормам.*

Abstract. *The purpose of the study is to increase the objectivity of assessing the state of landfills by developing and implementing models of information technology for analyzing several indicators of these objects based on the use of spatially distributed data and geoinformation systems (GIS). The analysis of the problem confirmed that effective monitoring of landfills to ensure compliance with*

legislation in the field of waste management is extremely difficult. This process requires the development of specialized models focused on the use of GIS in the formation of corresponding estimates. An approach to assessing the state of landfills based on the set-theoretic and functional modeling of the process of monitoring these objects is proposed. The structure of information technology for analyzing several indicators of the state of municipal solid waste landfills is proposed, the use of which will make objective judgments about the state of existing landfills based on spatial data. The practical application of the proposed approach for assessing the state of municipal solid waste landfills in the Kharkiv region confirmed its effectiveness in solving the problems of estimating the dynamics of waste generation, compliance with operating standards, determining their compliance with existing legal and building requirements.

Для будь-якої економічної системи характерне те, що покращення добробуту населення підвищує попит на споживчі товари. Це пояснює той факт, що за неухильного економічного зросту постійно збільшуються обсяги утворення відходів. Як зазначено в доповіді «Захист навколишнього середовища Європи» «...економічне зростання та споживання товарів є найсильнішим визначальним фактором генерування відходів, ніж усі ініціативи та заходи щодо їх попередження» [1]. Це підтверджує статистика по деяким європейським країнам, де починаючи з 2007 р. фіксують щорічні темпи зросту утворення твердих побутових відходів (ТПВ) на рівні до 7%. За цих обставин Україна не є винятком, але ситуація ускладнюється тим, що інфраструктура поводження з ТПВ в Україні, на відміну від ЄС, перебуває у «початковому» стані, а домінуючим способом поводження з відходами залишається їх зберігання на полігонах. Тому, з метою створення умов підвищення стандартів життя населення слід системно аналізувати та вирішувати проблему поводження з відходами [1, 2].

Ст. 1 Закону України «Про відходи» від 5.03.1998 р. № 187/98 ВР визначає поводження з ТПВ як дії, спрямовані на запобігання утворенню відходів, включаючи контроль за ними та нагляд за місцями їх зберігання. У зв'язку з цим особливої уваги потребують операції процесів поводження з відходами – операції зі збирання, перевезення, зберігання, сортування, оброблення (переробки), утилізації та захоронення відходів.

Постійний інтерес наукової громадськості всього світу до проблеми поводження з відходами також підтверджують результати бібліографічного пошуку. Багато публікацій акцентують увагу до проблем неналежної утилізації ТПВ (наприклад, М. Lakota, D. Stajko [3]), обґрунтуванню закриття неліцензованих звалищ (наприклад, N. Serog, B. A. Portnov [4]), санації старих полігонів (наприклад, Е. Фомина, К. Григоренко [5]) або створення нових, що відповідають правовим і екологічним нормам та

очікуваному зросту населення (наприклад, S. Rahimi at etc. [6] і D. A. Colvero at etc. [7]). Зазначимо, що специфіка різних країн, їх національна політика, «ступінь зрілості» процесів впливають на операції поводження з відходами. Але основним у розглянутих статтях є те, що в умовах глобального створення ТПВ розміщення звалищ у невідповідних місцях негативно впливає на екосистему в цілому (наприклад, N. Makarenko, O. Budak [8]), а завдання формування рішень щодо поводження з відходами стають багатокритеріальними, враховуючими екологічні, економічні та соціальні фактори [9, 10]. Також зазначимо, що кожна з проаналізованих публікацій акцентує увагу на питаннях впливу ТПВ на довкілля. Типовою є екологічно небезпечна ситуація, яка складається в місцях розташування сміттєзвалищ, пов'язана з тим, що їх неправильна експлуатація стає причиною погіршення якості питної води, атмосферного повітря, санітарно-гігієнічного стану сільськогосподарських ґрунтів, що, у сукупності, призводить до невдоволення місцевого населення. Також встановлено, що вплив сміттєзвалищ поширюється далеко за межі санітарно-захисної зони, тому слід удосконалювати систему їх моніторингу з обов'язковим урахуванням впливів на прилеглі території [11, 12]. При цьому, незалежно від аспектів проблеми, що розглядаються, результати аналізу наукових робіт свідчать про те, що ефективність моніторингу та оцінювання стану сміттєзвалищ з метою дотримання законодавства в сфері поводження з відходами суттєво ускладнюється великими розмірами територій, які слід відстежувати, наявними обмеженнями в людських і фінансових ресурсах, доступних природоохоронним і правоохоронним органам. Це потребує розроблення і впровадження спеціалізованих моделей, орієнтованих на застосування геоінформаційних систем (ГІС). Адже, ГІС відкривають нові можливості, пов'язані зі збором даних про об'єкти поводження з відходами, їх ідентифікацією, перевіркою на відповідність вимогам законодавства, оцінюванням стану сміттєзвалищ тощо [3, 7, 12]. Тому, метою дослідження є підвищення об'єктивності оцінок стану сміттєзвалищ шляхом розроблення та впровадження моделей інформаційної технології аналізу їх показників, отриманих при дослідженні просторово-розподілених даних, із використанням ГІС.

Незважаючи на деякий прогрес у вирішенні проблеми відходів в Україні, стратегія поводження з ТПВ залишається несформованою. Саме тому все частіше реалізують проекти, спрямовані на виявлення та контроль санкціонованих та стихійних місць зберігання ТПВ на основі відкритих даних [8, 10]. Вдалим прикладом таких проектів є інтерактивна карта Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України – геопортал «Есопара». Незважаючи на те, що внаслідок здійсненої кібератаки в умовах військових дій на сьогодні дію цього геопорталу призупинено, а

міністерство працює над новим технічним рішенням «Есопара 2.0», до недавнього, він досить вдало виконував функції з інформування користувачів щодо ситуації поводження з відходами за регіонами України. Проте, зазначені тут дані про постійні сміттєзвалища, суперечили іншим офіційним даним, наприклад, даним Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства, Департаментів екології та природних ресурсів регіонів тощо [10, 13]. Тому, на сьогодні оцінювання стану місць зберігання ТПВ наявними методами пов'язане не лише зі значними часовими та фінансовими витратами; результати, отримані з їх допомогою, мають суперечливий характер.

Із використанням авторської методології дослідження інформаційних процесів концептуально подамо процес оцінювання стану сміттєзвалищ як теоретико-множинну модель його інформаційних потоків [14, 15]:

$$I_Pr = (V, Z, \varphi, A, O, \psi), \quad (1)$$

Тут множину $V = \{v_1, v_2, \dots, v_4\}$ розглядають як множину вхідних даних, необхідних для оцінювання стану сміттєзвалищ; $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_4\}$ позначає множину документів, які регламентують процес; $A = \{a_1, a_2\}$ – множину операцій, необхідних для реалізації процесу оцінювання стану сміттєзвалищ; $O = \{o_1, o_2, o_3\}$ – множину вихідних даних процесу, що розглядається. Через φ у виразі (1) позначено функцію оновлення, виконання якої пов'язано з необхідністю уточнення вхідних даних процесу відповідно до вимог регламентуючих документів; через ψ – функцію виходів, яка однозначно визначає правила формування вихідних даних процесу.

Внутрішній зміст множин, поєднаних у виразі (1), розкрито на рис. 1.



Рис. IDEF0 – модель процесу як структура інформаційної технології аналізу показників при оцінюванні стану сміттєзвалищ

Виконання функції оновлення – відображення вигляду [15]:

$$\varphi: V \times Z \rightarrow V \quad (2)$$

пов'язане з необхідністю уточнення вхідних даних залежно від вимог документів множини Z . Як найпростіший спосіб визначення функції φ використовують перелічення, яке для кожного елемента множини V формує реалізації [14, 15]:

$$\begin{aligned} v_1 &= \varphi(v_1, z_1); \\ v_1 &= \varphi(v_1, z_2); \\ &\dots\dots\dots \\ v_4 &= \varphi(v_4, z_4). \end{aligned} \quad (3)$$

Наприклад, виконання функції оновлення для визначення елемента $v_2 = \varphi(v_2, z_2)$ передбачає, що перед оцінюванням стану сміттєзвалищ слід за дешифрувальними ознаками, їм властивим, перевірити, чи дійсно бачимо на космічних знімках звалище. Для звалищ характерною є неправильна форма, витягнутість уздовж лінійних об'єктів (автошляхів або залізниць, схилів річкових долин тощо) (рис. 2). Розміщені на звалищах ТПВ з високими коефіцієнтами відбиття на знімках дають різке підвищення яскравості – білі, світло-жовті, світло-блакитні відтінки. Найважливіша ознака сміттєзвалищ, що відображується на знімках, – дрібнозерниста текстура, яка утворюється внаслідок нерівності поверхні звалищ, доданої різними предметами [4, 16]. Спираючись на дані v_1 , отримані з геопорталу «Есопара», зокрема, на географічні координати сміттєзвалищ, дешифруємо їх за космічними знімками (рис. 2), виконуючи функцію оновлення φ , сформуємо елемент множини $v_2 = \varphi(v_2, z_2)$.



Рис. 2. Ілюстрація виконання функції оновлення для отримання $v_2 = \varphi(v_2, z_2)$ шляхом уточнення вхідних даних v_2 залежно від вимог множини z_2 : а, б – наявність сміттєзвалища підтверджено; в – наявність сміттєзвалища не підтверджено

Функція виходів – це відображення:

$$\psi: A \times V \rightarrow O, \quad (4)$$

яке залежно від складності інформаційного процесу можна подати в табличному, графовому або графічному вигляді [14].

На рис. 1 наведено графічне подання функції ψ на основі стандарту функціонального моделювання IDEF0, що алгоритмізує процес оцінювання стану сміттєзвалищ і задає структуру інформаційної технології, яку можна застосовувати в системах підтримки прийняття рішень щодо поводження з відходами. Тут як засіб виконання операцій a_1 і a_2 застосовують ГІС, що містить набір методів та інструментів для поєднання геопросторових даних з аргументами осіб, що приймають рішення [10, 15].

Отже, процес оцінювання стану сміттєзвалищ реалізується дискретно за часом. Значення входів і виходів змінюються залежно від вимог регламентуючих документів, попередніх даних на вході та набору операцій, необхідних для реалізації процесу:

$$\begin{cases} V(t) = \varphi(V(t-1), Z(t)); \\ O(t) = \psi(V(t), A(t)). \end{cases} \quad (5)$$

Важливим етапом створення будь-яких продуктів на основі дистанційних даних є їх верифікація або оцінка якості [12, 15]. Тому IDEF0-модель початковим етапом процесу визначає операцію a_1 – верифікацію даних про сміттєзвалища (рис. 1). Традиційно при ідентифікації та визначенні характеристик сміттєзвалищ їх розглядають як точки у просторі (на місцевості), дані про які беруть із землевпорядної документації [8, 10]. У IDEF0-моделі сміттєзвалища розглядають як географічні об'єкти зі своїми координатами, площею, непростою геометричною формою (див. рис. 2), що взаємодіють з іншими географічними об'єктами, просторові дані про які поєднують з декількох джерел. Це, відповідно до вимог ISO 9000:2005, забезпечує достовірність даних, які слід підтверджувати або практичним досвідом, або несуперечливістю відомим фактам. Тому, вихідні дані v_1 уточнюють і корегують за даними v_2 (дистанційними даними, отриманими зі знімків, що розглядають як практичний досвід) і даними v_3 (даними Публічної кадастрової карти, які інтерпретують як відомі факти). У результаті отримують перший вихід o_1 – базу даних про сміттєзвалища.

Вихід o_1 – це багатовимірна база даних, структуру якої складають текстова інформація про звалища у форматі .xlsx і знімки за необхідні дати дослідження у форматі .GeoTIFF з файлами прив'язки (наприклад, отриманих зі супутників Sentinel з ресурсу <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>) (рис. 3) [16, 17].

Отримана база даних стає основою для виконання операції a_2 – оцінювання стану сміттєзвалищ на відповідність вимогам законодавства

(див. рис. 1) і надає змогу сформуванню виходу O_2 і O_3 IDEF0 моделі.

Наприклад, аналіз даних для оцінювання стану сміттєзвалищ Харківської області (рис. 4) надав змогу отримати такі висновки [9, 15]:

- значна частина звалищ, особливо у сільській місцевості, є стихійними, розміщеними в природоохоронних зонах, не має обвалування (див. рис. 2, б), захисних насаджень (див. рис. 2, а) та інших способів захисту довкілля;

- 45% місць розташування звалищ не відповідає нормам відстані до об'єктів житлової забудови (відстань менше 500 м);

- 86 % місць розташування звалищ та полігонів ТПВ не відповідає нормам відстані до водних об'єктів (відстань менше 3000 м);

- 79% місць розташування звалищ не відповідає нормам відстані до сільськогосподарських угідь (відстань менше 200 м).

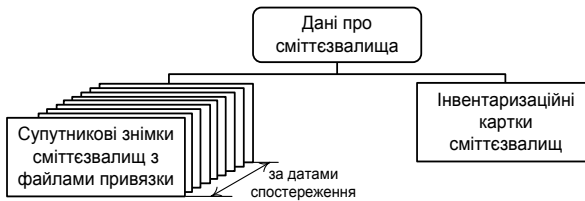


Рис.3. Узагальнений вміст багатомірної бази даних про сміттєзвалища

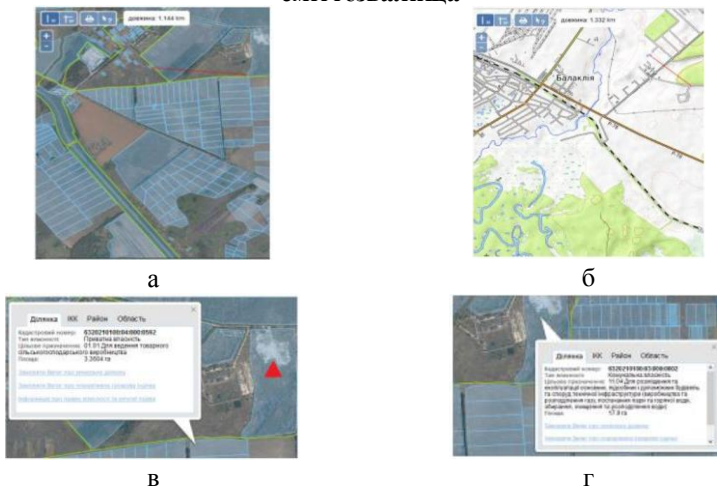


Рис. 4. Формування виходу O_2 за дистанційними даними: а – визначення відстані до об'єктів житлової забудови; б – визначення відстані до водних об'єктів; в – визначення відстані до

сільськогосподарських угідь; г – перевірка цільового призначення місць зберігання відходів

Ці результати були отримані з урахуванням даних Публічної кадастрової карти України (входу v3) (рис. 4) шляхом роботи зі знімками у програмі SAS.Planet.

Більш ґрунтовний аналіз стану сміттєзвалищ можна провести шляхом наочного подання зроблених висновків і формування виходу о₃ IDEF0-моделі – тематичних картографічних моделей сміттєзвалищ (рис. 5).

Як приклад такого виходу на рис. 5 наведено картографічну модель Люботинського полігону ТПВ. Цей об'єкт є найбільш показовим з точки зору недотримання норм санітарної й екологічної безпеки на місцях видалення відходів у Харківській області. За даними ресурсу <https://2day.kh.ua/news/> зафіксовано велику кількість скарг місцевого населення на негативний вплив цього полігону на довкілля, а його проектна документація й оцінка впливу на довкілля, отримана в 2013 р., неодноразово піддавались критиці експертів. Наведені вище результати аналізу стану сміттєзвалищ надають їх статичні показники, але більш цікавим, особливо у випадку формування стратегії поводження з відходами, є випадок дослідження динамічних змін стану звалищ [3, 12]. Як об'єкт для оцінювання динаміки зміни стану розглянемо полігон ТПВ біля с. Осинове Куп'янського районі Харківської області. За даними геопорталу «Есотара» цей полігон здано в експлуатацію в 2014 р. з метою відкритого наземного розташування комунальних змішаних відходів, відходів діяльності установ громадського харчування та технічного обслуговування. Площа земельної ділянки під полігон складає 8,88 га [18].

Для аналізу динаміки зміни стану полігону розглядалися знімки супутників Sentinel-2 в період із квітня 2015 р. по травень 2022 р. На рис. 6 наведено фрагмент бази даних зі знімками полігону за вибрані дати дослідження. Зазначимо, що лише у 2015 р. з'явилася можливість явно дешифрувати полігон за даними sentinel-hub (рис. 6, а).



Умовні знаки

Полігон ТПВ

Полігон ТПВ

Житлова забудова

Водні об'єкти

С/г угіддя

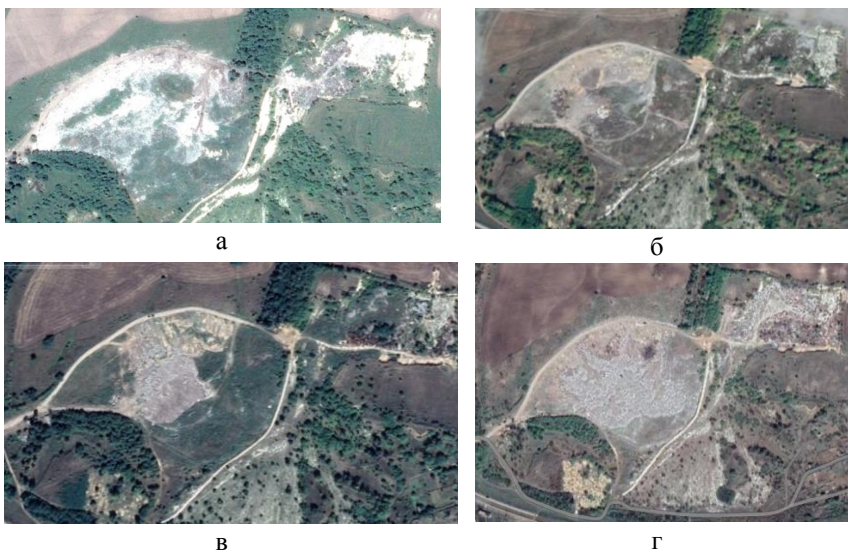
Межа міста

0 0,4 0,8 1,6 2,4 3,2
Кілометри

Інформація про Люботинський полігон

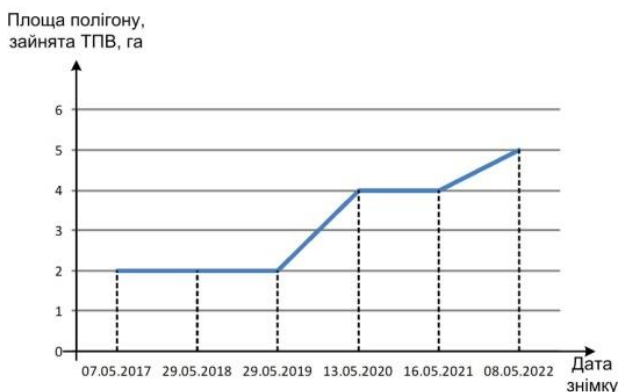
Назва полігону	Люботинський полігон «Вороний яр»
Дата введення в експлуатацію	2003 р.
Дата реконструкції	2016 р.
Площа	9,9 га
Проектна ємність	211842 м ³
Потужність	39 тис. м ³ на рік
Завантаженість	229929 м ³
Категорія екологічної безпеки МВВ	A (Малонебезпечні)
Клас небезпеки відходів	III-IV клас небезпеки
Географічні координати	Широта (49°58'), Довгота (35°55')
Адреса	Харківська обл. м. Люботин, вул. Слобожанська, 26
Інтервал висот	186,5 ... 191 м
Глибина залягання ґрунтових вод	149,1 м
Переважні ґрунти	суглинки жовто-бурі, темно-бурі
Наявність огороження	Так
Наявність протипожежних засобів	Так
Ширина санітарно-захисної смуги	270 – 500 м
Відстань до межі міста	Знаходиться в межі міста
Відстань до об'єктів житлової забудови	268 м
Відстань до водних об'єктів	92,5 м
Відстань до с/х угідь	126 м

Рис.5. Картографічна модель Люботинського полігону ТПВ як наочне подання виходу о₃ IDEF0-моделі



**Рис. 6. Знімки полігону ТПВ біля с. Осинове по роках дослідження:
а – 11.04.2015; б – 07.05.2017; в – 29.05.2018; г – 08.05.2022**

Аналізуючи знімки, зроблено висновок, що впродовж 2017-2019 рр. площа полігону, яку безпосередньо займали ТПВ, складала майже 2 га (рис. 7). Сталість цього показнику в умовах постійного зросту обсягів відходів можна пояснити не лише проведенням належним чином робіт із експлуатації полігону, але й численними пожежами, що фіксувалися за цей період службою ДСН у Харківській області (<https://2day.kh.ua/news/>).



**Рис. 7. Динаміка зміни площі полігону, зайнятої ТПВ,
за дистанційними даними спостережень**

Із 2020 р. спостерігається стрімке збільшення обсягів відходів; у 2022 р. їх обсяг на полігоні збільшився майже у 2,5 рази. Це призводить до збільшення частки зайнятої площі полігону (рис. 8), підтверджує неефективне використання площі, відведеної для нього, і можливі порушення технологічних норм утилізації відходів.

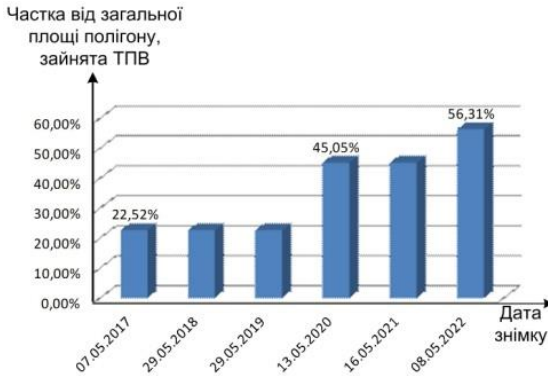


Рис. 8. Динаміка зміни частки площі, зайнятої ТПВ, відносно загальної площі полігону за дистанційними даними

Також зазначимо, що починаючи з 2019 р., знімки полігону стали більш світлішими з переважною наявністю білих і світло-блакитних відтінків (див. рис. 6, в та рис. 6, г). Це свідчить про можливі порушення санітарних норм експлуатації полігону, що підтвердила прокуратура Харківської області. За даними її прес-служби доведено службову недбалість директора полігону, який усупереч санітарним нормам приймав небезпечні хімічні відходи, поховання яких слід було проводити в спеціально відведених місцях, що спричинило забруднення довкілля та заподіяло шкоду державі в розмірі 250 000 грн. (<https://ecopolitic.com.ua/news/>).

Зрозуміло, що накопичені обсяги ТПВ становлять серйозну небезпеку для довкілля. Забруднюються практично всі компоненти геосистем – поверхневі та підземні води, ґрунти, біота, тощо [3, 8, 17]. Забруднення побутовими відходами впливає на довкілля через повітря, воду, рослини, які виростили на отруєному сміттям ґрунті. Цей вплив також можна зафіксувати за дистанційними даними.

Порівнюючи знімки полігону за 29.05.2018 р. і 08.05.2022 р., можна підтвердити існування його впливу на довкілля в цілому [18]. На рис. 9 показано стрімке зменшення кількості деревних насаджень зі сторони постійного напрямку вітру та зміну складу ґрунтів біля полігону.

Зазначимо, що наведені висновки сформовано за знімками невисокої

роздільної здатності, тому, ці дослідження носять теоретичний, більш ілюстративний характер, що показує принципову можливість використання дистанційних даних і визначає коло практичних завдань, які можна вирішувати за їх допомогою. Остаточні, більш ґрунтовні висновки, такі, що мають юридичні наслідки, слід виносити за результатів польових досліджень сміттєзвалищ, але сформувані та визначити «де та що шукати» можна за дистанційними даними.

Результати проведеного бібліографічного пошуку показали, що ефективний моніторинг сміттєзвалищ з метою забезпечення дотримання законодавства у сфері поводження з відходами вкрай ускладнено за декількох причин [4, 7, 9]. Це потребує розроблення спеціалізованих моделей, орієнтованих на застосування ГІС при формуванні відповідних оцінок [4, 6, 12].

Підтримуючи ідеї робіт [3, 12] про створення ефективної системи поведінки з відходами, результати дослідження спрямовано на отримання об'єктивних оцінок про стан сміттєзвалищ, які базуються на теоретико-множинному і функціональному моделюванні процесу їх оцінювання. Це можливо за рахунок розгляду сміттєзвалищ як географічних об'єктів із урахуванням актуальної інформації не лише з on-line порталів і державних установ, а й з урахуванням дистанційних даних.

На відміну від роботи [11], де використано експертні підходи для оцінки стану сміттєзвалищ, викладений матеріал дає змогу переконатися в ефективності використання дистанційних даних для вивчення стану звалищ і виявлення порушень правил поводження з відходами.



а



б

**Рис. 9. Визначення зон впливу полігону за дистанційними даними:
а – знімок за 29.05.2018 р.; б – знімок за 8.05.2022 р.**

Виявлення, картографування, моніторинг місць накопичення відходів на основі дистанційних даних дає змогу досягти декількох цілей, зокрема:

1. Дистанційні дані надають змогу актуалізувати інформацію про місця зберігання відходів. Складаючи карти джерел стаціонарного забруднення, інші тематичні карти з позначенням полігонів ТПВ, можливо виявити розбіжності та визначити «нові» об'єкти шляхом накладання на них результати дешифрування актуальних знімків, одержаних як шари цифрових карт. Ці об'єкти – або нові місця захоронення відходів, що не позначено на картах, але експлуатуються на законних підставах, або несанкціоновані, стихійні звалища, які слід оперативного ліквідувати.

2. Дистанційні дані дають можливість оцінювати вплив звалищ на навколишнє середовище, зафіксувати суттєві змінення або забруднення окремих компонентів довкілля (поверхневих вод, ґрунтів, рослинного покриву тощо).

3. Дистанційні дані надають інструменти об'єктивного контролю за функціонуванням місць захоронення відходів різних типів (побутових, промислових, будівельних, енергетики тощо), що дає змогу при мінімально необхідних фінансових і людських ресурсах значною мірою дотримуватися законодавства в сфері охорони навколишнього середовища.

Роботу виконано за підтримки Міністерства освіти і науки України (державні реєстраційні номери проєктів 0122U002298 і 0121U109480), а також за активної допомоги Регіонального центру космічного моніторингу Землі «Слобожанщина».

Використані інформаційні джерела:

1. Защита окружающей среды Европы – IV оценка [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://www.eea.europa.eu/www/ru/publications/state_of_environment_report_2007_1. – 1.02.2022.

2. Петрушка К. І., Петрушка І. М., Максимюк А. Б. Зарубіжний досвід утилізації відходів // Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022 : матеріали І Міжнар. наук.-практ. конф., Полтава – Львів, 26-27 травня 2022 р. Полтава, 2022. С. 470–471.

3. Lakota M., Stajko D. Using of GIS Tools for Analysis of Organic Waste Management in Slovenia Region Pomurje // Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment : Proceeding of 6th Int. Conf. 2013. Vol. 8. P. 570–579. doi: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.11.081>.

4. Seror N., Portnov B. A. Identifying areas under potential risk of illegal construction and demolition waste dumping using GIS tools // Waste Management. 2018. Vol. 75. P. 62–70.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.027>.

5. Фомина Е. Ю., Григоренко К. С. Европейский опыт проектов по санации старых полигонов ТБО // ИрГТУ. 2012. №6(65). С. 123–127.

6. Sustainable landfill site selection for municipal solid waste based on a hybrid decision-making approach: Fuzzy group BWM-MULTIMOORA-GIS [Online] / S. Rahimi [at etc.] // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 241. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619340569>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119186>. – 1.11.2021.

7. Use of a geographic information system to find areas for locating of municipal solid waste management facilities [Text] / D. A. Colvero [at etc.] // Waste Management. 2018. Vol. 77. P. 500–515.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.036>.

8. Makarenko N., Budak O. Waste management in Ukraine: Municipal solid waste landfills and their impact on rural areas // Annals of Agrarian Science. 2017. Vol. 15, issue 1. P. 80–87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.02.009>.

9. A dynamic optimization model for solid waste recycling / D. Anghinolfi, M. Paolucci, M. Robba, A.-C. Taramasso // Waste Management. 2013. Vol. 33, issue 2. P. 14–22, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.10.006>.

10. Даншина С. Ю. «Многофакторный анализ данных проектов развития в рамках концепции «Sustainable development»» [Электронный ресурс] // Информационные технологии в образовании, науке и производстве : материалы VII Междунар. научн.-техн. интернет-конф., Минск, Белорусь, 16-17 ноября 2019 г. Минск : БНТУ, 2019. С. 201–205. – Режим доступа : <http://rep.bntu.by/handle/data/27144>. – 1.01.2022.

11. Ілляш, О. Е., Билим Л. Р. Експертна оцінка потенційного впливу планованих об'єктів та рішень щодо поводження з побутовими відходами на довкілля та здоров'я людей // Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022 : матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф., Полтава-Львів, 26-27 травня 2022 р. Полтава, 2022. С. 277–281.
12. Singh A. Remote sensing and GIS applications for municipal waste management // *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 243. P. 22–29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvmen.2019.15.017>.
13. Мищенко В. Мир отходов и Украина в нем [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://zn.ua/energy_market/mir_othodov_i_ukraina_v_nem.html. – 1.11.2021 р.
14. Danshyna S., Fedorovich O., Djakons D. Formalization of the processes of projects for the development of high-tech enterprises // *Intelligent computer-integrated information technology in project and program management: collective monograph*, edited by I. Linde, I. Chumachenko, V. Timofeyev. Riga : ISMA University of Applied Science, 2020. P. 23–38. doi: <https://doi.org/10.30837/MMP.2020.023>.
15. Danshyna S. Yu., Nechausov A. S. Solution of the problem of placing medical facilities in city development projects // *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020. №3 (54). P. 138-149. doi <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-3-12>.
16. Андреев С. М., Жилін В. А. Геоінформаційна система підтримки прийняття рішень на базі сховища просторових даних геопорталу // *Сучасні інформаційні системи*. 2020. Т.4, №2. С. 60–79. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.11>.
17. Киченко К. В. Применение ГИС в задачах выявления мест хранения твердых бытовых отходов [Электронный ресурс] // *Информационные технологии в образовании, науке и производстве : материалы VII Междунар. научн.-техн. интернет-конф., Минск, Белорусь, 16-17 ноября 2019 г. Минск : БНТУ, 2019. С. 253–257. – Режим доступа : <http://rep.bntu.by/handle/data/68300>. – 1.01.2022.*
18. Смирнова Д. Є. Аналіз стану сміттєзвалища біля м. Куп'янськ за даними дистанційного зондування Землі // *Екологічна безпека держави: матеріали XVI Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, Київ, 21 квітня 2022 р. К., 2022. С. 61–62.*

СОРБЕНТИ НА ОСНОВІ ХІТИНОВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

SORBENTS BASED ON CHITIN MATERIALS FOR CLEAN ENVIRONMENT

¹Калінкевич О. В., молодший науковий співробітник,
¹Калінкевич О. М., кандидат фізико-математичних наук, старший
науковий співробітник, ²Скляр А. М., кандидат хімічних наук, доцент,
¹Коченко О. В., молодший науковий співробітник, ¹Чіванов В. Д.,
кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, ¹Кулик О. М.,
молодший науковий співробітник, ¹Гудаков О. О., молодший науковий
співробітник, ³Маркіна Т. Ю., доктор біологічних наук, професор

¹Інститут прикладної фізики НАН України, м. Суми, Україна

²Сумський державний педагогічний університет

³Харківський національний педагогічний університет

¹Kalinkevich O.V., researcher, ¹Kalinkevich A.N., senior researcher, ²Sklyar
A.M., PhD, associate professor, ¹Kochenko A. V., researcher, ¹Chivanov V. D.,
PhD, senior researcher, ¹Kulik O.M., researcher, ¹Gudakov O. O., researcher,
³Markina T.Yu., PhD, professor

¹Institute of applied physics, NAS of Ukraine, Sumy, Ukraine

²Sumy state pedagogical university, Sumy, Ukraine

³Kharkiv national pedagogical university, Kharkiv, Ukraine

Анотація. Одна з проблем воєнного часу – забруднення повітря (наприклад, витік аміаку в районі ПАТ «Сумхімпром», 21 березня 2022 р.) та води. Внаслідок військових дій можуть не працювати очищувальні станції, виникнути проблеми з питною через порушення систем водогонів, що може призвести до необхідності самотужки очищувати або створювати тимчасові системи очищення води з природних водойм. Крім того, можливі радіаційні та хімічні забруднення ґрунтових вод при знеструмленні шахт, а також неконтрольовані викиди від працюючих підприємств за відсутності контролю з боку держави. Одними з матеріалів, що добре себе зарекомендували у якості сорбентів, є хітин та хітозан різного походження. Ми в Інституті прикладної фізики у співробітництві з Сумським державним педагогічним університетом та Сумським державним університетом давно займаємося хітиновими матеріалами, в тому числі й тими, що використовуються у якості

сорбентів. В той же час в Україні немає власних традиційних джерел хітину – цей полімер переважно видобувається з морських ракоподібних. Друге традиційне джерело – відходи мікробіологічної промисловості, яка в Україні в достатній кількості не розвинена. Комахи є потенційно потужним джерелом хітину та хітозану. Особливо важливим джерелом можуть бути «культурні» комахи – переробники відходів, наприклад *Hermetia illucens*. Використання хітинового матеріалу цих комах – шлях до отримання дешевих та ефективних сорбентів та водночас до створення «циклічних» схем переробки органічних відходів, що може бути важливим при створенні приміщень для тривалого перебування груп людей в ізоляції (сховищ високого ступеню захисту, аналог «космічної станції»). Із хітину та хітозану також можна виготовляти перев'язочні матеріали та гемостатики, що дуже важливо у періоди війни, коли кількість поранених, що потребують первинної допомоги, значно зростає.

Abstract. *One of the problems of wartime is air (for example, ammonia leakage in the area of PJSC «Sumykhimprom», March 21, 2022) and water pollution. As a result of hostilities, treatment plants may not work, drinking problems may arise due to disruption of water supply systems, which may lead to the need to self-cleaning or create temporary water treatment systems from natural reservoirs. In addition, there may be radiation and chemical contamination of groundwater during de-energization of mines, as well as uncontrolled emissions from operating enterprises in the absence of state control. Chitin and chitosan of various origins are among the materials that have proven themselves well as sorbents. We at the Institute of Applied Physics in cooperation with Sumy State Pedagogical University and Sumy State University have long been engaged in chitinous materials, including those used as sorbents. At the same time, Ukraine does not have its own traditional sources of chitin, as this polymer is mainly extracted from marine crustaceans. The second traditional source is the waste from the microbiological industry, which is not sufficiently developed in Ukraine. Insects are a potentially powerful source of chitin and chitosan. Particularly important sources may be «cultivated» insects – waste processors, such as *Hermetia illucens*. The use of chitinous material of these insects is a way to obtain cheap and efficient sorbents and at the same time to create «cyclic» schemes for processing organic waste, which can be important in creating facilities for long-term isolation of groups of people (shelters of a high degree of protection, analogous to the «space station»). Chitin and chitosan can also be used to make bandages and hemostatics, which is very important during wartime, when the number of wounded in need of primary care is growing significantly.*

Хітозан та наноккомпозити на його основі є широко вивченими зеленими сорбентами з властивостями біосумісності, біорозкладаності, нетоксичності та високої сорбційної здатності щодо ряду сполук [1, 2]. Традиційним джерелом хітину і хітозану є ракоподібні, в той же час, завдяки розвитку технічної ентомології, як джерело хітину все частіше використовуються комахи.

Комахи-біоконвертори є відповідними кандидатами, оскільки хітин є побічним продуктом ферм комах для кормів. Серед комах *Hermetia illucens*, чорну муху-солдат, вирощують близько 80% європейських ферм комах завдяки її чудовій здатності до біоконверсії, личинки здатні харчуватися органічними субстратами, перетворюючи їх на біомасу високої біологічної цінності, що складається з білка. і ліпіди для використання в основному в кормах [3] Личинка *H. illucens* може розвиватися на відходах сільського господарства і використовуватися не тільки як джерело білка, а й для виробництва хітину. Життєвий цикл *H. illucens* складається з п'яти личинкових стадій, за якими йдуть стадії передлялечки й лялечки, і з'являються дорослі особини. З кожної стадії можна витягти хітин. Таким чином, розведення *H. illucens* дозволяє безперервно постачати лялечку, частину екзоскелета, що вивільняється після линьки, і мертвих дорослих особин, які є відходами, багатими хітином. Процедура виділення хітину з личинок *H. illucens* не є складною. На відміну від хітину ракоподібних, хітин від комах не потребує тривалої демінералізації. У нашій роботі з мушлів *H. illucens* були отримані різні зразки хітозану/сорбентів (Литва) та охарактеризовані за допомогою SEM, XRD та TPDMS. Проведено їх магнітну модифікацію (наномагнетит), нашою метою була можливість та перспективи використання їх для очищення води від органічних/неорганічних забруднюючих речовин.

Магнітні наноматеріали опинилися в центрі уваги за останні десятиліття, про що свідчить значне збільшення кількості наукових праць, присвячених цим матеріалам [4]. Наночастинки оксиду заліза є основними компонентами найбільш перспективних магніточутливих систем для наномедицини, починаючи від доставки ліків і візуалізації до гіпертермічного лікування раку, а також систем швидкої діагностики з використанням магнітних наночастинок [5]. Магнітні наноматеріали можуть бути використані як сорбенти для аналізу мікроелементів в екологічних та біологічних зразках [6], а також для очищення промислових стічних вод від барвників та важких металів [7, 8]. Особливий інтерес у цьому плані становить магнітна модифікація біополімерів, які добре зарекомендували себе як сорбенти в ряді медичних застосувань. Методи такої модифікації постійно вдосконалюються [9].

У цій роботі використано оболонки личинок *H. illucens*, отримані з інсектарію Харківського національного педагогічного університету, та оболонки личинок промислового виробника *H. illucens* («Insectum», Литва). Для отримання сорбентів на основі матеріалу оболонки личинок після попереднього очищення матеріалу використовували різні варіанти кислотної (1 М HCl) та лужної (50% NaOH) обробки. Метою є отримання ефективних та зручних у використанні сорбентів із природного матеріалу найпростішим способом. Використовували також два сорбенти на основі кислотно оброблених оболонок личинок *H. illucens* виробництва Центру фізичних наук і технологій м. Вільнюс (Литва), які відрізняються процедурою деацетилювання.

Наночастинки магнетиту, синтезовані в мікрохвильовій печі, були отримані з гептагідрату сульфату заліза при високому рН, як описано в [9]. Для магнітної модифікації діаманітного матеріалу хітинові матеріали змішують із охолодженою суспензією магнітних наночастинок в органічному розчиннику, а потім сушать при 60 °С.

Кристалічну структуру матеріалів досліджували за допомогою рентгенівської дифракції (XRD), морфологію – за допомогою скануючої електронної мікроскопії (SEM).

Електронно-мікроскопічні дослідження проводили на скануючому мікроскопі REMMA-102 (ВАТ «СЕЛМІ», м. Суми, Україна). Для запобігання накопиченню поверхневого заряду діелектричні зразки покривали тонким шаром (30-50 нм) міді магнетронним напиленням.

У даній роботі рентгеноструктурні дослідження проводили на дифрактометрі ДРОН-4-07 (www.bourestnik.spb.ru). Використовували випромінювання $\text{CoK}\alpha$ (довжина хвилі 0,179 нм), фокусування Брегга-Брентано θ - 2θ (2θ – кут Брегга). Результати експерименту оброблені програмним пакетом DifWin-1 (ТОВ «Еталон ПТК», Росія).

Для дослідження виділення води та карбонатів використовували температурно-програмовану десорбційну мас-спектрометрію (TPDMS).

Елементний аналіз на вуглець, азот, водень та сірку проводили на автоматичному елементному аналізаторі EA3000 «Свровектор».

Вміст Cu та Cd у дослідженні сорбції вимірювали за допомогою атомно-абсорбційної спектроскопії (КАС-120, ВАТ «СЕЛМІ», м. Суми, Україна).

Загальний вигляд вихідного матеріалу та хітин-вмісних матеріалів на основі панцирів личинок наведено на рис. 1.

Електронно-мікроскопічні дослідження показують, що хітин комах певною мірою зберігає структуру панцирів (рис. 2).

Обробка нанорозмірним магнетитом істотно не впливає на структуру хітинового матеріалу, але надає йому магнітні властивості.

У таблиці 1 наведено дані щодо елементного (C, N, H, S) складу оболонки личинок (FLS), хітину, отриманого з оболонки, та двох сорбентів, FLS1 з більш жорсткою процедурою деацетилювання та FLS2 з м'якшим деацетилюванням.



Рис. 1. Личинки *H. illucens*, личинки *H. illucens* після обробки, хітозан з личинок *H. illucens*

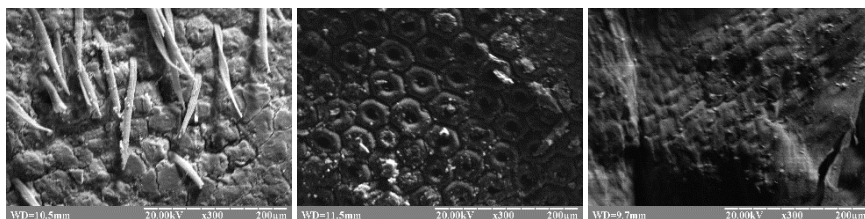


Рис. 2. Електронна мікроскопія: личинки *H. Illucens*, личинки *H. Illucens* після обробки, хітозан з личинок *H. Illucens*

Таблиця 1. Елементарний хімічний склад оболонок личинок *H. Illucens*

Зразок	Елементи			
	N, %	C, %	H, %	S, %
FLS	1,304	13,494	1,99	0
FLS1	4,25	62,699	9,926	0
FLS2	3,775	83,636	12,977	0
Хітин	8,748	46,707	7,01	0

Більша кількість N відповідає більшому ступеню деацетилювання. Як не дивно, процедура виділення хітину дає найбільший відсоток азоту, що може свідчити про те, що процедура також супроводжується процесом деацетилювання. Нульовий вміст сірки є доказом доброї депротейнізації зразків.

У дослідах сорбції важких металів сорбенти та хітиновий матеріал піддавали впливу 0,1 мг/л водного розчину Cu та Cd. Результати через 48 годин наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Результати сорбції важких металів хітиновим матеріалом

Зразок	Сорбція після 48 г інкубації, %	
	Cu	Cd
FLS1	100%	56,9%
FLS2	100%	10%
Хітин	81,5%	20%

Матеріали показують значно кращі результати для Cu, сорбенти адсорбують весь Cu в розчині через 48 год., хітозан демонструє гіршу активність. Але у випадку Cd найкращий результат показує сорбент FLS1, але навіть цей результат не можна вважати хорошим. Сорбційна активність щодо важких металів потребує подальшого дослідження.

На рис. 3 показана рентгенограма магнітно-модифікованого хітинового матеріалу. Широке гало в області 20-30 градусів відповідає аморфній фракції матеріалу. Піки в області 40-80 градусів 2θ відповідають магнетиту (JCPDS 88-315), ширина піків свідчить про нанорозміри кристалітів магнетиту. Наявність нанокристалів магнетиту надають матеріалам магнітних властивостей (рис. 4).

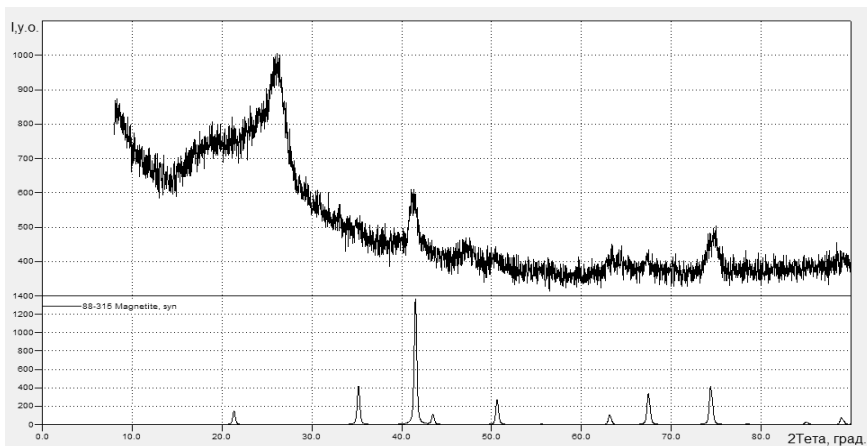


Рис. 3. Рентгенівська дифрактограма магнітного матеріалу на основі оболонок личинок *H. illucens*. Знизу – еталонна дифрактограма магнетиту (JCPDS 88-315).

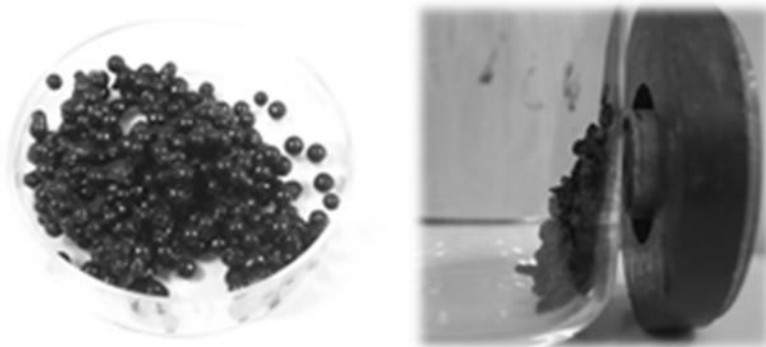


Рис. 4. Магнітні матеріали на основі оболонок личинок *H. illucens*

Дані TPDMS показують різні профілі десорбції води для спеціальних сорбентів FLS1 і FLS2, виготовлених із оболонок личинок *H. illucens* і хітинового матеріалу з цих оболонок. Вода з хітинових матеріалів виділяється при 200 °С, тоді як сорбенти демонструють два піки виділення води, один при 200 °С, а другий високотемпературний пік ближче до 300 °С, що вказує на різний зв'язаний стан води в цих матеріалах. і, отже, істотна різниця в місцях поверхневої сорбції.

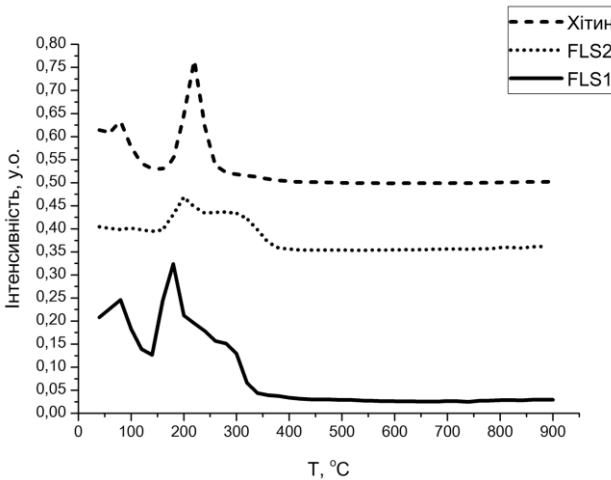


Рис. 5. Профілі TPDMS вивільнення іону $[H_2O]^+$ (m/z 18) із сорбентів та хітинового матеріалу. Криві розташовані одна над однієї для наочності

Результати роботи показують можливість виробництва дешевих та ефективних сорбентів на основі природного хітинового матеріалу з *H. illucens* та можливість дешевої та простої магнітної модифікації цих сорбентів, що дозволяє легко вилучати їх із середовища при необхідності за допомогою зовнішнього магнітного поля. Зараз ми працюємо над сорбентами на основі матеріалів з *H. illucens* спільно з Литвою. Оскільки кошти зараз витрачаються переважно на військові дії, литовські партнери могли б постачати сировину в рамках гуманітарної допомоги надавати консультаційну допомогу при створенні сорбентів на її основі, а згодом таке виробництво можна буде налагодити в Україні.

Але, зрозуміло, що ефективно долати екологічні проблеми без досягнення миру неможливо. Кошти, що витрачаються на зброю – марнування ресурсів людства, які могли б бути спрямовані на вирішення його нагальних і болючих проблем.

Ми вдячні спільному чесько-українському проекту «Недорогі та прості у приготуванні магнітні композити на основі хітозану для іммобілізації хітину, ферментів, біосорбції, біосенсорів та біомедицини» та особливо проекту EUREKA E!13636 «Flychitin» та нашим колегам з Литва (Центр фізичних наук і технологій, Вільнюс) за підтримку цієї роботи.

Використані інформаційні джерела:

1. Khan A., Ali N., Malik S., Bilal M., Munir H., Fernando L., Ferreira R., Iqbal H.M.N. Chapter 13 - Chitosan-based green sorbents for toxic cations removal, *Sorbents Materials for Controlling Environmental Pollution Current State and Trends*. pp. 323-352, 2021, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820042-1.00014-6>
2. Da Silva Alves D.C., Healy B., Pinto L.A.A., Cadaval Jr T.R.S., Breslin C.B. Recent developments in chitosan-based adsorbents for the removal of pollutants from aqueous environments // *Molecules*. 2021. vol. 26. pp. 594, 2021, <https://doi.org/10.3390/molecules26030594>
3. Triunfo M., Taf E., Guarnieri A., Salvia R., Scieuzo C., Hahn T., Zibek S., Gagliardini A., Panariello L., Coltelli M.B., De Bonis A., Falabella P. Characterization of chitin and chitosan derived from *Hermetia illucens*, a further step in a circular economy process // *Scientific Reports*. 2022. 12:6613, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10423-5>
4. Gul S., Khan S.B., Rehman I.U., Khan M.A., Khan M.I. A comprehensive review of magnetic nanomaterials modern day theranostics // *Front. Mater*. 2019. vol. 6, pp. 179, <https://doi.org/10.3389/fmats.201>
5. Socoliuc V., Peddis D., Petrenko V.I., Avdeev M.V., Susan-Resiga D., Szabo T., Turcu R., Tombacz E., Vekas L. Magnetic nanoparticle systems for nanomedicine – a materials science perspective. // *Magnetochemistry*. 2020. Vol. 6, <https://doi.org/10.3390/magnetochemistry6010002>
6. He M., Chen Zh., Xu Ch., Chen B., Hu B. Magnetic nanomaterials as sorbents for trace elements analysis in environmental and biological samples // *Talanta*. 2021. Vol. 230. 122306, <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122306>
7. Panda S. K., Aggarwal I., Kumar H. et al. Magnetite nanoparticles as sorbents for dye removal: a review // *Environ. Chem. Lett*. 2021. Vol. 19, pp. 2487-2525, <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01173-9>
8. Abdel Maksoud M.I.A., Fahim R.A., Bedir A.G., Osman A.I., Abouelela M.M., El-Sayyad G.S., Elkodous M.A., Mahmoud A.S., Rabee M.M., Al-Muhtaseb A.H., Rooney D.W. Engineered magnetic oxides nanoparticles as efficient sorbents for wastewater remediation: a review // *Environmental Chemistry Letters*. 2022. vol. 20(1), pp. 519-562, <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01351-3>
9. Safarik I., Prochazkova J., Pospiskova K. Rapid magnetic modification of diamagnetic particulate and high aspect ratio materials // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.167430>

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО АЛГОРИТМУ ВИБОРУ ПРИРОДОЗАХИСНОГО ОБЛАДНАННЯ

DEVELOPMENT A SOFTWARE ALGORITHM FOR SELECTION ENVIRONMENTAL PROTECTION EQUIPMENT

Козій І. С., кандидат технічних наук, доцент,
Пляцук Л. Д., доктор технічних наук, професор

Сумський державний університет, Україна

Kozii I., PhD, Associate Professor,
Plyatsuk L., Doctor of Science, Professor

Sumy State University, Ukraine

Анотація. Дослідження присвячене розробці алгоритму вибору пилогазоочисного обладнання для зниження техногенного впливу на навколишнє середовище від викидів промислових підприємств, які є джерелами комплексного забруднення довкілля. Необхідність дослідження обумовлена неефективністю природоохоронних заходів, що вживаються, через величезну кількість різних конструкцій апаратів для очищення викидів, їх не універсальністю і низькою ефективністю роботи систем очищення. В результаті в атмосферу надходять пилогазові викиди, які в основному містять дрібнодисперсні зважені краплі рідини й різні за дисперсним складом зважені тверді частинки. Метою дослідження є розробка алгоритму вибору оптимального пилогазоочисного обладнання з урахуванням реальних умов технологічного середовища та характеристик забруднюючих речовин. Поставлена мета досягається за допомогою логічного та математичного опису одночасного обліку параметрів забруднюючих речовин, умов середовища та параметрів технологічного обладнання. Унікальність розробленого алгоритму полягає в повторній перевірці відповідності кожного параметра обладнання умов середовища і характеристик забруднюючих речовин. Запропонований алгоритм, на відміну від підходів, що застосовуються на практиці, характеризується гнучкістю роботи за рахунок передбаченої можливості доповнення та вдосконалення баз даних забруднюючих речовин та обладнання.

Abstract. The work is devoted to the development of an algorithm for selection dust and gas purification equipment in order to reduce the anthropogenic impact on the environment from emissions from industrial

enterprises, which are sources of complex environmental pollution. The need for the research was necessitated by the inefficiency of environmental measures taken due to the huge number of devices with different designs for emissions' purification, their non-universality and low efficiency of the purification systems. The main goal of the study was to develop a software algorithm for the reasonable choice of the optimal dust and gas purification equipment, taking into account the actual conditions of the technological environment and the characteristics of pollutants. The goal was achieved using a logical and mathematical description of the pollutant parameters, environmental conditions and process equipment parameters. The uniqueness of the developed algorithm consisted of rechecking the compliance of each equipment parameter with environmental conditions and pollutant characteristics. The proposed algorithm, in contrast to the approaches used in practice, was characterized by the work flexibility due to the possibility of supplementing and improving the databases of pollutants and equipment.

Зменшення техногенного навантаження від пилогазових викидів і підвищення ефективності використання технологічних рішень на промислових підприємствах із метою збереження навколишнього середовища є актуальною проблемою для забезпечення життєдіяльності людства світового масштабу. Лише вдалий вибір природозахисного обладнання не може вирішити усі проблеми із забезпечення ефективного його використання, необхідно також оптимізувати технологічні схеми з урахуванням більшої кількості вихідних умов. Тому, питання вибору оптимальних технологічних рішень очищення викидів становить наукову новизну і зумовлює необхідність розробки програмних рішень та актуальність дослідження напрямків зниження навантаження на навколишнє середовище.

Метою дослідження є розробка алгоритму вибору оптимального пилогазоочисного обладнання з урахуванням реальних умов технологічного середовища та характеристик забруднюючих речовин. Поставлена мета досягається за допомогою логічного та математичного опису одночасного обліку параметрів забруднюючих речовин, умов середовища та параметрів технологічного обладнання.

Питання аналізу основних типів пилогазоочисного обладнання та систем обробки баз даних цього обладнання широко представлені в науковій літературі. Зведені характеристики обладнання та параметри технологічного процесу вимагають багато часу для обґрунтованого рішення щодо вибору обладнання [1-4]. Складність запропонованих підходів полягає в громіздкості баз даних обладнання, обмеженому переліку характеристик забруднюючих речовин та вузькій спрямованості вибору обладнання на відповідність, головним чином, технічним вимогам [5].

Проблема обґрунтованого вибору оптимального пилогазоочисного обладнання полягає в тому, що необхідно враховувати параметри забруднюючих речовин та умови середовища проведення процесу.

У загальному вигляді методику вибору оптимальних технологічних рішень для очищення пилогазових викидів можна представити на рис. 1.

Схема є сукупністю трьох елементних блоків: забруднююча речовина; технологічні умови середовища; пилогазоочисне обладнання [6].

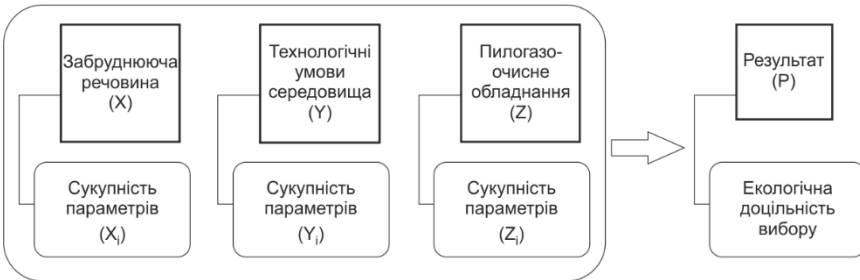


Рис. 1. Схема умов вибору технологічного рішення

Співвідношення цих блоків між собою дає певний еколого-технологічний результат застосування технологічного рішення у разі конкретної забруднюючої речовини.

Кожен із наведених блоків (X, Y, Z) можна уявити сукупністю характеристик його параметрів (X_i, Y_i, Z_i).

База даних забруднюючих речовин. База даних забруднюючих речовин сформована у вигляді двовірної матриці розміром $i \times j$ (рис. 2), де i – кількість забруднюючих речовин, у матриці; j – кількість різних за фізико-хімічними характеристиками різновидів конкретної забруднюючої речовини у матриці.

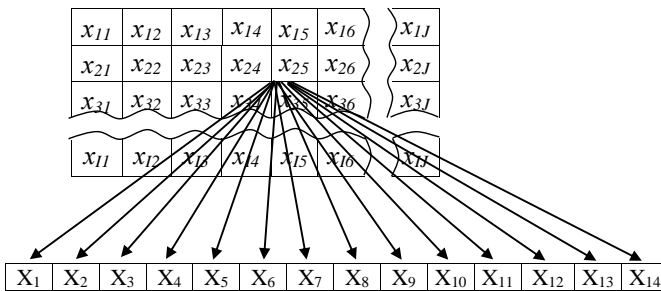


Рис. 2. Матриця об'єктів підмножини забруднюючих речовин

База містить інформацію про певний перелік забруднюючих речовин, враховуючи їх різноманіття, фізико-хімічні та санітарно-гігієнічні параметри, необхідні для прийняття зважених рішень щодо вибору обладнання. Виходячи з мети дослідження, визначається вага різних характеристик забруднюючих речовин – можливий як технологічний, так і санітарно-гігієнічний ухил. Інформація цієї бази даних формується на підставі інвентаризації виробництв, умов технологічних процесів та довідкових даних щодо певних забруднюючих речовин.

Кожна комірка x_{ij} двомірної таблиці є характеристикою i -го забруднюючої речовини (порядковий номер у матриці по горизонталі) j -го різновиду (порядковий номер у матриці по вертикалі) і включає наступні параметри:

X_1 – агрегатний стан забруднюючої речовини. Цей параметр впливатиме на вибір методу очищення викидів виробництва. Для зручності подальших розрахунків було прийнято, що твердий стан приймаємо рівним 0, рідкий та газоподібний – 1.

X_2 – дисперсність забруднюючої речовини, мкм. Цей параметр обмежуватиме використання апаратів, де можливий «проскок» частинок певного розміру та, відповідно, впливає на ефективність роботи технологічного обладнання.

X_3 – щільність забруднюючої речовини, mg/cm^3 . Це фізичний параметр досліджуваного речовини, який береться виходячи з довідникових чи лабораторних даних, і може впливати на роботу очисного устаткування.

X_4 – форма частинок забруднюючої речовини. Даний параметр будемо застосовувати для опису фізичної форми твердих забруднюючих речовин, яка може впливати на поведінку потоку забрудненого повітря всередині газоочисного обладнання. Для ізометричної форми частинок приймемо значення 3, пластинчастих частинок – 2, волокон – 1.

X_5 – клас небезпеки забруднюючої речовини. Це санітарно-гігієнічний параметр, який приймається залежно від чинних санітарних норм у діапазоні від 1 до 4.

X_6 – вплив на організм людини. Це санітарно-гігієнічний параметр, який залежить від наслідків впливу на організм людини забруднюючої речовини. Для речовин, що викликають подразнення/пошкодження шкіри, приймаємо значення 3, респіраторну/фіброгенну дію – 2, отруйну/канцерогенну дію – 1.

X_7 – хімічний склад забруднюючої речовини, який використовуватиметься як інформаційне відображення складу речовини та для можливих хімічних реакцій в апаратах хемосорбції.

X_8 – гранично допустима концентрація забруднюючої речовини, мг/м³. Це санітарно-гігієнічний параметр, який вказуватиме на потенційну небезпеку забруднюючої речовини для людини.

X_9 – злипання частинок забруднюючої речовини, виражене через механічну напругу на розрив шару частинок, Па. Цей параметр використовуватимемо при складанні бази даних обладнання.

X_{10} – горючість частинок забруднюючої речовини. Для горючих речовин набуваємо значення 1, негорючих – 0. Цей параметр є обмеженням для використання обладнання, що містить горючі матеріали та високу температуру експлуатації.

X_{11} – змочуваність частинок забруднюючої речовини, °. Це фізичний параметр, який визначається для твердих забруднюючих речовин у лабораторних умовах.

X_{12} – розчинність у воді забруднюючої речовини, яка може впливати на процес уловлювання речовин в апаратах мокрого типу. Для розчинних речовин приймаємо значення 2, слабозчинні – 1, нерозчинні – 0.

X_{13} – здатність до поглинання забруднюючої речовини (сорбція) компонентів навколишнього середовища. Для речовин-сорбентів приймаємо значення 1, не здатних до поглинання речовин – 0.

X_{14} – здатність забруднюючої речовини вступати у хімічну реакцію. Цей хімічний параметр спричиняє можливість застосування мокрих способів очищення (хемосорбції) з нейтралізацією забруднювача.

Цей перелік фізико-хімічних та санітарно-гігієнічних параметрів забруднюючих речовин можна розширити залежно від бажаного кінцевого результату вибору технологічного рішення.

Для узагальнення інформації щодо бази даних забруднюючих речовин наведемо базу даних для конкретних забруднюючих речовин підприємств теплоенергетики та хімічної промисловості (табл. 1).

База даних параметрів технологічного середовища. За аналогією формуємо базу даних як матрицю параметрів середовища (умов для забезпечення процесу очищення) під час надходження викидів, що містять забруднюючі речовини від джерела викиду. Матриця умов враховуватиме наступні параметри:

Перша колонка – конкретні умови навколишнього середовища, що характеризуються набором умов під час викиду забруднюючих речовин та визначенням вибору параметрів для реалізації технічних рішень.

Y_1 – умова вмісту вологи у викиді забруднюючих речовин. Для вологомістких викидів приймемо значення 1 (маємо на увазі що забруднюючі речовини викидаються з істотним супутнім вмістом вологи), сухий викид забруднюючої речовини – 0. Цей технологічний параметр

впливатиме на вибір подальшого способу очищення викидів (суха, мокра) з бази технологічного обладнання.

Y_2 – умова максимального обсягу викидів, м³/год. Цей технологічний параметр впливатиме на вибір певного технологічного рішення з урахуванням його пропускної спроможності з очищення.

Y_3 – умова максимального значення температури викиду забруднюючих речовин, °С. Цей параметр обмежуватиме вибір технологічного обладнання за температурним режимом очищення.

Y_4 – умова наявності сторонніх домішок окрім конкретної забруднюючої речовини. За наявності сторонніх домішок приймаємо значення, що дорівнює 1, за відсутності сторонніх домішок – 0. Цей технологічний параметр може ускладнювати процес очищення від речовин, здатних вступати в хімічну реакцію і вимагає, як варіант, використання більш комплексних технологічних рішень.

Таблиця 1. Приклад бази даних забруднюючих речовин

Параметр	Забруднююча речовина					
	Аерозоль двоокису титану	Пил ільменіту	Діоксид сірки	Діоксид азоту	Сірчана кислота	Діоксид вуглецю
X_1	0	0	1	1	1	1
X_2	0,26	7,2	-	-	-	-
X_3	2920	3600	2,619	2,052	1836	1,839
X_4	3	3	-	-	-	-
X_5	4	4	3	3	2	4
X_6	2	2	2	2, 3	1, 2, 3	2
X_7	TiO ₂	FeTiO ₃	SO ₂	NO ₂	H ₂ SO ₄	CO ₂
X_8	10	10	10	2	1	3
X_9	780	320	-	-	-	-
X_{10}	0	0	0	0	0	0
X_{11}	36	72	-	-	-	-
X_{12}	0	0	2	2	2	2
X_{13}	0	0	1	1	1	1
X_{14}	0	0	1	1	1	1

Узагальнення матриці параметрів технологічних умов середовища наведено у табл. 2.

Таблиця 2. База даних технологічних умов середовища

Тип умов	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1 варіант	0	3000	100	0
2 варіант	0	30000	250	0
...
n варіант	0 або 1	0 або 1

База даних параметрів пилогазоочисного обладнання. Третім ключовим блоком дослідження є формування матриці параметрів пилогазоочисного обладнання [7], яке може бути використане для видалення забруднюючих речовин (або є в наявності на конкретному промисловому підприємстві чи потенційно можливого для використання) і враховує такі параметри:

Перша колонка – назва пилогазоочисного обладнання.

Z_1 – параметр апарату, який відповідає за можливість сухого або мокрого способу очищення. Для апаратів мокрого типу приймаємо значення 1, для сухого типу – 0. За ступенем важливості це вагомий показник, який пропонуємо використовувати першим для подальшого підбору технологічних рішень.

Z_2 – максимальне навантаження апарату по газовій фазі, $\text{м}^3/\text{год}$. Цей технологічний параметр характеризуватиме пропускну здатність апарату з очищення пилогазового потоку забруднюючої речовини.

Z_3 – гідравлічний опір апарату, Па. Цей технологічний параметр обладнання враховує втрати енергії під час проходження пилогазового потоку в процесі очищення через апарат.

Z_4 – допустима концентрація забруднюючої речовини на вході в апарат, $\text{г}/\text{м}^3$. Цей технологічний параметр характеризує здатність стабільної роботи обладнання при певних концентраціях забруднюючої речовини в викидах, що подаються на очищення.

Z_5 – мінімальне значення концентрації забруднюючої речовини на виході з апарату, $\text{мг}/\text{м}^3$. Цей параметр залежить від ефективності роботи обладнання за оптимальних параметрів робочого процесу.

Z_6 – ефективність уловлювання за фракційним складом частинок забруднюючої речовини (мінімальний розмір часток), $\mu\text{м}$. Цей технологічний параметр відноситься до твердих забруднюючих речовин, які можуть бути уловлені в певному пилогазоочисному обладнанні з урахуванням можливих механізмів осадження.

Z_7 – верхня температурна межа можливої роботи апарату, $^{\circ}\text{C}$. Цей технологічний параметр може бути використаний як температурне обмеження для використання певних умов середовища та властивостей забруднюючих речовин.

Z_8 – максимальна швидкість газу у перерізі апарату, $\text{м}/\text{с}$. Цей параметр залежить від різних конструкційних особливостей обладнання. Наприклад, для скрубера Вентурі це буде максимальна швидкість газу до конфузору, для тарілчастих апаратів – швидкість у міжтарільчастому перерізі апарату.

Z_9 – витрата поглинаючої рідини, $\text{м}^3/\text{годину}$. Цей параметр застосовується для апаратів мокрого очищення та характеризує

максимальну витрату поглинаючої рідини для процесів осадження/хемосорбції забруднюючих речовин.

Z_{10} – параметр обладнання, який відповідає за можливість роботи із злипливими частинками забруднюючої речовини. Для апаратів здатних ефективно працювати із злипливими частинками, приймемо значення 1, для апаратів, які не здатні очистити газовий потік від злипливих частинок – 0.

Узагальнення бази даних пилогазоочисного обладнання наведено у табл. 3. При необхідності база обладнання може бути розширена з урахуванням різного додаткового обладнання або його параметрів.

Таблиця 3. База даних пилогазоочисного обладнання

Найменування пилогазоочисного обладнання	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	Z_{10}
Електрофільтр типу ЕГУ (ЕГУ1-7/400-4-4/2.56-2-11.2)	0	36200	200	90	50	0,1	330	1	-	1
Електрофільтр КХП ЭСТ-11,4-4-Ш	0	40500	200	6	20	0,1	330	1	-	1
Рукавний фільтр ФРП-25	0	2400	2000	10	20	0,3	135	0,55	-	0
Рукавний фільтр ФРП-1200	0	110000	2000	10	20	0,3	135	0,55	-	0
Двоступінчастий фільтр тонкої очистки СРФ5КР*6 (6 секцій)	0	30000	2500	120	1	1	240	0,15	-	0
Батарейний циклон БЦ-512 (односекційний)	0	6500	1300	75	10000	10	400	4	-	1
Мокрий скруббер Вентурі СВ 150/90-800	1	7000	1200	30	500	1	400	5	7	1
Апарат з провальними тарілками великих отворів ПТВО ($d_0 = 0,06$ m)	1	40000	1200	20	50	0,3	400	3,5	10	1
Абсорбер ШВ-50	1	50000	3500	30	100	0,5	300	10	10	1

Для розробки програмного алгоритму вибору технологічних рішень скористаємося методом послідовної ієрархічної кластеризації (ПК) [8]. Відповідно до принципів математичної логіки заданий елемент (об'єкт) з урахуванням його характеристик можна подати у вигляді кластерної дендрограми (рис. 3), де кожен кластер відповідає за певний параметр.

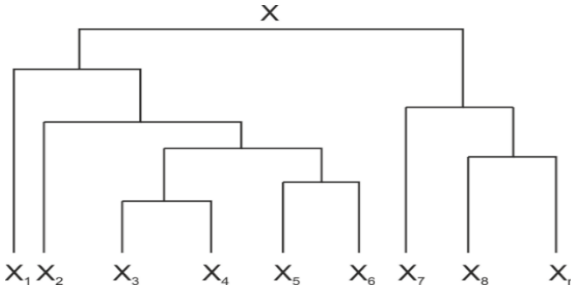


Рис. 3. Кластерна дендрограма об'єкта X

Ранжування (ієрархія) гілок дендрограми має враховувати важливість технічних та екологічних характеристик заданого елементного блоку. Для кількісної оцінки відмінностей між варіантами кластеризації можуть використовуватися кофенетична кореляція (сophenetic correlation) або різні рангові індекси.

Використання головних компонентів (X, Y, Z) для ієрархічної кластеризації – один із можливих шляхів гібридизації алгоритмів, яка все частіше привертає увагу фахівців.

Переваги ієрархічних кластер-процедур:

- у порівнянні з іншими кластер-процедурами вони дають більш повний та тонкий аналіз структури досліджуваної множини спостережень;
- є можливість наочної інтерпретації проведеного аналізу на основі дендрограми.

Із урахуванням послідовних ієрархічних зіставлень кластерів елементів (X_i, Y_i, Z_i) (рис. 1) отримаємо уточнену блок-схему умов вибору технологічного устаткування (рис. 4).

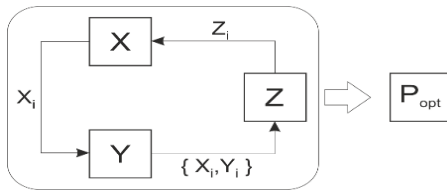


Рис. 4. Схema послідовного підбору кластерів умов вибору технічного рішення

Умови вибору кожного з оптимальних параметрів (Z_i^{opt}) пилгазоочисного обладнання відповідають рівнянню:

$$Z_i^{opt} = f(X_i, Y_i) \quad (1)$$

У результаті підбору всіх параметрів пилогазоочисного обладнання на відповідність умовам технологічного середовища та характеристикам забруднюючих речовин кінцевий результат від різноманітних конфігурацій апаратів можна представити виразом:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_{opt} \in \{Z_1, Z_2, \dots, Z_i\} - opt \quad (2)$$

Для спрощення та доступності програмного алгоритму реалізації оптимального вибору технологічних рішень для зменшення викидів у повітря використовували сервіс Google – Google-Таблиці.

Для реалізації програмного алгоритму вибору технологічних рішень у середовищі Google-Таблиці сформуємо бази даних досліджуваних параметрів системи вибору пилогазоочисного обладнання у вигляді окремих вкладок електронної таблиці (табл. 1-3).

Принцип роботи алгоритму послідовної ієрархічної кластеризації полягатиме у послідовному порівнянні різних параметрів (кластерів) трьох баз даних. Залежно від кінцевої мети порівняльного аналізу, можна ранжувати значення кластерів різних технічних або екологічних складових блоків X, Y, Z (рис. 4).

Аналіз кластерів баз даних забруднюючих речовин, технологічних умов середовища проведення процесу очищення і природозахисного обладнання проводимо з програмному середовищі сервісу Google-Таблиці. Використання цього сервісу дозволяє одночасно декільком користувачам вносити зміни до баз даних та паралельного спостереження за результатами аналізу. Кінцевий програмний продукт зручно зберегти у форматі *.xlsx для подальшої роботи на будь-якому пристрої, який підтримує цей формат даних.

Як приклад, розглянемо застосування даного алгоритму з метою оптимального підбору обладнання для очищення викидів об'ємом 5000 м³/годину при температурі 80°C від дрібнодисперсних зважених частинок (аерозолі) двоокису титану, які будуть містити додаткову вологу та сторонні забруднюючі речовини.

Із метою послідовного порівняння кластерів трьох баз даних використовуємо формальні умови ДОРІВНЮЄ, БІЛЬШЕ, МЕНШЕ, БУДЕ РІВНЕ, вбудовані логічні команди TRUE або FALSE (рис. 5) та таблиці істинності (рис. 6) для перевірки результатів порівняння.

		equals				more				less				equals				less			
		Z1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	Y1	Y2	Y3	Y4	
		0	0	0	0	0					<300			0		0		400			
		0		0,26	2920	3	4	2	TIO2	10	780	0	36	0	0	0	1	5000	80	1	
17	18	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	

Рис. 5. Умови відповідності параметра Z1 параметрам баз даних X, Y

На рис. 5 є порівняння параметра $Z_1=0$ по 18 параметрам з баз X, Y. Паралельно проводимо підбір по $Z_1=1$. У разі повної відповідності максимально можливо отримати 18 значень TRUE. У прикладі зіставлення на рис. 5 набули 17 значень TRUE. Паралельний розрахунок $Z_1=1$ дав максимальний результат значень TRUE, тому проводимо наступний етап зіставлення параметрів Z_2, Z_3, \dots, Z_{10} з параметрами баз даних X, Y.

		$Z_1=0$	$Z_1=1$
FALSEFALSE	no equipment	FALSE	FALSE
TRUEFALSE	0	TRUE	FALSE
FALSETRUE	1	FALSE	TRUE
TRUETRUE	both fit	TRUE	TRUE
	Final value Z_1		
FALSETRUE	1	FALSE	TRUE

Рис. 6. Таблиця істинності параметра Z_1

У результаті послідовного порівняння параметрів трьох баз даних (X, Y, Z) отримали фінальні значення оптимальних параметрів Z_i для поставленого завдання. Застосування логічних фільтрів відповідності параметрів Z_i до бази обладнання призводить до рекомендованого результату застосування апарату з ПТВО ($d_o = 0,06$ m) з 9 запропонованих технічних рішень в базі обладнання Z (рис. 7).

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10
1	5000	Any value	Any value	10	0,26	80	Any value	-	1	
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										

Рис. 7. Підсумковий підбір технічного рішення

Для зручності перегляду вихідних умов алгоритму підбору в сервісі Google-Таблиці окремо додано аркуш, в якому реалізовано можливість

вибору забруднюючої речовини та умов середовища з баз даних X, Y (рис. 8).

	Column letter		D																
	Column number in the table		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
	Parameter index		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14			
Pollutant selection	Titanium dioxide aerosol	1	0	0,26	2920	3	4	2	TiO ₂	10	780	0	36	0	0	0			
	Column letter		D																
	Column number in the table		1	2	3	4													
	Parameter index		Y1	Y2	Y3	Y4													
Choice of conditions	1 variant	1	1	5000	80	1													

Рис. 8. Аркуш вихідних умов для вибору технічного рішення

У результаті проведеної роботи на 6 вкладках редактора Google-Таблиці реалізовано алгоритм вибору оптимального пилогазоочисного обладнання для зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферу. У разі вибору з бази обладнання кількох технічних рішень, що задовольняють параметрам забруднюючої речовини та технічним умовам середовища проведення процесу, можливий вторинний вибір за матеріально-технічними або екологічними характеристиками обладнання.

Використані інформаційні джерела:

1. Mokrozub V. G., Farakhshina I. V., Al-Magsusii H.F.H. Selection of equipment types when designing multipurpose chemical plants. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2020. Vol. 56. P. 230–236.
2. Borisenko A.V., Karpushkin S.V. Hierarchy of processing equipment configuration design problems for multiproduct chemical plants. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2017. Vol. 53(3). P. 410–419.
3. Mokeddem D., Khellaf A. Optimal solutions of multiproduct batch chemical process using multiobjective genetic algorithm with expert decision system. *Journal of Automated Methods and Management in Chemistry*. 2009. Art. ID 927426.
4. Lee J.H., Shin J., Realff M.J. Machine learning: Overview of the recent progresses and implications for the process systems engineering field. *Computers and Chemical Engineering*. 2018. Vol. 114. P. 111–121.
5. Cao J., Mozaffar M., Garcia D.J., Ehmann K., Ren H., You F., Correa J.E. Sustainable manufacturing with cyber-physical discrete manufacturing networks: Overview and modeling framework. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 2018. Vol. 141(2), 021013.
6. Козій І. С. Зниження техногенного навантаження від пилових викидів підприємств хімічної промисловості : дис. канд. техн. наук : 21.06.01. Суми, 2012. 141 с.
7. Козій І. С., Жиленко Т. І., Трунова І. О., Батальцев Є. В., Макаренко Н. О. Критерії вибору природозахисного обладнання для очищення

промислових викидів підприємств. *Екологічні науки*. 2021. Вип. 6 (39). С. 12–18.

8. Ruijters E., Stoelinga M. Fault tree analysis: A survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools. *Computer Science Review*. 2015. Vol. 15. P. 29–62.

**СИСТЕМНА ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛО- І БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ РЕСУРСООЦІННИХ ВІДХОДІВ
БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ НА ТЕРИТОРІЇ ОБ'ЄДНАНИХ
ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД**

**SYSTEMIC INTENSIFICATION OF HEAT AND
BIOTECHNOLOGICAL PROCESSES IN THE DISPOSAL OF
RESOURCE-BASED WASTE OF BIOLOGICAL ORIGIN ON THE
TERRITORY OF UNITED TERRITORIAL COMMUNITIES**

Кремньов В. О., завідувач лабораторії, **Тимошенко А. В.**, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, **Беляєв Г. В.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, **Беляєва І. П.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, **Жуков К. Л.**, головний технолог, **Корбут Н. С.**, молодший науковий співробітник, **Стецюк В. Г.**, молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна

Kremniev V., Head of the laboratory, **Timoshchenko A.**, Doctor of Technical Sciences., Leading researcher, **Belyaev G.**, PhD, Senior Researcher, **Beliiaieva I.**, PhD, Senior Researcher, Chief technologist, **Korbut N.**, Junior Researcher, **Stetsuk V.**, Junior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

Анотація. Робота присвячена обґрунтуванню скоординованого залучення у господарчий оборот широко розповсюджуваних відновлюваних відходів біологічного походження. Замисел полягає в тому, що на базі неліквідних відходів місцевого лісівництва організується сталє виробництво сухої паливної тріски, а на базі надлишкових осадів комунальних очисних споруд (КОС), які належить обов'язково вивозити чи знищувати, виробництво вологих твердих добрив у вигляді сипкого компосту придатного для зберігання. Зазвичай осади КОС містять надвисоку кількість важких металів, які у нормі є корисними, а перевищення вмісту вважається шкідливим і забороняється. Для регулювання вмісту важких металів необхідно введення додаткових складових у суміш для компостування у вигляді місцевих відходів (овочесховищ, закладів харчування, торгівлі, палого листя, відпрацьованого субстрату від вирощування грибів тощо). Це потребує координації утилізації різних

відходів в об'єднаних територіальних громадах (ОТГ). На основі вологих компостів і відносно дешевого місцевого деревного палива створюється рентабельне виробництво сухих гранульованих добрив, що було би економічно неможливим при використанні традиційних палив.

Abstract. *The work is devoted to the substantiation of coordinated involvement in the economic turnover of widely available renewable waste of biological origin. The idea is to organize sustainable production of dry fuel chips on the basis of illiquid waste from local forestry, and on the basis of excess sludge from municipal sewage treatment plants, which must be removed or destroyed, the production of wet solid fertilizers in the form of bulk compost suitable for storage. The sludge from municipal sewage treatment plants usually contains an excessive amount of heavy metals, which are normally useful, and excess content is considered harmful and prohibited. To regulate the content of heavy metals, it is necessary to introduce additional components into the composting mixture in the form of local waste (vegetable storage, food, trade, fallen leaves, spent substrate from growing mushrooms, etc.). This requires coordination of the disposal of various wastes in the United Territorial Communities. On the basis of wet composts and relatively cheap local wood fuel, profitable production of dry granular fertilizers is created, which would be economically impossible when using traditional fuels.*

Місія, якої ми прагнемо досягти, полягає в значному поліпшенні користування ландшафтом, що підпорядкований об'єднаній територіальній громаді (ОТГ). Для цього плануємо покласти край потраплянню відходів біологічного походження, які утворюються у суб'єктів господарювання на полігони звалища і сміттєспалювальні заводи. Завдяки цьому буде забезпечене значне зниження негативного впливу на глобальну і локальну екологію.

Планується переведення цих ресурсів із категорії відходів у категорію сировинних матеріалів для виробництва добрив у якості складових при компостуванні сумісно з муловими осадами КОС. Це дозволить знизити вміст важких металів у добривах до оптимального рівня відповідно вимогам чинного законодавства.

Забезпечення комерційної привабливості таких проектів буде досягнуто за рахунок:

- виробництва відносно дешевого, екологічно толерантного місцевого деревного палива у вигляді висушеної тріски з неліквідних відходів деревини від рубань догляду за лісом у місцевих лісгосподарських підприємствах і його застосування при виробництві із компостів сухих гранульованих добрив;

- мінімізації логістичних витрат завдяки виробництву і використанню переважної частини, як палива, так і добрив на власній території ОТГ;
- мінімізації комерційних ризиків через виробництво і використання продукції на основі довгострокових юридично зобов'язуючих договорів при організаційному і контрольному супроводі з боку ОТГ;
- використання деревного палива на об'єктах бюджетної сфери (комунальної системи теплопостачання, школи, санаторії, дитячі садки тощо).

Широкорозповсюджені місцеві ресурсоцінні відходи на території ОТГ. У полі наукових та практичних інтересів авторів знаходяться проблеми утилізації відходів біологічного походження, які постійно утворюються у ряді галузей суспільного господарства використовуються недостатньо, нерационально чи зовсім не використовуються і негативно впливають на довкілля.

Пояснення терміну. Ресурсоцінні відходи – такі, що, на наш погляд, є комерційно перспективними для використання у якості сировинних ресурсів при виробленні одного чи декількох видів товарної продукції зазначеної вище.

Відходи різних галузей.

1. Лісівництво. У лісівництві щорічно утворюються наступні неліквідні відходи, які відповідно до існуючих протипожежних правил спалюються у лісгоспах, з витратами праці, рідкого палива та забрудненням довкілля продуктами згоряння [1]. До таких відходів належать:

- тонкомір деревини.
- коренева деревина.
- вчасно нереалізована і забракована дров'яна деревина.

Відходи від власної переробки ділової деревини, що відбувається у лісгоспах:

- тверді відходи (горбилі, бокові кромки обрізних дощок).
- м'які відходи (кора, тирса, стружка).

2. Агропром.

- *Рослинництво:* солома, післязбиральні рештки кукурудзи (стебла, листя, обгортки початків), рештки від збирання соняшника тощо.
- *Садівництво та виноградарство* (гілки, деревина при оновленні садів, деревина виноградної лози).
- *Тваринництво:*
 - птахівництво: м'ясний напрям (підстилковий послід), яєчний напрям (нативний послід);
 - велика рогата худоба (ВРХ): при стійловому утриманні (суміш екскрементів з матеріалом підстилки); ВРХ при стійловому утриманні без

підстилки при водяному змиві – високоволога рідиноплинна гетерогенна суміш кала, сечі і змивної води.

- відгодівля свиней: відходи від утримання (суміш кала сечі і матеріалу підстилки); відходи м'ясопереробки м'ясні продукти (легені, нирки тощо); шлям (внутрішній шар кишечника, так звана мукозна сировина для виробництва фармацевтичних антикоагулянтів.

- *Промислове грибівництво*. Відходи відпрацьованого субстрату для вирощування печериць, які підлягають періодичному видаленню з території підприємств з вирощування грибів і є перспективною сировиною для виробництва добрив.

- *Підприємства торгівлі* : відходи фрукто- та овочесховищ; відходи продовольчих мережових підприємств роздрібною торгівлі – супермаркетів (продовольчі товари з вичерпаним строком придатності).

4. Відходи підприємств громадського харчування.

Вологі тверді та пастоподібні товарні рештки кафе, ресторанів, їдалень (в тому числі шкільних, санаторних, дитячих садків, лікарень тощо).

5. Відходи соціальної сфери:

- осади комунальних очисних споруд (надлишковий муловий осад від біологічної аеробної конверсії органічної складової стічних вод та «сирий» осад від установок фізико-хімічного очищення стічних вод [2];

- в подальшому – тверді побутові відходи при розподільному збиранні побутового сміття;

- листяний опад та деревина від догляду за зеленими насадженнями урбанізованих територій.

Наведені типи відходів далеко не вичерпують можливу їх номенклатуру, але є характерними і на сьогодні вже досліджуються авторами на предмет організації їх утилізації.

Основна мета запланованого і розпочатого циклу доповідей – сприяння переведенню якомога більшої кількості розповсюджених щорічних відходів які на сьогодні підлягають знищенню у категорію ресурсоцінної сировини для рентабельного виробництва товарної продукції.

Обґрунтування перспективності утилізації кожного виду відходів потребує розробки на основі системного підходу сукупності технічних рішень, організаційно технічних заходів та бізнес-планів, які є необхідною умовою залучення приватного капіталу до державно-приватного партнерства при вирішенні проблеми утилізації широкорозповсюджених відходів біологічного походження.

На наш погляд таке партнерство можливе у формі територіальних цільових науково-технічних програм з залученням місцевих громад, наукових установ та представників бізнесу.

У подальшому планується розгляд пропозицій щодо утилізації ряду відходів.

Очікуваний вплив виробництва і використання місцевого альтернативного палива на основі неліквідних відновлюваних відходів лісівництва на розвиток об'єднаних територіальних громад [3]. Практична реалізація задуму створення і підтримання постійно діючої системи утилізації місцевих відходів біологічного походження потребує організації державно – приватного партнерства з обов'язковою участю місцевої громади.

Розглянемо більш докладно типове територіальне об'єднання на яке спрямовані заходи з утилізації відходів.

Це підпорядкована єдиному громадсько-територіальному утворенню сукупність сіл з землями сільськогосподарського призначення і урбанізованих населених пунктів (міст та поселень міського типу).

Такі об'єднані територіальні громади, в подальшому ОТГ, були утворені відповідно до закону України від 05.02.2015 № 157-VIII «Про добровільне об'єднання територіальних громад». Серед таких громад ми виділяємо для першочергових докорінних змін у поводженні з відходами такі, де водночас ведеться активна сільськогосподарська і промислова діяльність.

Як наголошувалось, створенню сталої системи переробки відходів повинна передувати розробка цільової науково-технічної програми, спрямованої на дослідження обсягів і динаміку утворення протягом календарного року ресурсоцінних відходів, які планується щорічно повертати у господарчий обіг в результаті виконання заходів програми.

При цьому планується одержати наступні результати.

- Відчутно зменшити на території ОТГ споживання природного газу шляхом виробництва і використання деревного палива у вигляді висушеної тріски із неліквідних відходів, які щорічно утворюються у державних лісгосподарських підприємствах (ДЛГП), розташованих на території ОТГ. Наявність лісу на території ОТГ очікується у зв'язку з тим, що згідно сучасним науковим рекомендаціям площа лісових територій повинна становити не менше 16% загальної площі у регіонах активної сільськогосподарської діяльності; це пов'язано з забезпеченням так званої лісомеліоративної функції лісів. Тобто, сучасне активне землеробство потребує ландшафту у вигляді лісостепу. Щодо технологічних і організаційних заходів забезпечення сталої інтеграції лісівництва з енергетикою, вони будуть докладно розглянуті у наступних доповідях.

На даному етапі розгляду ми фіксуємо лише такий наслідок виконання програми утилізації, як відчутне зменшення споживання природного газу на території ОТГ шляхом залучення відходів лісівництва.

- Відчутно покращити фінансування місцевих лісгосподарських підприємств завдяки прибуткам – від створення сталої системи виробництва і продажу додаткової продукції – деревного палива місцевим теплогенеруючим об'єктам за довгостроковими юридично-зобов'язуючими договорами.

- Виробництво такого місцевого палива забезпечить технічні умови генерації електричної енергії шляхом реконструкції теплогенеруючих об'єктів у когенераційні.

- Створити у лісгоспах і на теплогенеруючих та нових когенераційних об'єктах додаткові робочі місця для місцевого населення, пов'язані з виробництвом і використанням місцевого альтернативного палива.

- Паливне використання деревної тріски буде супроводжуватись утворенням золи й суміші золи з деревним вугіллям; ці речовини є цінними складовими органо-мінеральних добрив і будуть використовуватись у місцевих лісгоспах і виробництвах добрив.

- Заміщення природного газу альтернативним паливом із місцевих відновлюваних ресурсоцінних відходів лісівництва у системах комунальної теплоенергетики та на таких об'єктах, як школи, будинки відпочинку, будинки культури, театри, кінотеатри, лікарні, дитячі садки, ясла, інтернати літнього населення тощо. Забезпечить зниження витрат на опалення та постачання гарячої води і що має відповідне соціальне значення для населення ОТГ.

- Заміщення природного газу альтернативним на промислових підприємствах і підприємствах агропрому забезпечить зменшення питомих витрат на паливно-енергетичну складову собівартості продукції, зростання прибутковості і, відповідно, надходження видатків, в тому числі таких, що залишаються у ОТГ. Таким чином очікуються відчутні позитивні соціальні та економічні наслідки утилізації неліквідних відходів лісівництва.

- Екологічні наслідки виробництва і використання на території ОТГ палива із неліквідних відходів лісгоспів.

Треба розрізняти глобальні і локальні наслідки задля екології. Вплив на глобальну екологію однозначно позитивний через заміщення природного газу альтернативним паливом на основі деревини, а також відмовою від спалювання неліквідної деревини у лісгоспах, при якому застосовують рідке паливо на основі викопних вуглеводнів.

Вплив на локальну екологію слід вважати подвійним: позитивна складова пов'язана з розвитком місцевих лісгоспів завдяки додатковому сталому фінансуванню їх лісорослинницької діяльності; негативні наслідки для місцевої екології пов'язані з додатковими шкідливими газоподібними викидами у повітря при заміщенні природного газу твердим деревним паливом.

Указаний негативний вплив може бути практично усунутий шляхом виробництва із деревного палива генераторного газу без викидів у довкілля, його очищення і спалювання очищеного газу. Така технологія має екологічні переваги, але у свою чергу призводить до утворення забруднених стічних вод від установок очищення генераторного газу. Ці води призведуть до деякого додаткового навантаження комунальних очисних споруд.

Загалом, доходимо міркування про актуальність утилізації неліквідних відходів лісорослинницької діяльності. В подальшому розглянемо питання утворення цих ресурсів, організації їх використання і необхідні для цього альтернативні технології.

Утилізація твердих відходів біологічного походження, як можливість значного зниження негативного впливу експлуатації полігонів (звалищ). Тверді відходи біологічного походження, які щорічно утворюються на території об'єднаної територіальної громади (ОТГ) і не використовуються у суспільному господарстві (окрім відходів лісівництва) на теперішній час спрямовують у наступних напрямках:

- на територіально наближений полігон (звалище);
- на територіально наближений сміттєспалювальний завод;
- на скотомогильник (для відходів м'ясопереробки);
- на несанкціоновані звалища з порушенням вимог законодавства.

Спрямування відходів на полігон супроводжується витратами на завантажувальні роботи, перевезення на полігон і за приймання на звалище.

Потрапляння таких відходів в об'єм сміття, яке зберігається на полігоні спричиняє поступове перетворення звалища на техногенне родовище звалищного займистого газу, що свідчить про активну роботу факультативної та аблігатної анаеробної мікрофлори. Це зазвичай супроводжується не тільки небажаними газоподібними викидами, а також забрудненням вод і розповсюдженням вкрай неприємних запахів.

Все це спричиняє соціальне напруження і знижує якість життя місцевого населення.

Крім того, полігони призводять до виведення з господарчого обігу значних земельних ділянок і знецінення територій, наближених до звалищ.

Реалізація запропонованих заходів із утилізації твердих відходів біологічного походження не в змозі зовсім усунути потрапляння на полігони сировини для утворення займистих газів через її вміст у складі побутового сміття, яке знаходиться поза впливом нашої уваги (з огляду на відсутність у авторів конкретних пропозицій).

Утім, реалізація заходів із утилізації, які пропонуються, призведе до значного зниження негативного впливу полігонів на соціальне становище території ОТГ і екологію (як глобальну так і місцеву).

Зауважимо, що у ряді розвинених країн для котрих характерне суворе екологічне законодавство (наприклад, у Данії та ін.) взагалі законодавчо заборонене спрямування на полігони біомаси для запобігання утворення продуктів її гнилісної та анаеробної мікробної деградації. Такий жорсткий підхід для сучасних умов України, на наш погляд, не є реалістичним. Ми прогнозуємо, що заходи з утилізації ресурсоцінних відходів будуть переважно фінансуватись у формі державно-приватного партнерства, а роль ОТГ полягає у першу чергу у створенні організаційних умов для комерційно привабливого бізнесу по утилізації відходів.

До таких умов належить, у першу чергу, сприяння сталому виробництву відносно дешевого деревного палива на основі місцевих відновлюваних ресурсів, забезпечення його міжсезонного складування, постачанням відповідно довгостроковим юридично зобов'язуючим договором тощо.

Ми виходимо із того, що відходи біологічного походження, які потрапляють на полігони являють собою здебільшого тверді колоїдні капілярно пористі тіла у полідисперсному стані.

Вологість цих відходів залежить від виробничих умов у місцях утворення відходів; відходи овочесховищ, підприємств громадського харчування зазвичай досить вологі ($W \geq 50\%$), а відходи хлібопекарської, круп'яної промисловості наближені до так званого «повітряно сухого» стану ($W \leq 20\%$). Вологі відходи відразу після потрапляння починають піддаватись біологічній деградації, а повітряно сухі – в міру їх зволоження через опади.

Достатня вологість завжди є необхідною умовою для діяльності будь-якої мікрофлори. При розташуванні відходів на полігоні у верхніх шарах при достатньому надходженні кисню повітря і обмеженій вологості розвиваються переважно грибові культури – цвіль (біла і чорна), в тому числі небезпечні для довкілля.

При достатній вологості і надходженні кисню процеси біологічної деградації ідуть переважно за рахунок діяльності аеробної мікрофлори. Цей процес – так зване, «дихання» за фізико-хімічною сутністю є процесом окислення, як і горіння і його кінцевими продуктами є CO_2 та H_2O у газоподібному стані. Такий різновид біологічної деградації відходів на полігоні є негативним для глобальної екології і майже толерантним щодо локальної (місцевої) екології.

Відходи розташовані у середніх шарах, де є кисень, але у недостатній кількості зумовлює переважну діяльність так званої факультативної мікрофлори, в тому числі гнилісної.

Діяльність такої мікрофлори призводить до утворення продуктів неповного розпаду і так званих біогенних амінів, таких як кадаверин, путресцин, яким притаманний виключно неприємний запах, а також така

речовина, як меркаптан. Вказані продукти діяльності факультативної (гнилісної) мікрофлори є виключно стійкими у часі.

Наприклад, для термічної руйнації біогенних амінів необхідна температура $\geq 400^{\circ}\text{C}$.

Для розповсюдження таких вкрай неприємних запахів на велику відстань і заповнення ними значних площ потрібна вельми незначна кількість цих речовин у повітря. Така кількість не призводить до біологічної небезпеки, але спричиняє значущі негативні соціальні наслідки.

Значно погіршує якість життя місцевого населення на великій площі навколо звалища і спричиняє законне обурення та соціальне напруження, незадоволення діяльністю, у першу чергу, органів місцевої влади.

Відходи, що розташовані у нижніх шарах звалищ за умов достатнього зволоження без доступу кисню потрапляють у сферу діяльності аблігатної анаеробної мікрофлори. Ця мікрофлора одержує енергію за рахунок розкладання складних біополімерів до більш простих. Цей процес супроводжується виділенням займистих газів, надходження яких у довкілля вважається вельми негативним для глобальної екології.

Використання полігонів, як технології поводження з відходами біологічного походження є очевидно небажаним для глобальної, локальної екології і соціальних наслідків.

Пропозиції з утилізації таких відходів і їх усунення з полігонів на сьогодні можуть бути розповсюджені лише на організовані форми утворення і перевезення відходів юридичними особами. Решта таких речовин буде і далі потрапляти на полігони у складі твердих побутових відходів (сміття), але негативний вплив на довкілля буде принципово зменшений. У майбутньому, при умові широкого впровадження роздільного збирання побутового сміття, потрапляння на полігони відходів біологічного походження може бути повністю припинено.

Доходимо до таких висновків:

1. Тверді вологі відходи біологічного походження є головним фактором, що обумовлює значний негативний вплив полігонів (звалищ) на якість життя, екологію об'єднаних територіальних громад та глобальну екологію.

2. Спрямування на утилізацію ресурсоцінних відходів біологічного походження, які організовано утворюються при господарчій діяльності юридичних осіб, замість їх здавання на полігони здатне принципово знизити негативний вплив полігонів на довкілля, а за умов впровадження в подальшому роздільного збору побутових відходів буде досягнута можливість повної законодавчої заборони здавання на полігон відходів біологічного походження, як це робиться у найбільш розвинених країнах.

Застосування твердих відходів біологічного походження характерних для урбанізованих територій у виробництві біодобрив як фактор поліпшення екології і соціального становища.

Крім полігонів тверді відходи урбанізованих територій можуть потрапляти, також, на сміттєспалювальні заводи. Тобто, ця частина відходів вже піддається утилізації з генерацією теплової енергії і формально знаходиться поза нашою увагою.

Треба відмітити, що потрапляння на сміттєспалювальний завод вологих відходів біологічного походження значно погіршує, як екологічні, так і енергетичні показники його експлуатації. Це пояснюється наступними причинами.

Як відомо, горіння твердого палива, яким є тверді відходи, відбувається у тонкому граничному шарі над поверхнею твердих часток. Для цього необхідно виділення «летких» фракцій палива, що відбувається після досягнення ними температури газифікації ($\geq 180^{\circ}\text{C}$ в залежності від біохімічних особливостей речовини). Якщо матеріал вологий його температура при сушінні у першому періоді не перевищує температури «вологого» термометра ($40\div 50^{\circ}\text{C}$), тобто, газифікація починається лише після висушування поверхні часток і зростання її температури до рівня при якому починається газифікація (вихід «летких»). Створюється ситуація, при якій частка горить поблизу поверхні, де розташований висушений прошарок, а під цим прошарком тверда частка матеріалу залишається вологою і не бере участь у горінні. На поверхні частки утворюється шар золи, який перешкоджає подальшому досушуванню і, відповідно, горінню. В результаті має місце значний недопал.

Отже, при потрапленні на сміттєспалювальний завод відходів з високою вологістю одночасно мають місце, як недопал, так і витрати теплової енергії на випаровування вологи і перегрівання водяної пари у складі димових газів. Таким чином, корисна (цільова) теплогенерація значно зменшується. Одночасно зростає негативний вплив димових газів на довкілля через погіршення їх складу.

Такі явища особливо помітні під час сезону споживання баштанних продуктів (динь, кавунів) через потраплення на сміттєспалювальний завод вологих твердих побутових відходів (сміття).

Таким чином, переспрямування юридичними особами вологих відходів біологічного походження (з вологістю більше 25%) з сміттєспалювального заводу на інші напрями утилізації не тільки не призведе до зниження цільової теплогенерації, а і сприятиме поліпшенню екологічного становища на території наближеної до сміттєспалювального заводу.

Переспрямування «повітряно сухих» відходів буде супроводжуватись зниженням теплової продуктивності сміттєспалювального заводу, що необхідно брати до уваги при техніко-економічному обґрунтуванні нового напрямку утилізації «повітряно сухих» відходів.

Узагалі, ставлення до сміттєспалювальних заводів, як технологічної системи зниження твердих відходів, у світі є неоднозначним. На сьогодні є доведеним на практиці, що комерційно доступні заводи останнього покоління, які експлуатуються у розвинених країнах, можливо розташовувати навіть у центрі сучасного міста без будь-яких неприємних запахів і з забезпеченням складу димових газів, який відповідає найсуворішим вимогам.

Такі заводи успішно забезпечують теплопостачання у централізованих системах і, можливо, мають перспективи у ряді випадків. Технічний рівень цих заводів є кардинально вищий ніж тих, що на сьогодні наявні в Україні, які екологічно недосконалі і викликають, як і полігони, соціальне напруження.

Щодо можливості спорудження сучасних сміттєспалювальних заводів, то, на наш погляд, капітальні витрати, необхідні для цього на сьогодні, ще завеликі для інвестиційних можливостей об'єднаних територіальних громад, але ми сподіваємось, що в міру зростання їх добробуту в подальшому таке будівництво стане реальним.

Таким чином, на сьогодні переспрямування вологих твердих відходів з сміттєспалювального заводу на інші напрями утилізації у якості ресурсоцінної сировини слід вважати екологічно і соціально позитивним.

Авторами сумісно з «Київзеленбудом» на експериментальному майданчику, розташованому на території ІТТФ НАН України, проведені дослідно-промислові роботи з використанням опалого листя у якості сировини для виробництва добрив.

Результати були успішними і будуть у подальшому докладно висвітлені. На сьогодні важливим є сам факт позитивного відношення до переспрямування цих відходів з боку організації, яка їх здає на полігони і сміттєспалювальні заводи.

Доходимо висновку, що різноманітні тверді вологі відходи біологічного походження, які щорічно утворюються на урбанізованих територіях доцільно досліджувати щодо придатності для виробництва добрив і кормів.

Заходи і ризики при утилізації відходів біологічного походження. Переведення конкретного різновиду відходів у категорію ресурсоцінних передбачає наступні заходи.

1. Розробка товарного продукту у складі (рецептурі) якого відхід, що розглядається, планується постійно використовувати у якості основного сировинного матеріалу чи постійної складової частки сировини.

2. Розробка технічних умов на відхід, як сировинний матеріал.

Для цього, у свою чергу, є необхідним розробити технічні умови, в яких зафіксований дозволений діапазон варіації властивостей відходу на момент його передачі майбутньому користувачу (юридичній чи фізичній особі підприємцю) для застосування у якості сировинного матеріалу.

Відповідність властивостей відходу вищевказаним технічним вимогам є юридично зобов'язуючою частиною господарчого договору між постачальником (підприємством, де утворюються відходи) і замовником (організацією, яка планує застосовувати відходи у власному виробництві чи поставляти його такому виробнику на договірній основі).

Важливою частиною технічних умов на ресурсоцінний відхід є умови його збирання, зберігання та транспортування у період між утворенням і передачею замовнику. Ця вимога зумовлена тим, що відходи біологічного походження у багатьох випадках здатні у порівняно короткий строк під дією природних факторів втрачати свою цінність, як сировинного ресурсу і набувати певних шкідливих якостей.

3. Організація утилізації ресурсоцінних відходів на промисловій основі. Для цього необхідно:

- розробити технічні умови на сам товарний продукт у складі якого планується постійно застосовувати відхід, що розглядається;

- створити технологічний процес виготовлення товарного продукту з застосуванням ресурсоцінного відходу, провести дослідно-промислову перевірку – приймальні випробування технологічного процесу у напіввиробничих умовах (виготовлення дослідних партій товарного продукту на дослідно-промисловій установці). Оформити акт і протокол приймання технологічного процесу і розробити технологічну інструкцію.

В тих випадках, коли у складі дослідно-промислової установки використовується лише комерційно доступне устаткування, наведені заходи можна вважати пілотним проектом (стартапом), який передує проектуванню промислового виробництва. Зокрема, пілотний проект може бути реалізований, як перша черга будівництва промислового виробництва.

У тих випадках, коли у складі дослідно-промислової установки застосоване інноваційне устаткування (експериментальні зразки) окрім приймальних випробувань технологічного процесу проводяться, також, приймальні випробування експериментального зразка інноваційного устаткування.

За умов відповідності технічних показників експериментального зразка технічному завданню на головний зразок, конструкторській

документації на його виготовлення після коректування (за необхідності, згідно рекомендаціям приймальної комісії) присвоюється статус документації на Головний зразок і надається право виготовлення партій такого устаткування за замовленням.

Наведені заходи у сукупності утворюють технічну сутність замислу - рецептуру товарного продукту та технологію і устаткування для його виготовлення, тобто, науково-технічні основи і практичні методи організації нового промислового виробництва. Але цього недостатньо; необхідним, також, є комплекс організаційних, фінансових, маркетингових заходів юридично-правового забезпечення та ін. У випадку переведення відходу у категорію ресурсоцінного для утилізації на підприємстві, де і утворюється відхід, необхідні системні заходи спрощуються, а комерційні ризики значно знижуються.

Для ілюстрації наведемо приклад вдалої реалізації заходів з утилізації відходів, з яким автори мали змогу ретельно ознайомитись.

Потужне підприємство з виробництва соняшникової олії, яким володіє компанія «Каргілл» (Херсонська обл.) здавало вичавки від олійних пресів на полігон (звалище) протягом ряду років і сплачувало за приймання значні кошти. Крім того, у зв'язку з тим, що комунальне підприємство було не в змозі перевозити необхідну кількість вичавок, «Каргілл» був вимушений профінансувати мерії урбанізованого населеного пункту, де розташоване підприємство, придбання партії спеціалізованих транспортних засобів. Через декілька років керівництво «Каргілл» прийняло рішення про утилізацію вичавок для вироблення паливних пелет і заміщення ними природного газу, на якому працювала технологічна котельня підприємства.

Була розроблена технологія і устаткування виробництва гранульованого твердого палива; були розроблені спеціалізовані матриці із легованих сплавів.

Зважаючи, що кількість сировинних ресурсів вичавок приблизно удвічі перевищувала потреби котельні було прийнято рішення про організацію експорту палива у Польщу. Для експорту було організоване виробництво гранул підвищеної якості (міцності гранул) більш придатних для перевезень. Була проведена реконструкція технологічної котельні з повним заміщенням природного газу.

Наведений досвід невдовзі перейняли й інші підприємства галузі. Крім того, підприємство ТОВ «Орій», розташоване у Київській області, закуповує у цих підприємств зольні залишки і виробляє із них мінеральні гранульовані добрива, які користуються попитом в Україні і постачаються на експорт. У цих роботах беруть активну участь наковці – колеги, співробітники нашої Установи.

Треба відмітити, що «Каргілл» організував та виконав значний комплекс розробок та інших робіт, який забезпечив вельми позитивні екологічні і комерційні результати.

Утім, у випадку відсутності у «Каргілл» значного споживання палива можливо, що вичавки і досі відвозили би на звалище.

У наведеному успішному прикладі були відсутні значущі комерційні ризики, пов'язані з постачанням сировинних ресурсів (відходів) і особливо з продажем готового товарного продукту. У випадку «Каргілл» продаж у Польщу забезпечив додатковий прибуток, але і без нього проект був високорентабельним.

Крім того, не було необхідності розробляти рецептуру продукту, а лише технологію і устаткування. Головне спрощення полягає в тому, що був відсутній складний комплекс заходів з юридичного й організаційного забезпечення та ризики збуту. Але приклад показує, що на утилізації відходів можливо добре заробляти.

Отже, організація утилізації ресурсоцінних відходів потребує системного підходу і являє непросту, але перспективну діяльність.

Використані інформаційні джерела:

1. Спосіб довготривалого зберігання вологої паливної тріски з тонкоміру деревини: патент 142712 Україна: МПК (2006) F26B 9/00 C10L 5/00 C10L 5/40. № U 201911829; заявл. 11.12.2019; опубл. 25.06.2020, бюл. № 12, 4 с.

2. Кремньов В.О., Корбут Н.С., П'яних К.Є., Шеліманова О.В. Особливості сушіння мулових відкладень стічних вод за допомогою енергії доквілля. Енергетика і автоматика, № 6 (2020), с. 59-70. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/energiya2020.06.05/13211>

3. Кремньов В. О., Ляшенко А. В., Корбут Н. С. Шеліманова О. В. Розробка метода пожежобезпечного довготривалого зберігання та часткового зневоднення деревної тріски. Енергетика і автоматика. №6, 2019, С. 202–213 URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/download/energiya2019.06.202/11861>

ЕКОЛОГІЧНА ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА ТЕРИТОРІЙ ENVIRONMENTAL AND TECHNOGENIC SAFETY OF TERRITORIES

Ляшенко А. В., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна

Liashenko A., candidate of technical sciences, senior researcher

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

Анотація. В Україні одним із великих споживачів природного газу є підприємства, що виробляють мінеральні добрива. Середні показники за останні ХХ років становлять в середньому близько 2 млн. т мінеральних добрив на рік (Державна служба...) [1] на що витрачається 6-7 млн. т у. п. При цьому в землю вноситься тільки 50-70% мінеральних добрив та 3-5% органічних добрив (Державна служба...) [1] від необхідної їх кількості. Органічні відходи птахокомбінатів (курячий послід) можуть бути використані, як один з видів органічної складової при виробництві нових органо-мінеральних видів добрив. Таке поєднання буде сприяти можливості в забезпеченні земель сільськогосподарського призначення в органічних та мінеральних добривах. Це надасть змогу вирішувати екологічні проблеми територій, що зайняті небезпечними відходами, підняттям родючості земель с/г призначення та економії на природному газі. Ефективна переробка великої кількості органічних відходів з отриманням новітніх органо-мінеральних добрив можлива тільки при створенні енергоефективних сучасних індустріальних технологічних ліній та устаткування. Це вимагає застосування і нових наукових підходів для вирішення подібних проблем.

Abstract. In Ukraine, one of the largest consumers of natural gas are companies producing mineral fertilizers. The average figures for the last XX years are on average about 2 million tons of mineral fertilizers per year (Civil Service...) [1], which consumes 6-7 million tons conventional fuel. At the same time, only 50-70% of mineral fertilizers and 3-5% of organic fertilizers from the required amount are applied to the soil (Civil Service...) [1]. Organic waste from poultry farms (chicken manure) can be used as one of the types of organic component in the production of new organic-mineral fertilizers. Such a combination will contribute to the provision of agricultural land in organic and mineral fertilizers.

This will allow solving the environmental problems of areas occupied by hazardous waste, raising the fertility of agricultural land and saving on natural gas. Effective processing of a large amount of organic waste to obtain the latest organic-mineral fertilizers is possible only with the creation of energy-efficient modern industrial technological lines and equipment. These are applications and new scientific approaches to solve such problems.

Головна мета, яка обумовлює подальший розвиток техніки і технології сушіння – прагнення до зменшення енергетичних витрат на процес зневоднення та їх наближення до теоретично обґрунтованих величин. Відомо, що збільшення ступеню використання потенціалу агенту сушіння сприяє досягненню поставленої мети. Це досягається підвищенням початкової температури сушильного агенту та зниженням температури відпрацьованого агенту. Проте широкому застосуванню такого способу інтенсифікації процесу перешкоджають, перш за все, фізичні властивості матеріалів та технологічні вимоги до їх якості.

Термолабільність низки дисперсних матеріалів обмежує можливість застосування підвищених температур нагріву матеріалу в процесі сушіння і викликає необхідність ретельного вибору оптимального режиму зневоднення. Показником термолабільності прийнято вважати максимально допустиму температуру нагріву матеріалу, при якій висушений продукт відповідає поставленим вимогам.

Цілком очевидно, що питання про допустиму температуру нагріву матеріалу, що визначає продуктивність сушильних установок і якість продукції, є одним з найбільш важливих в рішенні проблеми інтенсифікації процесу сушіння дисперсних термолабільних матеріалів.

Відомо, що перший період сушіння характеризується постійністю температури матеріалу, а другий період – період температури матеріалу, яка підвищується. Протягом першого періоду, температура поверхні матеріалу не змінюється та дорівнює температури адиабатичного насичення агенту сушіння (температури мокрого термометру). Під час другого періоду температура поверхні матеріалу починає підвищуватись, та може наближатись до температури теплоносія.

Обробка термолабільних дисперсних матеріалів високотемпературним агентом сушіння можлива лише за умов ведення процесу зневоднення в першому періоді, та зменшенні тривалості впливу підвищених температур на матеріал в другому періоді.

Одним з можливих способів ведення процесу є обробка вологих дисперсних матеріалів в камері сумісних процесів. В робочому об'ємі камери створюється «зважений» шар, який характеризується розвиненою поверхнею матеріалу, що висушується та високими відносними

швидкостями руху його з теплоносієм. Така організація процесу зневоднення вологих термолабільних дисперсних матеріалів дозволяє досягнути суттєвої інтенсифікації процесу сушіння при високих техніко-економічних показниках.

Головна мета чисельного дослідження сумісного процесу, спрямована саме на вивчення величини механічного впливу на інтенсифікацію процесу сушіння. Отримані дані чисельного дослідження дозволять порівняти їх із експериментальними значеннями та розробити методіку інженерного розрахунку установок сумісних процесів сушіння та подрібнення. Установки є складовою частиною ліній для отримання органо-мінеральних добрив які можна рекомендувати для запровадження в сучасному господарстві України.

Вихідний матеріал високоволога дисперсія (курячий послід) характеризується широким діапазоном зміни вологості. При побудові моделі вважається, що: у разі початкової вологості сировини 75-80%, вона поводить як суспензія (не ньютонівська рідина), а саме частинки твердої фази розподілені в несучій фазі – рідині; при вологості 55-60% – вологий сипкий матеріал, – розміри частинок відповідають величині частинок твердої фази в суспензії.

Вважається, що розвиток поверхні контакту фаз відбувається:

1) У суспензії – за рахунок руйнування несучої рідкої фази і утворення зваженого шару вологих твердих частинок; за рахунок розподілу часток в об'ємі робочої камери.

2) У вологому сипкому матеріалі відбувається оновлення поверхні за рахунок рідкої фази початкового матеріалу.

Моделлю не передбачається розгляд процесу подрібнення на початковій стадії в об'ємі робочої камери.

Процес зневоднення моделюється з наступними припущеннями:

- процес випаровування відбувається з поверхні частинок, яка оновлюється рідкою фазою, тобто в першому періоді;

- за час зневоднення зменшується характерний розмір частинки.

Фізична картина, що відбувається у камері розглядається наступним чином. Перша фаза – газова, яка містить продукти згоряння подається через отвір (2) (рис.2). Друга фаза – тверде тіло, вводиться тангенційно через отвір (1) до вісі камери. Теплота від газової фази витрачається на нагрів і випаровування вологи з твердої фази. Друга фаза за допомоги біл, які розташовані на роторі вала (4) диспергується на дрібнодисперсні близькі до сферичних частинки, що приводить до розвитку поверхні контакту фаз та слідує у напрямку обертання біл слідом за першою фазою. При цьому відбувається випаровування вологи з частинок другої фази. При досягненні

отвору (3) відбувається видалення першої та другої фаз з об'єму робочої камери.

Існують три основні підходи до моделювання двофазних потоків:

1) У разі, коли друга фаза мілкодисперсна і її концентрація незначна (1-2 %), можливо моделювати двофазний потік як однофазний, вирішуючи при цьому додаткове рівняння для концентрації. Вважається, що тверда фаза слідує за основним потоком і має з ним однакову швидкість.

2) Метод Ейлера. Основні допущення: друга фаза слідує за першою з відставанням. Друга фаза представлена частинками одного розміру. Для опису руху і енергії другої фази використовуються додаткові рівняння руху і енергії.

3) Метод Лагранжа. Заснований на вирішенні повного рівняння руху Лагранжа для частинки або їх груп. Враховує повну взаємодію частинок із потоком і потоку з частинками. Він дозволяє розглядати рух ансамблю часток. У порівнянні з методом Ейлера вимагає великих витрат машинного часу.

Проведений аналіз основних методів розрахунку двофазних потоків, дозволяє рекомендувати використання методу Ейлера для розрахунку руху твердої фази в даному випадку. Пакет прикладних програм Phoenix має декілька формул для міжфазового коефіцієнта перенесення. У цьому випадку використовується коефіцієнт перенесення для сферичних твердих часток, що рухаються в газовій фазі, запропонований в посібнику «The GENTRA User Guide» (автори J. C. Ludwig, N. Fueyo, M. R. Malin) [2].

Чисельне дослідження виконано за допомогою пакету прикладних програм PHOENICS 2008. Комп'ютерна 3-вимірна модель апарату (3D) була побудована в циліндричній системі координат за допомогою геометричних примітивів препроцесора Phoenix VR Editor.

На рис.1 представлена структурна схема математичної моделі процесу в алгоритмічній формі.

Для замикання гідродинамічних рівнянь використовувалася *RNG k-ε* модель турбулентності, яка показує найкращі результати при розрахунку течій з криволінійними лініями струму та з закручуванням потоку.

При побудові комп'ютерної моделі процесу були введені наступні параметри:

1. Температура теплоносія на вході в камеру: $t_{1\text{поч.}}$, °С.

2. Початкова температура матеріалу – $t_{2\text{поч.}}$, °С.

3. Кінцева температура матеріалу – $t_{3\text{кін.}}$, °С.

4. Теплофізичні характеристики сировини та теплоносія: λ_1 , λ_2 Вт/м·град; c_{p1} , c_{p2} кДж/кг·град.

5. Початкова вологість сировини: W , %.

6. Швидкість обертання ротора: n , об/хв.

7. Продуктивність по сировині: G_1 , кг/год.

8. Витрата теплоносія на вході у камеру: $v_{1ноч}$, $\text{м}^3/\text{с}$.

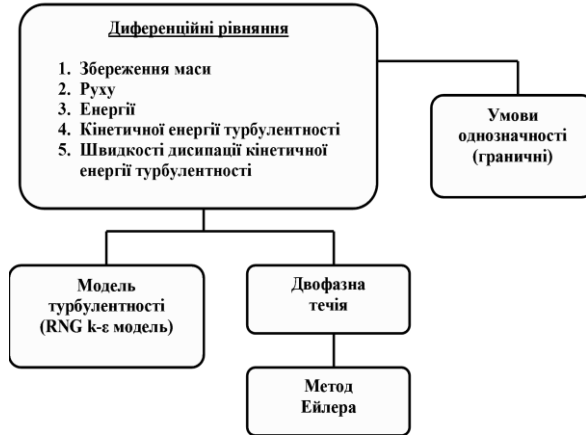


Рис. 1. Математична модель процесу в алгоритмічній формі.

Джерело: складено автором на основі [2].

На рис. 2 представлена схема комп'ютерної моделі робочої камери сушарки, яка геометрично співпадає з конструкторськими особливостями робочої камери дослідної установки для дослідження сумісних процесів сушіння та диспергування.

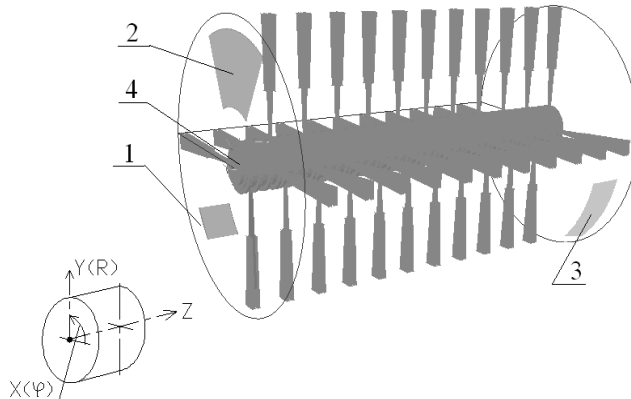


Рис. 2. Схема комп'ютерної моделі робочої камери установки сумісних процесів сушіння та диспергування: 1 – вхід матеріалу у

камеру; 2 – вхід теплоносія у камеру; 3 – вихід готового продукту та теплоносія з камери; 4 – ротор вала з радіально закріпленими білами
Джерело: складено автором на основі [3].

При розрахунку тепломасообміну між матеріалом та теплоносієм задавались наступні параметри процесу:

1. Температура теплоносія на вході в камеру: $t_{1\text{поч.}}=300-700^\circ\text{C}$.
2. Початкова температура матеріалу: $t_{2\text{поч.}}=20^\circ\text{C}$.
3. Кінцева температура матеріалу: $t_{3\text{кін.}}=70^\circ\text{C}$.
4. Теплофізичні характеристики сировини та теплоносія: λ_1, λ_2

Вт/м·град; c_{p1}, c_{p2} кДж/кг·град.

5. Початкова вологість сировини: $W=60-80\%$.
6. Швидкість обертання ротора: $n= 300-700$ об/хв.
7. Продуктивність по сировині: $G_1=300-600$ кг/год.
8. Продуктивність теплоносія на вході у камеру: $v_{1\text{поч.}}=0,4-1,0$ м³/с.

Припущення:

1. Частини твердої фази розміром: $d= (1\dots3)\cdot 10^{-3}$ м.
2. Подрібнення відсутнє.
3. Зменшення маси твердої фази за рахунок випаровування вологи.

На рис. 3-5 представлені зміна середньої температури теплоносія, полів швидкості руху твердої фази та розподіл полів концентрації твердої фази по довжині камери при наступних параметрах процесу:

1. Температура теплоносія на вході в камеру: $t_{1\text{поч.}}=700^\circ\text{C}$.
2. Початкова температура матеріалу: $t_{2\text{поч.}}=20^\circ\text{C}$.
3. Кінцева температура матеріалу: $t_{3\text{кін.}}=70^\circ\text{C}$.
4. Теплофізичні характеристики сировини: $\lambda=0,17$ Вт/м·град; $c_p=4,06$

кДж/кг·град.

5. Початкова вологість сировини: $W=80\%$.
6. Швидкість обертання ротора: $n= 700$ об/хв.
7. Продуктивність по сировині: $G_1=600$ кг/год.
8. Продуктивність теплоносія на вході у камеру: $v_{1\text{поч.}}=0,8$ м³/с.
9. Частини твердої фази одного розміру: $d=0,0013$ м.

10. Зменшення маси твердої фази обчислюється за рахунок випаровування вологи.

На рис.3 представлені дані зі зміни середньої температури теплоносія по довжині камери. Як видно з рис.3, температура теплоносія зменшується по довжині камери.

Зміна швидкості руху полів твердої фази (рис. 4) дозволяє розраховувати реальні коефіцієнти тепло- та масообміну в кожній одиниці об'єму досліджуваної фізичної моделі.

Як видно з рис. 5, концентрація твердої фази зменшується по довжині камери. Для більш зручного сприймання даних зі зміни полів концентрації твердої фази з подальшим використанням при розрахунках площі контакту фаз приведено у графічному вигляді, який представлений на рис. 6.

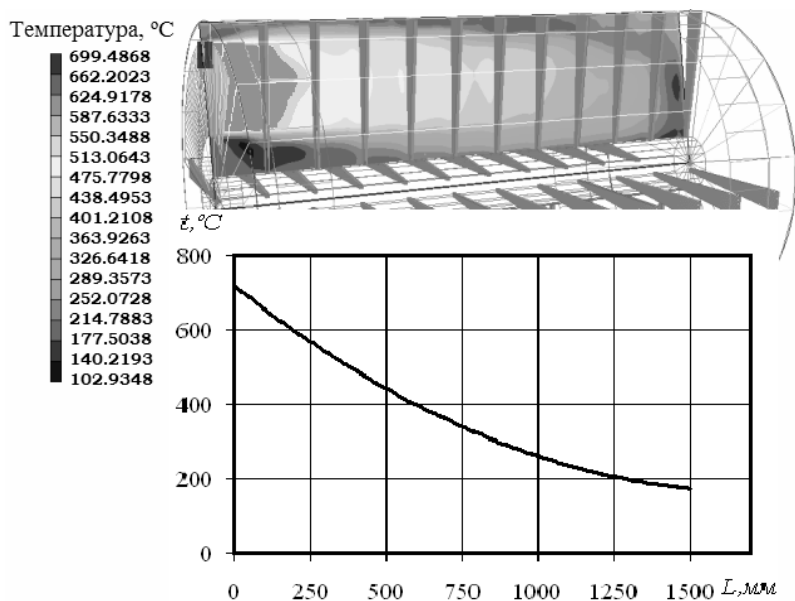


Рис. 3. Зміна середньої температури теплоносія по довжині камери

Джерело: складено автором на основі [3].

Швидкість, м/с

35.75498
33.52428
31.29358
29.06287
26.83217
24.60147
22.37077
20.14006
17.90936
15.67866
13.44796
11.21726
8.986553
6.755850
4.525148
2.294446
0.063743

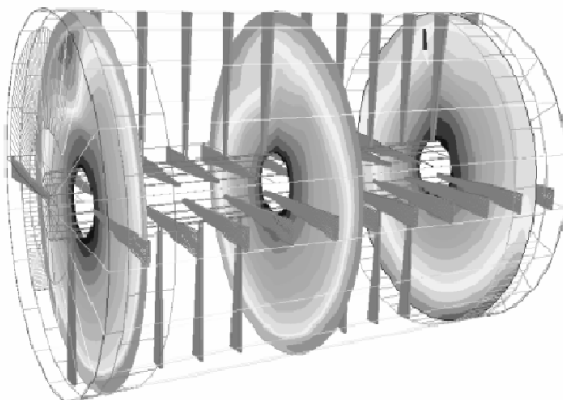


Рис. 4. Зміна полів швидкості руху твердої фази

Джерело: складено автором на основі [3].

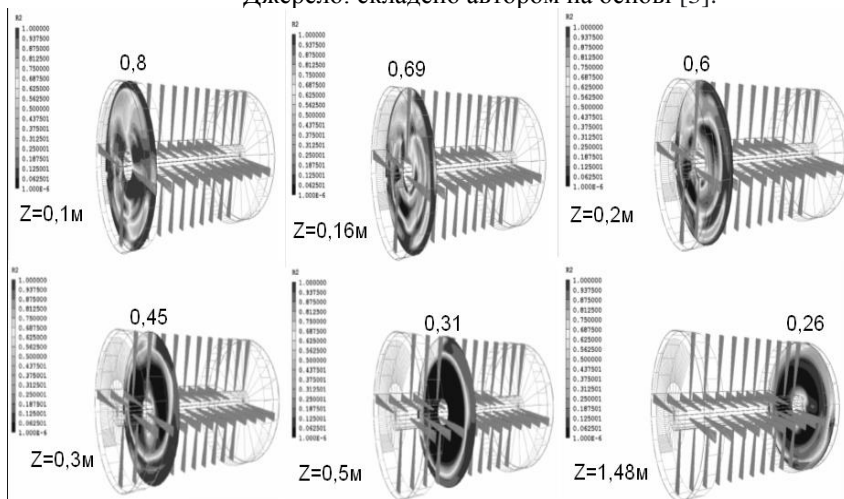


Рис. 5. Розподіл полів концентрації твердої фази

по довжині камери

Джерело: складено автором на основі [3].

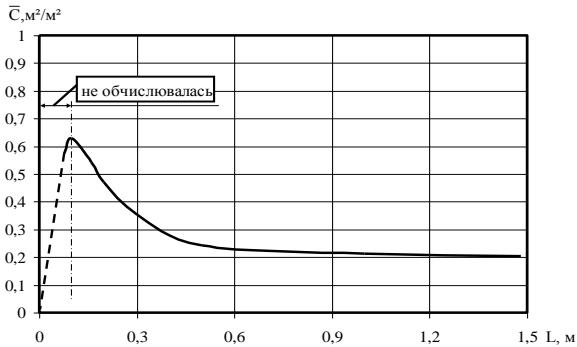


Рис. 6. Розподіл середньої концентрації в різних перерізах по довжині камери (вісь z).

Джерело: складено автором на основі [3].

Знаючи розподіл концентрації розраховуємо розподіл середньої поверхні контакту фаз від числа Фруда.

На рис. 7 представлений розподіл середньої поверхні контакту фаз у залежності від зміни чисел Фруда.

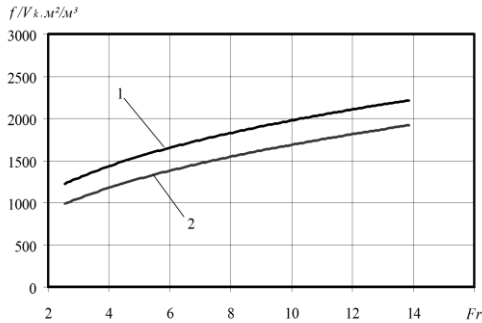


Рис. 7. Зміна середньої поверхні контакту фаз від значення числа Фруда: 1 – за даними комп'ютерного моделювання; 2 – згідно роботи «Процеси і апарати...» (автори В. С. Шалугін, В. М. Шмандій) [4].

Джерело: складено автором на основі [3] та [4].

Аналізуючи рис. 7, бачимо, що в заданому діапазоні досліджень площа поверхні контакту збільшується в 1,8 рази при збільшенні чисел Фруда в 5,4 рази.

На рис. 7 площа поверхні контакту фаз f поділена на загальний об'єм камери V_k .

Значення контакту фаз (f/V_k) від зміни чисел Фруда дали можливість отримати рівняння, яке описує зміну поверхні контакту фаз від критерію Фруда, що представлено наступним чином:

$$(f/V_k) = 882 \cdot Fr^{0,35}$$

Чисельне дослідження сумісного процесу сушіння і диспергування за допомоги пакету прикладних програм PHOENICS 2008 в діапазоні заданих параметрів процесу дозволило отримати дані по тепломасообміну між теплоносієм та твердою фазою по довжині робочої камери, розподілу полів швидкості руху твердої фази по довжині робочої камери, що дозволило розрахувати зміну середньої швидкості руху твердої фази по довжині камери, які будуть використані при розрахунку теплообмінного критерію Нуссельта від числа Рейнольдса.

Зміна значень полів концентрації твердої фази по довжині робочої камери в діапазоні заданих параметрів процесу дозволила отримати зміну середньої концентрації по довжині камери, що дозволило розрахувати поверхню контакту фаз.

Зміна поверхні контакту фаз від критерію Фруда, що представлена в роботі як $(f/V_k) = f(Fr)$ дозволила отримати залежність площі поверхні контакту фаз від критерію Фруда, яка буде використана при створенні методики теплотехнічного розрахунку реальної робочої камери установки сумісних процесів, що дасть можливість використовувати їх при широкому впровадженні в господарствах України для вирішення екологічних та економічних завдань.

Відмітимо вдале впровадження даної технології та обладнання, що детально викладено в окремій роботі автора «Intensification of heat and mass...» (автори А. Liashenko) [5].

Використані інформаційні джерела:

1. Державна служба статистики України: сайт. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 10.04.2022).
2. Ludwig J. C., Fueyo N., Malin M. R. The GENTRA User Guide. London: CHAM, 2002. 752 p.
3. PHOENICS Reference Guide Version 3.6. CHAM, London – 2004. 390 p.
4. Шалугін В. С., Шмандій В. М. Процеси і апарати хімічних технологій : навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2008. 392 с.
5. Liashenko A. Intensification of heat and mass transfer and dewatering of thermolabile organic materials. *Наукові праці ОНАХТ: Енергоефективні процеси і обладнання харчових виробництв*. 2021. №85. С. 63–68.

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ГЕНЕРУВАННЯ ВОДНЮ ДЛЯ
ПОРТАТИВНИХ ЗАРЯДНИХ ПРИСТРОЇВ НА ОСНОВІ
ПАЛИВНИХ КОМІРОК**

**DEVELOPMENT OF HYDROGEN GENERATION SYSTEM FOR
PORTABLE CHARGERS BASED ON FUEL CELLS**

Манілевич Ф. Д., кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник,
Пірський Ю. К., доктор хімічних наук, провідний науковий співробітник,
Куций А. В., інженер-технолог 1 категорії

*Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського
НАН України*

Manilevich F. D., Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher
Pirskyy Yu. K., Doctor of Chemical Sciences, Leading Researcher,
Kutsyi A. V., Engineer-Technologist of 1 cat.

*V. I. Vernadskii Institute of General & Inorganic Chemistry of
NAS of Ukraine*

Анотація. Для створення системи генерування водню були приготовлені сплави Al з евтектичним сплавом Ga-In-Sn та Bi, Sb або Zn, а також таблетки із спресованих алюмінієвих порошків, механохімічно активованих евтектиками Ga-In-Sn або Ga-In-Sn-Zn та графітом у міксерному кульовому млині. Дослідження закономірностей гідролізу приготовлених енергоакумулюючих речовин показали, що найбільш активним сплавом в реакції гідролізу був сплав Al-Ga-In-Sn-Zn, особливо при низьких температурах (25 та 40°C). Додавання вісмуту до сплаву Al-Ga-In-Sn привело до значного зниження швидкості гідролізу алюмінію, тоді як додавання сурми вплинуло на його гідроліз несуттєво. Гідроліз активованих і спресованих алюмінієвих порошків легко протікав при температурах $\geq 5^\circ\text{C}$. При цьому ефективність генерування водню залежала від кількості доданого графіту, розміру частинок алюмінієвих порошків, тривалості та середовища їх механохімічної обробки, температури гідролізу. Приготовлені й досліджені енергоакумулюючі речовини можуть бути використані в одноразових картриджах портативних генераторів водню.

Ключові слова: алюмінієві сплави, активовані алюмінієві порошки, гідроліз, генерування водню.

Absreact. To create a hydrogen generation system, aluminum alloys with Ga-In-Sn eutectic alloy and Bi, Sb or Zn were prepared, as well as pellets made of compressed aluminum powders, mechanochemically activated by Ga-In-Sn or

Ga-In-Sn-Zn eutectics and graphite in a mixer ball mill. Studies of the regularities of prepared energy-storage substances hydrolysis have shown that the most active alloy in the hydrolysis reaction was Al-Ga-In-Sn-Zn alloy, especially at low temperatures (25 and 40°C). The addition of bismuth to the Al-Ga-In-Sn alloy led to a significant decrease in the rate of aluminum hydrolysis, while the addition of antimony affected its hydrolysis insignificantly. Hydrolysis of activated and compressed aluminum powders readily proceeded at temperatures $\geq 5^\circ\text{C}$. The efficiency of hydrogen generation depended on the amount of added graphite, particle size of aluminum powders, duration and environment of their mechanochemical treatment, hydrolysis temperature. Prepared and tested energy-storage substances can be used in disposable cartridges of portable hydrogen generators.

Keywords: *aluminum alloys, activated aluminum powders, hydrolysis, hydrogen generation.*

Забезпечення енергопостачання в умовах надзвичайних ситуацій є вкрай важливою задачею, для вирішення якої необхідні як організаційні заходи, так і результати відповідних науково-технічних досліджень. При практично тотальній цифризації різних сторін суспільного життя і масовому використанні мобільних засобів зв'язку актуальним стає створення портативних і автономних зарядних пристроїв до них для використання за відсутності стабільного мережевого електроживлення.

Перспективним шляхом автономного генерування електроенергії в кількості достатній для зарядки акумуляторів широкого спектру електронних та електричних пристроїв та апаратів, що використовуються як у побуті, так і в промисловості, на транспорті, в космічних дослідженнях та в оборонній сфері є використання паливних комірок та їх батарей, в яких електричний струм утворюється в результаті анодного окиснення водню і відповідного катодного процесу [1, 2]. При цьому джерелами водню можуть бути різноманітні системи, здатні його накопичувати та за певних умов віддавати або генерувати в результаті окислювально-відновлювальної взаємодії відповідних речовин.

Серед відомих методів генерування водню для живлення паливних комірок на особливу увагу заслуговує гідроліз енергоакуюлюючих речовин (ЕАР), оскільки, застосовуючи його, можна отримувати водень безпосередньо у місці його використання, що дозволяє уникнути значних проблем, пов'язаних із накопиченням, зберіганням і транспортуванням водню [3, 4]. Ефективними ЕАР є бінарні та складні гідриди металів (MgH_2 , NaNH_4 , LiBH_4 та інші), а також легкі метали (Al, Mg та інші) або їхні сплави.

Одним із найбільш перспективних гідролітичних методів отримання чистого водню є гідроліз активованого алюмінію [4-6]. Активація алюмінію

необхідна для руйнування щільної захисної оксидної плівки на його поверхні. Алюміній має негативне значення стандартного електродного потенціалу (- 1.662 В [7]) і за відсутності захисної плівки активно взаємодіє з водою з виділенням з неї чистого водню, який може використовуватись для живлення паливних комірок з водневим анодом. Посєднання генераторів водню гідролізного типу, в яких активований алюміній взаємодіє з водою, з паливними комірками дає можливість створювати автономні і портативні джерела електроживлення.

У роботі [8] узагальнені запропоновані авторами [9-13] конструкції та схеми апаратів для отримання водню з води з контрольованою швидкістю (див. рис. 1). Їх можна поділити на три групи: апарати, в які ЕАР на основі алюмінію можна завантажувати лише перед початком роботи; апарати із завантаженням вихідних речовин протягом роботи та регулюванням тиску отриманого водню; апарати, в яких швидкість генерування водню регулюється шляхом контролю потоків вихідних матеріалів.

Активацію алюмінію можна здійснювати механічними, хімічними та механохімічними методами [5]. У наших дослідженнях були приготовлені сплави алюмінію з легкоплавкими та електропозитивними металами, а також таблетки з алюмінієвих порошків, механохімічно активованих легкоплавкими металами та графітом, та досліджені закономірності їхнього гідролізу.

Алюмінієві сплави з добавками активуючих металів (евтектичний сплав Ga-In-Sn, Bi, Sb, Zn) готували в шахтній електропечі в атмосфері аргону з механічним перемішуванням. Евтектичний сплав Ga-In-Sn з масовими частками компонентів 67/22/11 % має температуру плавлення $10.7 \pm 0.3^\circ\text{C}$ [14]. Закономірності виділення водню під час взаємодії отриманих сплавів із водою досліджували шляхом періодичного вимірювання об'єму водню, що утворювався. Для цього застосували волюмометричну установку, яка складалася з термостатованого реактора, що містить 100 мл дистильованої води, та під'єданого до нього евідіометра. В реактор поміщали зразки алюмінієвих сплавів масою 1 г. Виміряні значення об'єму виділеного водню приводили до нормальних умов.

Механохімічну активацію алюмінієвих порошків ПА-4 (розмір зерна ≤ 100 мкм) та АСД-1 (розмір зерна < 30 мкм) евтектичними сплавами Ga-In-Sn або Ga-In-Sn-Zn та графітом проводили в міксерному кульовому млині SPEX SamplePrep 8000D[®] в атмосфері аргону протягом 1, 2 або 4 годин. Млин містив 2 камери для розмелу із загартованої сталі, в кожній з яких було по 2 сталеві кульки масою 1 г. Масове співвідношення кульок і суміші становило 1 : 1. Температура плавлення евтектичного сплаву Ga-In-Sn-Zn з масовими частками компонентів 61/25/13/1 % становить $\approx 3^\circ\text{C}$ [15].

Отримані порошки пресували в таблетки ($P = 4$ МПа, $\varnothing = 1$ см, $m = 0.2$ або 0.3 г) в атмосфері аргону. Основними елементами волюмометричної установки, що використовувалась для вимірювання швидкості виділення водню при гідролізі алюмінію, були термостатований реактор із дистильованою водою та флоуметр SmartTrak® M100L компанії SIERRA.

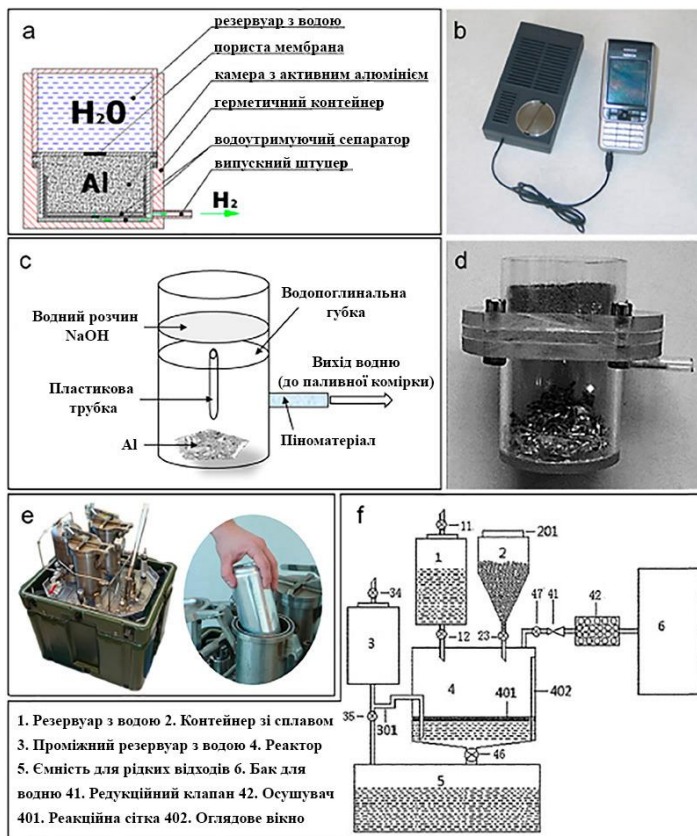


Рис. 1. Апарати для генерування водню з контрольованою швидкістю: а – схема Al/H₂O мікрогенератора водню; б – 2 Вт зарядний пристрій для мобільного телефона [10]; с – схема генератора водню; д – лабораторний прототип (с) [11]; е – генератор водню API (PBIS-1000) та алюмінієвий картридж компанії AlumiFuel [12]; ф – схема установки для контрольованого генерування водню шляхом взаємодії алюмінієвого сплаву з водою [13].

Значення об'єму виділеного водню розраховували за даними про швидкість його виділення за допомогою комп'ютера.

Отримані результати показали, що алюмінієві сплави, які містили 3-10 мас.% евтектичного сплаву Ga-In-Sn, вступали в реакцію гідролізу вже при температурі 25°C. Збільшення масової частки евтектики Ga-In-Sn в алюмінієвому сплаві від 3 до 10% призвело до значного прискорення гідролізу алюмінію (див. рис. 2а). У перші хвилини реакції відбувалося активне розтріскування та подрібнення сплавів, після чого гідроліз алюмінію протікав майже до кінця. Метали активуючого евтектичного сплаву не брали участі в реакції гідролізу [16]. Отже, легування алюмінію невеликими кількостями евтектики Ga-In-Sn дає можливість отримувати ефективні ЕАР, які можуть широко використовуватися для виділення водню з води за умов навколишнього середовища. Проте швидкість виділення водню значно змінюється протягом гідролізу активованого алюмінію (рис. 2б), і за відсутності зовнішнього охолодження гідроліз супроводжується значним розігрівом реакційної суміші.

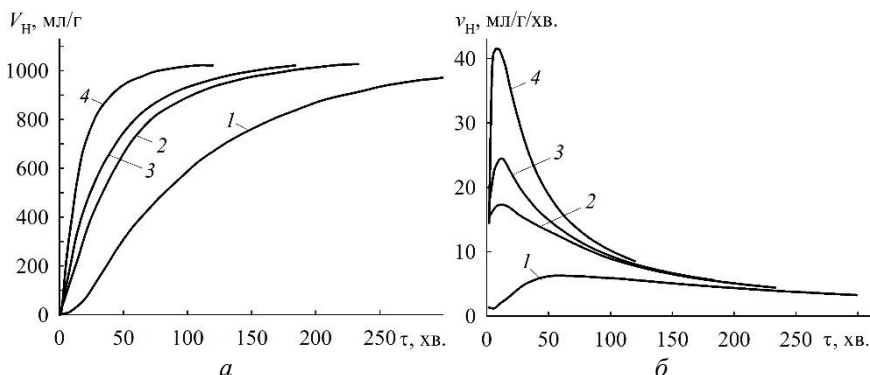


Рис. 2. Залежності об'єму водню, що виділився, (а) та середньої швидкості виділення водню (б) від тривалості гідролізу алюмінієвих сплавів з масовими частками евтектичного сплаву Ga-In-Sn (%): 1 – 3; 2 – 5; 3 – 7; 4 – 10. Температура гідролізу: 25°C.

Введення добавок Bi або Sb (3 мас.%) у сплав алюмінію з евтектикою Ga-In-Sn (5 мас.%) по-різному вплинуло на протікання гідролізу алюмінію. У присутності вісмуту в сплаві на основі алюмінію швидкість гідролізу була значно меншою, ніж без нього, тоді як наявність сурми істотно не вплинула на перебіг гідролізу алюмінію, хоча стандартні електродні потенціали вісмуту та сурми мають близькі значення (рис. 3). Очевидно, що електрохімічні властивості добавок Bi та Sb не мають істотного впливу на

закономірності взаємодії алюмінію з водою. Слід зазначити, що під час гідролізу алюмінію, легованого евтектикою Ga-In-Sn і вісмутом, утворення водню відбувалося з майже постійною швидкістю протягом тривалого часу, що важливо для стабільної подачі водню в паливні елементи. Підвищення температури від 25 до 70°C призвело до значного зростання швидкості гідролізу алюмінію при використанні усіх досліджених сплавів [17].

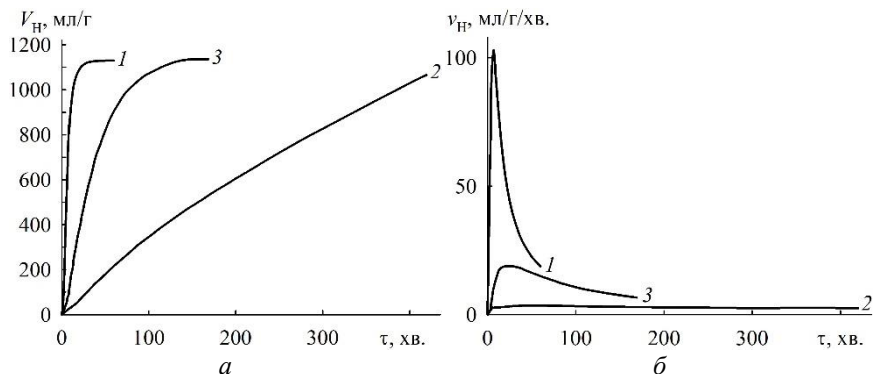


Рис. 3. Залежності об'єму водню, що виділився, (а) та середньої швидкості виділення водню (б) від тривалості гідролізу сплавів алюмінію з 5 мас.% евтектичного сплаву Ga-In-Sn (1) та 3 мас. % Ві (2) або Sb (3). Температура гідролізу: 55°C.

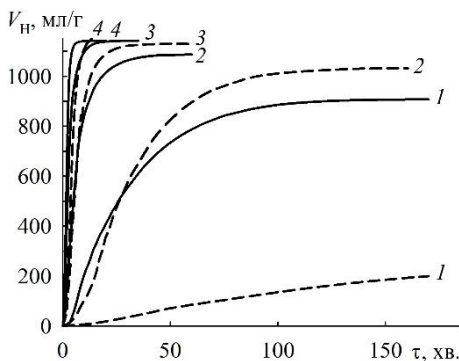


Рис. 4. Залежності об'єму водню, що виділився при гідролізі сплавів алюмінію з 5 мас.% евтектичного сплаву Ga-In-Sn (---) та 3 мас.% Zn (—) від тривалості гідролізу при температурах (°C): 1 – 25; 2 – 40; 3 – 55; 4 – 70.

При використанні цинку як додаткової добавки (3 мас.%) до алюмінієвого сплаву з евтектикою Ga-In-Sn (5 мас.%) швидкість виділення

водню з води значно збільшувалася, особливо при низьких температурах гідролізу (25 і 40°C) (див. рис. 4) [18]. Отже, змінюючи склад легуючих добавок у сплавах на основі алюмінію, можна істотно змінювати закономірності гідролізу алюмінію та продуктивність генерування водню.

Гідроліз алюмінію є гетерогенною реакцією, і її швидкість залежить від площі поверхні розділу між реагентами. Тому очевидним способом досягнення високої швидкості утворення водню є використання попередньо активованих дрібнодисперсних порошків алюмінію. Аналіз опублікованих в науковій літературі даних свідчить, що кінетика взаємодії порошків активованого алюмінію з водою залежить від способу активації, кількості та складу використовуваних активуючих речовин, розміру та морфології порошків та температури процесу, а також від кількості реагентів, зокрема, води. У наших дослідженнях алюмінієві порошки ПА-4 та АСД-1 механохімічно активували евтектичними сплавами Ga-In-Sn або Ga-In-Sn-Zn (5 мас.%) та графітом (1-3 мас.%), після чого пресували їх у таблетки.

Кінетичні дослідження гідролізу активованих і спресованих у таблетки алюмінієвих порошків, показали, що використання графіту як додаткової активуючої добавки призвело до підвищення швидкості гідролізу алюмінію більш, ніж на порядок (рис. 5). На основі отриманих даних розраховували значення виходу водню у відношенні до теоретично можливих його об'ємів. Досягнуті значення виходу водню становили: 70 % (1); 73 % (2); 91 % (3); 94 % (4) (див. рис. 5а). З рис. 5а також слідує, що збільшення маси гранул з 0,2 г до 0,3 г призвело до незначного збільшення швидкості гідролізу та виходу водню [19].

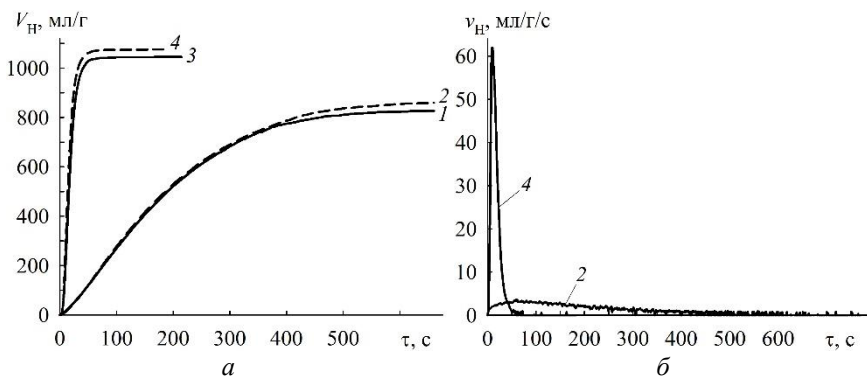


Рис. 5. Залежності об'єму водню, що виділився, (а) та середньої швидкості виділення водню (б) від тривалості гідролізу таблеток, виготовлених з порошку ПА-4, механохімічно активованого протягом 4 годин наступними добавками: 1, 2 – 5 мас.% евтектики Ga-In-Sn; 3,4–

5 мас.% евтектики Ga-In-Sn + 3 мас.% графіту. Температура гідролізу: 25°C, $m_{\text{табл}}$ (г): 1, 3 – 0.2; 2, 4 – 0.3.

Вплив кількості графіту в підготовлених таблетках та температури їх гідролізу на швидкість виділення водню можна оцінити, розглянувши залежності, наведені на рис. 6. Видно, що виділення водню під час активної стадії гідролізу алюмінію з таблеток порошку ПА-4, механохімічно активованого евтектикою Ga-In-Sn, прискорюється зі збільшенням кількості графіту та зростанням температури. Важливо зазначити, що порошок ПА-4, активований і спресований, як описано вище, активно реагує з водою вже при температурі 5°C [19].

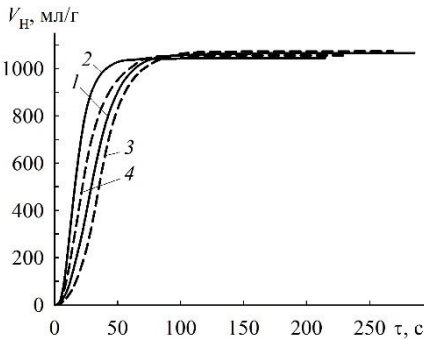


Рис. 6. Залежності об'єму водню, що виділився, при гідролізі таблеток з порошку ПА-4, механохімічно активованого протягом 4 годин евтектикою Ga-In-Sn (5 мас.%) та графітом (мас. %): 1, 2 – 3; 3, 4 – 1, від тривалості гідролізу. Температура гідролізу (°C): 1, 3 – 5; 2, 4 – 25, $m_{\text{табл}} = 0.2$ г

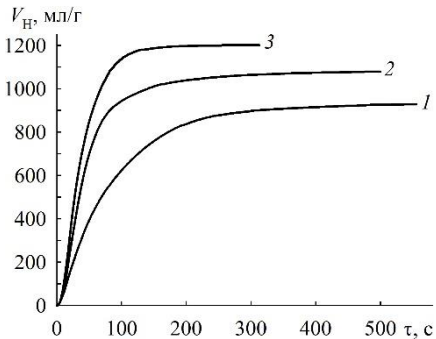


Рис. 7. Залежності об'єму водню, що виділився при гідролізі таблеток з порошку АСД-1, механохімічно активованого евтектикою Ga-In-Sn (5 мас.%) та графітом (3 мас.%), протягом (год.): 1 – 1; 2 – 2; 3 – 4, від тривалості гідролізу. Температура гідролізу: 5°C, $m_{\text{табл}} = 0.2$ г

Проведені дослідження показали, що тривалість механохімічної активації алюмінієвих порошоків також впливає на їх активність у процесі гідролізу. Як слідує з рис. 7, збільшення тривалості механічної обробки порошку АСД-1 разом з 5 мас.% евтектики Ga-In-Sn та 3 мас.% графіту з 1 до 4 годин призвело до значного зростання швидкості гідролізу алюмінію з виготовлених таблеток та виходу водню [19].

Досліджено також вплив розміру зерен алюмінієвих порошоків на продуктивність генерування водню під час гідролізу таблеток, виготовлених

з порошків, які були механохімічно активовані евтектикою Ga-In-Sn-Zn (5 мас.%) та графітом (3 мас. %). Встановлено, що заміна крупнішого порошку ПА-4 на дрібніший АСД-1 призвела до зростання швидкості виділення та виходу водню.

Середовище, в якому обробляли порошки, також впливало на їх активність під час гідролізу. Швидкість виділення водню та його вихід при гідролізі порошку ПА-4, механохімічно активованого евтектикою Ga-In-Sn-Zn (5 мас.%) та графітом (3 мас.%) на повітрі, були нижчими, ніж при гідролізі такого ж порошку, активованого в атмосфері аргону [20].

Різниця значень температури плавлення евтектичних сплавів Ga-In-Sn та Ga-In-Sn-Zn становить близько 8°C, але заміна одного сплаву на інший при механохімічній активації алюмінієвих порошків разом з графітом не призвела до значної зміни швидкості гідролізу алюмінію з активованих і спресованих порошків. Очевидно, кількості використаних евтектичних сплавів (5 мас.%) були замалі для того, щоб ідентифікувати вплив різниці їх температур плавлення на закономірності гідролізу алюмінію з виготовлених таблеток [20].

Таким чином, активація алюмінію легуванням невеликими кількостями евтектичного сплаву Ga-In-Sn, вісмуту, сурми або цинку значно покращує його характеристики як енергоакумулюючої речовини, яка використовується для генерування водню шляхом гідролізу при температурах $\geq 25^\circ\text{C}$. Зміна якісного та кількісного складу легуючих добавок дозволяє істотно змінити закономірності гідролізу активованого алюмінію та продуктивність генерування водню. Механохімічна активація алюмінієвих порошків ПА-4 та АСД-1 евтектичними сплавами Ga-In-Sn або Ga-In-Sn-Zn та графітом з наступним пресуванням отриманих активованих порошків у таблетки дає змогу отримати матеріали, здатні інтенсивно виділяється водень з води при температурах $\geq 5^\circ\text{C}$. Гідроліз оброблених таким чином алюмінієвих порошків відбувається швидко і майже повністю.

Досліджені ЕАР на основі Al є перспективними для використання в генераторах водню гідролізного типу різної продуктивності та призначення без додаткового підігріву реакційної суміші. Алюмінієві сплави з легкоплавкими та електропозитивними металами та механохімічно активовані і спресовані алюмінієві порошки можна використовувати в одноразових картриджах для отримання водню в портативних генераторах, які у поєднанні з паливними комітками забезпечать автономну зарядку акумуляторів мобільних засобів зв'язку та інших електронних пристроїв.

Використані інформаційні джерела:

1. O'Hayre R., Cha Suk-Won, Colella W., Prinz F. B. Fuel Cell Fundamentals, 3rd Edition. – Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2016. 600 p.

2. Gröger O., Gasteiger H. A., Suchsland J.-P. Review – Electromobility: Batteries or Fuel Cells? // *J. Electrochem. Soc.* 2015. V. 162, №14. P. A2605–A2622.

3. Варшавский И. Л. Энергоаккумулирующие вещества и их использование. К. : Наукова думка, 1980. 240 с.

4. Kozin L. H., Volkov S. V., Skryptun I. N. Modern Hydrogen Energetics and Ecology. К. : Akadempriodyka, 2019. 364 p.

5. Shkolnikov E. I., Zhuk A. Z., Vlaskin M. S. Aluminum as energy carrier: Feasibility analysis and current technologies overview // *Renew. and Sustain. Energy Reviews.* 2011. V. 15, №9. P. 4611–4623.

6. Xiao F., Yang R, Liu Z. Active aluminum composites and their hydrogen generation via hydrolysis reaction: A review // *Int. J. Hydrogen Energy.* 2022. V. 47, №1. P. 385–386.

7. Справочник по электрохимии / Под. ред. А.М. Сухотина. Л. : Химия, 1981. 488 с.

8. Hu Shuo, Zhao Xi, Liu Jing. Liquid metal activated aluminum-water reaction for direct hydrogen generation at room temperature // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2018. V. 92. P. 17–37.

9. U.S. Patent 5634341. C01B 308; F01K 2506. System for generating hydrogen / M. Klanchar, T.G. Hughes. Publ. Jun 3, 1997.

10. Shkolnikov E., Vlaskin M., Iljukhin A., Zhuk A., Sheindlin A. 2 W power source based on air-hydrogen polymer electrolyte membrane fuel cells and water-aluminum hydrogen macro-generator // *J. Power Sources.* 2008. V. 185, №2. P. 967–972.

11. Wang Er-Dong, Shi Peng-Fei, Du Chung-Yu, Wang Xiao-Rui. A mini-type hydrogen generator from aluminum for proton exchange membrane fuel cells // *J. Power Sources.* 2008. V. 181, №1. P. 144–148.

12. AlumiFuel Power Announces Delivery of Its First Production Hydrogen Generator // Online: <https://www.theautochannel.com/news/2009/12/30/460177.html>.

13. China patent No. 201410467867.8. A controllable hydrogen generation equipment based on Al-alloy/H₂O reaction / X.Y. Zhou, J. Yang, H. Wang, H.Z. Liu, T. Yang, C.C. Luo et al. Publ. 2015.

14. Plevachuk Yu., Sklyarchuk V., Eckert Sv., Gerbeth G., Novakovic R. Thermophysical properties of the liquid Ga–In–Sn eutectic alloy // *J. Chem. Eng. Data.* 2014. V. 59, №3. P. 757–763.

15. Гринь Ю. Н., Гладышевский Р. Е. Галлиды. М. : Металлургия, 1989. 304 с.

16. Манілевич Ф. Д., Козін Л. Х., Данильцев Б. І., Куций А. В., Пірський Ю. К. Закономірності гідролізу алюмінію, активованого евтектичним сплавом галію, індію та олова // *Укр. хим. журн.* 2017. Т. 83, №7. С. 51–59.

17. Manilevich F. D., Pirskyu Yu. K., Danil'tsev B. I., Kutsyi A. V., Yartys V. A. Studies of the hydrolysis of aluminum activated by additions of Ga-In-Sn eutectic alloy, bismuth or antimony // *Materials Science*. 2020. V. 55, №4. P. 536–547.

18. Манілевич Ф. Д., Пірський Ю. К., Куций А. В., Данильцев Б. І. Закономірності гідролізу алюмінію, активованого евтектичним сплавом Ga-In-Sn та цинком // *Укр. хім. журн.* 2020. Т. 86, №2. С.63–77.

19. Manilevich F. D., Pirskyu Yu. K., Kutsyi A. V., Berezovets V. V., Yartys V. A. Studies of mechanochemically activated aluminum powders for generating hydrogen from water // *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2021. V. 60, № 5-6. P. 268–277.

20. Manilevich F., Pirskyu Yu., Kutsyi A., Berezovets V., Yartys V. Activated aluminum for hydrogen generation from water // *Hydrogen based energy storage: status and recent developments. Monograph* / Eds.: V.A. Yartys, Yu. M. Solonin, I. Yu. Zavaliiy. Lviv : P.o. «Prostir-M», 2021. P. 81–93.

ЕЛЕКТРОХІМІЧНИЙ МЕТОД СИНТЕЗУ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ВОЛЬФРАМУ

ELECTROCHEMICAL METHOD OF SYNTHESIS OF TUNGSTEN- BASED MATERIALS

Медвежинська О. В., аспірантка, **Кулешов С. В.**, кандидат хімічних наук, молодший науковий співробітник, **Омельчук А. О.**, член-кореспондент НАН України, доктор хімічних наук, професор, **Новоселова І. А.**, кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник

*Інститут загальної та неорганічної хімії
ім. В.І. Вернадського НАН України, Україна*

Medvezhynska O. V., Postgraduate Student,
Kuleshov S. V., Candidate of Chemical Sciences, Research Assistant,
Omel'chuk A. O., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Science, Professor,
Novoselova I. A., Candidate of Chemical Sciences, Senior Research Officer

*Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry of the Ukrainian
National Academy of Sciences, Ukraine*

Анотація. У даному повідомленні представлено результати дослідження з електрохімічного синтезу вольфраму та сполук на його основі, зокрема карбідів. Карбід вольфраму отримували з натрій-калій хлоридного розплаву, в якості прекурсорів синтезу використовували нетоксичні речовини: CO_2 , Li_2CO_3 , Na_2WO_4 , WO_3 . Визначено склад електролітичної суміші, що забезпечує одержання ультрадисперсних карбідів вольфраму з мінімальними енергетичними затратами. Використання карбон (IV) оксиду дозволяє утилізувати парникові гази з атмосфери, тим самим покращуючи якість повітря. Синтезовані карбіди вольфраму є перспективними електродними матеріалами для пристроїв водневої енергетики. Електрохімічний синтез вольфраму здійснювали у електролітичному розплаві натрій-кальцій хлориду, в якості вихідних речовин використовували оксигеновмісні сполуки вольфраму. Отримані порошки вольфраму можуть бути використані в металургічних процесах, у яких зменшення розміру частинок вихідного матеріалу дозволяє значно знизити витрати енергії для одержання кінцевого продукту.

Abstract. *This paper presents the results of research on the electrochemical synthesis of tungsten and its compounds, in particular carbides. Tungsten carbide was obtained from sodium-potassium chloride melt, as precursors of the synthesis used non-toxic substances: CO_2 , Li_2CO_3 , Na_2WO_4 and WO_3 . The composition of the electrolytic mixture is determined, which provides the production of ultrafine tungsten carbides with minimal energy costs. If carbon (IV) oxide is used, it is possible to utilize greenhouse gases from the atmosphere, thereby improving air quality. Synthesized tungsten carbides are promising electrode materials for hydrogen energy devices. Electrochemical synthesis of tungsten was carried out in an electrolytic melt of sodium-calcium chloride, oxygen-containing tungsten compounds were used as starting compounds. The obtained tungsten powders can be used in metallurgical processes in which reducing the particle size of the source material can significantly reduce energy consumption to obtain the final product.*

Розвиток хімічної, металургійної та машинобудівної промисловості, досліджень у галузі хімії, фізики, атомної енергетики тісно пов'язано з використанням тугоплавких металів, зокрема вольфраму, сполук чи композитів на його основі. Тому, на сьогодні з попитом суспільства зростає потреба у вдосконаленні існуючих та пошуку нових технологій їх одержання. Водночас, світова екологічна ситуація спонукає по новому поглянути на ці процеси. Більшість методів синтезу вольфраму та його сполук (відновлення, плазмохімічний, механохімічний, детонаційний, самопоширюючий високотемпературний, електрохімічний тощо) не зважаючи на постійні удосконалення збільшують техногенне навантаження на всі об'єкти навколишнього середовища.

Проблема екологічно безпечного одержання тугоплавких металів чи їх сполук полягає в наступному. Наприклад, у методі відновлення, якщо в якості відновника використовується водень, тоді необхідно використовувати специфічне обладнання та дотримуватися підвищених заходів безпеки, порушення яких може призвести до катастрофічних наслідків. Якщо використовувати вуглець (як у вигляді простої речовини, так і у складі монооксиду вуглецю), то під час синтезу відбувається виділення оксидів карбону (CO , CO_2), частина яких потрапляє у навколишнє середовище, а частина може призводити до забруднення кінцевого продукту, внаслідок чого погіршуються його властивості. Тобто, такий метод буде неефективний і на додачу екологічно небезпечним. Іншою проблемою є споживання великої кількості енергії, в першу чергу електричної. Значна частина якої використовується для досягнення і підтримки високих температур печей, в основному електричних, решта – для інших технологічних процесів. Існує багато способів видобутку електроенергії, але основним способом є спалювання органічного палива на теплових електростанціях (ТЕС). Таким

паливом є нафта, природний газ та вугілля, до складу яких окрім енергетично ціннісних складових (вуглець і водень) входять домішки: сполуки сірки, азоту, фосфору, важкі метали (у складі нафти) тощо. Робота ТЕС спричинює величезні викиди в атмосферу діоксиду сірки, оксидів азоту, а також попелу, який потім потрапляє у ґрунт і водойми. Також експлуатація ТЕС пов'язана із безповоротним використанням водних ресурсів. Отже, для вирішення проблеми ефективного використання природних ресурсів необхідно здійснювати пошук нових методів із врахуванням можливості поновлюваного і економного використання енергії та ресурсів на користь оточуючого середовища.

На сьогодні відомо багато нетрадиційних (лабораторних) методів отримання вольфраму та його сполук, проте жоден з них не набув промислового значення через ряд проблем: невисоку ефективність, енергетичну та ресурсовитратність, а також через згубний вплив на навколишнє середовище. На нашу думку, перспективним є розроблений на початку минулого століття метод електролізу іонних розплавів, а саме високотемпературний електрохімічний синтез (ВЕС) [1-4] і його сучасний варіант – FFC Cambridge процес [5,6]. Цими методами можливе отримання високодисперсних порошків вольфраму, вуглецю, карбідів вольфраму та композитів на їх основі із властивостями необхідними для успішного застосування в промисловості, зокрема в якості електродних матеріалів водневої енергетики [7-9].

Метод ВЕС ґрунтується на одночасному або послідовному проведенні багатоелектронних електрохімічних реакцій виділення металу і неметалу, в результаті яких на катоді утворюється продукт заданого складу та властивостей (рисунок 1). ВЕС може здійснюватися двома шляхами. У першому випадку розплавлений електроліт містить один з компонентів в іонному або молекулярному стані. Він розряджається на електроді, що є іншим компонентом. У якості компоненту, який розряджається, використовують сполуки вуглецю які відновлюються до елементарного стану на катоді з тугоплавкого металу, або оксианіони тугоплавкого металу, які відновлюються до металу на графітовому катоді. У другому випадку електроліт містить обидва компоненти, які розряджаються одночасно або послідовно на нейтральному електроді, після чого відбувається хімічна взаємодія продуктів розряду. Для одержання карбідів вольфраму доцільніше застосовувати другий варіант, оскільки він дозволяє керувати режимами електролізу, температурою складом електроліту. Також можна одержувати на катоді як порошкові продукти, так і покриття.

Прекурсорами синтезу є нетоксичні речовини, такі як CO_2 , Li_2CO_3 , Na_2WO_4 , WO_3 . Зокрема використання CO_2 дає змогу вирішити надзвичайно важливу проблему утилізації парникових газів з атмосфери. У цьому методі

як електроліт зазвичай використовують розплавлену суміш NaCl–KCl, компоненти якої є не токсичними, добре розчинними у воді, що дозволяє зменшити використання різноманітних шкідливих, дорогих розчинників. Температура синтезу не перевищує 800 °С, що є значно нижчою, ніж для синтезу промисловими методами (1300-2700 °С).

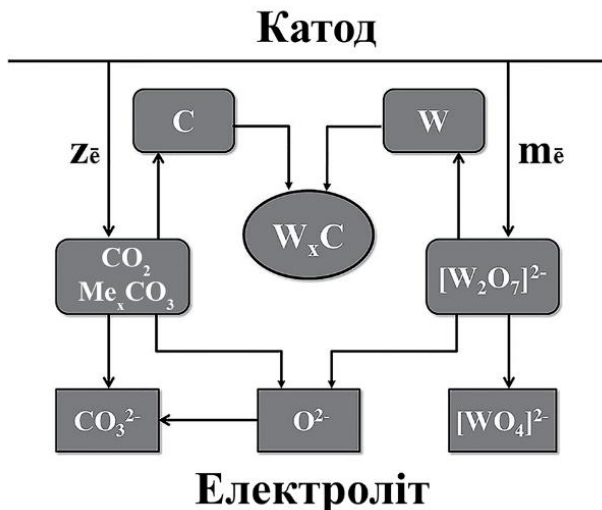


Рис. 1. Схема утворення карбідів вольфраму на катоді

Як приклад успішної реалізації методу можна навести роботи [2-4,10,11]. За цим методом у відділі електрохімії та технології неорганічних матеріалів Інституту загальної та неорганічної хімії імені В. І. Вернадського НАН України було одержано композити монокарбіду вольфраму з вільним вуглецем WC/C. Було використано електролітичну суміш із вмістом: Na₂W₂O₇ – 16,5 мас.%; Li₂CO₃ – 4,1 мас.% [4]. Фоновим електролітом слугувала еквімолярна суміш NaCl–KCl. В електролізері підтримувався тиск CO₂ – 1,0 МПа та температура розплаву – 750 °С. Густина катодного струму була в межах 0,15-0,30 А/см². Вихід продукту (швидкість осадження) за цих умов становив ~0,30-0,40 г/А·год. Середній розмір синтезованих кристалітів карбіду вольфраму оцінюється величиною 8-10 нм (рис. 2,а). Композити утворюють щільні пластинчасті агломерати (рис. 2,б). Синтезований композит мав мезопористу структуру та високу питому поверхню – ~140 м²/г. Також у електролітичних сумішах Na,K,Cs|Cl–CO₂, Na,K|Cl–CO₂ та Na,K|Cl–Li₂CO₃–CO₂ [10,11] в інтервалі густини струму 0,010 < i_k < 0,100 А/см² за температур 500-800 °С синтезовано порошки нанорозмірних

карбонових фаз різної морфології і структури: полікристалічний графіт, графенові фрагменти, аморфний карбон, багатостінні карбонові нанотрубки вигнутої форми та карбонові волокна.

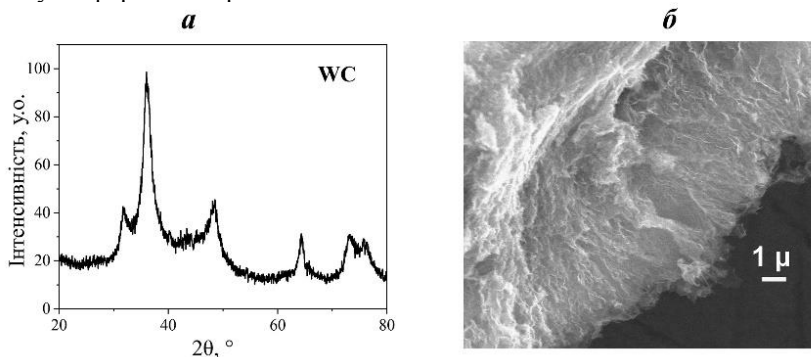


Рис. 2. Дифрактограма (а) та зображення СЕМ (б) порошку карбіду вольфраму одержаного у системі $\text{Na,K|Cl-Na}_2\text{W}_2\text{O}_7\text{-Li}_2\text{CO}_3\text{-CO}_2$. Сила катодного струму – 0,15-0,30 А/см², температура – 750 °С

Такі синтезовані матеріали, зокрема композити WC/C, можна застосувати для вирішення однієї з енергетичних проблем водневої енергетики, а саме створення дешевих, ефективних та стабільних електродних матеріалів для електрохімічного розкладання води. Раніше [2] було перевірено активність схожого композиту при електрохімічному отриманні водню. Встановлено, що активність (перенапряга виділення водню, струм обміну, нахил тафелівської ділянки катодної кривої) одержаного композиту WC/C не поступається сучасним каталізаторам. Вдосконаливши методику одержання, створивши необхідні умови синтезу можна досягти кращих результатів у цьому напрямі (наприклад, здійснити легування одержаних продуктів активними металами).

Інший варіант електрохімічного синтезу, який розроблений нещодавно, є FFC Cambridge process. Суть якого полягає в наступному. Розплавлену сіль або суміш солей лужних та лужно-земельних металів використовують в якості електроліту для повного електрохімічного відновлення оксиду металу, завантаженого на катод. Відновлення відбувається в результаті низки послідовних хімічних та електрохімічних перетворень, в яких приймають участь компоненти електролітної суміші. Йони кисню внаслідок таких перетворень розряджаються на аноді, утворюючи кисень, або вуглекислий газ, якщо в якості аноду використовують вуглецеві матеріали. Відновлений оксид утворює дрібнодисперсну металеву фазу, придатну для широкого практичного

використання у різних сферах сучасної науки та техніки. Схематичне зображення FFC Cambridge процесу наведено на рисунку 3.

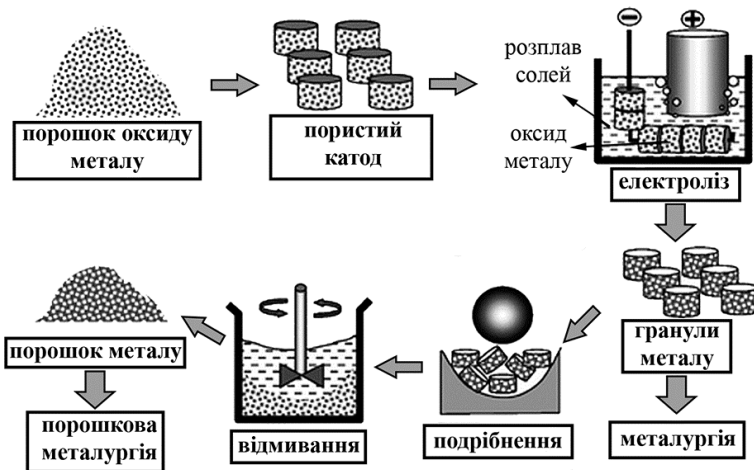


Рис. 3. Схематичне зображення процесу FFC для електровідновлення оксиду твердого металу до твердого металу в розплаві солі [12].

За цим методом можна отримати цілий ряд металів і напівметалів, таких як Ti, Si, Cu, Ge, Zr, Hf, Sm, U, Al, B, Nd, Mo, Cr і Nd, Fe, V, Nb, Ce, Ni, причому вихідним матеріалом може бути оксид металу, нітрид, сульфід або карбід у плавній сольовій системі [13-14]. Однак більшість досліджень, про які повідомлялося до цього часу, стосувалися оксидів металів, особливо діоксиду титану. Процес FFC для виробництва титану був успішно розширений, і він знаходиться на етапі індустріалізації. FFC процес має ряд переваг: низьку вартість виробництва, він простий в експлуатації, екологічно безпечний, адже даний метод має дуже низький вплив на навколишнє середовище і працює при низьких температурах, в діапазоні від 550 до 850 °С. Зазвичай в якості електроліту використовується кальцій хлорид або розплави на його основі, а токсичність CaCl_2 не перевищує токсичності кухонної солі. Основним побічним продуктом є відносно низький рівень вуглекислого газу. Також метод прямого електрохімічного відновлення оксидів тугоплавких металів є перспективним для отримання широкого спектру різних металів, напівметалів та сплавів. Наприклад, для титану та сплавів на його основі метод FFC дозволяє уникнути використання дорогого хлору, магнію та роботи з корозійним тетрахлоридом титану.

Очікується, що цей перспективний метод значно знизить собівартість виробництва тугоплавких металів та лідуватиме в енергоефективності

порівняно з відомими методами, які домінують у виробництві сьогодні (рис. 4) [15].

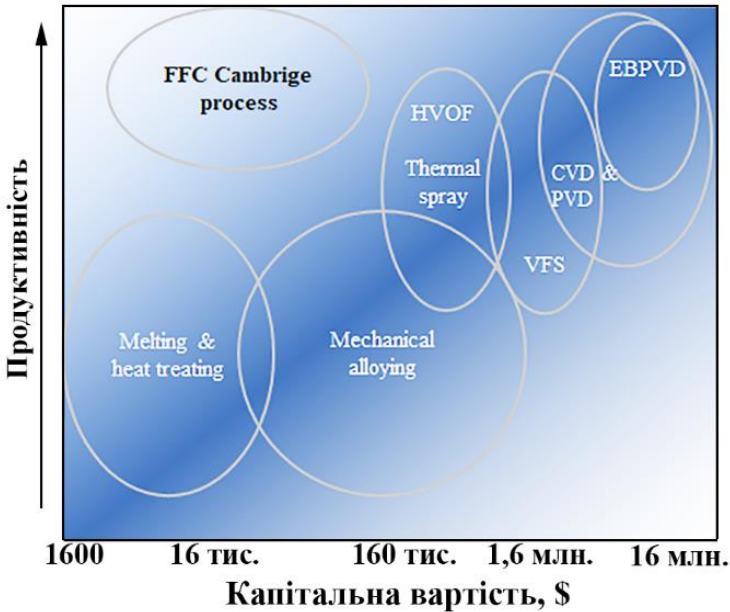


Рис. 4. Ефективність і вартість процесу FFC та інших технологій сплавоутворення [15].

В Україні у лабораторних умовах в ІЗНХ НАН України успішно реалізовано цей метод з метою одержання дисперсного порошку вольфраму [16]. Вольфрам отримували шляхом електрохімічного відновлення вольфрам (VI) оксиду, або вольфрамату кальцію в розплавленій суміші евтектичного складу (мол. %) CaCl_2 (52) – NaCl (48) в інертній атмосфері аргону на рідкому галієвому катоді. Температура синтезу знаходилася в діапазоні від 600 до 850 °С. Відновлення оксигеновмісних сполук вольфраму здійснювали в потенціостатичних умовах, при потенціалі, що забезпечував сумісне відновлення компонентів електролітної суміші. Швидкість відновлення за цих умов складала близько 0,40-0,45 г/А·год. Методом рентгенофазового аналізу (рис. 5,а) встановлено, що продуктом відновлення є фаза β -W вільна від домішок, з розміром кристалітів 30 нм. Кристаліти вольфраму агломеруються у вигляді дендритів розміром від 3 до 5 мкм (рисунок 5,б). Синтезовані таким чином вольфрамові порошки можна використати як електродний матеріал для пристроїв водневої енергетики [9]

чи в металургічних процесах, у яких зменшення розміру частинок вихідного матеріалу дозволяє значно знизити витрати енергії для одержання кінцевого продукту.

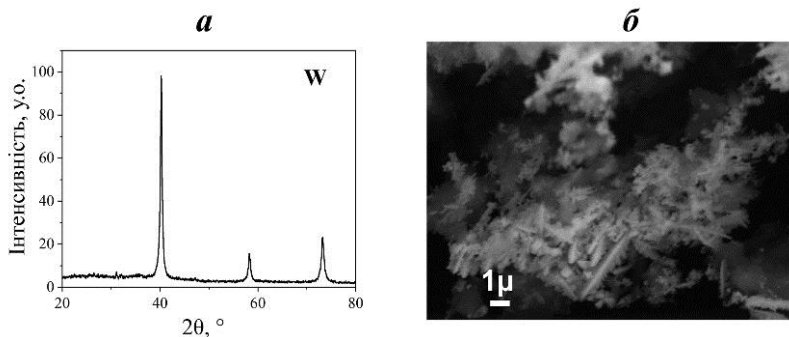


Рис. 5. Дифрактограма (а) та зображення СЕМ (б) порошку вольфраму одержаних шляхом електрохімічного відновлення WO_3 у системі $CaCl_2$ – $NaCl$ ($i \approx 0,70$ – $0,74$ А/см², $t=600^\circ\text{C}$)

Електрохімічний синтез у розплавах солей, як перспективний метод одержання функціональних матеріалів на основі вольфраму, в подальшому його вдосконаленні зможе вирішити цілий ряд проблем екологізації виробництва: зниження енергетичних витрат, економію сировинних ресурсів, зниження об'ємів відходів тощо. Також цей метод по-новому розкриває потенціал вольфраму і його сполук, оскільки дозволяє синтезувати нанорозмірні матеріали, що розширює межі їх застосування.

Використані інформаційні джерела:

1. Современные проблемы высокотемпературного электрохимического синтеза соединений переходных металлов IV-VI групп / В. И. Шаповал и др. Успехи химии. 1995. Т. 64, №2. С. 133–141.
2. Електрохімічний синтез карбідів вольфраму в сольових розплавах для електрокаталізу / І. А. Новоселова та ін. Український хімічний журнал, 2016. Т. 82, №11. С. 67–76.
3. Electrochemical synthesis of tungsten carbide in molten salts, its properties and applications / І. А. Novoselova et al. ECS Transactions, 2018. 86 (14). P. 81–94.
4. Електровідновлення дивольфрамат- та карбонат-аніонів у хлоридному розплаві. / І. А. Новоселова та ін. Український хімічний журнал, 2021. Т. 87, №12. С. 97–108.
5. Chen G. Z., Fray D. J. Understanding the electro-reduction of metal

oxides in molten salts. Symposium of Recent Advances in Non-Ferrous Metals Processing: Conference Paper 2004 TMS Annual Meeting, Charlotte, North Carolina, 14-18 March 2004/ Light Metals, 2004. P. 881–886.

6. Abdelkader A. M., Kilby K. T., Cox A., Fray D. J. DC voltammetry of electro-deoxidation of solid oxides. Chemical Reviews. 2013.vol. 113, №5. P. 2863–2886.

7. WC as a non-platinum hydrogen evolution electrocatalyst for high temperature PEM water electrolyzers / A.V. Nikiforov et al. International journal of hydrogen energy. 2012. Vol. 37, Iss. 24. P. 18591–18597.

8. Recent progress in transition metal carbide electrocatalysts for the hydrogen evolution reaction / X. Zhao et al. Research and Reviews in Electrochemistry. 2017. Vol. 105. P. 1–12.

9. Abd El-Hafez G., Nady M., Walcarius A., Fekry A. Evaluation of the electrocatalytic properties of Tungsten electrode towards hydrogen evolution reaction in acidic solutions. International Journal of Hydrogen Energy. 2019.Vol. 44, Iss. 31. P.16487–16496.

10. Novoselova I. A., Kuleshov S.V., Volkov S.V., Bykov V. N. Electrochemical synthesis, morphological and structural characteristics of carbon nanomaterials produced in molten salts. Electrochim. Acta. 2016. Vol. 211. P. 343–355.

11. Особливості електровідновлення Li_2CO_3 в еквімолярному розплаві хлоридів натрію та калію / І. А. Новоселова та ін. Український хімічний журнал. 2021. №87, № 6. С. 70–81.

12. Removal of Oxygen from Metal Oxides and Solid Solutions by Electrolysis in a Fused Salt: UK Patent WO 9964638, PCT/GB 99/01781. Inter. Pub. 1998.

13. Erdoğan M., Karakaya I. Electrochemical reduction of tungsten compounds to produce tungsten powder. Metallurgical and Materials Transactions B (Process Metallurgy and Materials Processing Science). 2010. Vol. 41, № 4. P. 798–804.

14. Chen G. Z., Fray D. J. Understanding the electro-reduction of metal oxides in molten salts. TMS Light Metals. 2004. P. 881–886.

15. Fenn A. J., Cooley G., Fray D., Smith L. Exploiting FFC Cambridge Process. Advanced materials & processes. 2004. Vol. 162. P. 51–53.

16. Bosenko O., Kuleshov S., Bykov V., Omel'chuk A. Electrochemical reduction of tungsten(VI) oxide from a eutectic melt $\text{CaCl}_2\text{--NaCl}$ under potentiostatic conditions. Journal of the Serbian Chemical Society. 2022. Vol. 87. P. 1–11.

ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА В ЦИРКУЛЯРНІЙ БІОЕКОНОМІЦІ

THE USE OF BIOFUELS WITHIN THE CIRCULAR BIOECONOMY

Мельник Н. В., кандидат економічних наук, доцент

Поліський національний університет, Україна

Melnyk N. V., PhD in Economics, Associate Professor of Ecology Department,
кафедри екології

Polissya National University, Ukraine

Анотація. У даному дослідженні встановлено, що усі біоекономічні системи є відновлюваними та мають циклічний шлях. Біоенергетичні системи імітують природу, і вони мають тенденцію слідувати круговому циклу в своїх процесах. Використання відновлюваної енергії розглядається як один із важливих компонентів забезпечення стійкості сучасних економічних систем. Розкрито поняття та значення біоекономіки та циркулярної економіки. Встановлено основні переваги та потенційні проблеми переходу до біоекономіки для комерціалізації продуктів та послуг. Розкрито взаємозалежність між зеленою економікою, біоекономікою та циркулярною економікою. Проаналізовано основні показники виробництва біоетанолу та показники ланцюгу виробництва та реалізації біопалива. Розроблено та представлено ланцюг виробництва та реалізації біопалива. Проаналізовано та структуровано схематично органи виконавчої влади, які регулюють виробництво та торгівлю біоенергетичними видами палива в Україні.

Abstract. It is determined in this study that all bioeconomic systems are renewable and have a cyclical path. Bioenergy systems imitate nature and they tend to follow a circular cycle in their processes. The use of renewable energy is considered as one of the important components of modern economic systems sustainability provision. The concept and significance of bioeconomics and circular economy have been disclosed. The main advantages and potential problems of the transition to the bioeconomy for products and services commercialization have been identified. The interdependence between green economy, bioeconomy and circular economy has been defined. The main indicators of bioethanol production and indicators of biofuels production and sale chain have been analyzed. Biofuels production and sale chain was designed and presented. The executive power bodies that regulate the production and trade of bioenergy fuels in Ukraine are analyzed and presented in a structured scheme.

В умовах сьогодення одним із найпріоритетніших чинників аграрного сектору економіки є розвиток та становлення біоорієнтованої економіки або біоекономіки. Біоекономіка як концепція виникла наприкінці ХХ ст. Вона викликала значний інтерес у науковців, політиків та бізнесменів в останнє десятиліття. Біоекономіка дає можливість вирішити великі глобальні виклики, такі як економічні і екологічні. Біоекономіка буде мости між біотехнологією та економікою, а також між наукою, промисловістю та суспільством. Велика увага науковців приділяється виробництву, використанню, збереженню та регенерації біологічних ресурсів, включаючи відповідні знання, науку, технології та інновації, з метою забезпечення стійких рішень (інформації, продуктів, процесів та послуг) в усіх секторах економіки та сприяє трансформації до стійкої економіки (біоекономіка). Вагомий внесок в дослідження розвитку біоекономіки, біопалива та державного регулювання даного ринку економіки присвячені праці вітчизняних та зарубіжних науковців як: А. Барвінського [9], В. Бутенко [4], О. Гальчинської [13], О. Климука [12], О. Чупайленко [15], О. Шпичака [16], Т. Плахтія [14], Н. Мельник [10; 11], Дж. Весселер [1], М. Карис [2], Б. Ядав [3], М. Галло [5], М. Кардунг, К. Кінгіз [7], Х. Пулз [8] та інші. Однак, слід відмітити, що біоекономіка невід'ємно пов'язана з виробництвом та використанням біопалива (рідкого, твердого, газоподібного) для задоволення потреб населення та для сталого розвитку країни. Особливої гостроти набуває питання державного регулювання, виробництва, реалізації та використання біопалива в Україні. Основною метою є дослідження переваг та проблеми переходу до біоенергетики. Представлення ланцюгу виробництва, реалізації біоетанолу, а також аналіз державної підтримки в області виробництва та реалізації біопалива.

Біоекономіка використовує силу біології та біотехнології для вирішення різних проблем: забезпечення продуктами харчування, кормами, меблями, папером, текстилем на біологічній основі, біохімікатами, біопластиком, біопрепаратами та біоенергією для зростаючого населення земної кулі, при цьому зберігаючи наші природні ресурси.

Біотехнологія від найдавніших її витоків до наших днів лежить в основі наукової та інноваційної основи біоекономічної політики, розробленої у багатьох країнах. Слід зауважити, що у світовій політиці біоекономіці приділяється велике значення. Наприклад, у 2012 р. уряд США опублікував «Національний план біоекономіки», і при цьому біоекономіка зростала приблизно на 10 % щорічно протягом останнього десятиліття. Європейський Союз та кілька його країн-членів схвалили «Стратегію досліджень та політики в галузі біоекономіки» з 2010 р. Європейська Комісія зазначила, що європейська біоекономіка має щорічний обсяг 2 трлн. євро, а

в біоекономіці зайнято приблизно 9 % робочої сили. Крім того, очікується, що кожен вкладений євро принесе десять євро доданої вартості в різних секторах економіки. Такі основні економіки Бразилії, Індії, Китаю та Південної Африки інтегрували біоекономіку у свої ключові стратегії розвитку [1].

М. Карус стверджує, що циркулярна економіка включає всі види матеріальних потоків з різними маршрутами використання, включаючи органічну переробку (біодеградація) і навіть уловлювання та використання CO₂ від промислових процесів або атмосфери. Також він наголошує на тому, що поняття біоекономія набагато більше, ніж сам потік біомаси. Важливі аспекти біоекономіки, як і важливі аспекти інших матеріальних секторів, структурно знаходяться за межами циркулярної економіки, яка зосереджується на «довготривалій підтримці цінностей продуктів, матеріалів і ресурсів в економіці» та збільшенні коефективності процесів виробництва. [2].

Біоекономіка за своєю природою є круговою, при цьому вуглець виділяється з атмосфери рослинами, а після його повторного використання він знову циркулює у вуглєці ґрунту чи атмосфері. Кругова економіка зосереджується на ефективному використанні обмежених ресурсів, забезпечуючи їх повторне використання або довшу переробку, стверджує Ядав Б., Аتماкурія А. та інші [3].

В. Бутенко вважає, що біоекономіка є тим механізмом, котрий визначає практичні дії, є конкретним шляхом досягнення цілей сталого розвитку. Саме біоекономіка забезпечує взаємодію трьох складових сталого розвитку: економічної, екологічної та соціальної систем. Біоекономіка здатна поєднати у собі економічний і соціальний елементи за рахунок виробництва продукції на основі біотехнологій, забезпечуючи при цьому задоволення потреб сучасного населення без урізання можливостей наступних поколінь, крім того, за рахунок розвитку біоекономіки відбувається зростання зайнятості, підвищення рівня доходів населення, розвиток сільських територій [4].

М. Галло розглядає біоекономіку як засіб вирішення суспільних проблем, таких як зміна клімату, безпека харчування, енергетична незалежність та екологічна стійкість. Потенційні переваги переходу до біоекономіки включають наступне [5]:

- заміна викопного палива відновлюваною біомасою або біологічною сировиною у виробництві енергії, хімічних речовин і матеріалів;
- збільшення виробництва продукції рослинництва та тваринництва;
- підвищення ефективності використання біомаси та зменшення відходів;
- нові ліки та діагностика для покращення здоров'я людини;
- створення нових робочих місць і виробництв;

- сприяння розвитку сільських територій.

Організація економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР) виділяє два аспекти в розвитку та імплементації біоекономіки, такі як потенційні вигоди та потенційні проблеми. Потенційні вигоди «не стануть реальності без уважної та активної підтримки з боку уряду і громадськості загалом». Потенційні проблеми, пов'язані з переходом до біоекономіки, успішним розвитком та комерціалізацією продуктів і послуг, пов'язаних з біоекономікою. Слід відмітити, що потенційні проблеми включають в себе:

- забезпечення узгодженості політики між різними задіяними секторами;
- подолання «заблокованості» або жорсткості існуючих виробничих систем;
- забезпечення рівного доступу до продуктів і послуг, пов'язаних з біоекономікою;
- спонукання споживачів до споживання товару та попиту на нього [6].

Е наукових дослідженнях провідних науковців зустрічаються споріднені поняття до терміну «біоекономіка», такі, як «зелена економіка», «біоекономіка» та «циркулярна економіка» (рис. 1).



Рис. 1. Взаємозалежність між біоекономікою, зеленою та циркулярною економікою

Джерело: [7].

На рис. 1 представлено взаємозв'язок між даними термінами. Зелена економіка, як правило, розглядається як головна концепція і вона «приводить до покращення добробуту людей та соціальної справедливості, одночасно при цьому значно зменшує екологічні ризики та екологічний дефіцит. У найпростішому розумінні зелену економіку можна розглядати як економіку з низьким вмістом вуглецю, ресурсоефективною та соціально інклюзивною» [7]. Біоекономіка, як правило, більше пов'язана з глобальним економічним ростом та технологічним розвитком, ніж просто зосередженням на обмеженому зростанні в наслідок дефіциту та виснаження ресурсів [8]. Синергетичний зв'язок між концепціями біоекономіки та циркулярної економіки є значним. Оскільки, біоекономіка взаємопов'язана з циркулярною економікою та є частиною зеленої економіки. Тому, в світовій економічній спільноті використовують поняття «циркулярної біоекономіки», яка базується на інтеграції двох концепцій (біоекономіка, циркулярна економіка).

Розвиток біоекономіки є одним із пріоритетних напрямів сталого розвитку країни, який сприяє її енергетичній незалежності за рахунок впровадження та використання біоенергетичних видів палива. Слід зауважити, що біоекономіка це галузь економіки, яка включає в себе розвиток біоенергетики. Для збільшення в Україні власного виробництва моторних палив доцільно організувати адекватну заміну традиційного моторного палива на моторні суміші з різними видами паливних домішок, що призведе до збільшення пропозиції на даний вид палива. Пропозиція біоенергетичних видів палива залежить від ряду факторів, які впливають на її формування. По-перше, це сировинний потенціал або біомаса сільськогосподарських енергетичних культур. А. Барвінський вважає, що Україна має великий потенціал біомаси, доступної для енергетичного використання. Шляхом залучення цього потенціалу до виробництва енергії в перспективі можна задовольнити 13-15 % потреби держави в первинній енергії. Розвиток біоенергетичного сектору в Україні має відбуватися послідовно й обґрунтовано, з урахуванням можливого впливу на національну економіку та довкілля [9].

Розвиток та функціонування ринку рідких біоенергетичних видів палива залежить від різних факторів, а також від процесу виробництва та реалізації біоетанолу з сільськогосподарських енергетичних культур (біомаси). Для виробництва біоетанолу представлені основні показники його виробництва (рис. 2).

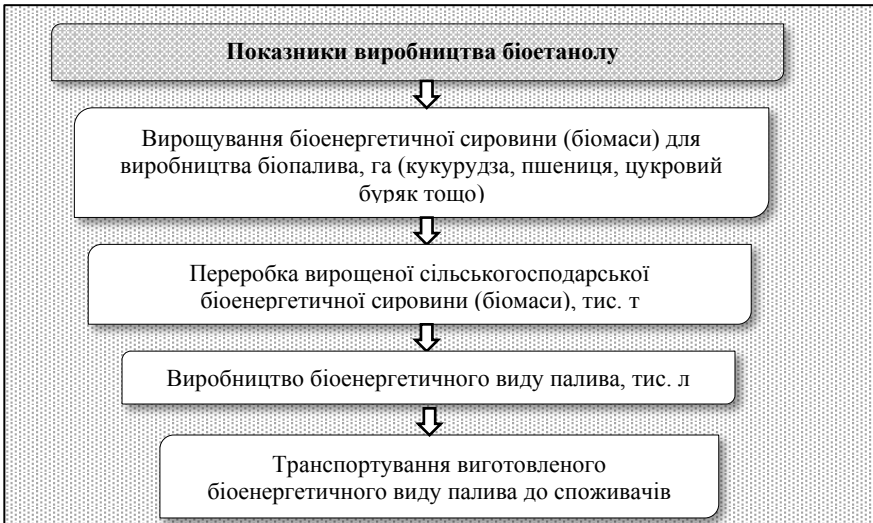


Рис. 2. Основні показники виробництва біоетанолу в Україні
Джерело: розробка автора.

Виробництво рідкого біопалива вміщає у себе не лише основні показники виробництва, а й ланцюг виробництва та реалізації виготовленого біопалива. Для того щоб представити даний ланцюг необхідно встановити основні показники, які його описують. Серед основних показників, які описують ланцюг виробництва та реалізації біоетанолу є:

- площа біомаси сільськогосподарських енергетичних культур для виробництва біоетанолу, (га);
- урожайність сільськогосподарських енергетичних культур (га);
- біоенергетичний потенціал енергетичних культур;
- встановлені виробничі потужності для виробництва біоетанолу в Україні;
- процес виробництва біоетанолу в залежності від потужностей виробництва;
- сукупність виробленого біоетанолу (л) тощо.

За допомогою вище встановлених основних показників виробництва та реалізації біоетанолу схематично побудовано ланцюг виробництва та реалізації біоетанолу в Україні (рис. 3).

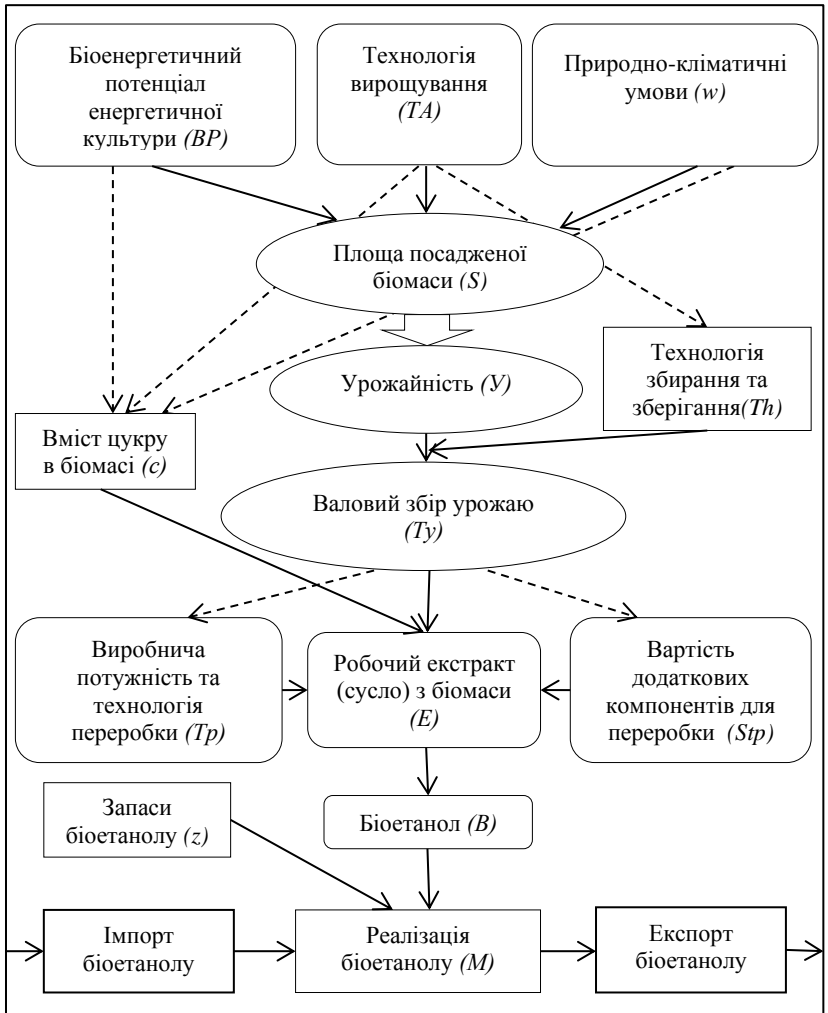


Рис. 3. Ланцюг виробництва та реалізації біоетанолу в Україні

Примітка:



прямий вплив на фактори;
опосередкований вплив на фактори.

Джерело: розробка автора.

Процес виробництва та реалізація біоетанолу в своїй структурі пов'язує усі фактори та чинники його розвитку. Слід відмітити, що на посівну площу та вирощування біомаси сільськогосподарських культур впливають такі фактори як біоенергетичний потенціал сільськогосподарської культури, технологія вирощування та природно-кліматичні умови того чи іншого регіону. В свою чергу технологія вирощування сільськогосподарської біомаси взаємозалежна від технології збирання урожаю біомаси. Тобто в ланцюг насадження і вирощування енергетичних сільськогосподарських культур повинен закладатися поетапний процес технології їх вирощування, обробітку від шкідників та технологія збирання урожаю, яка зменшить втрату зерна, його пошкодження і тим самим слугуватиме зменшенню людських та технологічних витрат.

Із побудованого ланцюга виробництва та реалізації біоетанолу в Україні (рис. 3) складено рівняння, які репрезентують еволюцію змін стану системи в часі. Таким чином, площа посадженої біомаси сільськогосподарських енергетичних культур представлено формулою:

$$f(S) = (BP, TA, w) \quad (1.1)$$

де S – площа посадженої біомаси, га; BP – біоенергетичний потенціал енергетичної культури; BE – технологія вирощування біомаси.

Урожайність сільськогосподарських культур в ланцюгу виробництва біоетанолу представлений змінною Y і розраховується за допомогою формули:

$$f(Y) = (Ty, S) \quad (1.2)$$

де Y – урожайність сільськогосподарських енергетичних культур, га; Ty – валовий збір урожаю, ц; S – площа посадженої біомаси з сільськогосподарських енергетичних культур, га.

Оцінка національного обсягу біоетанолу здійснюється щорічно, яка акумулюється в рівнянні змінних показників виробленого біоетанолу B ($л$) та його запасами z (не реалізовані за попередні роки) ($л$) і представлена формулою:

$$f(B) = (E, Tp, Stp, z) \quad (1.3)$$

У свою чергу робочий екстракт (сусло) отриманий з біомаси (E) визначається як залежність між урожайністю біомаси Y , га та вмістом цукру в біомасі c , кг:

$$f(E) = (Y, c) \quad (1.4)$$

Слід відмітити, що оцінка вмісту цукру в біомасі C , кг відбувається за рахунок таких показників як урожайності біомаси Y та валового збору Ty , га і представлена рівнянням:

$$f(c) = (BP, TA, Tr, w) \quad (1.5)$$

Реалізація виробленого біоетанолу M залежить від від виробленого біоетанолу B , л та його запасів (не реалізовані за попередні роки) z , л

$$M = B + z - \exp + imp \quad (1.6)$$

Для оцінки чистого приросту його пов'язують з фактором зформованого попиту d в країні, який базується на продуктивності енергетичних культур. Продуктивність в свою чергу визначається відношенням виробленого біоетанолу B , л на посівні площі біоенергетичних культур S , га:

$$\text{Продуктивність} = \frac{B}{S} \quad (1.7)$$

Дослідження ринку рідких біоенергетичних видів палива за допомогою запропонованих моделей показує, що методологію можна успішно використовувати для подальшої перспективної оцінки. Для цього необхідно моделювати виробничий ланцюг, який слід оцінювати, визначаючи сировину, встановлену виробничу потужність, щорічне збільшення виробництва біопалива. Моделювання ринку біоетанолу або ринку рідкого біопалива дає можливість дослідити показники, які впливають на його розвиток, а також дослідити перспективність споживання даного виду біопалива як в країні так і в окремому регіоні. Також це сприяє розробці та впровадженні нових державних програм та стратегій для розвитку та функціонуванню ринку біоенергетичних видів палива за рахунок виконання усіх вимог сталого розвитку і тим самим сприяючи розвитку регіонів та областей країни [10; 11].

Ринок біопалива в Україні повинен формуватися на основі поєднання державного регулювання та ринкових механізмів саморегулювання економічної системи. Регулювання біопаливної індустрії слід розглядати через призму оптимізації виробництва, пошуку найвигідніших сфер підприємництва та раціонального маневрування грошовими потоками так вважає О. Климчук [12, с. 18].

Ю. Гальчинська стверджує, що механізм державного регулювання ринку біоенергетики слід розуміти як спосіб впливу держави на суб'єктів економічної діяльності на ринку біоенергетики, що здійснюється за допомогою законодавчо визначених заходів і процедур, дотримання яких контролюється органами державної влади з метою досягнення ефективного функціонування ринку біоенергетики [13, с. 65]. Розвиток ринку виробництва та використання рідких біоенергетичних видів палива в Україні

залежить від державного регулювання даного сегменту ринку та його розвитку в майбутньому.

Вплив на виробництво та використання біоенергетичних видів палива в Україні здійснюють органи виконавчої влади. До основних органів виконавчої влади, які регулюють відносини у сфері біоенергетики чи відновлювальних джерел енергії належать: Кабінет Міністрів України, Міністерство розвитку громад та територій України, Міністерство енергетики України, Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Міністерство економіки України та Міністерство аграрної політики та продовольства України. Основним завданням органів виконавчої влади є реалізація державної політики та виконання затверджених нормативно-правових актів щодо раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів, альтернативних видів палива та відновлювальних джерел енергії, охорони навколишнього природного середовища, реалізація цінової, інвестиційної, зовнішньо-економічної, житлово-комунальної політики тощо.

Т. Плахій стверджує, що «законодавче регулювання на рівні держави із застосуванням різних підходів у стимулюванні виробників та споживачів конкретної галузі народного господарства свідчить про зацікавленість у позитивних результатах та розширенні конкретного ринку на перспективу. Стосовно енергетичної галузі, яка займається виробництвом біопалива, також передбачено ряд податкових важелів з метою зниження податкового тиску на суб'єктів, які причетні до даного процесу. Встановлення особливих підходів у оподаткуванні є аргументом для визначення важливої ролі біоенергетичної галузі для України в цілому» [14, с. 237].

О. Чупайленко вважає, що розвиток виробництва та функціонування ринку біопалива можливо лише при державному регулюванні або державній підтримці розвитку біопалива і базується на наступних чинниках: 1) гармонізація законодавства України по біопаливу її законодавством ЄС; 2) затвердження стратегій і програм розвитку ринку біопалива України; 3) податкові пільги, субсидії як виробникам так і споживачам біопалива; 4) «зелений тариф» для електроенергії, яка вироблена з відновлювальних джерел енергії; 5) підтримка інвестиційної та інноваційної діяльності у сфері виробництва біопалива [15, с. 135].

О. Шпичак переконаний, що в Європі біопаливо домоглося конкурентоспроможності за рахунок пільг, державних дотацій та зобов'язань переходу на екологічне паливо. В зв'язку із цим компанії активно розширили виробництво біопалива, але при цьому темпи збільшення потужностей сировини перевищують темпи зростання посівних площ [16, с. 18].

Слід відмітити, що вплив на діяльність біопаливної галузі в Україні мають інструменти державного регулювання, які сприяють виробництву та споживанню біоенергетичних видів палива. Серед основних інструментів державного регулювання біопаливної галузі слід відмітити податкові пільги, акцизи, «зелені облігації», ліцензії, податковий вексель тощо. Згідно з Податковим кодексом України [17] на виробництво та використання біоенергетичних видів палива надані ряд податкових пільг. Податкові пільги надаються для тимчасового звільнення від сплати податків виробників біопалива, імпортерів техніки, обладнання для реконструкції та будівництва підприємств з виробництва біоенергетичних видів палива. Акцизні ставки для біопалива знижені у порівнянні до традиційного пального. Наприклад для палива моторного альтернативного становить 162 євро за 1 тис. л., для біодизелю – 106 євро за 1 тис. л., а для бензинів – 213 євро за 1 тис. л. [17; 18]. «Зелені облігації» як один із видів державної підтримки розвитку біоенергетики в Україні надаються для фінансування проектів з енергоефективності, зменшення шкідливих викидів, розвитку електротранспорту, розвитку ринку біоенергетичних видів палива тощо. Таким чином «зелені облігації» сприяють виконанню міжнародних цілей та зобов'язань щодо розвитку «чистої» енергії, енергоефективності, екології, виконання умов сталого розвитку та доступ до залучення інвестицій у дану галузь аграрного сектору.

Розвиток біоекономіки сприяє зменшенню викидів та зміні кліматичних умов за рахунок використання біологічних або відновлювальних ресурсів для виробництва матеріалів та енергії. Окрім цього, біоекономіка розвиває нові сектори економіки за рахунок залучення приватних та державних інвестицій в дану галузь. Державне регулювання та державна підтримка біоенергетики за допомогою вищезазначених інструментів відіграє важливу роль для підтримки усіх суб'єктів ринку біопалива і тим самим стимулює розвиток ринку біоенергетичних видів палива в Україні. Використання встановлених державних інструментів підтримки виробництва біопалива та розвитку даного ринку призведуть до підвищення енергетичної безпеки держави та її енергетичної незалежності, надходження внутрішніх та зовнішніх інвестицій у розвиток біоенергетики, що сприятиме створенню нових робочих місць та відкриття нових підприємств, розвитку регіонів, поліпшенню стану навколишнього природного середовища.

Використані інформаційні джерела:

1. Wesseler J. Measuring the Bioeconomy: Economics and Policies. Annual Review of Resource Economics, 2017. Vol. 9. P. 275–298. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-053701>

2. Carus M. The bioeconomy is much more than a circular economy. *Blickwinkel*. 2017. №3. P. 22–29.

3. Yadav B. 6 - Role of Bioeconomy in Circular Economy. *Biomass, Biofuels, Biochemicals Circular Bioeconomy - Current Status and Future Outlook*. 2021. P. 163-195. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821878-5.00022-2>

4. Бутенко В. М. Формування моделі державного регулювання розвитку біоекономіки. *Причорноморські економічні студії*. 2018. Вип. 26–1. С. 37–42.

5. Gallo M. E. *The Bioeconomy: A Primer*. Congressional Research Service. 2021. P. 33.

6. *The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda*. Organization for Economic Cooperation and Development. Paris, 2009. P. 12.

7. Kardung M., Cingiz K., Costenoble O., Delahaye R. Development of the Circular Bioeconomy: Drivers and Indicators. *Sustainability*. 2021. Is.13, № 413. P. 1-24. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13010413>

8. Pülzl H.; Kleinschmit D., Arts B. Bioeconomy-an emerging meta-discourse affecting forest discourses? *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2014. Vol. 29, Is. 4. P. 386–393. DOI: doi.org/10.1080/02827581.2014.920044

9. Барвінський А. Можливості використання біомаси в Україні. *Проблеми економії енергії : зб. матеріалів доп. учасн. III Міжнар. наук.-практ. конф.* Львів : Львівська політехніка, 2001. С. 41–43.

10. Chaikin O., Melnyk N. Ukrainian liquid biofuel market current state modeling. *Herald of Kyiv Institute of Business and Technology*. 2021. № 1 (47). P. 39-46. DOI: <https://doi.org/10.37203/kibit.202047.01>

11. Мельник Н. В. Аналіз моделі ринку біоетанолу та розвиток біржі біопалива в Україні. *Наукові горизонти*. 2020. №6(91). С. 101–115. DOI: [10/33249/2663-2144-2019-84-11-13-22](https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-84-11-13-22)

12. Климчук О.В. Специфіка формування та механізми регулювання ринку біопалива. *Економіка, Фінанси, Менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2015. №2. С. 13–21.

13. Гальчинська Ю.М. Удосконалення механізму державного регулювання ринку біоенергетики. *Інвестиції: практика та досвід*. 2019 №7. С 64–69. DOI: [10.32702/2306-6814.2019.7.64](https://doi.org/10.32702/2306-6814.2019.7.64)

14. Плахтій Т. Ф., Драчук В. Ю. Законодавче регулювання податкового стимулювання вирощування біоенергетичних культур, виробництва і використання біопалива. *Зб. наук. праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 19. С. 235–239.

15. Чупайленко О. А. Розвиток використання біопалива для автотранспорту в Україні. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. 2014. Вип. 13, Ч. 2: Екон. науки. С. 133–143.

16. Шпичак О. М. Економічні проблеми виробництва біопалива та продовольча безпека України. *Економіка АПК*. 2009. №8. С. 11–19.

17. Податковий кодекс України. URL:
<https://www.profiwins.com.ua/uk/legislation/kodeks/1353.html>

18. Chaikin O., Kirieieva E. (2020). Branch Approach to Sustainable Development and Inclusive Growth: Ukraine Case. *Scientific Horizons*, 06 (91), 19–25 p. DOI: [10.33249/2663-2144-2020-91-6-19-25](https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-91-6-19-25)

**ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ВОДНОГО ОБ'ЄКТУ ЯК УМОВА
ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ**

**ASSESSMENT OF THE WATER OBJECT STATE AS A CONDITION
FOR ENVIRONMENTAL RISK PREVENTION**

¹Мітрясова О. П., доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри екології, **Погребенник В. Д.**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності,

²Шибанова А.М., кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності,

²Джумеля Е.А., доктор філософії, асистент кафедри програмного забезпечення

¹Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
Україна

²Національний університет «Львівська політехніка», Україна

¹Mitryasova O., **Pohrebennyk V.**, ²Shybanova A., ²Dzhumelia E.

¹Petro Mohyla Black Sea National University, Ecology Department, Ukraine

²Lviv Polytechnic National University, Department of Ecological Safety and Nature Protection Activity, Lviv, Ukraine

Анотація. Дослідження та аналіз екологічного стану водних ресурсів має важливе практичне значення, оскільки їх стан у подальшому відбиваються на якості питної води. Мета роботи полягає в оцінюванні екологічного стану водного об'єкту. Оригінальність отриманих результатів полягає в комплексному оцінюванні на основі аналізу часових моніторингових даних екологічного стану вод водного об'єкту з урахуванням вагових коефіцієнтів індексів забруднення. Дослідження екологічного стану проведено з урахуванням інтегральних гідрохімічних показників. Для проведення аналізу використовували програмне забезпечення Microsoft Excel. Google Maps використовувались для пошуку місцевостей на картах та побудови потрібних для роботи карт. Microsoft Excel використовувались для виконання розрахунків та побудови графічних зображень. Визначено екологічний стан водного об'єкту на основі розрахунків індексів забруднення. Удосконалено методика оцінювання екологічного стану поверхневих вод за відповідними категоріями за допомогою використання вагових коефіцієнтів. Методика оцінювання є універсальною і може бути використана під час вивчення екологічного

стану будь-якого водного об'єкту. Проте, при відборі гідрохімічних показників було враховано вміст тільки основні забруднювачі, а саме хлориди, сульфати, фосфати, зважені речовини, нафтопродукти, сполуки Купруму та Цинку Показано, що вода у водному об'єкті є непридатною для господарсько-питного водопостачання, та екологічний стан лиману значно порушено. Отримані результати досліджень можна використовувати під час розробки планів управління водними ресурсами та заходів щодо покращення їх стану.

Ключові слова: оцінювання якості води, екологічний індекс, індекс забруднення компонентами сольового складу, трофо-сапробіологічний індекс, індекс специфічних показників токсичної та радіаційної дії.

Abstract. *The problem of surface water is one of the key challenges of humanity. In accordance with the goals of research and analysis of the environmental status of water bodies are of great practical importance, as their condition further affects the quality of drinking water. The purpose of the work is to assess the environmental status of the water body. The originality of the obtained results is a comprehensive assessment based on the analysis of time monitoring data on the ecological status of water of the water body, taking into account the weighting factors of pollution indices. The study of the ecological state was carried out taking into account the integrated hydrochemical indicators. Microsoft Excel software was used to conduct the study. Google Maps was used to find places on maps and build the maps you needed to work. Microsoft Excel was used to perform calculations and build graphics. The ecological status of a water body is determined on the basis of pollution index calculations. The method of assessing the ecological status of surface waters by relevant categories has been improved through the use of weights. The assessment method is universal and can be used to study the ecological status of any water body. However, the selection of hydrochemical indicators took into account only the content of major pollutants, namely chlorides, sulfates, phosphates, suspended solids, petroleum products, compounds of copper and zinc violated. The obtained research results can be used in the development of water management plans and measures to improve their condition.*

Key words: *assessment of water quality, environmental index, the index of pollution components in the salt composition, tropho-saprobiological the index, the index of specific indices of toxic and radiation action.*

Одне з пріоритетних завдань країни щодо функціонування водної галузі є забезпечення державою необхідної кількості водних ресурсів належної якості для відновлення, оздоровлення й безперервного розвитку водних та навколоводних екосистем, що буде гарантією стійкого й

збалансованого задоволення потреб людини у безпечній питній воді, санітарії та стане основою сталого соціального та економічного розвитку. Для України, де понад 70% всього водокористування припадає саме на поверхневі води, моніторинг є не тільки основою попередження екологічних криз, але й однею з умов сталого використання водних ресурсів та якості довкілля загалом. Дослідження та аналіз екологічного стану водних об'єктів, зокрема річок, має важливе практичне значення, оскільки їх стан у подальшому відбиваються на якості питної води [1-4].

Проте, під час війни, яка розв'язана з боку путінської росії, зареєстровано понад 100 екологічних злочинів, що негативно впливають на водних ресурсів та завдають непоправну шкоду екосистемам. Окупанти обстрілюють водну інфраструктуру, замінують дамби, проводять воєнні операції на території Чорного та Азовського морів. Наприклад, є результатом обстрілу з боку армії рф Херсонської області, м. Миколаїв було позбавлено питного водопостачання. Велике місто опинилось перед загрозою серйозного екологічного ризику.

Окрім питання недостатності водних ресурсів, важливо розглядати також питання доступу до чистої води. Руйнування інфраструктури та промислових об'єктів може призводити до потрапляння у водні об'єкти забруднюючих речовин, що призводить до їх забруднення, водночас зруйновані очисні споруди та насосні станції не спроможні очищати воду та постачати її українцям [5].

Отже, до основних проблем щодо раціонального використання та охорони водних ресурсів України належать: забруднення водних об'єктів шкідливими викидами та недостатньо очищеними промисловими і господарсько-побутовими стічними водами; інтенсивне старіння основних фондів водозабезпечуючого та водоохоронного призначення, низька продуктивність очисних споруд; недостатня самовідновлюванна та самоочисна здатності водних систем; незбалансована система господарювання, що характеризується високими обсягами залучення водних ресурсів у виробничу сферу та високою водомісткістю продукції [6-9].

Екологічний стан поверхневих вод залежить від політики водокористування, тому оборотне та повторно-послідовне використання води відбивається на актуальному статусі водного об'єкту. Оборотне та повторно-послідовне використання води – це обсяг економії забору свіжої води за рахунок застосування системи зворотного і повторного водопостачання, включаючи використання стічних та колекторно-дренажних вод. За останні роки обсяги оборотного та повторно-послідовне використання води зменшились. Проте, залишається актуальним питання щодо оцінювання якості поверхневих вод. Найперспективнішим методом ідентифікації зон підвищеної екологічної небезпеки є оцінювання

екологічного стану. Це дозволяє визначити допустимий антропогенний тиск з метою збереження сталого існування певної водної екосистеми.

Оцінювання екологічного стану якості поверхневих вод є основою для встановлення екологічних нормативів для окремих водних об'єктів та їх частин, груп водних об'єктів та басейнів річок. Це також є підґрунтям для окреслення перспектив екологічного менеджменту водних ресурсів.

Питанням комплексного оцінювання якості поверхневих водних ресурсів присвячено праці багатьох дослідників [10-14] та ін.

Мета роботи полягає в оцінюванні екологічного стану водного об'єкту.

Об'єктом дослідження є поверхневі води Бузького лиману в межах міста Миколаєва (точка спостережень – Миколаївська ТЕЦ).

Цю точку спостереження було обрано на підставі того, саме в цьому районі спостерігається найбільша кількість перевищень граничнодопустимих концентрацій основних забруднювачів. Окрім того, з квітня 2022 року води бузького лиману використовуються містом Миколаєвом для центрального водопостачання.

Предметом дослідження є гідрохімічні показники Бузького лиману, вміст яких перевищує норми ГДК.

Води Бузького лиману є нині (у період з травня 2022 р.) основним джерелом водопостачання міста Миколаєва.

Новизна отриманих результатів полягає в комплексному оцінюванні стану вод водного об'єкту з урахуванням вагових коефіцієнтів індексів забруднення. Дослідження гідрохімічного стану проведено з урахуванням інтегральних гідрохімічних показників. Отримані результати досліджень можна використовувати під час розробки планів управління водними ресурсами та заходів щодо покращення їх стану.

Методи дослідження. Під час дослідження використано такі методи: порівняння та аналогії; аналізу; спостереження; синтезу; узагальнення. Для проведення дослідження використовувалися такі програми для розрахунків: Google Maps, програмне забезпечення Microsoft Excel.

Визначення екологічного стану проводилось за допомогою використання формул екологічних індексів (1), трофо-сапробіологічного індексу (2) та індексу екологічної якості (*EQI*) (9).

$$I_E = \frac{(I_C + I_{TC} + I_T)}{3}, \quad (1)$$

де, I_C – індекс забруднення компонентів сольового складу;

I_{TC} – трофо-сапробіологічний індекс;

I_T – індекс специфічних показників токсичної та радіаційної дії.

$$I_{TC} = \frac{(I_{KP} + I_{OP} + I_{ЗП} + I_{БР})}{4}, \quad (2)$$

де, I_{KP} – індекс показників кисневого режиму;
 I_{OP} – індекс показників вмісту органічних речовин;
 $I_{ЗП}$ – індекс загальних показників (рН, завислі речовини та ін.);
 $I_{БР}$ – індекс показників вмісту сполук біогенних елементів [6].

$$EQI = \sum_{i=1}^N \frac{P_e}{P_i}, \quad (3)$$

де, P_i – значення показника в i -му створі;
 P_e – значення показника в еталонному створі;
 N – загальна чисельність показників.

Градації індексу EQI відповідно до класів якості вод наведено у керівному документі ЕС «Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance document №10» [15] (табл. 1).

Таблиця 1. **Індекс екологічної якості вод**

Клас якості вод	1	2	3	4	5
	Відмінна (high)	Добра (good)	Посередня (moderate)	Низька (poor)	Погана (bad)
Значення EQI	>0,83	0,82-0,62	0,61-0,41	0,40-0,20	<0,20

Для приведення індексу екологічної оцінки якості вод (I_E) до діапазону від 1 до 0, який прийнято для EQI , можна використати формулу 4:

$$I_{Eпр} = 1 - \frac{I_E}{7}. \quad (4)$$

Результати дослідження. Моніторингові дослідження по Бузькому лиману проводяться Регіональним офісом водних ресурсів у Миколаївській області [15] в точці моніторингу (Миколаївська ТЕЦ, рис. 2) щоквартально по гідрохімічним та радіологічним показникам [17, 18]. У період із 2004 року по 2020 рік було відібрано 60 проб по кожному досліджуваному гідрохімічному параметру.

Оцінювання екологічного стану здійснювалося на основі «Методики екологічної оцінки стану поверхневих вод за відповідними категоріями» [10] за допомогою відповідних індексів (формули 1, 2, 3, 4).

Дослідження екологічного стану поверхневих водних ресурсів за гідрохімічними показниками передбачає аналіз компонентів сольового складу (хлориди, сульфати). Трофо-сапробіологічний (еколого-санітарний) індекс розраховується на основі абсолютних значень компонентів (зважені речовини, рН, фосфати, розчинений кисень, БСК₅). Для визначення індексу специфічних показників токсичної дії використовувались абсолютні значення компонентів таких як Купрум, Цинк та нафтопродукти.



Рис. 1. Точка моніторингових спостережень для оцінювання екологічного стану поверхневих вод Бузького лиману в межах м. Миколаїв: 1 – місто Миколаїв, 2 – річка Південний Буг, 3 – річка Інгул, 4 – Бузький лиман (Варварівський міст), 5 – Бузький лиман, 6 – точка відбору проб (Миколаївська ТЕЦ).

За вмістом компонентів сольового складу вода у лимані знаходиться в поганому стані. За рівнем сульфатів переважаючим класом якості води є III, а категорія якості – 5, тобто вода є помірно забрудненою. За рівнем хлоридів переважаючим класом є IV, а категорія якості – 6, тобто вода є брудною і не придатною для використання її як питної води (рис. 2).

Визначено категорії якості води Бузького лиману за трофо-сапробіологічними показниками, а саме: рН, завислі речовини, фосфати, розчинений кисень, БСК₅. Отримані дані свідчать про те, що переважаючим класом якості води є III з категоріями якості 4 та 5, тобто вода у лимані є слабо та помірно забрудненою. Окремо можна виділити категорію якості води за вмістом фосфатів. Визначено, що, загалом, клас якості води – IV, а категорія якості – 6, тобто вода є брудною.

Проаналізовано категорії якості води за специфічними показниками токсичної та радіаційної дії. Визначивши класифікацію за вмістом Купруму та Цинку, можна зробити висновок, що вода в Бузькому лимані є слабо забрудненою важкими металами (клас якості – III, категорія якості – 4). Щодо вмісту нафтопродуктів, то вода є досить чистою (клас якості – II, категорія якості – 3).

Екологічний індекс якості вод (I_E) визначався як середньоарифметичне індексів забруднення компонентів сольового складу (I_C), трофо-сапробіологічних (I_{TC}) і специфічних показників токсичної та

радіаційної дії (I_T) (формула 1). Отримані результати подано в табличній формі (табл. 2).

Аналізуючи отримані результати за сольовим критерієм, Бузький лиман відноситься до IV класу якості, тобто вода є брудною.

За хімічним трофо-сапробіологічним критерієм отримано середнє значення якості води – III, вода є слабо забрудненою.

За критерієм токсичної та радіаційної дії рівень забруднення стан Бузького лиману оцінюється як «задовільний», вода є слабо забрудненою.

Таблиця 2. Екологічні індекси якості води

Рік	I_C	I_{TC}	I_T	I_E
2006	5.5	3.750	4.33	4.52
2007	6.0	4.125	5.00	5.04
2008	6.5	4.125	2.66	4.42
2009	4.5	4.000	4.00	4.16
2010	4.5	4.000	4.66	4.38
2011	5.5	4.000	3.66	4.38
2012	5.5	4.250	3.66	4.47
2013	6.0	4.250	3.66	4.63
2014	5.5	4.125	3.66	4.42
2015	6.0	4.400	3.66	4.68
2016	6.0	4.500	4.66	5.05
2017	6.0	4.250	4.00	4.75
2018	6.0	4.125	3.66	4.59
2019	6.5	4.250	3.00	4.58
2020	6.5	4.125	3.00	4.54
2021	6.4	4.100	3.56	4.60

Отже, найбільшими забруднювачами водної екосистеми у даній точці моніторингу є такі компоненти: сухий залишок, хлориди, підвищена жорсткість води, що супроводжується зниженням прозорості води, а також погіршенням кисневого режиму. Забруднення води і зниження її якості головним чином відбувається за рахунок речовин антропогенного походження. Забруднюючі речовини потрапляють у водний об'єкт зі стічними водами, а також за рахунок забрудненими поверхневими стоками.

Для переведення індексу якості вод (I_E) до діапазону від 1 до 0, який прийнято для EQI (табл. 1), використано формулу 4. Індекс екологічної якості наведено у табл. 3.

Таблиця 3. Індекс екологічної якості вод в діапазоні від 1 до 0 (EQI)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	202
I_E	4.52	5.04	4.42	4.16	4.38	4.38	4.47	4.63	4.42	4.68	5.05	4.75	4.59	4.58	4.54	4.56
EQI	0.35	0.28	0.38	0.4	0.37	0.37	0.36	0.34	0.37	0.33	0.28	0.32	0.34	0.35	0.35	0.36

Отримані результати оцінювання екологічного стану поверхневих вод також подано у вигляді індексу екологічної якості (EQI) згідно Водної Рамкової Директиви ЄС 2000/60/ЄС [14]. За цим документом клас якості поверхневих вод Бузького лиману в межах міста Миколаєва є «низьким».

У результаті оцінювання екологічного стану вод Бузького лиману встановлено, що якість води загалом є «задовільною», але досить часто визначається її погіршення. Спостерігається тенденція до більшого регресу.

Екологічний стан вод лиману найбільше погіршується, за рахунок речовин, що входять до хімічного трофо-сапробіологічного критерію забруднення, а саме: рН, зважені речовини, фосфати, БСК₅, жорсткість загальна; а також до критерію сольового складу: сульфати та хлориди. Забруднення вод компонентами токсичної та радіаційної дії (Купрум та Цинку) в середньому помірне.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що вода в Бузькому лимані упродовж досліджуваного періоду є забрудненою.

Під час визначення екологічного стану водного об'єкту було удосконалено методику оцінювання якості поверхневих вод за відповідними показниками, а саме за гідрохімічними.

Було враховано джерела надходження елементів до поверхневих вод і використано відповідні вагові коефіцієнти. Так, елементи які мають природне походження мають менший коефіцієнт, ніж ті, що мають антропогенну природу. Сума вагових коефіцієнтів дорівнює 1 (формула 5).

$$w_3 = w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad (5)$$

За «Методикою оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [10] формула екологічного індексу якості вод, що враховує середнє арифметичне трьох індексів (індекс компонентів сольового складу, трофо-сапробіологічний індекс та індекс специфічних показників токсичної та радіаційної дії) має такий вигляд формули 1.

При використанні запропонованих коефіцієнтів формула екологічного індексу якості вод набуває вигляд формули 6 [19]:

$$I_E = (0,1 * I_C) + (0,3 * I_{TC}) + (0,6 * I_T) \quad (6)$$

Вибір такої варіації розподілу коефіцієнтів пояснюється так: показники, що входять до індексу компонентів сольового складу мають природне походження, тому мають найменший коефіцієнт – 0,1; показники, що входять до трофо-сапробіологічного індексу можуть мати як природне, так і антропогенне значення, тому для них коефіцієнт становитиме – 0,3; показники, що входять до індексу специфічних показників токсичної та радіаційної дії мають переважно антропогенне походження, тому мають найбільший коефіцієнт – 0,6. Методика, що враховує коефіцієнти походження елементів, є коректнішою та краще відбиває актуальний екологічний стан водного об'єкту.

Висновки. Проведено оцінювання екологічного стану вод Бузького лиману; для цього використовувались показники, що перевищують норми ГДК. Встановлено, що якість води, загалом, є «задовільною». Проте, досить часто зустрічається її значні погіршення і спостерігається тенденція до більшого регресу стану водного об'єкту за гідрохімічними показниками. Екологічний стан вод лиману найбільше погіршується за рахунок речовин, що входять до хімічного трофо-сапробіологічного критерію забруднення, а саме: рН, зважені речовини, фосфати, БСК₅, жорсткість загальна; а також до критерію сольового складу: сульфати та хлориди. Значні перевищення спостерігаються за показниками мінералізації, вмісту хлоридів, жорсткості Забруднення вод компонентами токсичної та радіаційної дії (Купруму та Цинку) загалом помірні.

Вода у Бузькому лимані, яка нині використовується у місті для задоволення господарсько-побутових потреб населення і поступає у систему центрального водопостачання і характеризується, як «вода технічна» є непридатною для господарсько-питного водопостачання, а стан лиману суттєво порушено.

У подальшому перспективним є детальне дослідження джерел надходження забруднювачів у поверхневі води, удосконалення методики оцінювання екологічного стану за відповідними категоріями з урахуванням вагових коефіцієнтів, визначення заходів для поліпшення екологічного стану водних об'єктів. Отримані результати досліджень можна використовувати під час розробки планів управління водними ресурсами та заходів щодо покращення їх стану.

Подяка. Красно дякуємо за співпрацю колегам Чорноморського національного університету імені Петра Могили й Національного

університету «Львівська політехніка» у рамках виконання науково-дослідницького проекту. Висловлюємо також вдячність колегам із Регіонального офісу водних ресурсів у Миколаївській області за можливість провести експериментальні визначення.

Використані інформаційні джерела:

1. Chugai, A.; Safranov, T. (2020). Assessment of Technogenic Loading on the Surface Water Bodies of the Separate Regions of the North-Western Black Sea. *Journal of Ecological Engineering*, 21 (5), 197–201.

2. Bezsonov, Ye., Mitryasova, O., Smyrnov, V., Smyrnova, S. (2017). Influence of the South-Ukraine electric power producing complex on the ecological condition of the Southern Bug River. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/10 (88), 20–28.

3. Varady R. G., Albrecht, T. R., Staddon, C., Gerlak, A. K., Zuniga-Teran, A. A. (2021). The Water Security Discourse and Its Main Actors. *Handbook of Water Resources Management: Discourses, Concepts and Examples*, 215–252.

4. Bakker, K. (2018). The business of water. In: Conca K, Weinthal E (eds). *The Oxford handbook of water politics and policy*. Oxford University Press, New York, 407–429.

5. Вода як джерело життя чи зародок війни: як крадіжка води окупантами впливає на водозабезпеченість України і Криму [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ecoaction.org.ua/voda-iak-dzherelo-zhyttia.html>

6. Mitryasova, O., Pohrebennyk, V. (2020). Hydrochemical Indicators of Water System Analysis as Factors of the Environmental Quality State. *Sustainable Production: Novel Trends in Energy, Environment and Material Systems. Studies in Systems, Decision and Control* In: Królczyk G., Wzorek M., Król A., Kochan O., Su J., Kasprzyk J. (eds), Vol. 198. Springer, Cham., 91–104.

7. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу (2009). За ред. В. К. Хільчевського, Київ : Ніка-центр, 184.

8. Клименко В. Г. (2010). Гідрологія України: Навчальний посібник для студентів-географів, Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 124.

9. Lykhovyd, P.V., Kozlenko, Ye.V. (2018). Assessment and forecast of water quality in the River Ingulets irrigation system. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 350–355.

10. Васенко, О. Г., Верниченко-Цветков, Д. Ю., Коваленко М. С. та ін. (2008). Екологічна оцінка стану поверхневих вод України з урахуванням регіональних гідрохімічних особливостей. Київ : УкрНДІЕП, 36–53.

11. Гриценко, А. В., Васенко, О. Г., Верниченко Г. А. та ін. (2012). Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями, Харків : УкрНДІЕП, 37.

12. Рибалова О. В. (2011). Комплексний підхід до визначення екологічного стану басейнів малих річок // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та техногенної безпеки : Зб. наук. пр. УкрНДІЕП, XXXIII, Харків, 88–97.

13. Mitryasova, O., Pohrebennyk, V., Kardasz, P. (2018). Hydrochemical Aspects of Surface Water Quality Assessment. 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2018, Albena, Bulgaria. 30 June – 9 July 2018, 5.2. (18), 513–520.

14. Методи екологічної оцінки стану водних об'єктів [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://h.ua/atr.php?id=5722>.

15. European Communities WFD CIS Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) / Guidance document № 10 River and lakes – Typology, reference conditions and classification systems. – Luxembourg, 2003, 87.

16. Південно-Бузьке басейнове управління водних ресурсів [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.vodhoz.com.ua>

17. Звітні дані по стану р Південний Буг та Бузького лиману за 2002-2020 рр., (2020). Південно-Бузьке басейнове управління водних ресурсів в Миколаївській області, Миколаїв, 2020.

18. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Миколаївській області у 2020 році, Південно-Бузьке басейнове управління водних ресурсів в Миколаївській області, Миколаїв, 2020, 206.

19. Мітрясова О. П., Погребенник В. Д., Шибанова А. М., Джумеля Е. А. Оцінювання екологічного стану водного об'єкта за гідрохімічними показниками // Екологічна безпека та природокористування, 2022. №1 (41). С. 18–30.

СЕЙСМІЧНА АКТИВНІСТЬ РАЙОНУ ДНІСТРОВСЬКОГО ГІДРОВУЗЛА І СЕЙСМІЧНА НЕБЕЗПЕКА

SEISMIC ACTIVITY OF DNIESTER HYDRO POWER COMPLEX AREA AND SEISMIC HAZARD

¹Назаревич Л. Є., кандидат геологічних наук, науковий співробітник, ²Назаревич А. В., кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник

¹Інститут геофізики ім. С.І.Субботіна НАН України, Україна
²Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І.Субботіна НАН України, Україна

¹Nazarevych L.Ye., cand. of geological sciences (geophysics), researcher,
²Nazarevych A.V., cand. of phys. and math. sciences (geophysics), senior researcher, associate professor
²Carpathian Branch of Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

Анотація. Проаналізовано сучасну сейсмічну активність району Дністровського гідровузла і сейсмічність цієї території за історичний період. Зареєстровані тут інструментально останнім часом землетруси в основному невеликої магнітуди ($M=0,6-2,9$). За комплексом геологічних, геодезичних, геофізичних, геоморфологічних даних проаналізовано напружено-деформований стан земної кори району Дністровського гідровузла. Проведено аналіз місцевих сейсмотектонічних умов виникнення землетрусів. Прив'язка просторового розташування вогнищ місцевих землетрусів до профілів вхрест і вздовж Українських Карпат виявила деякі особливості сучасної місцевої сейсмотектонічної активності. Виявлено два рівні сейсмічної активності – на глибинах 0-2 км і 3-5 км, визначено просторову конфігурацію сейсмогенної області земної кори, здатної генерувати землетруси більшої енергії (з $M \geq 2$). Аналіз моментів виникнення землетрусів впродовж доби дає підставу припустити певний вплив на напружено-деформований стан геологічного середовища в районі Дністровського гідровузла режимів роботи Дністровської ГЕС-1 і Дністровської ГАЕС (зокрема, спрацьовування верхнього водосховища ГАЕС під час вечірнього піку споживання електроенергії та заповнення його у час нічного мінімуму електроспоживання). Зроблено висновки про сучасну геодинаміку цієї території і про можливі ризики для інженерних об'єктів та населення.

Abstract. *In the paper modern seismic activity of Dniester Hydro Power Complex area and historical seismicity of the territory was analysed. Recently recorded here earthquakes have mostly the small magnitudes ($M=0.6-2.9$). By the complex of geological, geodetic, geophysical, geomorphological data the stress-strained state of the crust of of Dniester Hydro Power Complex area was analysed. An analysis of local seismotectonic conditions of earthquakes occurrence is carried out. The connection of the spatial location of local earthquake foci to the profiles across and along the Ukrainian Carpathians revealed some features of modern local seismotectonic activity. Two levels of seismic activity were detected – at depths of 0-2 km and 3-5 km, the spatial configuration of seismogenic zone of the earth's crust, which is capable to generate strongerr earthquakes (with $M \geq 2$), was determined. Analysis of the moments of earthquakes occurrence during the day gives reason to assume some influence of operation modes of Dniester HPS-1 and Dniester PSPS on the stress-strained state of the geological medium in this area (in particular, emptying of the upper Dniester PSPS reservoir during the evening peak of electricity consumption and filling it during the night minimum of electricity consumption). Conclusions about geodynamic activity of this territory and possible risks for engineering objects and people are made.*

Нещодавно на рівні уряду України затверджено правила роботи Дністровських водосховищ і головні завдання щодо їх реалізації, які, окрім основних економічних задач, стосуються багатьох природоохоронних питань. В цьому контексті, дослідження сейсмічності та сейсмотектоніки районів техногенно-антропогенного впливу, зокрема, району Дністровського каскаду гідропоруд, має важливе значення для безпечного та сталого розвитку таких територій. За дослідженнями ([3, 5] та ін.) 40% території України можуть бути охоплені безпосереднім впливом небезпечних сейсмічних подій, 70% з них – спільним впливом землетрусів з підтопленням, зсувами, просіданнями та іншими інженерно-геологічними процесами, що негативно впливають на стійкість та безпеку експлуатації споруд. Зокрема, до таких територій комплексного впливу відносяться райони водосховищ, де наявний техногенний вплив на прилеглі масиви порід та їх напружено-деформований стан і гідрологічний режим [5, 7, 8, 12, 24, 25, 27-30]. Присутні тут масштабні процеси масопереносу, а також прогинання земної кори під дією гравітаційного навантаження від води, ускладнені різномасштабно-блоковою структурою кори з активними в неогені розривними порушеннями і додатковим гідровпливом на них, змінюють напружений стан породних масивів не тільки на ділянці споруд, але і передаються на більші території і посилюють сейсмічну активність у районах будівництва великих гідровузлів [18, 25, 27]. При цьому

експлуатація водосховищ вважається причиною підвищення сейсмічної активності у 23% випадків. На територіях, на яких розташовані гідротехнічні споруди, інші великі інженерні об'єкти, нерідко активізується місцева так звана наведена сейсмічність [7, 8, 13-16, 27-30]. Робота гідротехнічних споруд генерує додатковий і змінний у часі напружено-деформований стан (НДС) в оточуючих масивах порід і впливає на активізацію наведеної місцевої сейсмічності. Така наведена сейсмічність спостерігалася в районах водосховищ Каріба (Зімбabwe), Гувер (США), Інгурі (Грузія), Нурекського (Таджикистан), Байкало-Ангарського каскаду та ін. [8, 25, 27-30]. Подібна ситуація є і в Україні в районі Дністровського гідровузла, зокрема, Дністровської ГАЕС. Саме після початку активної роботи всього комплексу ГЕС і ГАЕС були зареєстровані сейсмічні події в радіусі 10-15 км від гідровузла, що звернуло на себе увагу сейсмологів. Зазначимо, що нами вже раніше були вивчені деякі аспекти наведеної сейсмічності та сейсотектоніки в цьому районі [12] та в Українському Передкарпатті загалом, зокрема, в центральній-східній його частині – Надвірнянському нафтогазовому районі [14-16], на схід від нього якраз лежить район Дністровського гідровузла, тож подібні методики досліджень було застосовано і тут. Із огляду на те, що стратегічною метою компанії «Укргідроенерго» є підвищення надійності та ефективності роботи Об'єднаної енергосистеми України, а також реалізація проектів нового будівництва потужностей для зберігання електроенергії (energy storage) та виробництва водню, реконструкція наявних гідрогенеруючих потужностей, що дозволять компанії розширити частку маневрових потужностей ГЕС та ГАЕС у загальному балансі галузі та зміцнити енергонезалежність країни, дослідження геодинаміки та сейсмічності цих територій є одним із пріоритетних напрямків. Тому вивчення всіх аспектів сейсмічності та сейсотектоніки становить значний інтерес для забезпечення сталого та безпечного розвитку досліджуваного району.

Метою роботи є дослідження сейсмічності і сейсотектоніки району Дністровського гідровузла, вивчення впливу роботи Дністровської ГАЕС на зміну напружено-деформованого стану оточуючих масивів порід на активізацію місцевої сейсмічності. Дністровська ГАЕС почала працювати в кінці 2008 року і є частиною Дністровського гідровузла, до складу якого також входять Дністровська ГЕС-1 та ГЕС-2 (рис. 1 та 2). Саме після початку активної роботи всього комплексу ГЕС і ГАЕС (до останнього часу введено в експлуатацію чотири гідроагрегати ГАЕС) були зареєстровані сейсмічні події різної сили поблизу Дністровської ГАЕС [19, 20, 23]. Введення в експлуатацію ще трьох гідроагрегатів Дністровської ГАЕС, яке планують до 2026 року, приведе до додаткового техногенного навантаження, що в свою чергу приведе до зміни гідродинамічного режиму, а відтак може дати

поштовх до активізації сейсмічності не тільки в районі ГАЕС (аналогічно відчутним сейсмічним подіям у 2006 і 2016 рр.), але й на більшій території [20-22], спричиняючи техногенні загрози для довкілля.

У роботі комплексно проаналізовано дані геолого-геофізичних [3, 6, 18] і геоморфологічних [17] та сейсмологічних моніторингових досліджень [19, 20], дані GNSS моніторингу зони Дністровської ГАЕС [21] для дослідження зв'язку між виникнення землетрусів на цій території і особливостями геологічної будови та локальної і субрегіональної геодинаміки району, дані новітньої геодинаміки [3, 6, 17], антропогенних впливів тощо. Адже відомо, що землетруси, спровоковані діяльністю людини на певній території, яка має статус геоактивної зони [6, 22], підлягають системному дослідженню через ризики та небезпеку, яку вони представляють. Сейсмічність, яка виникає після зміни або припинення антропогенної дії, є особливо проблематичною – як через резонансні випадки «відкладених» пошкоджень, спричинених цією сейсмічністю, так і через втрату контролю над управлінням ризиком [24, 27, 28].

Нами в роботах [10-16] проведено аналіз сейсмічності та сейсмотектоніки Українського Передкарпаття і південно-західного Волино-Подільського краю Східноєвропейської платформи, зокрема, в зонах інтенсивного видобування нафти й газу (Долина, Надвірна, Борислав) і виявлено зв'язок між виникнення землетрусів та видобуванням на цій території вуглеводнів, яке спричиняє зміну напруженого стану геологічного середовища не тільки безпосередньо в зонах активного видобування, але перерозподіляється і поширюється на більші території, що в комплексі з регіональною геодинамікою та іншими факторами може створювати загрози для сталого й безпечного розвитку цих територій. Подібні загрози техногенного характеру можливі і для території, де розташований Дністровський каскад гідроспоруд [12]. Через актуальність цієї проблеми питанням активізації сейсмічності в районах розташування гідроспоруд дуже активно займаються вчені з різних країн. Зокрема вчені з Китаю [27] при дослідженні водосховища «Three Gorges Reservoir» виявили, що штучні і природні зміни гідрорежиму масивів порід можуть впливати на регіональну сейсмічність, а коливання рівня води у водосховищі впливає на сейсмічність в околі 0-12 км і має сезонну складову. Інші дослідники в роботі [28] зробили такий висновок про наведену сейсмічність – закон Бота кількісно визначає інтенсивність виникнення землетрусів, що супроводжують антропогенні впливи. У роботі [24] показано, що підвищення тиску водної маси на ложе водосховища на 1–2 Мпа ініціює ковзання по асейсмічному розлому, а додаткове збільшення тиску на ~5 МПа приводить до ковзання по розлому на ~20 см, що в кінцевому результаті приводить до активізації локальної сейсмічності. Значно менші тиски потрібні для активізації сейсмічності в

уже підготованому за напружено-деформованим станом геологічному середовищі, де розломні структури зазнали неогенової тектонічної активізації.

Район Дністровського гідровузла розташований в активній у геодинамічному відношенні зоні південно-західної Волино-Подільської окраїни Східноєвропейської платформи, що вже само по собі несе певні геоекологічні загрози для екобезпеки регіону. Дністровська ГАЕС розташована у Чернівецькій області на правому березі р. Дністер між Дністровською ГЕС-1 та ГЕС-2. ГЕС-2 утворює руслове буферне водосховище, верхня водойма ГАЕС розташована на 125 м вище від його рівня, вона побудована в складних інженерно-геологічних умовах [18]. Сама зона розташування споруд ГАЕС характеризуються великим перепадом висот та крутими схилами між русловим буферним та верхнім водоймищем, наявністю зсувних ділянок, де через складні літотиби ґрунтів існує загроза інфільтрації води з верхньої частини водоймища в нижні горизонти. Добова циклічність роботи ГАЕС призводить до зміни гідродинамічного режиму, що в свою чергу створює додаткове техногенне навантаження. В роботі [18] показано, що аритмічна робота Дністровського гідровузла збільшує техногенні навантаження на уже наявні активні геодинамічні зони, провокуючи утворення нових активних локальних зон, чим викликає зміну напружень у масивах гірських порід, перерозподіл напружень веде до появи нестабільних ділянок масивів порід, а відтак до виникнення землетрусів, енергія яких контролюється кумулятивним ефектом від усіх наявних природних і техногенних геодинамічних процесів. На майданчику ГАЕС (див. також далі) рівень природних напружень вищий від геостатичних за рахунок тектонічної складової (ускладненої різними режимами – стиску на правому березі Дністра, розтягу – на лівому, присутністю структур центрального типу з секторною системою «вихрових» розломів), тут горизонтальна складова напружень місцями в три рази більша за вертикальну, у такій ситуації додаткові техногенні впливи можуть спричинити непередбачувані екологічні і техногенні наслідки.

Геодинамічна активність досліджуваного району – області зчленування сегменту транс'європейської геомобільної зони (зони Тейсейра-Торнквіста – ТТЗ) і геомобільних структур Передкарпатського прогину (тектонічного облямування Східних Карпат) підтверджується, зокрема, наявністю тут аномалії теплового потоку [3, 6], значними амплітудами неотектонічних рухів [17], безпосередньо в районі Дністровського гідровузла методами GNSS зафіксовано диференційовані горизонтальні переміщення земної поверхні на ділянці розташування гідротехнічних споруд [21].

Індикатором сучасної сейсмотектонічної активності у зоні

Дністровського гідровузла є зареєстровані тут інструментально за останні десятиріччя землетруси. Про геодинамічну активність цього регіону свідчать також відомі відчутні місцеві землетруси за історичний період, зокрема, у Кам'янці-Подільському (1721 р., 1728 р. (4 бали), 1883 р. (3-4 бали)), Могильові-Подільському (1843 р., сучасна зона розташування ГЕС-2 (4 бали)) [4]. Це землетруси тектонічні, причиною їх виникнення є тектонічні напруження у розломно-блоковій структурі літосфери південно-західного краю Східноєвропейської платформи, зокрема шовної зони на стику південно-східного закінчення Волино-Подільської плити та Українського щита, ускладненої тут рядом різнорангових розривних порушень. Ця територія також зазнає сейсмічних впливів від сильних землетрусів зони Вранча (Румунія) з інтенсивністю I_0 від 3-х до 6-7-ми балів (для найсильніших землетрусів 1802 та 1940 рр.) за шкалою MSK-64 [3, 4].

У районі розташування Дністровського каскаду ГЕС/ГАЕС з метою розробки антисейсмічних заходів та мінімізації можливих збитків від сильних сейсмічних подій було проведено різні геолого-геофізичні та геодезичні дослідження, у тому числі на предмет виявлення палеосейсмодислокацій (Калуш Ю., Рідуш Б.) Такі палеосейсмодислокації були виявлені у селі Василівка Сокирянського району, на відстані 5,5 км на північний захід від водосховища Дністровської ГАЕС. Ці палеосейсмодислокації сейсмогравітаційного типу мають північно-східний напрямок зсуву (азимут 85^0), а ймовірною епіцентральною зоною відповідних палеоземлетрусів (за результатами геолого-геоморфологічного аналізу) може бути область перетину регіональних та локальних розломів у зоні зчленування Східноєвропейської платформи з Карпатською гірською спорудою на Буковині, зокрема, зона перетину Караєцького ортогонального (антикарпатського) та Дністровського діагонального (субкарпатського) розломів (рис. 1), де на сучасному етапі геодинамічного розвитку території також зафіксована сейсмічна активність. Генезис та характеристики палеосейсмодислокацій у с. Василівка вказують на ймовірність їх генерації землетрусами з інтенсивністю струшувань у 7 балів і більше, такі події не були зафіксовані тут історично (див. [4]), тому вони, можливо, відбулися ще давніше 17-18 ст., тобто мають період повторюваності більше 300-350 років. За картою загального сейсмічного районування ЗСР-2004-С для відповідальних інженерних споруд (для періоду повторюваності землетрусів у 1000 р.) ця територія належить до 7-бальної зони, що повністю узгоджується з наведеними палеосейсмічними даними.

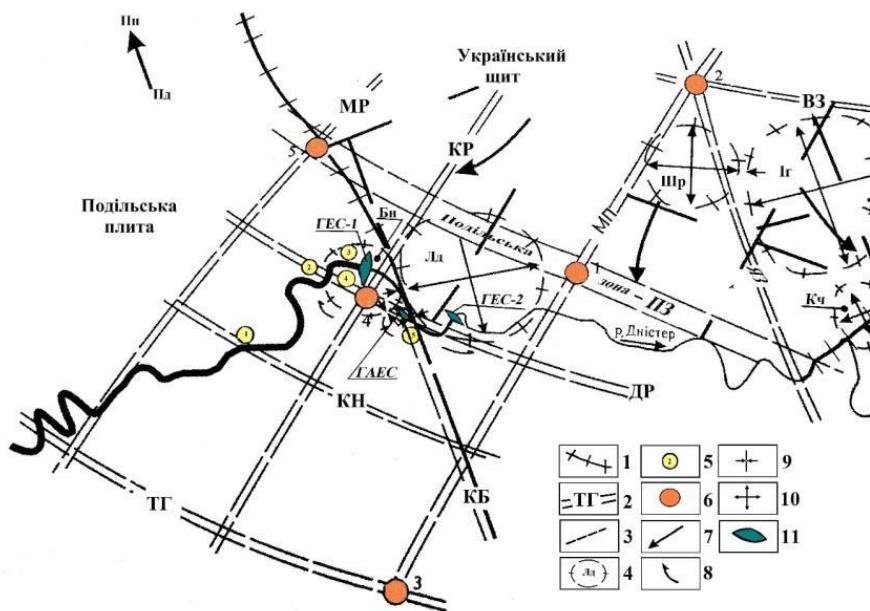


Рис. 1. Структура фундаменту земної кори Подільського Придністров'я в районі Дністровського гідровузла (з елементами тектоніки та геодинаміки за [18]). Тут: 1 – шовна зона на стику Подільської плити та Українського щита; 2 – зони розломів 1-го порядку: МР – Морозівського, КР – Караєцького, МП – Могилів-Подільського, ПЗ – Подільського, ДР – Дністровського, КН – Кайнарського, ТГ – Товтрівського, КБ – Куболтинського, ВЗ – Вапнярського, ЯЗ – Ямпільського; 3 – розломи 2-го та 3-го порядку; 4 – структури центрального типу: Лд – Лядівська, Шр – Шаргородська, Іг – Ігнатівська, Кч – Каменська; 5 – блокові зсуви напівскельних масивів; 6 – епіцентри сильніших землетрусів (до 2005 р.); 7 – напрям регіонального розтягу структур; 8 – напрям обертання структур центрального типу; 9 – зона стиску; 10 – зона розтягу; 11 – гідростанції.

Складна тектонічна будова району з елементами геодинаміки і сейсмічності (до будівництва Дністровської ГАЕС) представлена на рис. 1. У тектонічному плані район розташований на півдні Волино-Подільської плити – південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи. Сама Волино-Подільська плита межує тут із південного заходу з Карпатською гірською системою (Складчасті Карпати, Предкарпатський та Закарпатський

прогини), зі сходу – з Українським щитом, а з півдня – з Молдавською монокліналю. Ці тектонічні одиниці розділені між собою зонами глибинних розломів. Основна система розломів тут має переважно діагональний північно-західний (субкарпатський) напрямок, додаткова, яка січе ці тектонічні одиниці на окремі блоки – північно-східний, ортогональний. Один із основних наявних тут активних трансформних субкарпатських розломів – розлом по лінії Луцьк – Збараж – Кам'янець-Подільський, далі на південний схід він проходить безпосередньо через досліджувану зону [6, 18] і до нього приурочені епіцентри відчутних місцевих землетрусів з макросейсмічним ефектом 3-4 бали. Про активність різних геодинамічних процесів у районі Дністровського гідровузла свідчать, зокрема, зсуви напівскельних масивів, що тут відбулися (рис. 1): 1, 2, 4 з них сталися у березні 1985 р., 3 – у березні 1987 р., 5 – у листопаді 1992 р. [18]. Територіально вони розташовані в зоні меандрів нижньої течії ріки Дністер, на перетині двох розломів – Дністровського і Кайнарського з Караєцьким. Перетин Дністровського розлому з Караєцьким визначено як зону вогнищ палеоземлетрусів з інтенсивністю 7 балів (див. вище), що свідчить про тектонічну активність цього розломного вузла і про ймовірність виникнення в цьому районі подібної сили землетрусів, які зможуть завдати значної матеріальної і екологічної шкоди, враховуючи також те, що деякі з раніше побудованих тут споруд не були розраховані на струшування такої сили [22].

Саме русло ріки Дністер на цій території на різних ділянках співпадає з заляганням ряду активних у неогені і в сучасності (про останнє свідчать відомі тут за останні кілька сотень років історичні та зареєстровані інструментально за останні десятиліття місцеві землетруси [3, 4, 19, 20]) регіональних діагональних (північно-західно – південно-східних) та субширотних тектонічних розломів – Бердо-Нароль, Кам'янець-Подільського, Дністровського та ін.

Інструментальна сейсмічність у досліджуваному районі на рівні подій з магнітудами $M \geq 1,5$ (враховуючи, що базова мережа сейсмічних станцій в Карпатському регіоні України працює з 1961 року [19, 23]) до 1987 року не фіксувалася. До цього зауважимо, що першу в каскаді Дністровську ГЕС-1 було введено в дію у грудні 1983 р., ГЕС-2 – у 2001 р., а ГАЕС – у 2008 р. Слабка «інструментальна» сейсмічність цього району почала проявлятися ще до початку роботи ГАЕС, з часів невдовзі після запуску ГЕС-1, з 1987 р. по 2006 р. тут інструментально зареєстровано 16 невеликих землетрусів (їх енергетичний клас $K=6,5 \div 7,8$, магнітуда $M=1,4 \div 2,2$) [19, 20], деякі з них представлено на рис. 1, це п'ять землетрусів невеликої сили: 1987 р., 1989 р., 1991 р., 2000 р., 2005 р. В тектонічному плані вогнища цих землетрусів тяжіють до зони зчленування тут Українського щита і Волино-Подільської плити, перетину різноспрямованих розривних порушень. Помітна

активізація сейсмічності в цьому районі відбулася у 2006 році. В районі Новодністровська (безпосередню зону Дністровської ГЕС-1 і ГАЕС) інструментально було зареєстровано 9 землетрусів класу $K=6,1\div 8,4$ ($M=1,2\div 2,9$), для яких надійно визначено координати і глибину залягання вогнищ [20], декілька слабших землетрусів тут було зареєстровано тільки однією-двома станціями, що не дозволяє надійно визначити локалізацію їх вогнищ. У 2006 р. не тільки район Новодністровська зазнав сейсмічної активізації, але і на сусідніх територіях було зареєстровано сейсмічні події різної магнітуди (рис. 2) [20, 23].



Рис. 2. Сейсмічність району Дністровського гідровузла і прилеглих територій за 2006 р. за [20]: темні кола – землетруси різної магнітуди; чорні трикутники – сейсмостанції і тимчасові пункти сейсмічних спостережень (та їх міжнародні позначення).

Сильніший землетрус у 2006 р. відбувся 22.10.2006 р. з $K=8,4$ ($M=2,9$). Епіцентр цього землетрусу розташовувався на північний схід від Дністровської ГЕС (рис. 2) на глибині 3,8 км. Цей землетрус, незважаючи на відносно невелику магнітуду, через малу глибину вогнища і особливості будови земної кори викликав відчутний макросейсмічний ефект, струшування відчувалися в радіусі 15 км від епіцентру, їх інтенсивність в

епіцентрі $I_0=4$ бали за шкалою MSK-64, а сейсмічні хвилі цього землетрусу були зареєстровані світовою сейсмічною мережею в радіусі понад 300 км від вогнища [20]. За комплексом геолого-геофізичних даних (рис. 1) епіцентр цього землетрусу локалізований у шовній зоні контакту Подільської плити та Українського щита, у зоні впливу Дністровського розлому й Лядівської структури, ускладненої розривними порушеннями. Лядівська структура (за геологічними даними) зазнає розтягу в ортогональному південно-західно – північно-східному напрямку з деякою обертальною (проти годинникової стрілки) компонентою [18]. Плейстосейстова область цього землетрусу має овальну конфігурацію, витягнуту у напрямку Дністровського розлому. Очевидно, сейсмічний розрив відбувся в зоні впливу цього розлому, оскільки проекція сейсмічного розриву на денну поверхню орієнтована вздовж Дністровського розлому. Південна частина плейстосейстової області трохи сплюснута, так, ймовірно, проявляється вплив Лядівської структури. Таким чином (враховуючи й інші сейсмічні події), можна зробити висновок про підтверджену сучасну сейсмотектонічну активність Дністровського розлому. Такий його режим узгоджується із загальним геомеханічним режимом взаємодії структур південно-західного краю Східноєвропейської платформи з Карпатською гірською спорудою [9, 12] – відносним тангенціальним зсувом у близькоширотному напрямку (Карпат – на схід, платформи – на захід) в умовах названого вище діагонального стиску, а також з результатами тектонофізичного моделювання зон горизонтального зсуву [1]. Такий тангенціальний рух Карпат частково спричинений також простеженою нами в останніх роботах террейнової складовою сучасної геодинаміки Українських Карпат [9, 10]. Від’ємний кріпекс цього землетрусу також говорить про те, що він відбувся в умовах стиску земної кори, можливий механізм – скидо-зсув у близькоширотному східному напрямку (див. рис. 1). Щодо того, що землетрус 22.10.2006 р. порівняно невеликої магнітуди з району Новодністровська зареєструвала світова сейсмічна мережа, можна відзначити, що за цілим рядом даних [3, 6, 9-16] південно-західний край Східноєвропейської платформи є геомеханічно досить консолідованою структурою, що перебуває в режимі стиску, через те сейсмічні збурення передаються тут у різних напрямках (особливо у субширотному західному та північно-західному, а також у східному та північно-східному напрямках) з невеликим загасанням як по неглибоких горизонтах кори, так і по більш глибоких (включаючи південний та південно-західний напрями – під Карпати). Підтвердженням цьому служить, зокрема, сильно витягнуті вздовж краю платформи ізосейсти макросейсмічного поля найсильнішого з відомих тут Велико-Мостівського землетрусу 1875 р. з $M=5,7$ [4, 15].

Після описаного вище ряду землетрусів 2006 р. в даному районі кілька

років не було інструментально зареєстрованих істотних сейсмічних подій, а лише дуже слабкі рої мікроземлетрусів з $K=5,4\div 6,7$ ($M=0,8\div 1,5$), які фіксувалися лише однією станцією Новодністровськ (NDNU), що не давало змоги визначити координати та глибини їх вогнищ. Кількість таких подій суттєво варіативна у часі. Так, після заповнення верхнього водосховища ГАЕС у жовтні 2012 р. кількість зареєстрованих мікроземлетрусів досягла 36. У 2013 р. рівень водосховища збільшився до проектних обсягів, тобто гідростатичне навантаження на ложе водосховища додатково зросло, і стався стрибок мікросейсмічної активності, зареєстровано 61 сейсмічну подію. У 2014 році кількість мікроземлетрусів зросла до 160. Тут спостерігаємо очевидний зв'язок сейсмічності з режимом наповнення та роботою верхнього водосховища. Зростаюча частота сейсмічних подій свідчить про перерозподіл напружень-деформацій у значних ділянках земної кори, який супроводжується скидом накопичених напружень землетрусами з порушенням суцільності порід. Водночас велика кількість зафіксованих сейсмічних мікроподій мають нульову глибину, що вказує на розрядку напружень та активізацію приповерхневих екзогенних процесів (зсуви, обвали, тощо). Подібні процеси є цілком закономірними і відображають реакцію масивів порід на техногенне втручання [5, 7, 8, 12, 24, 25, 27-30]. Тому для забезпечення експлуатаційної безпеки Дністровського каскаду ГЕС/ГАЕС необхідно проводити комплексний геолого-геофізичний та геодезичний моніторинг цього району. Без такого комплексного контролю розвиток небезпечних геоекологічних процесів може привести до розвитку негативного впливу на довкілля, якому буде важко або й неможливо запобігти.

Для детального вивчення сейсмічності на території Середнього Подністров'я з 2014 р. спеціалістами відділу сейсмічності Карпатського геоіону Інституту геофізики ім. С.І.Субботіна НАН України встановлено три цифрові станції DASS-04: NDNU1, NDNU2, NDNU3. Це зробило можливим дослідження просторових особливостей сеймотектонічної активізації різних шарів геологічного середовища цього району з використанням розроблених нами методик уточнення гіпоцентрії сейсмічних подій (див., наприклад, [11-13, 26]). Отримані новими сейсмостанціями дані разом із даними стаціонарної сейсмічної мережі Карпатського регіону України дали можливість надійно визначити параметри місцевих землетрусів (час у вогнищі, координати, глибину, енергетичні характеристики). Доповненою мережею у районі Дністровської ГАЕС за період 2014-2018 років зафіксовано ряд землетрусів різного енергетичного класу, дані про значніші з них (з $M=0,6\div 2,4$) наведено в таблиці 1 і на рис. 3. Нами детально проаналізовано ці землетруси, локалізація їх епіцентрів представлена на рис. 3. Вогнища більшості землетрусів розташовані на невеликих глибинах ($H=1-$

2 км), лише деякі мають більшу глибину ($H=4-5$ км). Просторово вогнища землетрусів, що розглядаються, розміщені на захід від гідротехнічних споруд Дністровського гідровузла, у той час як вогнища землетрусів 1991-2006 років, розташовувалися переважно на схід від нього. Тобто має місце міграція сейсмічної активності зі сходу на захід, що, очевидно, пояснюється просторовим перерозподілом тектонічних напружень у даній зоні, спричиненим як описаним вище загальним тиском Східних Карпат на південно-західну окраїну Східно-Європейської платформи [9-13, 26], так і більш локальними процесами у шовній зоні на контакті Подільської плити та Українського щита, а також роботою Дністровського гідровузла. Виходячи з просторової міграції сейсмічності, можна простежити міграцію геодинамічної активізації в досліджуваному районі: напруження в земній корі спочатку концентруються на північний схід від Дністровської ГАЕС і розряджаються в основному землетрусами невеликої сили ($K=6,5\div 7,8$, $M=1,4\div 2,2$). Надалі настає кількарічний період сейсмічного затишшя, в цей час відбувається перерозподіл тектонічних напружень, які, концентруються західніше Дністровської ГАЕС і надалі вже тут відбувається чергова фаза розрядки тектонічних напружень також землетрусами в основному невеликої сили з $K=5,1\div 8,3$ ($M=0,6\div 2,4$).

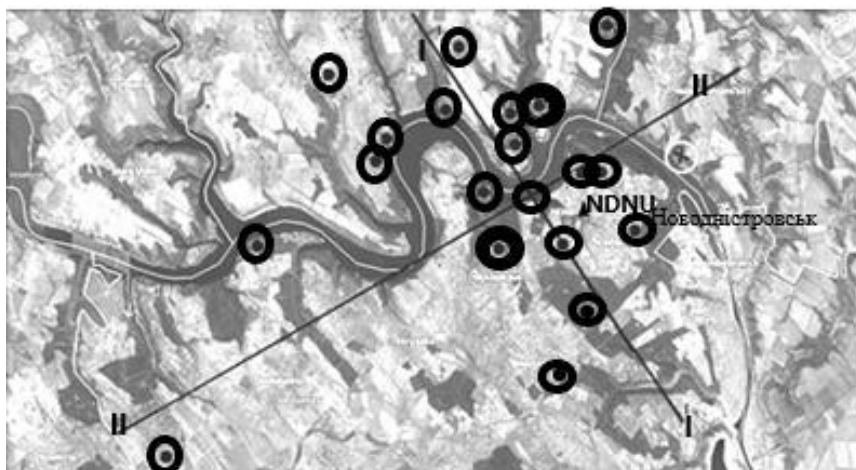


Рис. 3. Карта-схема (на картооснові Google) сейсмічності району Дністровського гідровузла за 2014-2018 рр. Тут: чорні кола – епіцентри землетрусів; трикутник – сейсмічна станція Новодністровськ, біле коло – макросейсмічний епіцентр землетрусу 22.10.2006 р., більші чорні кола – епіцентри відчутних землетрусів 07.02.2016 р і 12.07.2014 р. з $M - 2.8$ і $M - 3$ відповідно (також показані умовні профілі I-I і II-II).

Таблиця 1. Каталог землетрусів в районі Дністровського гідровузла за період 2014-2018 рр.

№ п/п	Дата	Час в джерелі	Широта	Довгота	Глибина, км	M_D	M_L	M_{SH}	K
1	20.07.2018	04.30.28,3	48.572 ⁰	27.151 ⁰	2	1.9	2.0	2.1	7.6
2	31.07.2018	23.47.02.7	48.640 ⁰	27.193 ⁰	2	1.4			6,5
3	31.05.2018	13.00.44.8	48.580 ⁰	27.354 ⁰	2.5	1.6	1.8		6,7
4	24.03.2018	12.20.53.8	48.609 ⁰	27.378 ⁰	1	2.6	2.6	2.4	9.4
5	17.01.2018	04.14.27,8	48.630 ⁰	27.271 ⁰	2	1.6	1.7	1.6	7.2
6	17.01.2018	04.16.09,6	48.655 ⁰	27.278 ⁰	2	1.2	1.4		6,2
7	26.11.2017	04.48.46,3	48.609 ⁰	27.364 ⁰	2	1.6	1.6	1.4	7.2
8	08.07.2017	22.25.20,8	48.618 ⁰	27.320 ⁰	2	1.6	1.7	1.4	7.5
9	12.06.2017	02.34.12,2	48.487 ⁰ⁱ	27.099 ⁰	3	1.3	1.3		6,3
10	14.06.2017	21.47.12,7	48.617 ⁰	27.234 ⁰	2	0.9	0.8		5,6
11	25.05.2017	19.17.47.9	48.667 ⁰	27.375 ⁰	3	1.6	1.7	1.5	7.4
12	06.04.2017	11.39.19,8	48.529 ⁰	27.357 ⁰	2	1.4	1.3	1.1	6.6
13	04.03.2017	04.04.28,9	48.599 ⁰	27.299 ⁰	1	1.8	1.8		7,2
14	12.07.2016	18.21.51,9	48.634⁰	27.333⁰	2	3.4	3.1	3.0	9.9
15	05.05.2016	06.57.47,5	48.681 ⁰	27.235 ⁰	2	1.5	1.5	1.5	6.8
16	09.03.2016	23.04.56.7	48.608 ⁰	27.226 ⁰	5	2.2	2.2	2.0	8.1
17	07.02.2016	17.06.52.9	48.577⁰	27.312⁰	4	2.9	2.9	2.8	9.5
18	08.02.2016	04.46.38,9	48.630 ⁰	27.315 ⁰	2	2.2	2.4	2.2	8.2
19	26.05.2014	08.37.03,1	48.587 ⁰	27.401 ⁰	2	1.3	1.3	1.3	6.4
20	28.05.2014	16.52.32.2	48.555 ⁰	27.371 ⁰	1	0.6	0.7	0.6	5.1

Один з сильніших, відчутних землетрусів серії 2014-2018 років і (з $M_{SH}=3$) в районі Дністровських гідроспоруд був зареєстрований 12.07.2016 р. о 18.21.51,9 год. сейсмічними станціями Карпатської сейсмологічної мережі. Його вогнище знаходилося на глибині $H=2$ км, за 10 км на північний захід від греблі водосховища на річці Дністер. Компоненти сейсмічного запису цієї події сейсмічною станцією «Новодністровськ», яка розташована в безпосередній близькості до вогнищевої зони, наведено на рис. 4. Незважаючи на близькість сейсмічної станції до вогнища землетрусу, тут вже можна розрізнити моменти вступу P- і S-хвиль. Тривалість землетрусу на сейсмограмі становила 120 с. Визначення інтенсивності землетрусу за номограмою, виходячи із співвідношення між магнітудою M та глибиною вогнища H для землетрусу 12.07.2016 р. з $M_{SH}=3$ дало інтенсивність I_0 в

епіцентрі 5 балів. При цьому зазначимо, що за картою загального сейсмічного районування території України ЗСР-2004-В (Т=500 років та Р=10%) район Дністровського гідровузла розташований у 6-бальній зоні. Тобто відносно часті (раз на кілька десятків років) землетруси невеликої магнітуди, але з малою глибиною вогнища можуть локально генерувати на цій території відчутні сейсмічні струшування, близькі до максимально прогнозованих. Цей землетрус реалізувався в зоні Дністровського розлому і місць давніших блокових зсувів скельних порід по лівому березі Дністра, за геологічними даними ця територія зазнає регіонального розтягу [18]. Другий з сильніших землетрусів з $M=2,8$ 07.02.2016 р. реалізувався на правому березі Дністра, де за геолого-тектонічними дослідженнями [18] зафіксовано режим стиску.

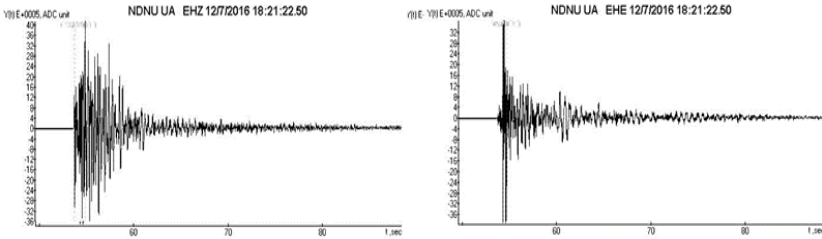


Рис. 4. Вертикальна та горизонтальна компоненти сейсмічного запису землетрусу 12.07.2016 р. з $M_{SH}=3$ та глибиною вогнища $H=2$ км, зареєстрованого цифровою станцією DAS-004 (розробка С.Т.Вербицького та ін.) у м. Новодністровську

Для виявлення глибинно-просторових особливостей сейсмотектоніки району Дністровського гідровузла нами проаналізовано дані про сейсмічність, про вектори напружень у земній корі цього району, дані про голоценові [17] та сучасні вертикальні рухи земної поверхні, морфологію рельєфу та русла річки Дністер. Для аналізу розподілу землетрусів за глибиною нами побудовано два умовні профілі (рис. 3), які перетинаються в центрі хмари землетрусів: перший проходить по азимуту 150° , приблизно паралельно Карпатам (профіль I-I), другий (азимут близько 60°) – приблизно перпендикулярно до першого (профіль II-II). Аналіз просторового розташування вогнищ землетрусів на цих двох профілях – вхрест Карпат (рис. 5, зліва) та паралельно до них (рис. 5, справа) показав, що на обох профілях чітко простежуються два глибинні рівні сейсмічної активізації. Перший рівень – глибини $H=1-2$ км (відповідає осадовим товщам), другий – $H=3-5$ км (відповідає верхам фундаменту). На першому рівні відбувається більша кількість але слабких землетрусів. На другому рівні відбуваються

сильніші землетруси з $M \geq 2$, їх кількість значно менша. Саме на другому глибинному рівні сталися два землетруси з макросейсмічним ефектом. Основна область групування вогнищ цих подій у плані утворює овал неправильної форми (рис. 3), велика вісь якого спрямована по азимуту 150° . Ця область контролюється розломами другого порядку, які супроводжують та опірають основний тут та активний Луцьк – Збараж – Кам'янець-Подільський розломом. Той факт, що епіцентри деяких землетрусів у плані тяжіють до меандрів річки Дністер, можна пояснити геодинамічною активністю тектонічних структур у зоні русла р. Дністер у цій її частині, а також приуроченістю цього русла до наявних у цьому районі розривних порушень різних рангів, у тому числі тих, які січуть зону русла. Збільшення тиску порово-тріщинних вод, гідродинамічно пов'язаних із об'ємом водосховищ, знижує тертя в зонах «заживлених» цими водами розломів (знижує опір зсуву), що полегшує зняття тектонічних напружень, «оживляє» розломи і сприяє виникненню сейсмогенеруючих рухів. Проведений у зв'язку з цим аналіз карти вертикальних рухів земної поверхні цього району [17] показав, що ізобаз сумарних амплітуд неотектонічних рухів мають тут субширотне простягання, їх форма нагадує меандри річки Дністер. В районі гідроспоруд встановлено зони стиску і зсуву, ускладнені розломами дугової конфігурації зі зміщеннями, течією і квазітечією порід на межах літотипів [18]. Такі особливості ґрунтів (див. зокрема, [5]) разом з кумулятивним ефектом від впливу сейсмічності в районі Дністровського гідровузла можуть стати причинами потенційних сейсмічно спровокованих техногенних аварійних ситуацій на цій території.

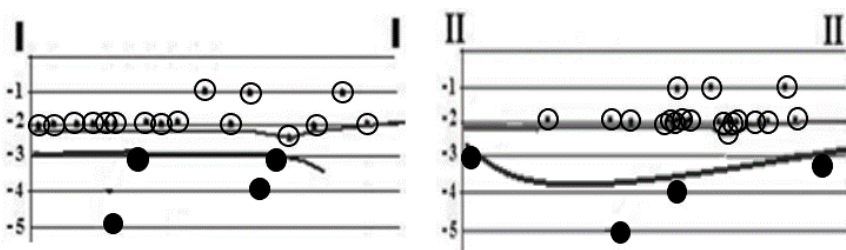


Рис. 5. Розташування вогнищ землетрусів 2014-2018 рр. у районі Дністровського гідровузла на профілях хрест Карпат (I-I) та паралельно їм (II-II). Схема розташування профілів подана на рис. 3

Геодезистами проведено дослідження рухів земної поверхні в зоні Дністровської ГАЕС наземними і супутниковими методами за період з 2005 р. до 2014 р. [18], воно виявило різноспрямовані і різної величини горизонтальні рухи пунктів спостережень (рис. 6). Основна особливість цих

рухів полягає в тому, що 4 пункти з семи рухаються зі сходу на захід, три – з південного сходу на північний захід. Найбільша величини горизонтальних рухів земної поверхні (10-12 мм) є у пунктах на лівому березі Дністра й між верхнім та нижнім водосховищами, найбільш стабільним є пункт на лівому березі Дністра в районі буферного водосховища. Назагал сама територія Дністровської ГАЕС рухається зі сходу на західі з деяким відхиленням на північний захід. У контексті таких рухів проаналізуємо сейсмічність і сейсмотектоніку цього району. Якщо лівий берег Дністра перебуває в зоні розтягу, тут у 2006 р. відбувся відчутний землетрус з силою струшувань у 4 бали, простягання плестосейстової області якого співпадає з напрямом горизонтальних зміщень геодезичних пунктів, то правий берег зазнає вираженого стиску з обертальними рухами за годинниковою стрілкою структур центрального типу [18], на що вказують напрями векторів горизонтальних зміщень. У 2016 р. тут відбулися два відчутних землетруси з $M=2,8$ і $M=3$. Зважаючи на геолого-тектонічну будову і активні горизонтальні рухи земної кори, і на те, що до 2026 р. мають бути запущені в експлуатацію ще три агрегати Дністровської ГАЕС, тобто навантаження зростуть (у т.ч. динамічні) на масиви порід і зміниться їх гідрологічний режим, тут можна очікувати нові відчутні сейсмічні події, які можуть негативно позначитись на безпечній і стабільній роботі гідровузла. Відомо (див, наприклад, [2]), що постійні знакозмінні та вібраційні навантаження низької інтенсивності негативно впливають на трубопроводи та інші інженерні об'єкти. Враховуючи виявлені характеристики місцевої сейсмічності, споруди Дністровського гідровузла будуть регулярно додатково зазнавати техногенно індукованого сейсмічного впливу низької або середньої інтенсивності. Якраз такий техногенно спровокований сейсмічний шум додатково до технологічного від роботи агрегатів Дністровської ГАЕС буде впливати на конструктивні елементи споруд, значно знижують ступінь їх технологічної надійності та загальний ресурс, і разом із наявною тут сейсмічністю стане загрозою для безпечної роботи і експлуатації Дністровських гідроспоруд.

У роботах закордонних вчених з вивчення сейсмічності зон водосховищ і гребель [7, 8, 24, 25, 27-30] відзначено добові і сезонні варіації піків сейсмічної активності для таких районів. Для дослідження можливого зв'язку сейсмічної активності території з діяльністю Дністровського гідрокаскаду було проведено аналіз моментів виникнення землетрусів у розрізі доби у різні періоди – 2006 р. (zareєстровано найбільшу кількість землетрусів і один відчутний), 2009-2014 рр., 2015-2018 рр., відповідно до графіка циклічності сейсмічної активності, його результати наведено на рис 7. Аналіз виявив вплив на сейсмічність режиму роботи Дністровських ГЕС і ГАЕС. У 2006 р. землетруси, а їх було найбільша кількість, відбувалися в

ранні і післяобідні години, тоді ще не була запущена в експлуатацію Дністровська ГАЕС. Протилежна картина спостерігається у 2009-2018 рр., найбільша кількість землетрусів відбувається у вечірній та нічний час, лише поодинокі землетруси відбуваються в денні години. Це дає можливість припустити наявність певного впливу на напружено-деформований стан геологічного середовища в районі Дністровського гідровузла роботи самих гідроелектричних станцій.

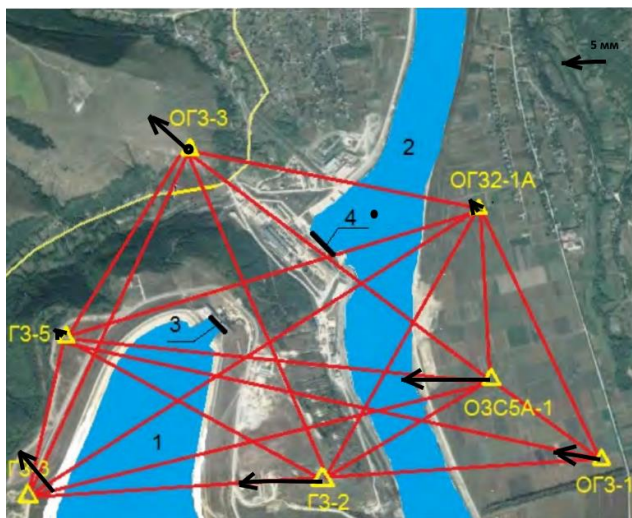


Рис. 6. Схема розташування пунктів каркасної геодезичної мережі і основних споруд Дністровської ГАЕС: 1 – верхнє водосховище; 2 – буферне руслове водосховище; 3 – водоприймач; 4 – водовипуск, чорні стрілки – напрями векторів горизонтальних зміщень пунктів каркасної геодезичної мережі Дністровської ГАЕС за період 2005–2014 рр. [21]

Так, ГАЕС постійно проганяє воду між двома водосховищами, вночі вода закачується з нижньої водойми до верхньої, для цього використовується надлишок електроенергії базової генерації. Заповнене верхнє водосховище ГАЕС створює додаткове навантаження на своє ложе, геомеханічно це навантаження досить локальне. Але за рахунок поширення впливу додаткових пружних навантажень на сусідні масиви порід зміни НДС порід охоплюють більшу зону навколо ГАЕС. При цьому змінюється гідрологічний режим місцевих водоносних горизонтів та флюїдонасичених розломно-тріщинуватих зон, такі зміни (через дію законів гідравліки) можуть передаватися на значні відстані, провокуючи сейсмотектонічну

активізацію району і наведена (індукована) сейсмічність. Індуковані землетруси виникають у зонах земної кори, де накопичилися природні тектонічні напруження і земляна кора вже підготована до виникнення сейсмічних подій, а додатковий пружний і гідравлічний вплив виконує функцію «спускового гачка» (включаючи також явища «змащування» і гідророзвантаження зчеплених бортів різнорангових розривних порушень). Тут також має місце ефект ковзання пластів порід, що знаходяться в різних напружених станах, коли міграція дислокаційних процесів йде з фронтом активізації проникнення води у тріщинно-поровий простір гірських порід, і тоді досягнення таким фронтом тектонічно напруженої зони викликає релаксацію напружень і активізацію сейсмічності. Нам видається, що комплекс описаних ефектів може бути причиною виникнення місцевих землетрусів у нічний час – так званої наведеної (індукованої) сейсмічності.

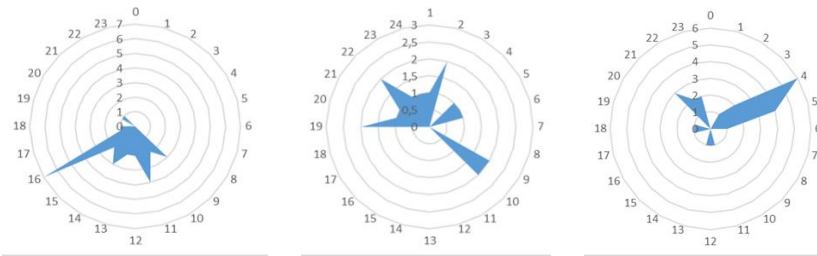


Рис. 7. Сейсмічна активність району Дністровського гідровузла у розрізі доби: а) – 2006 р.; б) – 2009-2014 рр.; в) – 2015-2018 рр.

Отже, дані ряду учених, а також результати наших досліджень по району Дністровського гідровузла показують, що під час землетрусів у районах створених водосховищ вивільняються тектонічні напруження, накопичені в геологічному середовищі до втручання людини. Інженерній діяльності відводиться роль «спускового гачка» (тригера) на їх вивільнення. Відповідно до науково обґрунтованих уявлень, найбільш ймовірними причинами наведеної сейсмічності можуть бути кілька факторів. Передбачається, що проникнення води по тріщинах у гірські породи може спричинити зниження їх міцнісних властивостей за рахунок гідромеханічних та фізико-хімічних процесів. Дані лабораторних і польових досліджень вказують на зниження внутрішнього тертя на 15% при обводненні тріщин із глинистим наповнювачем та на зниження сколової міцності на 50%. Причинами індукованих сейсмічних подій також можуть бути нестійка гідродинамічна конвекція тріщинних вод або зміна поля

термопружних напружень [7]. Головним фактором у ряду «стимуляторів» розрядки напружень і генерації наведених землетрусів фахівці вважають геомеханічний, так як напруження мають тенденцію збільшуватися із зростанням глибини водосховища.

Підсумовуючи викладене, відзначимо, що сучасна сейсмічність району Дністровського гідровузла представлена мілкофокусними землетрусами невеликої сили, вона має виражену тенденцію до активізації із суттєвим збільшенням кількості сейсмічних подій у часі, генетично пов'язана із зонами розломів та палеосейсмодислокацій. Все це вказує на те, що є ризик виникнення на цій території 7 бальних землетрусів, подібних до тих, які виникали тут у минулому. Епіцентри відчутних сучасних землетрусів розташовані в радіусі 10-15 км від споруд Дністровського гідровузла, ця сейсмогенна зона контролюється Дністровським розломом, який разом з структурами центрального типу (СЦТ) і «вихровими» зонами розломів у них створюють передумови для змін НДС масивів порід у цьому районі (у т.ч. за рахунок впливу водосховищ ГЕС і ГАЕС), які в свою чергу розряджаються землетрусами. Щодо особливостей сейсмотектоніки зазначимо, що вогнища землетрусів локалізуються на перетині активних розривних структур, які зазнають загального стиску на правому березі Дністра і розтягу на лівому березі Дністра з деякою ротаційною складовою та в тектонічному плані приурочені до шовної зони між Подільською плитою та Українським щитом (сегментом південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи). Сейсмотектоніка району має свої глибинні особливості – два рівні сейсмічної активності; перший, на глибинах 1-2 км (осадові товщі), другий, на глибині 3-5 км (верхи фундаменту), причому на першому рівні відбуваються більш численні землетруси але переважно незначної магнітуди, на другому відбувається менше землетрусів, але це як правило відчутні землетруси, які можуть спричинити пошкодження і екологічні наслідки. Режим роботи Дністровської ГАЕС, коли вночі з нижнього водосховища закачується вода у верхнє водосховище, зміна гідродинамічного режиму спричиняє появу землетрусів невеликої сили у нічний час. Геодинамічна активність території, значні та неоднорідні у просторі природні тектонічні напруження, нестабільний напружено-деформований стан земної кори, спричинений, у тому числі, роботою Дністровського гідровузла, можуть бути причиною природної та наведеної місцевої сейсмічності, а також бути причиною аварійних ситуацій на об'єктах Дністровського гідровузла, спричинивши техногенні загрози для довкілля. Ця ситуація потребує постійного сейсмічного моніторингу та комплексних досліджень.

Використані інформаційні джерела:

1. Бокун А. М., Назаревич А. В. Структура і динаміка зон горизонтального зсуву (за результатами фізичного моделювання і польових досліджень) // Геодинаміка. 2013. №1(14). С. 129–141, <https://doi.org/10.23939/jgd2013.01.129>.
2. Бредун В. І. Управління екологічною безпекою сейсотехно-навантаженого регіону: дис... кандидата техн. наук: 21.06.01. Кременчук, 2011. 191 с.
3. Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат /за заг. наук. ред. В.І. Старостенка. Київ : Наук. думка, 2005. 256 с.
4. Евсеев С. В. Интенсивность землетрясений Украины. Киев : Наукова думка, 1969. С. 32–55.
5. Кендзера О. В., Семенова Ю. В. Вплив осадової товщі на сейсмічні коливання на території Ташлицької гідроакумулювальної електростанції // Геодинаміка. 2018. №1(24). С. 91–99, <https://doi.org/10.23939/jgd2018.01.091>.
6. Крупський Ю. З. Геологія і нафтогазоносність Західного регіону України. Львів : СПОЛОМ, 2020. 256 с.
7. Кузин И. П., Калинин Н. И. Особенности сейсмичности в зоне водохранилища Ингури ГЭС в связи с его заполнением. Тбилиси : Мещниереба. 1981. 213 с.
8. Леви К. Г., Козырева Е. А., Задонина Н. В., Чечельницкий В. В., Гилёва Н. А. Проблемы наведенной сейсмичности и инженерногеологической защиты водохранилищ Байкалоангарского каскада // Геодинамика и тектонофизика. 2013. №4(1). С.13–36, <https://doi.org/10.5800/GT-2013-4-1-0089>.
9. Назаревич А., Назаревич Л. Про терейнові особливості геодинаміки і сейсмічності Карпат // Геофізика і геодинаміка: прогнозування та моніторинг геологічного середовища : Збірник наукових праць VII Міжнародної наукової конференції. (м. Львів, 24-26 вересня 2019 р.). Львів : Растр-7, 2019 (б). С. 131–133.
10. Назаревич Л., Назаревич А. Природна, техногенно спровокована і техногенна сейсмічність Українського Передкарпаття як чинник геоекологічного ризику // Екологічні проблеми надкористування. Наука, освіта, практика: збірник наукових праць. Львів, 2019 (а). С. 82–85.
11. Назаревич Л. Е., Назаревич А. В. Сейсмичность и сейсотектоника Надворнянского нефтегазосного района (Украинское Предкарпатье) // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. Москва, 2015. Т. 90, Вып. 6. С. 17–27.
12. Назаревич Л. Е., Назаревич А. В. Сейсотектоника района Днестровского гидроузла (Украина). // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: материалы докладов Пятой тектонофизической

конференція в ИФЗ РАН (г. Москва, 5-9 октября 2020 г.). М. : ИФЗ. С 396–401.

13. Назаревич Л. Є., Назаревич А. В. Наведена сейсмічність і сеймотектоніка Надвірнянського нафтогазового району (Українське Передкарпаття) // 15th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects «Geoinformatics-2016». 10-13 May, 2016, Kiev, 2016, <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201600490>.

14. Назаревич Л. Є., Назаревич А. В. Сейсмічна небезпека територій в умовах видобутку корисних копалин (на прикладі Українського Передкарпаття) // Сталій розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: збірник матеріалів 6-го Міжнародного конгресу (Львів, 23–25 вересня 2020 р.). Львів, 2020. С. 66–67 ISBN 978-617-655-199-7, <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43809211>.

15. Назаревич Л. Є., Назаревич А. В. Сейсмічність Олеської площі та геоекологічні ризики при видобуванні сланцевого газу // Сейсмологічні та геофізичні дослідження в сейсмоактивних регіонах : матеріали наукової конференції-семінару (м. Львів, 3-5 червня 2014 р.). Львів : Сполом, 2014. С. 175–179.

16. Назаревич Л. Є., Назаревич А. В. Сейсмогеодинамічна активізація нафтогазоносних районів Передкарпатського прогину (Долина, Надвірна, Борислав) // Мінеральні ресурси України, Київ 2018. №2. С. 36–42, <https://doi.org/10.31996/mru.2018.2.36-42>.

17. Полівцев А. В. Карта вертикальних голоценових рухів Волино-Поділля і Передкарпаття // Геодинаміка. 2011. №1(10). С. 58–60.

18. Сарнавський В. Г. Структурні особливості і напружено-деформований стан масиву осадових порід в техногенно змінних умовах (на прикладі Дністровського комплексного гідровузла) // Геологія і геохімія горючих копалин. 2006. №1. С. 77–91.

19. Сейсмологический бюллетень Украины за 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 год. Симферополь: КЭС, НАНУ, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018. 130 с., 92 с., 84 с., 148 с., 130 с., 120 с., 113 с., 148 с., 98 с., 144 с., 127 с., 160 с., 155 с., 139 с., 128 с., 118 с., 123 с., 186 с., 101 с., 134 с.

20. Сейсмологический бюллетень Украины за 2006 год. Симферополь: КЭС, НАНУ, 2008. 145 с.

21. Сідоров С. І., Перій С. С., Сарнавський В. Г. Визначення рухів земної поверхні в районі Дністровської ГАЕС супутниковими та наземними геодезичними методами // Геодинаміка. 2015. №2 (19). С. 15–25.

22. Сталій розвиток: захист навколишнього середовища.

Енергоощадність. Збалансоване природокористування / за наук. ред. Мальованого М. С. Львів, ЗУКЦ. 2020. 673 с. ISBN 978-617-655-205-5 BOOK DOI:10.23939/book.ecocongress.2020.

URL:<http://science.lpnu.ua/uk/ekokongres-2020/kolektyvna-monografiya>.

23. Carpathian Seismological Network of Ukraine. URL: <http://seism.lviv.ua/> (дата звернення 01.06.2022).

24. Dvory, N. Z., Yang, Y., & Dunham, E.M. (2022). Models of injection-induced aseismic slip on height-bounded faults in the Delaware Basin constrain fault-zone pore pressure changes and permeability. *Geophysical Research Letters*, 49, e2021GL097330, <https://doi.org/10.1029/2021GL097330>.

25. Gahalaut K., Gahalaut V.K. and Pandey M.R. (2007). A new case of reservoir triggered seismicity: Govind Ballav Pant reservoir (Rihand dam), central India. *Tectonophysics*. V. 439, №(1-4). P. 17–178.

26. Kováčiková S., Logvinov I., Nazarevych A., Nazarevych L., Pek J., Tarasov V., Kalenda P. (2016). Seismic activity and deep conductivity structure of the Eastern Carpathians // *Stud. Geophys. Geod.*, 60. P. 1–17, <https://doi.org/10.1007/s11200-014-0942-y>.

27. Li L., Luo G. (2022). What causes the spatiotemporal patterns of seismicity in the Three Gorges Reservoir area, central China? *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 592. 117618, ISSN 0012-821X, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2022.117618>.

28. Schultz, R., Ellsworth, W.L. & Beroza, G.C. (2022). Statistical bounds on how induced seismicity stops. *Sci Rep* 12. 1184, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05216-9>.

29. Selim M.M., Imoto M., and Hurukawa N. (2002). Statistical investigation of reservoir-induced seismicity in Aswan area, Egypt. *Earth, Planetary Space*. V. 54. P. 349–356.

30. Tashlykova T. A. (2012). Specific features of manifestation of induced seismicity in the Bratsk reservoir // *Book of abstracts European Seism. Commission 33-sd General Assembly*. Moscow, 19–24 August 2012. Moscow – Obninsk. P. 233–234.

КОНВЕРСИЯ КАРБОНОВМІСНИХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ ДОВКІЛЛЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМИ МЕТОДАМИ У РОЗПЛАВЛЕНИХ СОЛЯХ

CONVERSION OF CARBON-CONTAINING ENVIRONMENTAL POLLUTANTS BY ELECTROCHEMICAL METHODS IN MOLTEN SALTS

Новоселова І.А., кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник,
Омельчук А.П., доктор хімічних наук, професор, завідувач відділом

*Інститут загальної та неорганічної хімії
ім. В.І. Вернадського НАН України, Київ, Україна*

Novoselova I.A., PhD, senior researcher, **Omel'chuk A.P.**, corresponding
member of the Ukrainian NAS, professor, Dr. of Science, professor, head of
department

*V.I. Vernadsky Institute of general and inorganic chemistry of NAS Ukraine,
Ukraine*

Анотація. Зростання рівня забруднення повітря карбоновмісними сполуками (CO_2 , CH_4) надає сильний негативний вплив на наше життя, довкілля і становить загрозу здоров'ю людини та екосистемам. Водночас, карбоновмісні забруднювачі можуть розглядатися як масштабні вторинні ресурси карбону для отримання нових продуктів з високим потенціалом використання в сучасних технологіях. Розроблено інноваційний екологічно чистий електрохімічний метод із використанням розплавлених солей для прямого поглинання та перетворення CO_2 у тверді карбоновмісні матеріали унікальної структури та морфології (нано-розмірні карбонові трубки, волокна, графен, графіт, карбіди металів та композити на їх основі). Обговорюються умови та механізми електрохімічної конверсії CO_2 та Li_2CO_3 в розплавлених хлоридах. Підкреслюються перспективні застосування електролітичних карбонових наноматеріалів для акумуляторів, суперконденсаторів та каталізаторів.

Abstract. The increase in the level of air pollution with carbon-containing compounds (CO_2 , CH_4) has a strong negative impact on our lives, the environment and poses a threat to human health and ecosystems. At the same time, carbon-containing pollutants can be considered as large-scale secondary carbon resources to obtain new products with a high potential for use in modern technologies. An innovative environmentally friendly electrochemical method with using molten salts for direct absorption and conversion of CO_2 into solid carbon-containing materials of unique structure and morphology (nano-sized carbon

tubes, fibers, graphene, graphite, metal carbides and composites based on them) has been developed. Conditions and mechanisms of electrochemical conversion of CO_2 and Li_2CO_3 in molten chlorides are discussed. Promising applications of electrolytic carbon nanomaterials for batteries, supercapacitors and catalysts are emphasized.

Склад атмосфери Землі та його зміни мають сильний вплив на наше життя та навколишнє середовище. За останнє століття антропогенна діяльність обумовила значне зростання концентрації вуглекислого газу та інших парникових газів (водяна пара H_2O , метан CH_4 , закис азоту N_2O , гексафторид сірки SF_6 та ін.) в атмосфері (рис. 1).

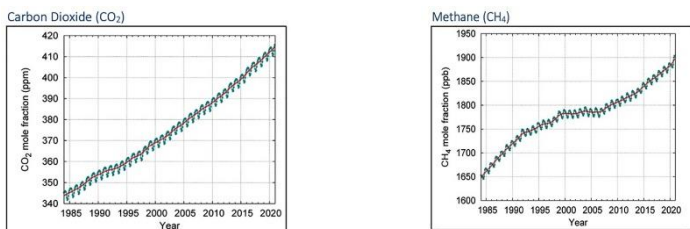


Рис. 1 Середньомісячні показники молярної частки CO_2 та CH_4 в атмосфері Землі з 1984 по 2020 рік. Для аналізу були використані дані 138 станцій.

Klausen J., Volosciuk C., Tarasova O. and Netcheva S. Benefits of atmospheric composition monitoring and international data exchange. *Bulletin of World Meteorological Organization*. 2021. Vol. 70, N 2.

Станом на сьогодні щорічний приріст діоксиду карбону оцінюється величиною приблизно 3200-3600 млн. тонн. На CO_2 припадає більше 80% загальних викидів парникових газів та 66% впливу на клімат планети. Це викликає не лише глобальне потепління планети, але й серйозне погіршення її екологічного стану. Збільшується кислотність природних водойм, тануть льодовики, пришвидшується кругообіг води. В одних регіонах це призводить до інтенсивних опадів та повеней, а в інших – до екстремальній посухи. Тому розробка та пошук ефективних методів утилізації вуглекислого газу набуває пріоритетної наукової та екологічної значимості для світового наукового загалу [1-3].

Можливі декілька шляхів вирішення даної проблеми. Один із них полягає у суттєвому скороченні викидів CO_2 , головним чином за рахунок часткової й навіть повної відмови від використання кам'яновугільних, нафтових та газових ресурсів. Такий підхід до певної міри сприятиме значному погіршенню життєвого рівня населення планети.

Інший варіант передбачає використання CO_2 як поновлюваний карбоновий ресурс. Діоксид карбону із забруднювача доквілля стає цінним джерелом сировини для виробництва палива та інших хімічних продуктів із корисними властивостями та доданою вартістю. Концепція, що передбачає конверсію CO_2 у корисні для промисловості сполуки та речовини, передбачає реалізацію замкненого карбонового циклу. Користь від реалізації такого циклу очевидна. По-перше, зменшується екологічний тиск на доквілля, по-друге, утворюється цінна вихідна сировина для синтезу. Розрізняють декілька способів утилізації CO_2 : біологічні, хімічні та фізичні. Серед хімічних методів конверсії вуглекислого газу слід звернути увагу на електрохімічний – трансформацію діоксиду карбону за рахунок електричної енергії. Електрохімічне перетворення CO_2 можна здійснювати в газовому, водному, неводному (наприклад, апротонні розчинники та іонні рідини), твердотільному та розплавленому середовищах у широкому інтервалі температур (від кімнатних до 1100 К). В залежності від умов реалізації процесу (склад електролізної ванни, температури, густини струму, природи електродних матеріалів та конструкції електрохімічного реактору) можна цілеспрямовано впливати на хімічний склад електродних продуктів. Основними продуктами відновлення можуть бути закис карбону (CO), мурашина кислота (HCOOH), метан (CH_4), метанол (CH_3OH), формальдегід (CH_2O), шавлева кислота ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), етилен (C_2H_4), етанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), вуглець різних модифікацій, у тому числі карбонові трубки, волокна, аморфні нанофази, фулерени, графен, тощо, а також карбіди металів різного складу, будови та морфології.

Особливістю реакторів електрохімічної конверсії CO_2 є те, що в залежності від агрегатного складу електроліту, вони повинні забезпечувати ефективне перенесення заряду через межу розділу фаз: електрод/діоксид карбону/електроліт. У деяких випадках, наприклад, при синтезі цільових продуктів у газовій фазі, у таких реакторах може бути використана мембрана для розділу електродних просторів.

Зазвичай, на катоді відновлюють діоксид карбону. На аноді протікають супутні окиснювальні процеси, як правило, виділення кисню. Для підвищення ефективності відновлення CO_2 , часто використовують каталізатори, як у катодному, так і анодному процесах.

Головною перевагою електрохімічного методу конверсії CO_2 у порівнянні з іншими є можливість цілеспрямованого керування процесом (отриманням бажаних продуктів заданого складу) шляхом підтримання необхідних для цього параметрів електролізу (режимами поляризації електродів, густини струму та кількості пропущеної електрики). Крім зазначених факторів, керувати процесом можна за допомогою низки інших параметрів, а саме: природою та складом електроліту, складом, структурою

та морфологією матеріалів електродів, робочою температурою процесу та конструкцією електролізера. Серед переваг електрохімічної конверсії CO_2 слід відзначити невисокі питомі витрати реагентів та електроенергії.

Однак, існують певні недоліки даного процесу, серед яких зазначаємо невисоку швидкість процесу (струм відновлення), навіть при використанні каталізаторів. Для подолання цього недоліку у реакторах створюють підвищений тиск вуглекислого газу. Процес електрохімічного перетворення CO_2 у CO , синтез газ (H_2+CO) та функціональні карбонові матеріали з використанням розплавлених солей як реакційного середовища відомий у літературі [4], як «molten salt CO_2 capture and electrochemical transformation (MSCC-ET)». У загальному вигляді MSCC-ET процес представлено на рис. 2.

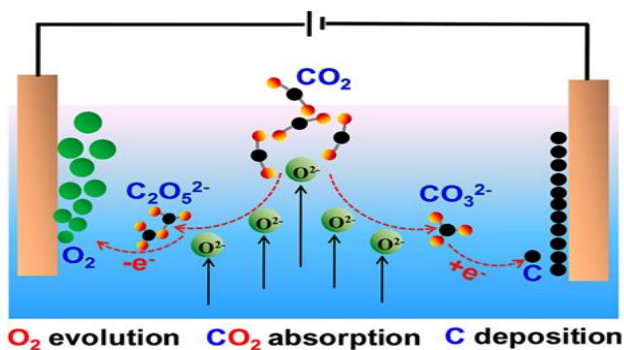


Рис. 2 Схема процесу поглинання та електрохімічного перетворення CO_2 в розплавлених солях (MSCC-ET).

Weng W., Tang L., Xiao W. Capture and electro-splitting of CO_2 in molten salts. Review. *Journal of Energy Chemistry*. 2019. Vol. 28. P. 128–143.

Дослідженню цього процесу присвячено велику кількість оригінальних статей, оглядів і навіть книг [4-10]. Розрізняють пряме [11,12] та непряме [5,13-15] відновлення CO_2 у сольових розплавах. Експериментальні дослідження з прямої конверсії CO_2 (електровідновлення розчиненого у хлоридних розплавів газу під надлишковим тиском 3 атм. та вище) були розпочати у Києві в ІЗНХ НАН України у 1970-х роках для розробки карбонатного паливного елемента та оцінки можливості регенерації кисню із CO_2 . Потім дослідження були продовжені спочатку у 1980-х роках для розробки високотемпературного електрохімічного синтезу (ВЕС) тугоплавких карбідів, а потім у 2000-х роках для розробки ВЕС порошоків карбонівих нано-матеріалів (КНМ) та тугоплавких карбідів із

різною структурою та морфологією для використання у електрокаталізі [16]. Непряме електрохімічне перетворення CO_2 до карбону реалізують шляхом електролізу розплавлених карбонатних, хлоридно-карбонатних та хлоридно-оксидних суміш в чистій, чи змішаній ($\text{N}_2\text{-CO}_2$) атмосфері CO_2 , або під його тиском (не більш 1 атм.).

Автори зазначених робіт пропонують різні механізми для опису процесів, що відбуваються. Так у роботі [13] передбачається, що спочатку відбувається електрохімічне відновлення розчинених оксидів металів до металу, який надалі термохімічно відновлює розчинений CO_2 до карбону. Інші автори [5,15] вважають, що спочатку відбувається поглинання (абсорбція) розплавом CO_2 завдяки реакції з оксид іонами O^{2-} з утворенням карбонат-іонів CO_3^{2-} , які далі відновлюються на катоді. Багато питань щодо морфології, структури і дисперсності вуглецевих продуктів відновлення однозначно не розкрито й досі. Найчастіше вивчали електровідновлення карбонату літію як у чисто карбонатних, так і змішаних галогенідно-карбонатних розплавах, але літературні відомості містять цілу низку розбіжностей. Наприклад, не визначено єдиного механізму, за яким відбувається електровідновлення Li_2CO_3 і як склад газового середовища впливає на цей механізм, точно не встановлено потенціали, за яких утворюється карбон, не враховано вплив катіонного оточення на особливості розряду карбонат-аніону та морфологічні і структурні властивості вуглецевих фаз, не з'ясовано, які електрохімічно-активні частинки (ЕХАЧ) беруть участь у процесі. Є також суперечності в інтерпретації отриманих даних і запропонованих механізмів електродних процесів.

У цій статті приведено результати досліджень прямої електрохімічної конверсії діоксиду карбону та карбонату літію, які розчинені в сумішах розплавлених хлоридних солей, під тиском вуглекислого газу. Особливістю відновлення CO_2 в розплавлених солях, на відміну від водних, органічних, твердих електролітів та іонних рідин, є можливість формування на катоді карбонувмісних сполук різного складу, будови та морфології у твердому стані. Інформація про закономірності електродних процесів за участю CO_2 та залежність складу синтезованих речовин від умов електролізу необхідна для створення наукової бази керованого електрохімічного синтезу таких матеріалів, як: вуглецеві нанотрубки, нановолокна, графен, аморфний вуглець, графіт, карбіди тугоплавких металів та численні композити на їх основі.

Мета роботи – вивчення закономірностей прямого електрохімічного відновлення діоксиду карбону під надлишковим парціальним тиском (1-17 атм.) в електролітичній комірці, а також карбонату літію у хлоридних розплавах з газовою атмосферою різного складу (повітря, аргон, CO_2) в

інтервали температур 800-1000 К і виявлення механізмів процесів, зв'язку між умовами синтезу та складом продуктів, які при цьому утворюються.

Електрохімічні дослідження проводили в сталевому реакторі автоклавного типу, що був сконструйований і виготовлений на Дослідному виробництві при ІЗНХ НАНУ. Реактор дозволяє працювати при температурі розплаву до 1200 К та надлишковому тиску газу до 20 атм. Автоклав був виготовлений із нержавіючої сталі X18H10T. Загальний вигляд та схему електрохімічної комірки наведено на рис. 3. Реактор поміщали у вертикальну піч СШОЛ-1.1.6 з регулюванням температури за допомогою електронного потенціометру КВП-1503. Температуру контролювали платина-платинородієва термопарою. Контейнером для розплаву були платиновий, скловуглецевий або алундовий тигель, робочий електрод – платинові, золоті, скловуглецеві голчасті електроди або пластини площею від 0,2 до 4, см², анод – напівзанурені скловуглецеві пластини (площа 10 см²).

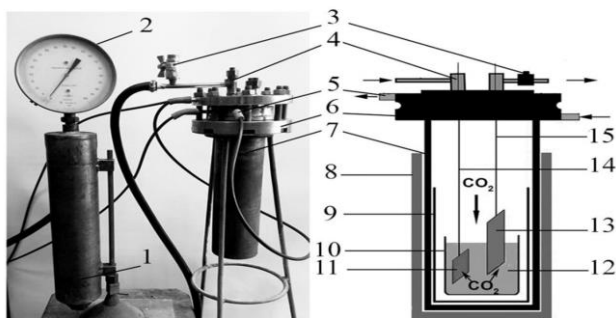
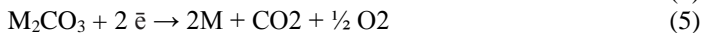
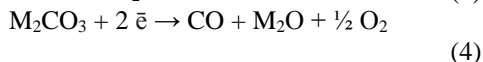
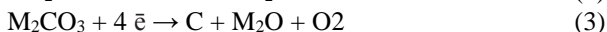


Рис. 3 Схема та зовнішній вигляд установки: 1 – сталевий ресивер із силікагелем для осушення газу; 2 – манометр; 3 – кран для скидання тиску; 4 – патрубок для подачі CO₂; 5 – система водного охолодження; 6 – сталева кришка реактора; 7 – сталевий автоклав; 8 – електрична піч; 9 – кварцова склянка; 10 – Pt тигель; 11 – катод; 12 – сольовий розплав; 13 – анод; 14 – Pt дріт – струмопідведення до катоду; 15 – Pt струмопідведення до аноду.

Термодинамічний аналіз можливих шляхів електровідновлення CO₂ та карбонатів лужних металів на основі розрахунків їх теоретичних напруг розкладання ($E^0_{\text{розкл.}} = -\Delta G^0T / n \cdot F$) із використанням термохімічних даних [17,18] у інтервалі температур 400-1200 К показав, що катодним продуктом може бути: тверда фаза карбону; монооксид карбону; лужний метал відповідно до реакцій (1) - (5):



де М – лужний (Li, Na, K) метал.

Теоретичні значення напруг розкладання Li_2CO_3 , Na_2CO_3 і K_2CO_3 , при різних температурах із утворенням відповідних продуктів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Термодинамічні значення напруг розкладання карбонатів лужних металів до твердого карбону (С), монооксиду карбону (СО) та відповідного металу (М) за різних температур. (E_C , E_{CO} і E_M відн. $\text{CO}_3^{2-}/\text{CO}_2\text{-O}_2$)

T, K	Metal	E_C^0, V	E_{CO}^0, V	E_M^0, V
400	Li	2.26	2.94	3.67
	Na	3.04	3.97	3.24
	K	3.61	4.73	3.32
800	Li	1.79	2.12	3.07
	Na	2.60	3.21	2.65
	K	3.13	3.91	2.70
1200	Li	1.45	1.49	2.56
	Na	2.22	2.52	2.09
	K	2.68	3.13	2.01

Із точки зору термодинаміки, чим менша напруга розкладання для катодного процесу, тим легше йде цей процес. З підвищенням температури напруга розкладу зменшується, що свідчить про більшу ймовірність перебігу даного процесу. У порівнянні з Na_2CO_3 та K_2CO_3 при одній і тій же температурі значення напруги, необхідної для розкладання Li_2CO_3 з утворенням електролітичного карбону (С), менше, ніж у випадку, коли утворюється монооксид карбону СО або метал Li (М). Це свідчить про те, що розкладання Li_2CO_3 протікає переважно із утворенням карбону. Значення напруг розкладання Na_2CO_3 та K_2CO_3 при електролізі, що супроводжується осадженням відповідного лужного металу (М), менше, ніж напруг, необхідний для утворення карбону (С) та СО, тому найбільш вірогідним продуктом відновлення карбонатів натрію та калію буде лужний метал. Із огляду на це, в якості прекурсору для дослідження процесів електролітичного відновлення карбоновмісних сполук використовували карбонат літію.

Розрахунок напруг розкладу CO_2 (рис. 4) показав, що утворення твердого карбону є найбільш енергетично вигідним до температури 1000 К згідно реакції (1). При вищих температурах більш термодинамічно вигідним процесом буде виділення монооксиду карбону за реакцією (2).

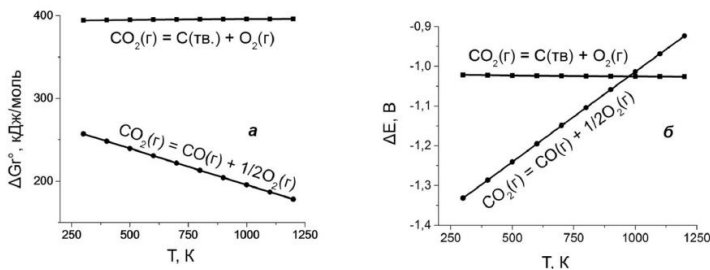


Рис. 4. Зміни стандартної вільної енергії Гіббса (а) для реакції відновлення CO_2 до карбону і CO та їх відповідні напруги розкладання (б) при різних температурах

Електрохімічну поведінку діоксиду карбону в розплавлених сольових сумішах (склад у мол.%) $\text{NaCl}(50,0)\text{--KCl}(50,0)$, $\text{NaCl}(30,0)\text{--KCl}(24,5)\text{--CsCl}(45,5)$, $\text{NaCl}(42,3)\text{--KCl}(42,3)\text{--NaF}(15,4)$ під надлишковим тиском (1,0÷17 атм.) вивчали методом циклічної вольтамперометрії при різних швидкостях сканування потенціалу ($0,02\div 10 \text{ В}\cdot\text{с}^{-1}$) та в різних діапазонах розгортки потенціалу на платиновому, золотому та скловуглецевому голчастих електродах (рис. 5).

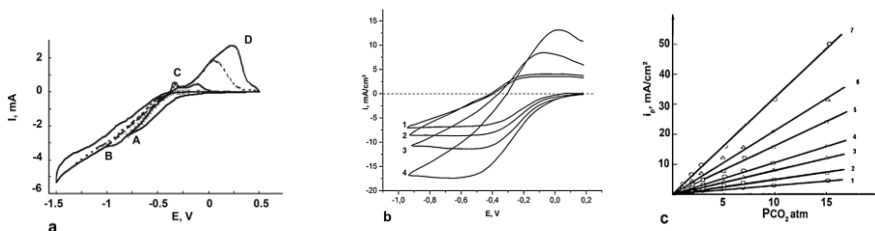


Рис. 5. Циклічні вольтамперограми системи Na,K|Cl-CO_2 (10 атм) на Pt-електроді ($S_{\text{Pt}} = 0,17 \text{ см}^2$) при 1023 К: (а) з різними потенціалами реверса, $V = 0,1 \text{ В}\cdot\text{с}^{-1}$; (б) при різних швидкостях сканування потенціалу, $\text{В}\cdot\text{с}^{-1}$: (1) 1; (2) 2; (3) 5; (4) 10; (с) залежність i_p від тиску CO_2 в розплавах Na,K|Cl (1-6) і Na,K|Cl,F (7) при різних швидкостях сканування потенціалу, $\text{В}\cdot\text{с}^{-1}$: (1) 0,1; (2) 0,2; (3) 0,5; (4) 1; (5,7) 5; (6) 10

Встановлено, що при швидкостях сканування потенціалу менших за $0,2 \text{ В} \cdot \text{с}^{-1}$ електровідновлення діоксиду карбону протікає у дві стадії (рис. 5а), електродний процес контролюється закономірностями змішаної кінетики (рис. 5б). Встановлено, що у розплавах Na,K|Cl та Na,K|Cl,F в досліджуваному інтервалі тисків ($1,0 \div 17 \text{ атм.}$) розчинність CO_2 описується законом Генрі (рис. 5с). Відновлення CO_2 відбувається за механізмом ЕСЕ (electrochemical–chemical–electrochemical reaction).

Перша електрохімічна стадія: необоротне відновлення CO_2 до CO_2^{2-} радикала:



Друга хімічна стадія: дисоціація радикалу CO_2^{2-} з утворенням монооксиду карбона окисен аніона:



Третя електрохімічна стадія: необоротне електровідновлення CO до вільного карбону:



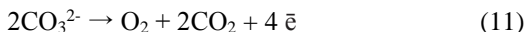
Одночасно діоксид карбону є акцептором аніонів оксигену та джерелом утворенням карбонат аніонів:



Отже, загальна катодна реакція може бути представлена таким чином:



На аноді розряджаються аніони оксигену (O^{2-}) та оксокарбону (CO_3^{2-}) з виділенням кисню.



Загальний підсумок електрохімічних перетворень на електродах можна представити схемою:



Електрохімічне відновлення Li_2CO_3 в розплавленій еквімолярній суміші Na,K|Cl в різних газових середовищах (повітря, аргон, діоксид карбону) при температурі 1023 К вивчали методом циклічної вольтамперометрії. Відновлення Li_2CO_3 до карбону на повітрі відбувається через стадію попередньої хімічної реакції кислотно-основного типу з утворенням двох електрохімічно активних частинок CO_2 (хвиля K_1) і $\{\text{Li}_x\text{CO}_3\}^{2-x}$ (хвиля K_2), які утворюються відповідно при потенціалах $-0,8$ та $-1,7 \text{ В}$ відносно Pb|PbCl_2 електрода порівняння (рис. 6). Обидва процеси

незворотні, причому лімітуючою стадією відновлення $\{Li_xCO_3\}^{2-x}$ є дифузія деполаризатора до поверхні електроду.

В атмосфері аргону (рис. 7а) та вуглекислого газу (рис. 7б) у процесі електровідновлення приймає участь лише $\{Li_xCO_3\}^{2-x}$.

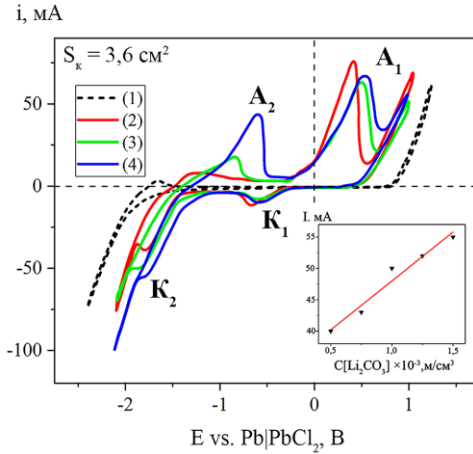


Рис. 6. Вольтамперограми платинового електроду у розплаві Na,K|Cl (1), що містив $Li_2CO_3 \times 10^{-3}$ моль/см³: (2) – 0,5, (3) – 1,0, (4) – 1,5. $t = 750$ °C; $V = 0,1$ В/с; ЕП - Pb|PbCl₂; атмосфера повітря. Вставка – залежність сили струму хвилі K₂ від концентрації Li₂CO₃.

За зміни атмосфери з повітря на CO₂ і поступовому збільшенні його тиску над розплавом висота хвилі K₁ зменшується і за тиску 5 атм. її практично не реєструють, у той час як висота хвиль K₂ і A₂ збільшується (рис. 7, б).

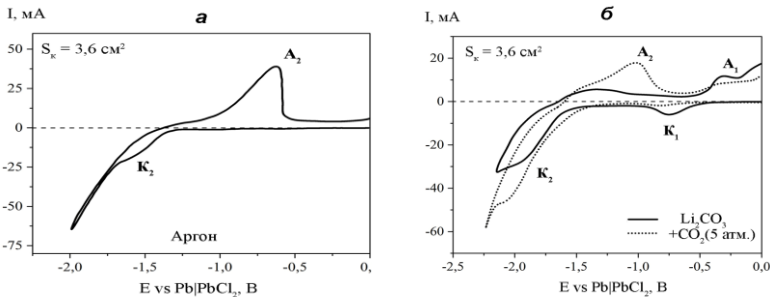


Рис. 7. Вольтамперограми платинового електроду у розплаві Na,K|Cl–Li₂CO₃ ($0,75 \times 10^{-3}$ моль/см³) в атмосфері аргону (а), повітря та вуглекислого газу за тиску 5 атм. (б).

На основі аналізу експериментальних даних можна запропонувати наступний механізм електровідновлення Li_2CO_3 у хлоридному розплаві.

Перша катодна хвиля K_1 відповідає електровідновленню CO_2 . Цей процес можна описати загальним рівнянням (9). CO_2 утворюється в результаті термічної дисоціації Li_2CO_3 за хімічною реакцією (13):



Рівновага (13) чутлива до змін газового середовища над розплавом, оскільки в інертному середовищі аргону та в атмосфері CO_2 , на вольтамперограмах (рис. 7) фіксують лише катодну хвилю K_2 ($E_{\text{п}2} = -1,5 \text{ В}$) і відповідну їй анодну хвилю A_2 ($E_{\text{п}2} = -0,7 \text{ В}$), а хвилі K_1 та A_1 відсутні. Відсутність цих хвиль пояснюється тим, що при зміні атмосфери відбувається зміщення рівноваги (13) у ліву сторону.

За потенціалу катодної хвилі K_2 відбувається електровідновлення Li_2CO_3 (ЕХАЧ – $\text{Li}_x\text{CO}_3^{2-x}$) з утворенням карбону за реакцією (4):



Електрохімічні процеси (9) та (14) є незворотними, оскільки потенціал обох хвиль зі зміною швидкості сканування змінюються, а також різниця між потенціалами ($E_{\text{п}K_1} - E_{\text{п}A_1}$) і ($E_{\text{п}K_2} - E_{\text{п}A_2}$) значно більша, ніж для 4-х електронного оборотного переносу заряду.

За потенціалів анодних хвиль A_1 та A_2 відбуваються окиснення карбонового продукту катодного циклу вольтамперограми, які можуть бути представлені такими реакціями:



Не виключено, що під час електролізу може утворюватись карбід літію Li_2C_2 у результаті сумісного електровідновлення іонів літію та карбонату, який за температур, вищих за 923 К, може розкладатися на літій і карбон.

Із метою ідентифікації продуктів електровідновлення (природи катодних хвиль) CO_2 та Li_2CO_3 та визначення їх характеристик проведено електролізу у потенціо- та гальвано- статичних режимах. Склад електролітів і одержаних продуктів, умови та параметри електролізів наведено у таблиці 2.

Після електролізу на катоді утворювалися темні сольові «груші» – тверда суміш продуктів електролізу та електроліту. Частина продукту було розподілено по всьому об'єму електроліту. Збиралися обидві фази та окремо аналізувалися. Сольова складова добре розчинялася у гарячій дистильованій воді, при цьому на дні стакана залишався дисперсний чорний порошок, який відмивали при кип'ятінні до негативної реакції на хлорид-йон. Отриманий порошок сушили за температури 378–403 К на повітрі.

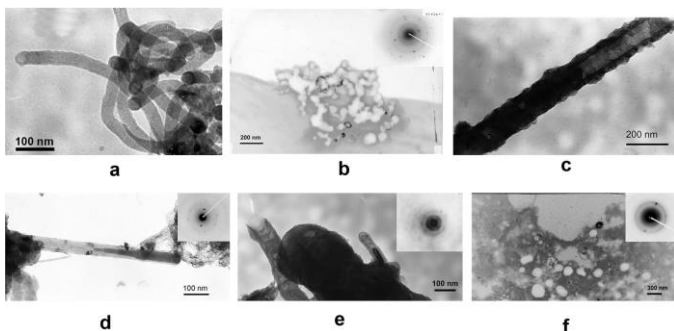
Таблиця 2. Умови та параметри електролізів по отриманню карбонових продуктів

№ з/п	Склад ванни, матеріал катоду	Параметри електролізу					Склад та характеристика продуктів
		Тиск CO ₂ , атм.	T, К	τ, год.	E _к , В i _к , А/см ²	Вихід продукту	
1	NaCl-KCl, катод – СВ; Pt	10	950-1023	5	E _к =-1.0 i _к =0,10	0.060 г/А·год.	40 об.% БКНТ
2	NaCl-KCl-CsCl катод – Pt	15	823	5	E _к =-1.0 i _к =0,10	0.560 г/А·год.	Аморфний карбон + нано- Pt + 4 об.% БКНТ
3	NaCl-KCl - Li ₂ CO ₃ катод – Pt	0	1023	2	E _к =-1.0 i _к =0,08	40 %	карбон «сото-подібної» морфології
4	NaCl-KCl - Li ₂ CO ₃ катод – СВ; Pt	0	1023	2	E _к =-1.7 i _к =0,15	60 %	карбон «пластівце-подібної» морфології

τ – тривалість електролізу; E_к та i_к – катодні потенціал і густина струму; БКНТ – багатостінні карбонові нанотрубки; СВ – склоуглець

Методами РФА, ТЕМ, СЕМ, КР- та ЕПР- спектроскопії встановлено, що продуктом відновлення у вивчених розплавлених сумішах солей за різних умов електролізу є нано-розмірний твердофазний вуглець різної структури та морфології (аморфний вуглець, багатостінні карбонові нанотрубки, нановолокна, оксид графену). На рис. 8 та рис. 9 наведено загальний вигляд синтезованих із CO₂ та Li₂CO₃ карбонових фаз у ТЕМ та СЕМ зображеннях.

Із наведених на рис. 8 та 9 зображень видно, що морфологія електролітичного карбону, а значить і його властивості кардинальним чином залежать від складу ванни та умов електролізу. Так у системі Na,K|Cl-CO₂ можуть утворюватися карбонові нанотрубки (рис. 8), причому їх відсоток у загальній масі карбонового продукту зростає з підвищенням тиску газу, температури та падає зі зростанням густини катодного струму. Що стосується карбону, отриманого із системи Na,K|Cl-Li₂CO₃, то тут видно, що морфологія продукту отриманого з CO₂ (при потенціалі першої хвилі E_{к1} = -1.0 В) (рис. 9а) має стільникову (сото-подібну) структуру з нано-розмірними осередками, що забезпечує їй малу питому вагу та велику жорсткість. Морфологія вуглецю, отриманого при потенціалі другої хвилі E_{к2}=-1.8 В (рис. 9б), представляє пластівце- подібний карбон, що складається з неупорядкованих лусок.



**Рис. 8. ТЕМ-зображення різних продуктів електролітичного карбону, що утворюються в системах: (1) Na,K|Cl-CO₂ (10 атм.) (a, c, d, e) та (2) Na,K,Cs|Cl-CO₂ (15 атм.) (b, f) електролізом на постійному струмі при T = 1023 і 823 К відповідно та електронні-дифрактограми (вставки).
Взято з посилання [18]**

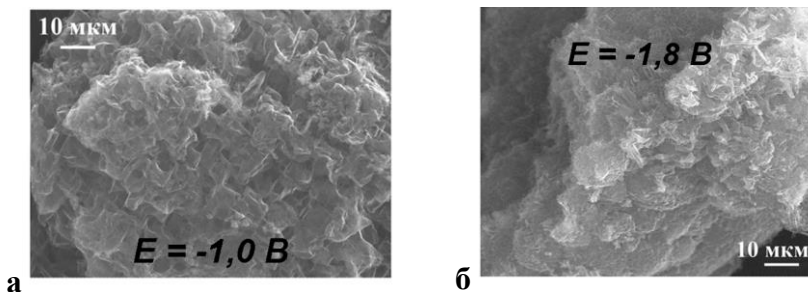


Рис. 9. СЕМ- зображення продуктів, одержаних із системи Na,K|Cl-Li₂CO₃ (5 мас.%) при катодних потенціалах (а) -1.0 В; (б) -1.8 В, T = 1023 К

Передбачається продовження досліджень з управління структурою та морфологією електролітичного карбону у твердому стані для отримання продуктів із заданими властивостями з перспективою цільового їх застосування в різних областях. Із літературних джерел відомо, що сполуки карбону, одержані методом MSCC-ET, мають перспективу практичного використання для створення надміцних композитних матеріалів [8], суперконденсаторів [6], носіїв каталізаторів для хімічних джерел струму [20,21], для зберігання та перетворення енергії [17], для зберігання газу, наноелектроніки тощо.

Використані інформаційні джерела:

1. Fennell P. S., Shah N., Maitland G. C. The role of CO₂ capture and utilization in mitigating climate change. *Nat. Clim. Change*. 2017. Vol. 7. P. 243–249.
2. Chu S., Majumdar A. Opportunities and challenges for a sustainable energy future. *Nature*. 2012. Vol. 488. P. 294–303.
3. Chu S., Cui Y., Liu N. The path towards sustainable energy. *Nat. Mater.* 2016. Vol. 16. P. 16–22.
4. Weng W., Tang L., Xiao W. Capture and electro-splitting of CO₂ in molten salts. Review. *J. of Energy Chemistry*. 2019. Vol. 28. P. 128–143.
5. Ijije H. V., Sun Ch., Chen G. Z. Indirect electrochemical reduction of carbon dioxide to carbon nanopowders in molten alkali carbonates: Process variables and product properties. *Carbon*. 2014. Vol. 73. P. 64–73.
6. Ijije H. V., Lawrence R. C., Chen G. Z. Carbon electrodeposition in molten salts: electrode reactions and applications. *RSC Adv.* 2014. Vol. 4. P. 35808–35817.
7. Jiang R., Gao M., Mao X., et al. Advancements and potentials of molten salt CO₂ capture and electrochemical transformation (MSCC–ET) process. *Curr. Opin. Electrochem.* 2019. Vol. 17. P. 38–46.
8. Kamali A.R. Green production of carbon nanomaterials in molten salts and applications. Springer Nature Singapore Ltd, 2020. 265 p.
9. Liu X., Wang X., Licht G. et al. Transformation of the greenhouse gas carbon dioxide to graphene. *J. of CO₂ Utilization*. 2020. Vol. 36. P. 288–294.
10. Wang P., Wang M., Lu J. Electrochemical conversion of CO₂ into value-added carbon with desirable structures via molten carbonates electrolysis. *RSC Adv.* 2021 Vol. 11. P. 28535–28541.
11. Novoselova I. A., Volkov S. V., Oliynyk N. F. et al. High-Temperature electrochemical synthesis of carbon-containing inorganic compounds under excessive carbon dioxide pressure. *J. Min. Metall. Section: B*. 2003. Vol. 39. P. 281–293.
12. Novoselova I. A., Kuleshov S. V., Volkov S. V. et al. Electrochemical synthesis, morphological and structural characteristics of carbon nanomaterials produced in molten salts. *Electrochimica Acta*. 2016. Vol. 211. P. 343–355.
13. Otake K., Kinoshita H., Kikuchi T. et al. CO₂ gas decomposition to carbon by electro-reduction in molten salts. *Electrochimica Acta*. 2013. Vol.100. P. 293–299.
14. Ijije H. V., Lawrence R. C., Chen G. Z. Carbon electrodeposition in molten salts: electrode reactions and applications, *Royal Society of Chemistry Advances*. 2014. Vol. 4. P. 35808–35817.

15. Chery D., Lair V., Cassir M. Overview on CO₂ valorization: challenge of molten carbonates. *Frontiers in Energy Research*. 2015. Vol. 43. doi:<http://dx.doi.org/10.3389/fenrg.2015.00043>.
16. Novoselova I. A., Kuleshov S. V., Fedoryshena E. N. et al. Electrochemical synthesis of tungsten carbide in molten salts, its properties and applications. *ECS Transactions*. 2018. Vol. 86, 14. P. 81–94.
17. Malcolm W. Chase, Jr. JANAF Thermochemical Tables Fourth Edition. №9. National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, Maryland. 1998. 1951 p.
18. Barin I. Thermochemical data of pure substances. Weinheim: VCH, 1995. 1885 p. (Third Edition).
19. Hughes M. A., Allen J. A., Donne S. W. Optimized electrolytic carbon and electrolyte systems for electrochemical capacitors. *Chem. Electro. Chem.* 2020. Vol. 7. P. 266–282.
20. Ge J., Hu L., Wang W. et al. Electrochemical conversion of CO₂ into negative electrode materials for Li-ion batteries. *Chem. Electro. Chem.* 2015. Vol. 2, 2. P. 224–230.
21. Groult H., Kaplan B., Lantelme F. et al. A preparation of carbon nanoparticles from electrolysis of molten carbonates and use as anode materials in Li-ion batteries. *Solid State Ionics*. 2006. Vol. 177. P. 869–875.

УТИЛІЗАЦІЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ВІДХОДІВ МЕТОДОМ МЕХАНОАКТИВАЦІЇ РЕЧОВИН

UTILIZATION OF HYDROCARBON WASTE BY THE METHOD OF MECHANICAL ACTIVATION OF SUBSTANCES

Орфанова М. М., кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології, **Яцишин Т. М.**, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри технології захисту навколишнього середовища

*Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу, Україна*

Orfanova M., Ph.D. in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ecology, **Yatsyshyn T.**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Environmental Protection Technology

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Ukraine*

Анотація. Показана актуальність проблеми утилізації вуглеводневих відходів нафтогазового комплексу. Визначені основні види вуглеводневих відходів. Доведена складність вирішення проблем утилізації та переробки відходів нафтогазового виробництва. Розглянута можливість використання методу механічної активації речовин для утилізації відходів. Проаналізовано дослідження в напрямі використання ефектів механічної активації речовин для переробки мінеральної вуглеводневої сировини: вугілля, торфу, сланців, нафтонасичених пісків, каустобіолітів, гудронів, газу. Досліджено фізико-хімічні зміни у твердих речовинах в умовах інтенсивних механічних навантажень. Наведені результати досліджень використання нафтошламів для підготовки асфальтобетонних сумішей. Аналіз результатів дослідження з паливним мазутом показав перспективи використання механоактивації для збільшення виходу легких фракцій. Акцентується увага на можливості регулювання фізико-хімічних процесів у вуглеводневих відходах шляхом зміни часу їх механоактиваційної обробки. Зроблено висновок щодо перспективності отримання паливних сумішей із вуглеводневих відходів.

Abstract. The urgency of the problem of disposal of hydrocarbon wastes of the oil and gas complex is shown. The main types of hydrocarbon wastes are

determined. The complexity of solving the problems of disposal and processing of oil and gas production waste has been proven. The possibility of using the method of mechanical activation of substances for waste recycling is considered. Studies of the possibility of using the effects of mechanical activation of substances for the processing of mineral raw materials (coal, peat, shale, oil-saturated sands, caustobiolites, tars, gas.) have been analyzed. Physical and chemical changes in solids have been studied under conditions of intense mechanical stress. The results of studies on the use of oil sludge for the preparation of asphalt mixtures are given. Analysis of the results of the study with fuel oil wastes is showed the prospects for using mechanical activation to increase the yield of light fractions. Attention is focused on the possibility of controlling physical and chemical transformations in hydrocarbon waste by changing the time of their processing. It is concluded that it is promising to obtain fuel mixtures from hydrocarbon waste.

Економічний розвиток України відбувається в умовах гострого дефіциту пального, зростаючих темпів його споживання на тлі зруйнованих об'єктів нафтогазової інфраструктури. В сучасних реаліях все більшої актуальності набувають питання раціонального використання паливно-енергетичних сировинних ресурсів, комплексної переробки сировини з дотриманням підвищених вимог до охорони навколишнього середовища. Для всіх галузей промисловості важливим також є залучення у виробничі процеси відходів, які можна розглядати як техногенні сировинні ресурси. І вуглеводневі відходи є не винятком. Проте, на відміну від інших галузей промисловості, вони характеризуються досить різноманітним хімічним складом і, відповідно, різноманітними фізико-хімічними властивостями. Така специфічна характеристика відходів нафтогазової галузі ускладнює можливість як їх подальшої переробки та утилізації, так й зберігання або захоронення. І тому питання поводження з відходами нафтогазового виробництва залишається складним питанням для нафтогазових компаній України та компаній нафтогазовидобувних країн світу.

Використання альтернативних методів впливу на речовину дозволяє розширити базу напрямків розробки технологій переробки мінеральної сировини та промислових відходів. Одним із таких методів є метод механічної активації речовин, який дозволяє змінювати реакційну здатність речовини в умовах інтенсивних технологічних навантажень.

Мета досліджень полягає у вивченні ефективності використання методу механічної активації речовин в напрямках утилізації та переробки вуглеводневих відходів.

Науково-дослідницьким завданням є визначення видів вуглеводневих відходів, вивчення їх характеристик та властивостей, аналіз ефектів впливу механічної дії на речовини різного агрегатного стану, формулювання

основних принципів використання методу механоактивації для утилізації вуглеводневих відходів нафтогазового виробництва.

Нафтогазова галузь охоплює комплекс стадій нафтогазового виробництва: пошук та розвідка родовищ нафти і газу, будівництво свердловин, видобування вуглеводнів, їх переробка, транспортування та зберігання нафти, газу та продуктів їх переробки. На всіх цих стадіях утворюються значні обсяги відходів, а деякі з них належать до багатотоннажних відходів виробництва. З іншого боку, у технологічних процесах використовуються численні реагенти, каталізатори, поверхнево-активні речовини, інгібітори, луги, кислоти та інші небезпечні речовини, які переходять у складову відходів. Саме відходи є одним із основних чинників забруднення компонентів навколишнього середовища. Для зменшення негативного впливу виробничих процесів нафтогазового комплексу на довкілля необхідно володіти інформацією про небезпечні технологічні процеси, при яких відбувається утворення відходів, визначити можливі напрямки зменшення об'ємів їх нагромадження.

Найбільша кількість відходів утворюється при експлуатації нафтогазових родовищ, у процесі підготовки нафти, зачистці нафтових резервуарів, випробовуванні та капітальному ремонті свердловин, аварійних розливах при видобуванні та транспортуванні нафти, на нафто- та газопереробних заводах у процесах переробки вуглеводнів. Основними вуглеводневими відходами нафтогазового виробництва є відпрацьовані нафтопродукти, нафтошлами механічного очищення стічних вод, осади резервуарів, кубові залишки, відходи нафтових масел, залишки високов'язких нафт, мазут, конденсат газовий некондиційний, відходи регенерації емульсії, кислі гудрони [1]. Але найбільш поширеними з них є нафтові шлами, стійкі водонафтові емульсії, кислі гудрони, мазут.

Нафтошлами утворюється на [1, 2]:

– нафтогазовидобувних підприємствах у процесі первинної підготовки нафти, джерелами їх утворення є кульові відстійники I і II ступеня підготовки, де відбувається часткова деемульсація, знесолення і зневоднення нафти, а зберігання відходів проводиться в амбарах-накопичувачах;

– нафтопереробних заводах накопичуються в резервуарах для зберігання нафти і темних нафтопродуктів, на очисних спорудах, у системі оборотного водопостачання і при очищенні резервуарів;

– газопереробних заводах при очистці води промислових стоків.

Нафтошлами характеризуються нестабільним відсотковим складом компонентів, що залежить від технологічного процесу, при якому вони утворились [1-4]: нафтопродукти – 10-56%, вода – 30-85% і тверді домішки – 1,3-46%. За даними, склад вуглеводневої частини нафтошламів та

осаду амбарів свідчать про те, що до їх складу входить близько 80 компонентів, більша частина з яких представлена парафіновими вуглеводнями від C_6 до C_{23} : насичені – 40-45%; ароматичні – 50-55%; смоли та асфальтени – 4-7%. Для осадів нафтошламових амбарів характерним є значний вміст механічних домішок, основними складовими яких є SiO_2 – 57-65%, Al_2O_3 – 10,2-14%, CaO – 8,2-13,2%, Fe_2O_3 – 3,8-4,9%, $CaCO_3$ – 0,2-0,5%.

Аналіз фізико-хімічних властивостей нафтошламів показує, якщо щойно утворенні нафтошлами по фракційному складу наближаються до товарної нафти, то з часом частина нафтових фракцій випаровується, що сприяє збільшенню концентрації стабілізаторів, і нафтошлами переходять до стану стійкої емульсії. Нафтошлами нагромаджуються і зберігаються в амбарах-накопичувачах. І в процесі їх тривалого зберігання відбувається процес природного перемішування вмісту амбару та відстій. Гідроізоляція амбару повністю не запобігає фільтраційним процесам, що приводить до забруднення ґрунтів, водоносних горизонтів і поверхневих вод. Складність процесу переробки відходів нафтошламових амбарів полягає у стійкості нафтових емульсій, значному вмісті механічних домішок та їх неоднорідності.

Кислі гудрони [1, 2, 5] являють собою смолоподібні високов'язкі маси, які містять у своєму складі вільну сірчану кислоту, різноманітні органічні сполуки та воду. Вони утворюються у процесах сірчанокислотної очистки деяких нафтопродуктів. Під час зберігання кислів гудронів наявність в них сірчаної кислоти приводить до реакції сульфування, полімеризації, поліконденсації, а також до вимивання кислоти атмосферними та ґрунтовими водами. Як правило, вони не мають подальшого використання і складаються у ставках-накопичувачах.

Стійкі водонафтові емульсії [1, 6] утворюються в процесах первинної підготовки нафти на нафтогазовидобувних підприємствах та її переробки на нафтопереробних заводах. Основна характеристика водонафтових емульсій – стійкість до руйнування протягом тривалого часу, залежить від складу нафти, вмісту в ній асфальтено-смолистих речовин, концентрації та складу емульгаторів і стабілізаторів. Об'єм утворення стійких водонафтових емульсій в процесах підготовки нафти не повинен перевищувати 1,6% об'єму товарної нафти [1]. На всіх ступенях підготовки нафти на контактні фази «вода-нафта» відбувається осідання стійких нафтових емульсій, які існують технологією та обладнанням зруйнувати досить складно. Зруйнована емульсія проходить через шар підтоварної води, сировинні та товарні резервуари для відстоювання, ставки до відстоювання, де проходить очищення від стійкої нафтової емульсії та частково від механічних домішок.

Мазут утворюється в результаті переробки нафти. Він являє собою

головним чином суміш різних вуглеводнів, склад яких залежить від складу нафти. Основна фракція мазуту – фракція з температурою кипіння понад 455°C, вміст якої може досягати 40%. Саме відсоткове співвідношення вуглеводневих фракцій впливає на фізико-хімічні властивості мазуту і напрямки подальшої його переробки.

Отже, для нафтогазового комплексу питання утилізації вуглеводневих відходів є особливо важливим і особливо складним. Відходи характеризуються досить різноманітним хімічним складом, відсотковим співвідношенням складових вуглеводневих компонентів і фізико-хімічними властивостями. Така особливість відходів значно ускладнює не тільки їх зберігання, а, в першу чергу, вибір оптимальних напрямків їх подальшої утилізації. Тому й відбувається збільшення обсягів нагромадження відходів.

У ряді окремих випадків виникає необхідність пошуку нового шляху вирішення цієї проблеми. Проте для більшості багатотоннажних відходів на даний час розроблені і частково реалізуються економічно ефективні технології їх утилізації. В той же час різні технології утилізації, переробка та рекуперації відходів базуються на одночасному поєднанні різних методів. У більшості випадків такий підхід дозволяє максимально мінімізувати обсяги як утворення, так й нагромадження відходів. Вибір методів залежить від хімічного складу відходів і кінцевої мети утилізації або переробки. До вирішення проблеми утилізації вуглеводневих відходів необхідно підходити комплексно на основі критеріїв еколого-економічної та техніко-технологічної оцінки. Такий багатофакторний аналіз дозволить обґрунтовано обрати оптимальне рішення щодо утилізації відходів.

Сучасні методи утилізації вуглеводневих відходів у більшості випадків є енергоємними і вимагають значних капіталовкладень. Тому об'єми утилізації відходів відстають від об'ємів їх утворення, що приводить до постійного нагромадження відходів, особливо нафтошламів і кислих гудронів. Вибір методу утилізації, переробки і знешкодження вуглеводневомісних відходів, в основному, залежить від складу вуглеводнів, їх кількості та присутності різноманітних домішок.

Усі відомі технології переробки відходів за методами переробки поділяють на такі групи [7]:

- термічні (спалювання у печах різного типу, одержання бітумінозних залишків, піроліз);
- механічні (перемішування та фізичне розділення);
- хімічні (екстрагування за допомогою розчинників, затвердіння з використанням добавок і шляхом диспергування з гідрофобними реагентами на основі негашеного вапна або інших матеріалів);
- фізичні (гравітаційне відстоювання, розподіл у відцентровому полі,

фільтрування, екстракція);

- фізико-хімічні (розділення нафтового шламу на складові зі застосуванням спеціально підібраних ПАР, деемульгаторів, розчинники);

- біологічні (біорозкладання із застосуванням спеціальних штамів бактерій, біогенних добавок).

Аналізуючи переваги та недоліки використання даних методів для утилізації вуглеводневих відходів можна зробити такі висновки:

- на даний час менш поширеним методом утилізації вуглеводневих відходів є термічний метод, тому що спалювання відходів не вирішує проблеми і приводить до виникнення додаткового питання, пов'язаного з необхідністю захоронення утвореної золи, неповним згорянням нафтопродуктів та значними витратами на очищення й нейтралізацію димових газів;

- використання хімічних, механічних і термічних методів утилізації відходів має високу вартість і часто само собою являє екологічну небезпеку, оскільки використовуються хімічні реагенти, коагулянти, ПАР;

- досить часто ті чи інші методи не дають бажаного результату. Наприклад, щодо нафтошламів, то тривалі терміни їх зберігання значно ускладнюють можливість їх переробки та утилізації, тому саме в таких випадках перспективним є застосування комплексних технологій.

Метод механоактивації речовин є відносно новим методом, який в більшості випадків використовується для переробки первинної мінеральної сировини. Але в той же час він може бути ефективно використаний і для переробки відходів.

Метод механоактивації речовин базується на змінні фізико-хімічних властивостей в умовах інтенсивних механічних навантажень за рахунок змінення енергетичного стану речовини. Як наслідок, відбувається прискорення протікання фізико-хімічних реакцій і, в деяких випадках, змінення хімічного складу речовини.

На даний час більш вивченим напрямом є використання методу механоактивації для переробки твердих речовин і встановлено [8-14]:

- змінення реакційної здатності відбувається внаслідок утворення точкових дефектів;

- змінення термодинамічних властивостей твердих речовин відбувається внаслідок модифікації та аморфізації речовини без змінення її хімічного складу;

- виникнення дефектів у кристалічній ґратка без змінення кристалічної структури та зі зміненням кристалічної структури речовини;

- руйнування кристалічної структури речовини;

- гомогенізацію вуглеводневих матеріалів на прикладі вугілля і

графіту з наступним механосинтезом різних композицій;

- отримання наноматеріалів;
- використання наномодифікованих матеріалів для змінення режимів виробництва продукції;
- можливість отримання високочистих порошоків металів.

Найбільш ефективно механохімічні перетворення відбуваються при тонкому та надтонкому подрібненні речовин, коли змінюються не тільки розміри частинок, а й змінюється величина їх внутрішньої енергії.

Перспективними і ще мало вивченими є дослідження в напрямку механоактивації газів та газових сумішей [14, 15]:

- досліджуються процеси механоактивації твердої речовини у газовому середовищі;
- механоактивація метану приводить до утворення вільного водню;
- відбувається деструкція легких фракцій вуглеводнів зі збільшенням вмісту важких;
- показана необхідність використання мінеральних добавок для інтенсифікації процесу утворення вільного водню.

Перспективність використання методу механоактивації в процесах перетворення вуглеводневих речовин доведена на прикладі механоактивація вугілля, торфу, сланців, нафтонасичених пісків, каустобіолітів, гудронів, суміші вугілля та нафти, вугілля та мазуту [14-16]:

- механоактивація сланців та нафтонасичених пісків в певних режимах та умовах сприяє утворенню газу – метану;
- механоактивація вугілля поглиблює ступінь його переробки;
- отримання мазутно-вугільного палива;
- змінення температурних режимів технологічних процесів переробки сировини;
- зменшується кількість використання реагентів.

Попередні дослідження показують перспективність використання методу механоактивації в напрямку переробки вуглеводневих відходів. Проведений комплекс досліджень з вуглеводневими речовинами, піском і кварцвмісними відходами спрямував на пошук напрямків поводження з нафтошлами. Лабораторні дослідження проводились з нафтовими шлами нафтогазовидобувних підприємств та паливним мазутом на планетарному млині АІР-0,015.

Нафтові шлами містили (%): вуглеводні – 37, механічні домішки – 42 і воду – 21. Вуглеводнева частина нафтошламів представлена насиченими вуглеводнями, маслами, ароматичними вуглеводнями, смолами та асфальтенами. Механічні домішки були представлені глиною, кварцовим піском, оксидами алюмінію та феруму. Дослідження проводились з метою можливості використання нафтошламів у приготування компонентів

асфальтобетонних сумішей. Досліджувалась суміш різної комбінації нафтошламу з піском при різних варіантах механоактивації або окремо нафтошламу та піску з наступним їх перемішуванням або додаванням механоактивованих компонентів у суміш або при одночасній механоактивації піску та нафтошламу. Проби суміші витримувались 10 діб у відкритому тиглі. Досліджувались наступні характеристики суміші: гранулометричний склад, пористість, набрякання з бітумом, показник бітумомісткості, вологість, однорідність та зміна кольору.

За результатами досліджень можна зробити такі висновки:

- механоактивація нафтошамів не впливає на гранулометричний склад та показник пористості, проте знижується показника вологості

- механоактивації піску впливає на гранулометричний склад суміші, при збільшенні часу його активації показники пористості та вологості зменшуються;

- відбувається порушення однорідності суміші та змінення кольору при збільшенні вмісту нафтошламів як механоактивованих, так і без механічної активації;

- значення показник бітумомісткості збільшується у суміші як механоактивованим піском, так і без його механічної активації;

- значення показника набрякання з бітумом суміші знижується після механоактивації як нафтошламу, так і піску.

При проведенні досліджень із окремо механоактивованими нафтошламами та піском з наступним їх об'єднанням у суміш були отриманні практично подібні результати. При проведенні досліджень суміші на основі одночасної механоактивації нафтошламів та піску були отриманні незадовільні результати.

Отже, аналіз результатів лабораторних досліджень показав наступне: набухання відсутнє, гомогенність не порушилась, зміни кольору незначні, при пропалюванні до 170°C втрати складали в середньому не більше 0,9% (частково за рахунок випаровування сорбційної води). Застосування механоактивації у приготуванні мінерального порошку на основі нафтошламів можна досягти більш кращого обволікання мінеральної складової органічною. Таким чином, можна стверджувати, в активованих нафтошламах релаксаційні процеси не відбуваються, що дозволяє розглядати можливість їх використання як компонент асфальтобетонних сумішей [7, 15, 16].

Проведеним комплексом досліджень доведено, що механоактивація відходів нафтогазопереробки дозволяє одержувати з них додатково значну кількість легких фракцій вуглеводнів, що зменшує об'єми утворення відходів і відкриває перспективу більш поглибленої переробки нафтогазової сировини. Дослідження з мазутом показали, що в умовах механічної

активації відбуваються процеси деструкції вуглеводнів: зменшення важких вуглеводневих фракцій відбувається за рахунок утворення легких фракцій [15, 16]. На цей процес впливає час механоактивації мазуту. Отже, регулюючи час обробки мазуту, можна регулювати процеси деструкції та синтезу вуглеводневих фракцій.

Механоактивація водонафтової емульсії приводить до деструкції її вуглеводневої частини зі збільшенням кількості легких вуглеводнів при одночасному зменшенні вмісту важких [7]. Існує можливість із нафтошламів, які характеризуються значним органічної складової – вмістом вуглеводневих фракцій, методами механічної активації одержувати надстійкі водонафтові емульсії, які, в свою чергу, можуть бути використані як паливо.

Отже, встановлено, що при механоактиваційній обробці змінюється хімічний склад вуглеводнів і використання методу механоактивації речовин може бути перспективним в напрямі механохімічної активації нафтових вуглеводнів. Проведені дослідження відкривають перспективу отримання паливних сумішей із вуглеводневих відходів. Механоактивація відходів нафтогазопереробки дозволяє одержувати з них додатково значну кількість легких фракцій вуглеводнів, що зменшує об'єми утворення відходів і відкриває перспективу більш глибокої переробки нафтогазової сировини. Практичне впровадження існуючих на даний час напрямів утилізації та переробки відходів обмежене відсутністю, в більшості випадків, економічно ефективних технологій. Одним із шляхів підвищення їх ефективності є розробка технологій, які базуються на ефектах механічної активації речовин та механохімічних процесах, які базуються на змінні фізико-хімічних властивостей речовин під дією механічних сил.

Використані інформаційні джерела:

1. Екологічна безпека нафтогазового комплексу у Західному регіоні України : Колективна монографія / О. М. Адаменко та ін. ; за ред. проф. Я. О. Адаменка. Івано-Франківськ, 2017. 384 с.
2. Борука С. Д., Макаров А. С., Єгурнов О. І. Створення та властивості альтернативних палив на основі некондиційних та вторинних енергоресурсів (відходи енергогенеруючих, хімічних, харчових підприємств) : монографія. Чернівці, 2021. 283 с.
3. Челядин Л. І., Рібун В. С., Візінович В. В., Тарасюк І. В. Технологія перетворення матеріалів енергетичних і нафтопереробних об'єктів. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2020. № 4(77). С. 7–15.
4. Дослідження поточного стану хвостосховищ у басейні річки Дністер. Резюме з інвентаризації хвостосховищ у басейні річки Дністер. 2020. Київ. 154 с. URL: <https://dniester-commission.com/wp->

[content/uploads/2020/06/Ukr_updSUMMARY_for-public_Dniester-TSFs_GEF-project.pdf](#).

5. Фридер І. В., Топільницький П. І., Гринишин О. Б. Використання кислих гудронів у виробництві нафтових бітумів.

6. Голич Ю., Бойченко С., Топільницький П., Романчук В. Вплив фізико-хімічних характеристик нафт на їх ступінь зневоднення *Проблеми хімотології. Теорія та практика раціонального використання традиційних і альтернативних паливно-мастильних матеріалів* / за заг. ред. проф. С. В. Бойченка. Київ, 2017. Розд. II. С. 136–141.

7. Орфанова М. М., Яцишин Т. М. Вуглеводневі відходи та механоактивація. *Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022* : Матеріали Міжнародної наук.-практ. конф. Полтава –Львів, 2022. С. 456–458 :

8. Механоактивация оксидных и слоистых материалов : коллективная монография. / В. И. Новожинов и др. Красноярск, 2015. 164 с.

9. Ильина Л. В., Тацки Л. Н. Наномодифицирование низкокачественного глинистого сырья – способ повышения прочности керамического черепка. *Вестник ЮУрГУ. Сер. Строительство и архитектура*. 2022. Т. 22. №2. С. 28–36.

10. Ivanov L. A., Xu L. D., Bokova E. S., Ishkov A. D., Borisova O. N. Inventions in the area of nanomaterials and nanotechnologies. Part I. *Nanotechnologies in Construction*. 2022. 14(1). Pp.18-26.

11. Guzzo P. L., Marinko de Baros F. B., Soares B. R., Santos J. B. Evaluation of particles size reduction and agglomeration in dry grinding of natural quartz in planetary ball mill. *Powder Technology*. 2020. Vol. 368. Pp. 149–159.

12. Бондар А. В. Ефективні сухі будівельні суміші для елементів підлогу цивільних будівель : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.23.05. Вінниця, 2019. 53 с.

13. Лемешев М. С., Сівак К. К., Стаднійчук М. Ю. Особливості використання промислових техногенних відходів в галузі будівельних матеріалів. *Сучасні технології, матеріали та конструкції у будівництві*. 2021. Вип. 29, Вип. 2. С. 24–34.

14. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий / Болдырев В.В. и др. ; отв. ред. Е. В. Аввакумов. Новосибирск, 2009. 343 с.

15. Орфанова М. М. Влияние механоактивации на физико-химические свойства углеводородов. *Екологічна безпека*. 2019. № 1 (27). С. 38–44.

16. Орфанова М. М. Перспективи використання методу механоактивації в технологічних процесах нафтогазового виробництва. *Розвідка і розробка*. 2019. №3 (72). С.76–82.

ВИРОБНИЦТВО БІОПАЛИВА ЯК ОДИН ІЗ ЧИННИКІВ СТІЙКОГО РОЗВИТКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ

PRODUCTION OF BIOFUELS AS ONE OF THE FACTORS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL ENTERPRISES OF UKRAINE

Петрушка І. М., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності,

Петрушка К. І., кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та збалансованого природокористування

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Petrushka I., DScTech., Prof., Head of Department of Ecological Safety and Nature Protection Activity, **Petrushka K.**, PhD., Assoc. prof. Department of Ecology and Sustainable Environmental Management

Lviv Polytechnic National University, Ukraine

***Анотація.** Метою дослідження є оцінювання впливу, який справляє виробництво біопалива аграрними підприємствами, на їх стійкий розвиток. Виділено головні показники стійкого розвитку підприємств та рівня виробництва ними біопалива. Оцінено економічну ефективність виробництва різних видів біопалива за вибіркою підприємств аграрного сектору економіки України. Встановлено міру впливу, який справляє виробництво біопалива українськими аграрними підприємствами на показники їх стійкого розвитку. З цією метою було застосовано як методи детермінованого аналізу, так і статистичні методи. Результати застосування цих методів для вибірки українських аграрних підприємств показали, що вплив виробництва біопалива на їх стійкий розвиток є достатньо суттєвий. Зокрема, динаміка обсягів цього виробництва позитивно корелює з динамікою операційних доходів та прибутків підприємств та зі зміною більшості показників, які характеризують енергетичні та екологічні аспекти сталого розвитку досліджуваних компаній. Серед іншого, простежуються статистично значимі лінійні залежності між темпом приросту виробництва біопалива та темпами приросту операційних доходів та прибутковості продукції. Відповідно, існує квадратична залежність між темпом приросту виробництва біопалива та зміною операційного прибутку досліджуваних аграрних*

підприємств. Отже, зростання виробництва біопалива є одним з важливих драйверів стійкого розвитку підприємств аграрного сектору.

Abstract. *The purpose of the study is to assess the impact of biofuel production by agrarian enterprises on their sustainable development. The main indicators of sustainable development of enterprises and the level of biofuel production are highlighted. The economic efficiency of production of different types of biofuel according to a sample of enterprises of the agrarian sector of the economy of Ukraine is estimated. The degree of the impact of biofuel production by Ukrainian agrarian enterprises on the indicators of their sustainable development has been established. For this purpose, both methods of deterministic analysis and statistical methods were used. The results of the application of these methods for a sample of Ukrainian agrarian enterprises showed that the impact of biofuel production on their sustainable development is quite significant. In particular, the dynamics of this production is positively correlated with the dynamics of operating income and profits of enterprises and with the change of most indicators that characterize the energy and environmental aspects of sustainable development of the surveyed companies. Among other things, there are statistically significant linear relationships between the growth rate of biofuel production and the growth rate of operating income and product profitability. Accordingly, there is a quadratic relationship between the growth rate of biofuel production and changes in the operating profit of the surveyed agrarian enterprises. Thus, the growth of biofuel production is one of the important drivers of the sustainable development of enterprises in the agrarian sector.*

Необхідність забезпечення належного рівня добробуту теперішнього та майбутніх поколінь людей в умовах обмеженості багатьох видів природних ресурсів потребує досягнення стійкого розвитку країн та регіонів [8]. Вирішення цього завдання повинно здійснюватися передусім на рівні підприємств, оскільки діяльність підприємств справляє вагомий вплив на темпи та пропорції соціально-економічного розвитку країн [6].

При цьому слід брати до уваги складність поняття стійкого розвитку та наявність значної кількості його цілей [18]. Зокрема, на національному рівні стійкий розвиток варто трактувати як «the development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs» [4]. Якщо ж розглядати окремі компанії, то їх стійкий розвиток можна ототожнити із довготривалим стабільним покращенням отримуваних компаніями економічних, соціальних, екологічних й інших результатів їхньої діяльності [24].

Оскільки стійкий розвиток охоплює практично усі аспекти діяльності урядів, підприємств, домогосподарств та окремих індивідуумів, цілі цього

розвитку є надзвичайно різноманітними [7]. При цьому між цими цілями існують взаємозв'язки, а в окремих випадках і певні протиріччя. Зокрема, серед важливих цілей стійкого розвитку виділяють економічне зростання та підвищення доступності чистої енергії. Однак, економічне зростання може зумовити збільшення потреби в енергетичних ресурсах, що спричинить зростання обсягів споживання викопних видів енергоносіїв. Щоб завадити цьому, існує два основні напрями дій. По-перше, необхідним є підвищення рівня ефективності використання невідновних джерел енергії з переходом до енергозберігаючого економічного розвитку підприємств, регіонів та країн у цілому [25]. По-друге, потрібним є збільшення частки зеленої енергетики в національних енергетичних балансах. За таких умов забезпечуватиметься поступове скорочення споживання невідновних джерел енергії [20]. Це, своєю чергою, сприятиме збереженню їх запасів для прийдешніх поколінь [2], скороченню видатків на їх видобуток [13], зменшенню енергетичної залежності країн [5] та покращенню зовнішнього природного середовища [15].

Поряд із сонячною, вітровою та іншими різновидами зеленої енергетики в останні роки у низці країн світу суттєво зросла роль, яку відіграє біоенергетика [23]. Особлива увага розвитку цього виду альтернативної енергетики приділяється у США [19] та низці країн Європейського Союзу [14]. Проте, достатньо інтенсивно біоенергетика розвивається на теперішній час і в окремих азійських державах, зокрема, в Китаї [9]. Значним є потенціал біоенергетики і в Україні [27].

Зростання впливовості біоенергетики в сучасному світі зумовлене тими перевагами, які їй притаманні порівняно із традиційною енергетикою, що базуються на викопних джерелах енергії [1]. Зокрема, до цих переваг слід віднести можливість корисного використання значних обсягів відходів біологічного походження [21]. Також слід відмітити порівняну дешевизну окремих видів біопалива. Окрім того, біопаливо може набувати різноманітних форм, що зумовлює широку сферу використання цього палива як підприємствами, так і домогосподарствами [22]. Внаслідок цих причин у світі в останні роки спостерігається зростання попиту на усі основні види біопалива [16].

Водночас, на шляху реалізації проектів, що передбачають підвищення енергоефективності та перехід на використання альтернативних джерел енергії, часто постають різноманітні бар'єри [11]. Зокрема, до таких бар'єрів належать недостатність наявних у підприємств та домогосподарств фінансових ресурсів [26], низький рівень економічної ефективності окремих енергозберігаючих проектів [12], брак компетентності у питаннях енергозбереження тощо [3]. Окрему групу бар'єрів на шляху підвищення енергоефективності становлять інформаційні бар'єри [10]. Саме відсутність

інформації про очікувані результати впровадження проектів у сфері енергетики може являти одну з головних причин того, що підприємства й домогосподарства не завжди погоджуються вкладати інвестиції у реалізацію таких проектів [17].

Стосовно проектів виробництва різних видів біопалива, то серед головних суб'єктів, які здійснюють ці проекти, виступають підприємства аграрного сектору економіки. Водночас, очевидно, що ці підприємства як потенційні інвестори повинні мати достатньо повні та вичерпні відомості про результати реалізації цих проектів. Зокрема, необхідним є прогнозування того впливу, який проекти виробництва біопалива справлять на показники стійкого розвитку аграрних підприємств. З цією метою може бути використано результати проведення ретроспективного аналізу. Ці результати являють дані, що отримані завдяки оцінюванню економічних, соціальних, екологічних та інших наслідків впровадження проектів виробництва біопалива тими аграрними підприємствами, які ці проекти вже реалізували раніше. Якщо ці результати виявляться достатньо позитивними, то це стимулюватиме інші аграрні підприємства до переходу на виробництво тих чи інших видів біопалива.

Із урахуванням викладеного метою цього дослідження є оцінювання впливу, який справляє виробництво біопалива аграрними підприємствами, на їх стійкий розвиток. Для досягнення поставленої мети було вирішено такі головні завдання: виділено головні показники стійкого розвитку підприємств та рівня виробництва ними біопалива; оцінено економічну ефективність виробництва різних видів біопалива за вибіркою підприємств аграрного сектору економіки України; встановлено міру впливу, який справляє виробництво біопалива українськими аграрними підприємствами на показники їх стійкого розвитку.

Оцінювання стійкого розвитку підприємств потребує попереднього вибору тих показників, за допомогою яких таке оцінювання може бути виконане. При цьому видається доцільним здійснити поділ цих показників на три такі їх групи:

1) показники, які характеризують економічні аспекти стійкого розвитку підприємств. До цих показників можна віднести доходи та прибутки підприємств, а також відносні показники ефективності господарської діяльності, зокрема прибутковість продукції;

2) показники, які характеризують соціальні аспекти стійкого розвитку підприємств. До цих показників можна віднести чисельність персоналу та величину середньої заробітної платні на одного працівника;

3) показники, які характеризують енергетичні та екологічні аспекти стійкого розвитку підприємств. До цих показників можна віднести

енергоємність продукції, частку повторно використуваних відходів, частку чистої енергії в структурі енергоспоживання тощо.

При цьому оцінювання рівня стійкого розвитку підприємств повинно, серед іншого, передбачати вимірювання динаміки перелічених показників.

Окрему увагу заслуговує питання оцінювання рівня виробництва певним підприємством біопалива. Таке оцінювання може відбуватися на засадах обчислення абсолютних та відносних показників. Абсолютними показниками при цьому можуть виступати обсяги виготовлення біопалива підприємством за певний проміжок часу у натуральних чи вартісних одиницях виміру. Щодо відносних показників оцінювання рівня виробництва біопалива певним підприємством, то для їх обчислення доцільно зіставляти абсолютні показники із загальною величиною доходів підприємства від виготовлення та збуту усієї його продукції.

Необхідно відзначити, що біопаливо, яке виготовляється аграрними підприємствами, може бути поділене на групи за способом використання та за джерелами його вироблення.

Зокрема, за способом використання можна виділити біопаливо, яке виробляється аграрними підприємствами з метою його подальшого продажу, та біопаливо, яке призначене для внутрішнього споживання цими підприємствами.

Щодо поділу біопалива за джерелами вироблення, то варто виділити біопаливо, отримане з первинних джерел, та біопаливо, отримане із вторинних джерел. Якщо вторинними джерелами виступають переважно різні види відходів, то виробництво біопалива з первинних його джерел часто потребує створення спеціальних «енергетичних плантацій». Внаслідок цього можуть скорочуватися посівні площі традиційної рослинницької продукції (тобто такої, яка використовується для задоволення потреби у продовольстві).

Описаний вище поділ видів біопалива у контексті цього дослідження має важливе значення, оскільки виробництво різних груп біопалива може по-різному впливати на темпи та пропорції стійкого розвитку аграрних підприємств. Як видно з рис. 1, збільшення обсягів виробництва підприємствами біопалива з метою внутрішнього його споживання не справляє безпосереднього впливу на обсяг продажу продукції. Однак, таке збільшення може позитивно вплинути на прибутковість продукції підприємств (якщо витрати на виготовлення власного біопалива є меншими за витрати на придбання еквівалентних обсягів традиційних видів енергоресурсів). Окрім того, з рис. 1 випливає, що механізм впливу виробництва біопалива на показники стійкого розвитку аграрних підприємств є доволі складним, що відображається у відповідних взаємозв'язках між цими показниками.

Зокрема, зростання виробництва біопалива може зумовити збільшення середньої заробітної платні працівників аграрного підприємства. Це відбуватиметься, якщо таке зростання викличе як збільшення доходів, так і нарощування прибутків підприємства. Відповідно, за таких умов власники підприємства зможуть збільшити фонд оплати праці найманих працівників, не знижуючи величину належного ним прибутку.

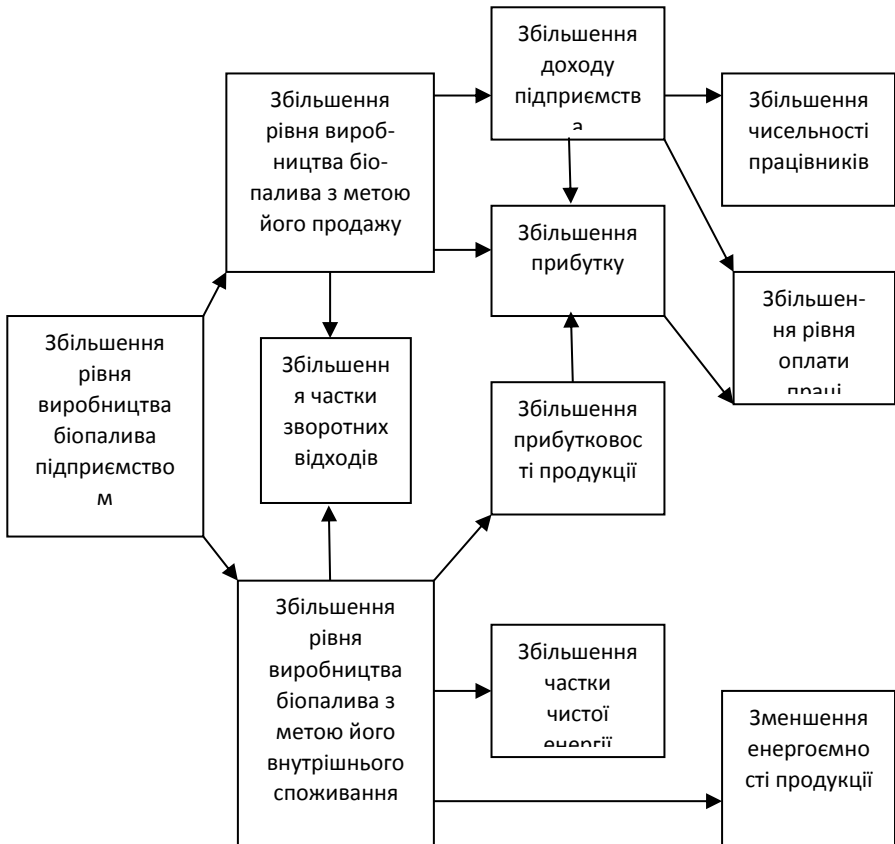


Рис. 1. Механізм впливу виробництва біопалива на показники стійкого розвитку аграрних підприємств

Також можна передбачати, що зростання обсягів виробництва біопалива з вторинних джерел справлятиме більш позитивний вплив на

стійкий розвиток аграрних підприємств, ніж збільшення обсягів виготовлення біопалива з первинних його джерел. Це можна пояснити тим, що за першого варіанту збільшуватиметься рівень використання відходів виробництва і не відбуватиметься скорочення посівних площ, на яких вирощуватимуться традиційна рослинницька продукція.

Загалом, оцінювання впливу виробництва біопалива на стійкий розвиток аграрних підприємств потребує застосування як методів детермінованого аналізу, так і статистичних методів. Зокрема, завдяки детермінованому аналізу можливо встановити частку приросту тих чи інших показників стійкого розвитку підприємств, зумовлену виробництвом ними біопалива. З цією метою необхідно спочатку визначити зміну величини відповідного показника у звітному періоді порівняно із базовим періодом за рахунок зростання обсягів виробництва біопалива. Ця зміна може бути обчислена із використанням таких виразів:

1) для величини операційного прибутку підприємства:

$$\Delta P = \Delta R_b \cdot P_{ab} - \Delta R_t \cdot P_{at} + R_t \cdot \Delta P_{at}, \quad (1)$$

де ΔP – приріст операційного прибутку аграрного підприємства завдяки зростанню обсягів виробництва ним біопалива у звітному періоді порівняно із базовим періодом, грошових одиниць; ΔR_b – приріст доходу від реалізації підприємством виробленого ним біопалива, грошових одиниць; P_{ab} – прибутковість виробництва та збуту біопалива у звітному періоді, частки одиниці; ΔR_t – зниження доходу від реалізації підприємством традиційної сільськогосподарської продукції внаслідок збільшення виробництва біопалива, грошових одиниць; P_{at} – прибутковість виробництва та збуту традиційної сільськогосподарської продукції у звітному періоді, частки одиниці; R_t – дохід від реалізації підприємством традиційної сільськогосподарської продукції у звітному періоді, грошових одиниць; ΔP_{at} – приріст прибутковості виробництва та збуту підприємством традиційної сільськогосподарської продукції внаслідок збільшення виробництва ним біопалива для власного виробничого споживання (що, своєю чергою, може зумовити зменшення питомих витрат підприємства на придбання енергоносіїв), частки одиниці;

2) для величини операційного доходу підприємства:

$$\Delta R = \Delta R_b - \Delta R_t, \quad (2)$$

де ΔR – приріст операційного доходу аграрного підприємства завдяки зростанню обсягів виробництва ним біопалива у звітному періоді порівняно із базовим періодом, грошових одиниць;

3) для чисельності працівників підприємства:

$$\Delta L = \frac{\Delta R_b}{V_b} - \frac{\Delta R_t}{V_t}, \quad (3)$$

де ΔL – приріст чисельності працівників аграрного підприємства завдяки зростанню обсягів виробництва ним біопалива у звітному періоді порівняно із базовим періодом, грошових одиниць; V_b – величина доходу аграрного підприємства від реалізації ним біопалива у розрахунку на одного працівника у звітному періоді, грошових одиниць на особу; V_t – величина доходу аграрного підприємства від реалізації ним традиційної сільськогосподарської продукції у розрахунку на одного працівника в звітному періоді, грошових одиниць на особу;

4) для середньої заробітної платні у розрахунку на одного працівника підприємства:

$$\Delta P_l = \frac{\Delta S_{pl}}{L}, \quad (4)$$

де ΔP_l – приріст середньої заробітної платні у розрахунку на одного працівника аграрного підприємства завдяки зростанню обсягів виробництва ним біопалива у звітному періоді порівняно із базовим періодом, грошових одиниць на особу; ΔS_{pl} – приріст фонду оплати праці підприємства внаслідок зростання виробництва ним біопалива, грошових одиниць; L – чисельність працівників аграрного підприємства у звітному періоді, осіб;

5) для обсягів використовуваних аграрним підприємством невідновних джерел енергії:

$$\Delta E = \Delta R_b \cdot e_b - \Delta R_t \cdot e_t - \Delta E_b, \quad (5)$$

де ΔP – приріст (зменшення) обсягів використовуваних аграрним підприємством невідновних джерел енергії завдяки зростанню виробництва ним біопалива у звітному періоді порівняно із базовим періодом, фізичних одиниць енерговитрат; e_b – фізичні витрати невідновних джерел енергії на отримання грошової одиниці доходу від реалізації підприємством виробленого ним біопалива у звітному періоді, фізичних одиниць енерговитрат на одну грошову одиницю; e_t – фізичні витрати невідновних джерел енергії на отримання грошової одиниці доходу від реалізації підприємством традиційної сільськогосподарської продукції у звітному періоді, фізичних одиниць енерговитрат на одну грошову одиницю; ΔE_b – величина зниження споживання аграрним підприємством невідновних джерел енергії завдяки зростанню виробництва ним біопалива для внутрішнього споживання у звітному періоді порівняно із базовим періодом, фізичних одиниць енерговитрат.

Застосовуючи наведені вище вирази (1) – (5), можна оцінити вплив зростання виробництва аграрним підприємством біопалива на відповідні показники стійкого розвитку. З цією метою слід встановити частку приросту відповідного показника за рахунок нарощування обсягів виробництва біопалива у загальній величині цього приросту. Також можливою є оцінка

ефективності збільшення обсягів виробництва біопалива певним аграрним підприємством або сукупністю таких підприємств. Для цього необхідно зіставити значення показників (1) – (5) з обсягами інвестицій, вкладених у виробництво біопалива.

Стосовно статистичних методів оцінювання впливу виробництва біопалива на стійкий розвиток аграрних підприємств, то застосування цих методів повинно передбачати таку послідовність дій:

- 1) формування вибірки аграрних підприємств, які належать до певної підгалузі сільського господарства;
- 2) визначення для кожного з підприємств наявного рівня виробництва ним біопалива у базовому та звітному періодах;
- 3) оцінювання показників динаміки рівня виробництва підприємствами біопалива та поділ усієї сукупності підприємств на групи за величиною показників динаміки;
- 4) вибір та обчислення основних показників стійкого розвитку досліджуваних аграрних підприємств;
- 5) оцінювання статистичної значимості впливу виробництва біопалива підприємства на стійкий розвиток.

Також із метою оцінювання впливу виробництва біопалива на стійкий розвиток аграрних підприємств слід встановити статистичні залежності між показниками динаміки рівня виробництва біопалива та певними показниками стійкого розвитку. Тоді наявність такого впливу характеризуватиметься належним ступенем апроксимації емпіричних даних рівняннями регресії та статистичною значимістю параметрів цих рівнянь.

Із метою оцінювання впливу виробництва біопалива на стійкий розвиток аграрних підприємств було сформовано вибірку з п'ятдесяти таких підприємств, які розташовані у західному регіоні України. Основним напрямом діяльності цих підприємств є рослинництво. Зокрема, ці підприємства здійснюють вирощування кукурудзи, соняшника, сої, ріпаку та інших видів рослинницької продукції.

Досліджувані підприємства було поділено на три групи залежно від рівня динаміки виробництва ним біопалива у 2020 році порівняно із 2016 роком, а саме:

- 1) підприємства з низьким рівнем динаміки виробництва біопалива, в яких темп приросту такого виробництва за досліджуваний період не перевищував 10%. Таких підприємств виявилось 17;
- 2) підприємства із середнім рівнем динаміки виробництва біопалива, в яких темп приросту такого виробництва за досліджуваний період перевищував 10%, але був меншим за 30%. Таких підприємств виявилось 21;

3) підприємства із високим рівнем динаміки виробництва біопалива, в яких темп приросту такого виробництва за досліджуваний період був меншим за 30%. Таких підприємств виявилось 12.

При цьому обсяги біопалива вимірювалися у тонах умовного палива.

За кожною з груп досліджуваних аграрних підприємств було обчислено показники впливу виробництва біопалива на їх стійкий розвиток та розраховано ефективність інвестування у таке виробництво (табл. 1).

Як виливає з даних, представлених у табл. 1, за усіма показниками оцінювання впливу виробництва біопалива на стійкий розвиток аграрних підприємств спостерігається відчутне зростання їх величини із збільшенням рівня динаміки цього виробництва. Отже, за цими показниками виробництво біопалива справляє суттєвий вплив на стійкий розвиток досліджуваних підприємств. Також згідно даних табл. 1 економічна ефективність реалізації проектів виробництва біопалива в середньому є більш високою у тих підприємств, у яких темпи приросту його виготовлення є більшими. Ця тенденція може бути зумовлена дією ефекту масштабу.

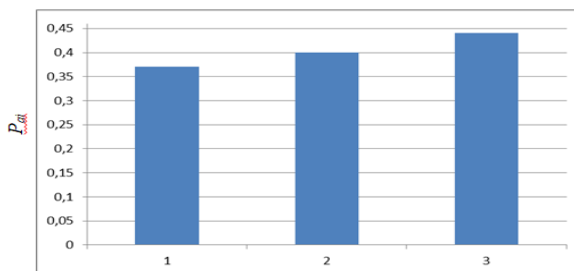
Таблиця 1. Показники впливу виробництва біопалива на стійкий розвиток аграрних підприємств та результати оцінювання ефективності інвестування у таке виробництво

Назви показників	Значення показників, усереднені за групами підприємств		
	Підприємства з низьким рівнем динаміки виробництва біопалива	Підприємства із середнім рівнем динаміки виробництва біопалива	Підприємства із високим рівнем динаміки виробництва біопалива
1. Частка приросту операційного прибутку підприємств завдяки зростанню обсягів виробництва біопалива у загальному прирості їх операційного прибутку, %	14,32	25,76	39,19
2. Частка приросту операційного доходу підприємств завдяки зростанню обсягів виробництва біопалива у загальному прирості їх операційного доходу, %	12,48	23,43	37,62
3. Частка приросту чисельності працівників	9,13	10,56	14,87

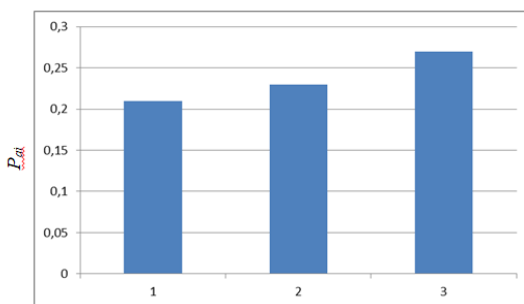
підприємств завдяки зростанню обсягів виробництва біопалива у загальному прирості чисельності їх працівників, %			
4. Частка приросту середньої заробітної платні працівників підприємств завдяки зростанню обсягів виробництва біопалива у загальному прирості середньої заробітної платні, %	6,02	7,48	9,70
5. Частка зниження обсягів використовуваних невідновних джерел енергії завдяки зростанню виробництва біопалива у загальному зниженні обсягів використання цих джерел, %	15,87	22,98	40,75
6. Прибутковість інвестицій у реалізацію проектів виробництва біопалива, частки одиниці	0,26	0,31	0,34
7. Приріст операційного доходу у розрахунку на 1 грн. інвестицій у реалізацію проектів виробництва біопалива, частки одиниці	1,13	1,21	1,33
8. Зниження обсягів використовуваних невідновних джерел енергії на 1 грн. інвестицій у реалізацію проектів виробництва біопалива, кг умовного палива на 1 грн. інвестицій	0,07	0,12	0,19

Рівень економічної ефективності інвестування у виробництво біопалива може залежати від структури такого виробництва. Тому за даними досліджуваних підприємств було обчислено прибутковість інвестицій у виробництво окремих видів біопалива. Як свідчать результати таких

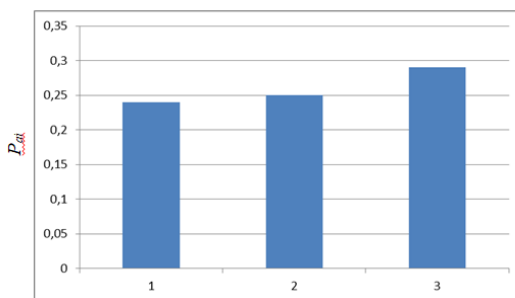
розрахунків, які наведено на рис. 1, найбільш прибутковими є інвестиції у виробництво твердого біопалива. Також за кожним видом біопалива прибутковість інвестицій зростає із збільшенням рівня динаміки їх виробництва.



a)



b)



c)

Рис. 1. Прибутковість інвестицій у виробництво (P_{ai}): а) пелетів; б) біодизеля; с) біоетанола, де 1, 2 та 3 – позначення груп підприємств відповідно з низьким, середнім та високим рівнями динаміки виробництва біопалива

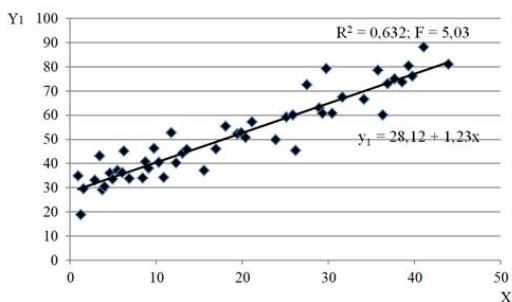
Окрему увагу доцільно приділити оцінюванню впливу рівня динаміки виробництва біопалива досліджуваними аграрними підприємствами на зміну основних показників їх стійкого розвитку. З цією метою можна застосувати метод дисперсійного аналізу. Як свідчать дані, представлені у табл. 2, за більшістю показників стійкого розвитку (окрім показників зайнятості та середньої заробітної платні) фактичне значення F -критерію перевищує його критичне значення з рівнем значущості $\alpha=0.05$. Отже, можна констатувати наявність впливу рівня динаміки виробництва біопалива аграрними підприємствами на зміну більшості показників їх стійкого розвитку. Цей же висновок для показників темпу росту доходів та темпу росту прибутковості продукції досліджуваних підприємств можна отримати на підставі результатів регресійного аналізу (рис. 2).

Таблиця 2. Вихідні дані та результати оцінювання у таке виробництво

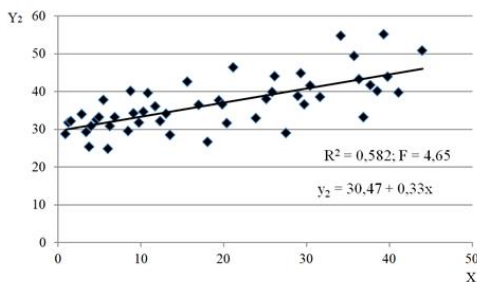
Назви показників	Значення темпів приросту показників, усереднені за групами підприємств			Значення F -критерію
	Підприємства з низьким рівнем динаміки виробництва біопалива	Підприємства із середнім рівнем динаміки виробництва біопалива	Підприємства із високим рівнем динаміки виробництва біопалива	
1. Операційний дохід, грн.	33,09	49,18	71,84	5,32
2. Операційний прибуток, грн.	35,43	63,61	88,22	5,78
3. Чисельність персоналу, осіб	29,06	31,65	32,14	1,97
4. Середня заробітна платня, грн./особу	56,27	61,12	59,43	1,65
5. Енергоємність продукції, кг умовного палива на 1 грн. доходу	16,58	27,36	38,29	4,51
6. Обсяги споживання чистої енергії, кг умовного палива	22,72	30,66	37,81	4,28
7. Частка повторно використовуваних відходів, %	12,24	19,47	25,52	4,70
8. Частка чистої енергії в структурі	21,78	29,24	40,97	4,95

енергоспоживання, %				
------------------------	--	--	--	--

Як випливає з даних, наведених на рис. 2, для досліджуваних підприємств простежуються статистично значимі лінійні залежності між темпом приросту виробництва біопалива та темпами приросту операційних доходів та прибутковості продукції. При цьому прибутковість продукції визначалася як відношення операційного прибутку до операційного доходу. Оскільки операційний прибуток підприємств можна подати як добуток величини доходів на прибутковість продукції, то існує квадратична залежність між темпом приросту виробництва біопалива та зміною операційного прибутку досліджуваних аграрних підприємств.



a)



b)

Рис. 2. Графіки регресійних залежностей між темпом приросту виробництва біопалива досліджуваними підприємствами (x) та: а) операційними доходами (y_1); б) прибутковістю продукції (y_2)

Оцінювання впливу виробництва біопалива на стійкий розвиток аграрних підприємств потребує попереднього відбору показників, які характеризують цей розвиток. Ці показники повинні достатньо повно

характеризувати економічні, соціальні, енергетичні та екологічні аспекти сталого розвитку. При цьому оцінювання впливу виробництва біопалива на стійкий розвиток аграрних підприємств потребує застосування як методів детермінованого аналізу, так і статистичних методів. Результати застосування цих методів для вибірки українських аграрних підприємств показали, що вплив виробництва біопалива на їх стійкий розвиток є достатньо суттєвий. Зокрема, динаміка обсягів цього виробництва позитивно корелює з динамікою операційних доходів та прибутків підприємств та зі зміною більшості показників, які характеризують енергетичні та екологічні аспекти сталого розвитку досліджуваних компаній. Отже, зростання виробництва біопалива є одним із важливих драйверів стійкого розвитку підприємств аграрного сектору.

Використані інформаційні джерела:

1. Ahorsu R., Medina F., Constanti M. 2018. Significance and Challenges of Biomass as a Suitable Feedstock for Bioenergy and Biochemical Production: A Review. *Energies*, 11, 3366. <https://doi.org/10.3390/en11123366>.
2. Alvarado R., Deng Q., Tillaguango B., Méndez P., Bravo D., Chamba J., Alvarado-Lopez M., Ahmad M. 2020. Do economic development and human capital decrease non-renewable energy consumption? Evidence for OECD countries. *Energy*, 215 (B), 119–147. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119147>.
3. Backman F. 2017. Barriers to Energy Efficiency in Swedish Non-Energy-Intensive Micro- and Small-Sized Enterprises – A Case Study of a Local Energy Program. *Energies*, 10 (1), 1–13. doi: <https://doi.org/10.3390/en10010100>.
4. Brundtland G. H., Khalid S., Agnelli M., Al-Athel S., Chidzero B. 1987. *Our Common Future*. Oxford University Press: Oxford, UK.
5. Chalvatzis K. J., Ioannidis A. 2017. Energy supply security in the EU: Benchmarking diversity and dependence of primary energy. *Applied Energy*, 207, 465–476. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.010>.
6. Dvořáková L., Zborková, J. (2014). Integration of Sustainable Development at Enterprise Level. *Procedia Eng.* 69, 686–695.
7. Fonseca L. M., Domingues J. P., Dima A. M. 2020. Mapping the Sustainable Development Goals Relationships. *Sustainability*, 12, 3359. <https://doi.org/10.3390/su12083359>.
8. Gaspa G. S., Marques A. S., Fuinhas J. A. 2017. The traditional energy-growth nexus: A comparison between sustainable development and economic growth approaches. *Ecological Indicators*, 75, 286–296. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.048>.

9. Jiang D., Zhuang D., Fu J., Huang Y., Wen K. 2012. Bioenergy potential from crop residues in China: Availability and distribution. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16, 1377–1382.
10. Kangas H. L., Lazarevic D., Kivimaa P. 2018. Technical skills, disinterest and non-functional regulation: Barriers to building energy efficiency in Finland viewed by energy service companies. *Energy Policy*, 114, 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.060>.
11. Lesinskiy V., Yemelyanov O., Zarytska O., Symak A., Petrushka T. 2020. Development of a toolkit for assessing and overcoming barriers to the implementation of energy saving projects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(107), 24–38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214997>.
12. Lesinskiy V., Yemelyanov O., Zarytska O., Symak A., Koleshchuk O. 2018. Substantiation of projects that account for risk in the resource-saving technological changes at enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(1), 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.149942>.
13. Maio F. D., Rem P. C., Baldé K., Polder M. 2017. Measuring resource efficiency and circular economy: A market value approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.009>.
14. Mandley S. et al. 2020. EU bioenergy development to 2050. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 127, 109858. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109858>.
15. Nabavi-Pelesaraei A., Bayat R., Hosseinzadeh-Bandbafha H., Afrasyabi H., Chau K.-W. 2017. Modelling of energy consumption and environmental life cycle assessment for incineration and landfill systems of municipal solid waste management – A case study in Tehran Metropolis of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 148, 427–440, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.172>.
16. Oosterveer P., Mol A. 2010. Biofuels, trade and sustainability: a review of perspectives for developing countries. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining.*, 4(1), 66–76. <https://doi.org/10.1002/bbb.194>.
17. Palm J., Backman F. 2020. Energy efficiency in SMEs: overcoming the communication barrier. *Energy Efficiency*, 13, 809–821. <https://doi.org/10.1007/s12053-020-09839-7>.
18. Salvia A. L., Leal Filho W., Brandli L. L., Griebeler J. S. 2019. Assessing research trends related to sustainable development goals: local and global issues. *J. Clean. Prod.*, 208, 841–849.
19. Song Y., Jain A.K., Landuyt W. et al. 2015. Estimates of Biomass Yield for Perennial Bioenergy Grasses in the USA. *Bioenerg. Res.* 8, 688–715. <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9546-1>.

20. Steeves B. B., Ouriques H. R. 2016. Energy Security: China and the United States and the Divergence in Renewable Energy. *Contexto int.*, 38 (02), 643–662. <https://doi.org/10.1590/S0102-8529.2016380200006>.

21. Szarka N., Scholwin F., Trommler M., Fabian Jacobi H., Eichhorn M. Ortwein A. et al. 2013. A novel role for bioenergy: A flexible, demand-oriented power supply. *Energy*, 61, 18–26, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.12.053>.

22. Szarka N., Scholwin F. , Trommler M. , Fabian Jacobi H. , Eichhorn M. , Ortwein A. et al. A novel role for bioenergy: A flexible, demand-oriented power supply. *Energy*, 61, 2017, Pp. 18–26.

23. Welfle A., Thornley P., Röder M. 2020. A review of the role of bioenergy modelling in renewable energy research & policy development. *Biomass Bioenergy*, 136, 105542.

24. Yemelyanov O., Petrushka T., Symak A., Trevoho O., Turylo A., Kurylo O., Danchak L., Symak D., Lesyk L. 2020. Microcredits for Sustainable Development of Small Ukrainian Enterprises: Efficiency, Accessibility, and Government Contribution. *Sustainability*, 12, 6184. <https://doi.org/10.3390/su12156184>.

25. Yemelyanov O., Symak A., Petrushka T., Zahoretska O., Kusiya M., Lesyk R., Lesyk L. 2019. Changes in Energy Consumption, Economic Growth and Aspirations for Energy Independence: Sectoral Analysis of Uses of Natural Gas in Ukrainian Economy. *Energies*, 12, 4724. <https://doi.org/10.3390/en12244724>.

26. Yemelyanov O., Symak A., Petrushka T., Lesyk R., Lesyk L. 2018. Evaluation of the Adaptability of the Ukrainian Economy to Changes in Prices for Energy Carriers and to Energy Market Risks. *Energies*, 11, 3529. <https://doi.org/10.3390/en11123529>.

27. Zulauf C., Prutska O., Kirieieva E., Pryshliak N. 2018. Assessment of the potential for a biofuels industry in Ukraine, Problems and Perspectives in Management, 16, 83–90.

РАДІОЕКОЛОГІЯ ВУГЛЕДОБУВАНОЇ ТА ВУГІЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

RADIOECOLOGY OF COAL MINING AND COAL ENERGY INDUSTRIES OF UKRAINE

Пиріков О. В., кандидат наук, доцент

ГО «Вчимося в природи»

Pyrikov O.V., NGO, ph.d., docent

«Learning for Nature», Ukraine

Abstract. *The analysis of factors of radioecological risks of Donbas and the Current state of problems of management of coal with the raised maintenance of natural radionuclides (PRN) is carried out. Based on the analysis of radioecological problems and the results of scientific research on the radioactivity of coal, the forms of uranium existence in coal are described. A study of the radioactivity of natural radionuclides in the coal of Ukrainian deposits and radioecological consequences of coal combustion at thermal power plants and coal-fired boilers of Donbas and Ukraine, and radioecological features of radon as a major factor in radioecological hazards on the surface of Donbas coal mines. Keywords: natural radionuclides, coal thermal power plants, coal radioecology, mine closure, radioecological monitoring.*

Вступ. Серед усіх неядерних джерел теплової енергії найбільший внесок у загальну радіоекологічну ситуацію та її впливу на людський організм та навколишнє середовище привносить вугілля. Усі процеси видобування, збагачення, транспортування, спалювання та вуглехімічні промислові процеси призводять до вивільнення ПРН з вугілля і їх перенесення та розсіювання в навколишньому середовищі [1].

Вугілля, на будь яких родовищах світу, завжди містить природні радіонукліди такі як: ^{238}U і продукти його розпаду ^{234}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{235}U і продукти його розпаду ^{219}Rn і ін., ^{232}Th і продукти його розпаду ^{220}Rn , ^{216}Po , а також довго живучий радіоактивний ізотоп ^{40}K . При цьому всі вугільні ПРН, крім урану, вивчені мало і лише на небагатьох вугільних родовищах [2, 3, 4, 5].

У відходах вуглевидобування також завжди присутні ПРН ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra і ^{222}Rn . Радон-222 дає до 74% вкладу в ту дозу опромінення, яку постійно отримує кожен житель Землі. Тому іще у 1977 році науковим

комітетом ООН з впливу атомної радіації ^{222}Rn був визначений як основне джерело небезпеки для населення. В Україні ^{222}Rn також є найбільш поширеним джерелом радіоекологічної небезпеки і його частка в річній дозі опромінення населення складає понад 70%. Тривале перебування людини в забрудненій ^{222}Rn атмосфері викликає до 9 000 тисяч летальних випадків при захворюванні на рак легенів [6].

Актуальність роботи. Питання радіоекологічної небезпеки Донбасу актуалізувалися у зв'язку з сучасним масовим закриттям вугільних шахт шляхом їх неконтрольованого некерованого затоплення вугільних (мокра консервація) після дуже тривалого періоду шахтного підземного видобування вугілля на протязі більше двох столітнього періоду в умовах війни [7, 8, 9].

Мета роботи. Дослідити радіоекологічну ситуацію на територіях вугільно-промислових районів Донбасу.

Наукова новизна роботи полягає у визначенні процесів посилення радіоекологічних ризиків в умовах масового нерегульованого затоплення вугільних шахт Донбасу.

Загальна характеристика джерел радіоекологічних ризиків на територіях Донецької та Луганської областей. Результати радіоекологічних досліджень на територіях гелого-промислових районів Донецької та Луганської областей, а також на територіях поверхні шахт поблизу лінії зіткнення підтверджують, що в процесі вуглевидобування та поводження з вугіллям на територіях поверхні шахт [10] та навколо вугільно-енергетичних підприємств і вугільних котелень утворюються та накопичуються відходи з техногенно-посиленими концентраціями природних радіонуклідів (ПРН). Крім того, мокра масова консервація вугільних шахт [11] та російська загарбницька війна, суттєво ускладнюють радіоекологічну ситуацію на територіях Донецької та Луганської областей в результаті наявності наступних джерел радіоекологічних ризиків:

- 1) вугілля з вмістом природних радіонуклідів (ПРН);
- 2) підвищення експозиції радону, розчинення природних радіонуклідів, радіоактивне забруднення підземних водоносних горизонтів внаслідок неконтрольованого затоплення вугільних шахт;
- 3) об'єкт «Кліваж» (шахта Юнком, м. Бунге);
- 4) пункти захоронення РАВ (Донецький ПЗРВ);
- 5) джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ) яких на тимчасово окупованих територіях знаходиться більше 1200 одиниць (їх точна кількість та стан залишаються невідомими);
- 6) пункт захоронення радіоактивних відходів на підприємстві Донецький «Державний міжобласний спеціальний комбінат» (ДМСК).

Найбільш значимим, із точки зору радіоекологічного впливу на населення є радоновий чинник [12]. У результаті опромінення населення радоном щорічно виникає 8000 випадків захворювання на рак легень. Серед шахтарів уранових рудників фіксується один випадок злоякісного новоутворення в рік на 168 працюючих (відповідний ризик складає до $5,9 \cdot 10^{-3}$ на рік при допустимому середньому значенні $\leq 10^{-3}$ на рік.

Проблеми вугільної екології, важливою складовою якої є радіоекологія, залишаються на сьогодні в списку найактуальніших соціально-екологічних проблем.

Однак, незважаючи на всі існуючі соціальні та екологічні ризики у вугільно-видобувній та вугільно-енергетичній галузях, вугілля сьогодні у світі все ще продовжує використовуватися дуже інтенсивно. На його частку припадає 40% світового виробництва електрики.

Радіоекологічні особливості вугілля з підвищеним вмістом природних радіонуклідів (ПРН). Рентгеноспектральні, рентгенорадіометричні, спектрографічні і особливо методи нейтронно-активаційного аналізу та електронної мікроскопії виявили фрагментарність уранових мінералів в структурі вугілля. Дисперсність фрагментів вугільних уранових мінералів знаходиться в інтервалі від 0.05 до 1.0 мкм. Питома радіоактивність вугілля для відомих родовищ на планеті змінюється від 100 до 1000 крат і більше. При цьому слід зауважити, що кількість доступної наукової інформації про радіоекологічні особливості вугілля на сьогодні дуже обмежена [13]. В таблиці 1 представлено деякі відомі дані щодо вмісту та активності природних радіонуклідів у вугільних зразках з різних родовищ світу у різних країнах світу за даними [14, 15, 16].

Отже, радіоекологічні параметри вугілля є надзвичайно важливими екологічними характеристиками якості вугілля. Проте в даний час все ще відсутні як вітчизняні, так і зарубіжні та міжнародні нормативно-методичні документів з вимогами щодо вмісту ПРН у вугіллі і в першу чергу в енергетичному секторі. Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97) також нормують тільки обмеження вмісту ПРН у відходах ТЕС – зола та шлаки, що застосовуються у будівельних матеріалах та виробках [17, 18, 19, 20, 21]. Така ситуація породжує конкретні складнощі в процесах поводження з вугіллям та при забезпеченні радіоекологічної безпеки при вуглеспоживанні [22, 23].

Вивчення форм ПРН у вугіллі є важливим для розуміння природних процесів вуглеутворення. Ці знання також важливі при моделюванні процесів спалювання вугілля на ТЕС та при технологічних розробках у галузі вуглехімічної промисловості та комплексної екологічно безпечної утилізації зольних і шлакових відходів теплоенергетики.

Таблиця 1. Уміст природних радіонуклідів у вугільних зразках із різних родовищ деяких країн світу

Країна	Назва природного радіонукліду	Вміст у вугіллі, Бк/кг
Австралія	226Ra	30- 8
США	226Ra	у середньому 22
ФРН	226Ra	26
Польща	226Ra	2-35
Чехословаччина	226Ra	4-13
Максимальні значення вмісту урану для вугільних родовищ різних країн		
США		245
Швеція		≥ 10 000
Донбас, Україна		до 120
Середній вміст ПРН у вугіллі типу АШ Східного Донбасу	238U	76±6
	226Ra	34±4
	232Th	21±2
	40K	300±20
Вміст ПРН у вугіллі окремих вугільних родовищ з рановими аномаліями		36 000-84 000

У 1940-1950 роках урановмістке вугілля розглядалося як джерело промислового військового урану, а згодом – як джерело радіоекологічної небезпеки у вуглевидобувній та вуглеенергетичній галузях. Однак, результати цих досліджень досить часто носили суперечливий характер закріпивши лише розуміння переваги зв'язків вугільного урану з вугільною органікою.

Техногенне посилення радіоекологічної небезпеки вуглевидобування та вуглеспоживання [24, 25]. Природні радіонукліди у вугіллі українських родовищ. У 1934 році була опублікована перша інформація про вміст ПРН в кам'яному вугіллі на родовищах Кузнецького басейну. А в 1940-1950 рр Геологічною службою США досліджувалося вугілля з високими концентраціями урану, в результаті чого виник так званий «урановий бум». А в 1945 році у американському штаті Вайомінг геологи відкрили вугільно-уранову аномалію. Перша геологічна розвідка вугільного уранового родовища Форт Юніон була здійснена у 1948 році в штаті Північна Дакота [26, 27]. Пізніше ураноносні вуглисті сланці були знайдені у штатах Айдахо, Нью-Мексико, Невада, Вайомінг і Колорадо. У ці ж роки були відкриті уранове буре вугілля в Угорщині, в Югославії та

Словенії. У Швейцарії (провінція Неркі) у 1956 р., було відкрито вугільне родовище з вмістом урану до 330 г/т.

Найзагальніший висновок цих досліджень показав, що у будь-якому вугіллі є природні радіоактивні мінерали уранового та актиноуранового рядів ^{238}U разом з продуктами його розпаду. При цьому, окрім урану, є також включення ізотопів K-40 та Th-232 з продуктами їх розпаду. А в загальному 70-90% радіоактивності вугілля визначається наявністю радіоактивних рядів ^{238}U та Th-232 і тільки на 10-30% – K-40 .

За результати небагатьох таких досліджень [28-32] можна зробити висновок, що всі процеси пов'язані з видобутком та вуглеспоживанням, в тому числі при транспортуванні вугілля і навіть такого в якому вміст ПРН лише в субкларкових кількостях, ПРН накопичуються в довкіллі і можуть створювати небезпеку для персоналу та населення.

У 1992-1994 рр прийнятний радіоекологічний фон реєструвався на поверхні лише 10% усіх українських вугільних шахт. При цьому ефективне дозове навантаження для персоналу реєструвалося не більшим, як $5 \text{ м}^3/\text{рік}$. На 10% вугільних шахт реєструвалося перевищення допустимого ефективного дозового навантаження для персоналу підприємств. Згідно з правилами радіаційної безпеки в такій ситуації повинні здійснюватися обов'язкові імперативні заходи організації радіоекологічного моніторингу для забезпечення радіоекологічної безпеки.

Радіоекологічні особливості вуглеспалювання на вугільних ТЕС та котельнях. Небезпека використання вугілля на ТЕС та на котельнях визначається техногенним підвищенням питомої активності природних радіонуклідів у вугільних золо-шлаках порівняно з їх вмістом у спалюваному вугіллі від 2-х до 8-и крат [30]. В результаті навколо ТЕС та котельень може формуватися техногенного посилений радіаційний фон за рахунок накопичення збагачених на ПРН масштабних золовідвалів та розсіювання на великі відстані не вловлюваного фільтрами мікродисперсного радіоактивних золених викидів.

У золовідвалах навколо українських ТЕС накопичено до 390 млн. т золошлаків кількість яких щороку поповнюється на 14 млн. т, створюючи радіоекологічні проблеми та збільшуючи виробничі витрати на проведення природоохоронних заходів.

У західних країнах до 70% золошлакових відходів мають промислове використання. У Польщі, на високої ціни на землю під золовідвали, ТЕС доплачують споживачам золошлаків, знижуючи таким чином витрати на їх зберігання. У Великобританії та Німеччині збуту золошлаків здійснюється за допомогою спеціалізованих компаній. Споживачі золошлакових відходів виробляють з них добавки та наповнювачі в цементному виробництві та для

бетонів, розчинів, цегли, кераміки, а також застосовують їх при будівництві автошляхів, в аграрному секторі.

У золошлаках на відвалах ТЕС, після спалювання на них вугілля Донбасу, присутні ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs і елементи Fe, Ca, K, Cu, Zn, Pb, S, Zr. Тому для застосування золошлаків вугілля Донбасу у якості мікродобрив необхідно визначити рівень їх радіоактивності, канцерогенні властивості та мікроелементний склад. Для забезпечення радіоекологічної безпеки при використанні вугільного палива доза опромінення населення повинна бути меншою $1 \text{ м}^3/\text{рік}$, а активність золошлаків – нижче 370 Бк/кг .

Отже, для забезпечення радіоекологічної безпеки вуглекористування необхідно здійснювати керування радіаційною якістю вугілля за допомогою методів та засобів радіометрії. З цією метою проводяться експрес-оцінки гамма-випромінювання урану у вугіллі для його подальшого сортування на основі визначених порогових рівнів інтегральної гамма-активності вугілля. Додатково можна проводити радіоекологічний контроль забруднення підземних і дренажних вод, у визначених контрольних точках санітарно-захисної площі навколо підприємства.

Радіоекологічна небезпека радону на територіях поверхні вугільних шахт Донбасу. Джерелом радіоекологічної радонової небезпеки на Донбасі є активізація розривних порушень гірських масивів у результаті шахтного видобутку вугілля. На сьогодні ця небезпека посилюється у зв'язку з масовим затопленням вугільних шахт у результаті чого утворюються нові геологічно порушені масиви з підвищеною проникністю для радону [31, 32]. В результаті на поверхні шахтних полів відбувається інтенсифікація щільності радонових потоків від середніх рівнів $189 \text{ мБк/м}^2\text{с}$ до $3310 \text{ мБк/м}^2\text{с}$. Аналогічні значення за межами шахтних полів знаходяться в інтервалі $35\text{-}260 \text{ мБк/м}^2\text{с}$. Розширення підземних вугільних виробок супроводжується збільшенням у приміщеннях будівель рівня середніх показників еквівалентно рівноважної об'ємної активності радону від $168,57 \pm 20,66 \text{ Бк/м}^3$ на території шахтного поля до 1715 Бк/м^3 тому що на прилеглих площах відповідний максимальний рівень збільшується до $304,25 \text{ Бк/м}^3$ при середньому його значенні $120,97 \pm 14,79 \text{ Бк/м}^3$.

Радіоекологічну небезпеку також створює здатність радону та його продуктів розпаду, таких як Po, Bi, Pb, з'єднуватися з вугільним пилом у результаті чого утворюється інгаляційно небезпечний радіоактивний аерозоль який викликає більше як 70-80% середньорічної дози опромінення людського організму і відповідно онкозахворювань [33].

За оцінками ВООЗ та Лабораторії радіаційного захисту Державної установи «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України» внесок радону в загальну кількість злоякісних новоутворень в легенях складає 14%. Для курців ризик онкозахворювань у 5-6 разів вищий.

Так, у результаті досліджень, проведених у 30 000 будинків України, для приміщень у 4800 будинках рівні радону були більшими в порівнянні зі значенням міжнародного референтного рівня 300 Бк/м³.

Радіоекологія териконів. За 200 років видобутку вугілля на території Донбасу утворилося понад 1500 вугільно породних териконів [34, 35].

Експозиційна доза γ -випромінювання породи відвалів ПО Луганськвугілля складає 17-33 мкР/год, а щільність потоку β -частинок в межах 334–501 (с·м²)⁻¹ з питомою активністю $A \cdot 10^8 = (7-10)$ Кі/кг.

Для порід і ґрунтів навколо териконів, α -активність має приблизно фонове значення, а питома γ -активність перевищує рівень фону і за припущенням [36, 37], тобто. можливість її будівельного використання без обмежень. Але все ж, залишається небезпека ексхалатції радону-222 в концентраціях що можуть посилити дози опромінення легень. Лише у териконах Донецька кожного року згоряє понад 30 тис. т сірки та 150 тис. т вугілля [38]. При цьому в процесі горіння вугілля відбувається його радіоактивне збагачення на природні радіонукліди. Температура горіння териконів сягає 600 °С і вище. А в умовах териконного дефіциту вуглистих домішок температура горіння може підніматися 1000 °С [39, 40].

На трьох териконах ВАТ Лисичанськвугілля (зарослі відвали колишньої шахти ім. П. Л. Войкова; шахти ім. Я. Ф. Мельникова та озеленений у 1989-1991 рр., відвал колишньої шахти ім. М. Л. Рухімовича) радіаційні виміри проводилися за допомогою радіометра бета-гама випромінювання РКС-20-03 «Прип'ять». Для цих териконів середні значення виміри бета-гама та ($\beta + \gamma$ та β) радіоактивності склали 23,98 (19,92), 19,01 (13,94) та 20,76 (16,12) відповідно. У дужках зазначено значення β -активності в одиницях 10² частинок/см² хвилину, а значення $\beta + \gamma$ в одиницях мР/годину. Проте на сьогодні ще немає надійної методики для точного оперативного експрес-моніторингу і вимірювання викидів від вуглепородних сумішей в териконах, що горять та перегоріли, і в тому числі радіоактивності газо-пилової суміші що викидається в результаті горіння, як і продуктів що вимиваються.

Для підвищення ефективності радіоекологічного моніторингу за тепловим станом териконів перспективно застосувати дистанційні космічні методи зондування [41]. Також дуже перспективними є космічні радарні технології на основі синтезованої апертури (SAR) здатних «бачити» крізь хмари в будь-який час доби з високим просторовим розділенням. Високий інтерес до технологій SAR пояснюється їх високою роздільною здатністю та з можливостями їх поєднання з можливостями мультиспектрального космічного оптичного зондування.

Для оперативного моніторингу шахтних териконів, як і для решти радіоекологічно небезпечних об'єктів та територій на поверхні вугільних

шахт, як і на прилеглих до них територіях також доцільно і ефективно можна застосовувати досвід добре апробованої експрес-методик радіоекологічного моніторингу у разі ядерних аварій [42].

Висновки:

1. Масове закриття шахт може призводити до виникнення масштабного комплексу негативних радіоекологічних явищ і процесів. Ці явища і їх наслідки в даний час залишаються маловивченими, важко прогнозованими і практично протікають не керованим чином.

2. Радіоекологічні та радіаційно-гігієнічні параметри якості вітчизняного та закордонного імпортованого до України вугілля відносяться до його найважливіших показників. Головною проблемою радіоекологічного контролю вугілля є відсутність вітчизняних і міжнародних нормативних та методичних документів з обґрунтованими вимогами щодо вмісту природних радіонуклідів (ПРН) у спалюваному вугіллі. З огляду на таку ситуацію виникає необхідність розробки вітчизняної нормативної та законодавчої основи для забезпечення радіоекологічної безпеки в процесах поводження з вугіллям у вуглевидобувній, вугільно-енергетичній та вугле-сировинній галузях, а також необхідність розробки методології радіоекологічного контролю наявності природних та техногенно посиленних радіонуклідів у вітчизняному та імпортованому вугіллі для паливно-енергетичних та інших потреб держави.

3. Некероване масове затоплення вугільних шахт на Сході України спричинило підйом рівнів підземних шахтних вод і створило небезпеку радіаційного забруднення підземних та поверхневих питних вод, та ґрунтів природними похідними радіонуклідами радію-226 і радону-222. У зв'язку з цим важливо створити інтерактивну карту радіоекологічно небезпечних об'єктів Донбасу та їх впливу на ресурси життєзабезпечення населення для розробки плану дій із застосуванням найкращих сучасних технологій для очищення шахтних вод для їх повернення у господарчо-промислове водокористування і забезпечити радіоекологічний захист питних водозаборів.

4. Виходячи із сучасних знань, для оцінки ризику проживання населення в умовах постійного впливу малих доз з метою усунення їх впливу на виникнення раку та успадкованих захворювань від радіаційного впливу в будь яких, у тому числі й у скільки завгодно малих дозах. Ці ефекти розглядаються як інтегральний і найбільш адекватний показник шкоди, що наноситься здоров'ю людей іонізуючою радіацією, що і дає підставу використати їх із метою гігієнічної регламентації радіаційного впливу в умовах вуглевидобувних та вуглеенергетичних галузей.

5. Для упередження та уникнення небезпечних змін стану геолого-географічних масивів та наступного за ними радіоекологічного лиха потрібні додаткові нові дослідження, які необхідні як основа для розробки та реалізації системного комплексу реабілітаційних заходів для відновлення якості підземних вод, деградованих за багаторічний період функціонування шахт. Особливо і надзвичайно важливо провести такі дослідження в районах масштабної масової «мокрої» консервації вугільних шахт.

Використані інформаційні джерела:

1. Пиріков О. В., Чумаченко С.М., Яковлев Є.О. Аналіз чинників формування еколого-техногенних і соціальних загроз безпеці життєдіяльності у вугле промисловій зоні Донбасу // Екологічна безпека та природокористування : Збірник наукових праць. Випуск 2 (38), квітень-червень. 2021.

2. Мауричева Т. С., Киселев Г. П. Источники радиоактивного загрязнения окружающей среды при добыче и использовании каменного угля // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека : Матер. II Междунар. конф. Томск, 18-22 октября. Томск : Тандем-Арт, 2004. С. 367–370.

3. Лисаченко Э. П., Кормановская Т. А., Стамат И. П., Грищенко С. М. К вопросу о необходимости нормирования содержания природных радионуклидов в углях // Топливо-энергетический комплекс: региональные аспекты : Сб. трудов 4-го Междунар. форума, 6-9 апреля 2004 г. С. 27–28.

4. Овсейчук В. А., Сидорова И. П. Ураноносность бурых углей Забайкалья: монография. ЗабГУ, 2012. 196 с.

5. Сидорова Г. П., Овсейчук В. А., Крылов Д. А. Проблемы угольной энергетики, связанные с радиоактивностью углей // Вестник ЗабГУ. 2013. – №08 (99). С. 38–45.

6. Коваленко Г. Д., Рудя К. Г. Радиоэкология Украины. Киев : КНУ, 2001, 167 с.

7. Решетов И. К., Удалов И. В., Янчев В. К. Вплив реструктуризації шахт на еколого-радіологічний стан підземних вод // Екологія, довкілля та безпека життєдіяльності. 2006, №3 (33). С. 22–28.

8. Решетов И. К., Удалов И. В. Радиационно-экологична обстановка на шахтах, що закриваються, Стахановського регіону Луганської області // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки : Зб. наук. пр. / УкрНДІЕП. Харьков : ВД «Райдер», 2005. С. 48–57.

9. Удалов И. В., Улицький О. А.. Особливості радіаційно-екологічної ситуації при закритті вугільних шахт // Труды XVIII Международной конференции по физике радиационных явлений и радиационному материаловедению. Алушта, Крим, 2008. С. 368.

10. Бабаев М. В., Пятко Б. Я., Удалов И. В. Особенности радиационной ситуации при закрытии угольных шахт (шахта «Пролетарская» ГХК Луганскуголь) // ВАНТ. Серия ФРП и РМ. 2003. №6. С.133–135.

11. Гавриленко Ю. Н., Ермаков В. Н., Кренида Ю. Ф. и др. Технологические последствия закрытия угольных шахт Украины : монография ; под ред. Ю. Н. Гавриленко, В. Н. Ермакова. Донецк : «Норд-Пресс», 2004. 631 с.

12. Методические рекомендации по оценке радиационной обстановки в населенных пунктах, в зоне радиоактивного загрязнения со средней плотностью до 5 Ки/м² цезия-137^m. Украинская межведомственная комиссия Н 42-радиационного контроля загрязнения природной среды. Киев, 1992.

13. Арбузов С. И., Волостнов А. В., Машенькин В. С. Радиогеохимическая характеристика углей Северной Азии // Энергетик. 2010. №3. С. 2–8.

14. Кизильштейн Л. Я. Уголь и радиоактивность // Химия и жизнь. 2006. №2. С. 22–24.

15. Касаткин В. В., Ильичев В. А., Камнев Е. Н., Касаткин А. В. Экспертная оценка радиационного риска объектов мирных ядерных взрывов (МЯВ) на основе выбранных эмпирических критериев. 2013. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). С. 196–201.

15. Артамонова С. Ю. Распространение трития в поверхностной воде объекта мирного подземного ядерного взрыва «Кристалл» в 2018 г. Интерэкспо Гео-Сибирь, 2019. С. 232–238.

16. Калиновский А. К., Краснов В. А., Пазухин Э. М. Некоторые экологические аспекты применения подземных ядерных взрывов в мирных целях // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. 2010. Вип. 14 (16) 2010. С. 113–119.

17. Державні санітарні правила поводження з радіоактивними відходами. Затверджено 28.12.2000 р. Київ, 2001.

18. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України // Офіційний вісник України. 2005. №23. С. 198–278.

19. Норми радіаційної безпеки України НРБУ-97. Державні гігієнічні нормативи ДГН 6.6.1-6.5.001-99. Київ, 1998. 135 с.

20. Про забезпечення санітарного та епідеміологічного добробуту. Закон України №404-12, 1994 р.

21. Головні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України ОСПУ-2005. Державні санітарні правила ДСП 6.177-2005-09-02. Київ. 104 с.

22. Іщенко Л. О. Ризик опромінення радоном та аналіз фактичної захворюваності на рак легень серед населення м. Кривого Рогу. Ukrainian Journal of Occupational Health, 2019. 15(1), С. 52–60.

23. Рудько Г. І., Ермаков В. М., Луньова О. В. Екологічна безпека вугільних родовищ України : монографія. ВВД Бук Рекм м. Чернівці, 2016. 608 с.

24. Кизельштейн Л. Я. Химия и жизнь. 2006. №2. С. 24-29.

25. Сидорова Г. П., Крылов Д. А. Оценка содержания радиоактивных элементов в гулях и продуктах их сжигания.

26. Вайн Дж. Д. Урано содержащие угли в США // Матер. Междунар. конф. по мирному использованию атомной энергии. Женева, 8-20 августа 1955 г. Т. 6. Геология урана и тория. Женева, 1955. С. 525–531.

27. Breger J.A., Deul M., Rubinstein S. Geochemistry and Mineralogy of a uraniumiferous lignite // *Economic Geology*. 1995. V. 50. №2. P. 206–226.

28. Хімічний склад золи вугілля північного вугленосного району Донбасу. *Journal of Geology, Geography and Geocology*. 2011. С. 1–6.

29. Методические рекомендации по оценке радиационной обстановки в населенных пунктах, в зоне радиоактивного загрязнения со средней плотностью до 5 Ки/м² цезия-137». Украинская межведомственная комиссия Н 42-радиационного контроля загрязнения природной среды. Киев, 1992.

30. Грабовський О., Браташ В. Оцінка радіоактивних викидів Добротвірської ТЕС (Львівська обл.) та їх впливу на довкілля // *Електроніка та інформаційні технології*. 2011. Випуск 1. С. 166–175.

31. Удалов В. И. Активизация выделения радона при «мокрой» консервации угольных шахт // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (96)*. 2010. С. 126–129.

32. Удалов И. В., Кононенко А. В. Особенности процессов миграции естественных радионуклидов в подземных водах при ликвидации угольных шахт Северо-Восточного Донбас // *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: геологія, географія*. 24 (2). 2016 С. 121–128.

33. Гусаров И. И., Иванов С. И., Кожевников А. А. и др. Гигиенические проблемы радона в помещениях и возможные пути их решения // *Гигиена и санитария*. 1993. №1. С. 9–11.

34. Зубов А. А. Терриконы – объекты техногенной опасности // *Екологічна безпека. Наукове видання: Кременчуцький державний політехнічний університет ім. Михайла Остроградського. Кременчук : КДПУ. 2009. Вип. 4(8). С. 89–92.*

35. Зубова Л. Г., Гречка В. А., Матюшенко Ю. В. Воздействие горнодобывающей промышленности на естественные ландшафты Донбасса // *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 1999. №4. С. 63–66.

36. Воробьев С. Г., Кудленко В. Г. Определения удельной гамма-активности пород шахтных отвалов // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*, 2008. №6 (53). Ч. 1. С. 120–123.

37. Уханьова М. І., Хоботова Е. Б. Дослідження радіаційно-хімічних властивостей відвальних горілих порід // *Сучасні проблеми екології та геотехнологій : Матеріали конференції. Житомир, 2009. С. 38–39.*

38. Бакланов В. И. Растительные условия терриконов Донбасса: В кн. *Интродукция растений и зеленое строительство в Донбассе*. К. : Наукова думка, 1970. С. 15–25.

39. Саранчук В. М. Борьба с горением породных отвалов. К. : Наукова думка, 1978, 268. С. 37.

40. Пашковский П. С., Попов Э. А., Яремчук М. А. Контроль теплового состояния породных отвалов // Уголь Украины, 2000. №7. С. 27–29.

41. Єрмаков В. М., Луньова О. В. та ін. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка методики застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки стану навколишнього середовища». № ДР 0118U005460/Міненерговугілля, м. Київ. 2018. 164 с.

42. Савчук О. Н., Кройтер В. П. О совершенствовании экспресс-методики оценки радиационной обстановки по данным разветки при авариях (разрушениях) атомных электростанций. С. 7–14.

**СТАЛЕВІ СПІРАЛЬНО-ФАЛЬЦЕВІ КОНСТРУКЦІЇ У СКЛАДІ
БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ**

STEEL SPIRAL-FOLD STRUCTURES IN BIOENERGY COMPLEXES

Пічугін С. Ф., доктор технічних наук, професор,
Оксененко К. О., аспірантка

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», Україна*

Pichugin S. F., DSc, Professor,
Oksenenko K. O., graduate student

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine

***Анотація.** Розглянуто види біомаси та варіанти її використання в різних біоенергетичних установках. Проаналізовано конструкції спіральньо-фальцевих ємностей та їх особливості. Описано особливості тріски деревини як твердого біопалива. Порівняно теплотворну здатність та викиди в атмосферу при спалюванні різних видів палива. Проаналізовано характеристики тріски деревини, як сипучого матеріалу. Наведено схеми котлів, котрі працюють на твердому паливі. Перераховано вимоги до складів, для зберігання тріски деревини. Наведені типи закритих складів, для зберігання тріски деревини та проаналізовані їх переваги та недоліки. Розглянуто приклади використання спіральньо-фальцевих конструкцій, як складу для зберігання біомаси в твердому вигляді, за кордоном та на території України. Наведено схему біогазової станції та перераховано її основні компоненти. Розглянуто визначення метантенка, типи та особливості конструкції. Перераховано недоліки залізобетонних резервуарів зброджування. Описано перший спіральньо-фальцевий метантенк із горизонтальним процесом ферментації. Розглянуто види спіральньо-фальцевих метантенків, їх технічні характеристики та особливості.*

***Abstract.** Types of biomass and variants of its use in various bioenergy installations are given. Designs of spiral-fold tanks and their features are considered. Features of wood chips as a solid biofuel are described. Relatively calorific value and emissions into the atmosphere during burning different types of fuel are compared. The characteristics of wood chips as a bulk material are*

analyzed. Schemes of boilers which run on solid biofuel are given. The requirements to warehouses for storage of wood chips are listed. The types of closed warehouses for wood chips are presented and their advantages and disadvantages are analyzed. Examples of the use of spiral-fold structures as storage of biomass in solid form, abroad and in Ukraine are considered. The scheme of the biogas plant is given and its main components are listed. The definition of digesters, types and features of its construction are considered. The disadvantages of reinforced concrete fermentation tanks are listed. The first spiral-fold digester with a horizontal fermentation process is described. Types of spiral-fold digesters, their technical characteristics and features are considered.

Біоенергетика – це галузь науки і техніки, яка займається вивченням питань перетворення енергії біомаси в електричну, теплову та інші види енергії, а також виробництвом з біомаси нових, більш зручних у використанні та екологічно чистих видів палива. Під визначенням «біомаса» слід розуміти «невикопну біологічно відновлювану речовину органічного походження у вигляді відходів лісового та сільського господарства (рослиництва і тваринництва), рибного господарства та технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, що зазнає біологічного розкладу, а також складову промислових або побутових відходів, що здатна до біологічного розкладу» [1].

Однією з головних переваг біомаси для енергетичного використання є її універсальність та мультиваріантність. Біомаса може бути використана у твердому вигляді, шляхом безпосереднього спалювання (дрова, тріска, тюки соломи, гранули та брикети з біомаси), перетворена і використана у рідкому (біодизель, біоетанол) чи газоподібному (біогаз, біометан) стані (рис.1).

Відходи тваринництва є одним з найперспективніших джерел отримання енергії. Наприклад, з однієї тони гною великої рогатої худоби виходить 50-65 м³ біогазу з вмістом метану 60%, максимальну кількість біогазу – 1300 м³ із вмістом метану до 87 % – можна отримати з тони жиру.

Для України біоенергетика є одним із стратегічних напрямів розвитку сектору відновлюваних джерел енергії, оскільки біомаса та біопалива можуть замінювати традиційні палива і енергоносії у виробництві теплової та електричної енергії.

Результатом впровадження технологій використання біомаси є створення нових екологічно чистих генеруючих теплових та електричних потужностей відновлюваної енергетики, які на відміну сонячних та вітрових електростанцій мають збалансовану генерацію з гарантованою потужністю.



Рис.1.Види біомаси та типи установок для її перетворення

Розвиток біоенергетики наряду залежить від інновацій у будівельній галузі. Всі процеси, які відбуваються на станціях, що отримують енергію з біомаси, висувають великі вимоги не тільки до якості технологічного обладнання, але й до конструкцій, в яких ці процеси відбуваються. Оскільки їх аварії призводять до значних наслідків, як економічних так і екологічних. Метою дослідження є обґрунтування застосування інноваційних легких емностей для зберігання біомаси – металевих конструкцій спіральнo-фальцевого типу, які є унікальними та надійними спорудами, в складі різних біоенергетичних комплексів.

Спіральнo-фальцевий силос має циліндричний корпус, який являє собою систему спірального з'єднання сталеві стрічки шляхом подвійного вальцювання. Ця технологія була винайдена німецьким вченим Ксавером Ліппом у 1968 р [8]. Унікальна технологія дозволяє безпосередньо на будівельному майданчику, без використання болтів і зварних з'єднань, вести компактний і швидкий монтаж емностей високої міцності [9].

Комплект обладнання для зведення спірального силосу складається з розмотчика рулонів, формуючого пристрою, вальцювального верстата і несучих рам.

Процес монтажу конструкції силосу дуже простий (рис. 2). Металеві бухти, обладнання та несучі рами доставляються на будівельний майданчик, де потім будується силос. Процес монтажу силосу швидкий, ефективний та

гнучкий. Унікальна технологія дозволяє компактно та швидко встановлювати високоміцні та герметичні силоси прямо на будівельному майданчику, без використання болтів та зварних з'єднань.

Сталевий спіральньо-фальцевий силос має низку переваг: 1) високий ступінь автоматизації, швидкість монтажу, висока точність; 2) повна герметизація, водонепроникність; 3) висока міцність сталі, економія сталі; 3) зменшення часу на монтаж і необхідну кількість монтажників; 4) економічність, повна відсутність болтових з'єднань.



Рис.2. Монтаж спіральньо-фальцевого силосу для тріски деревини, м. Полтава

Основна форма енергії з біомаси в Україні – тепла енергія. Зараз 81% сировини у виробництві теплової енергії – деревні види біомаси: дрова, тріски і деревні пелети; 17% – аграрна біомаса, тобто солома, стебла кукурудзи та лущиння соняшнику.

Особливості твердого біопалива. Подрібнена деревина у різних своїх формах, насамперед у вигляді тріски, є невід'ємним компонентом сучасної структури промислового виробництва та споживання. Щорічно на підприємствах лісопромислового комплексу утворюється близько 50 млн. м³ деревних відходів, а потенційно відходи можуть зрости до 200 млн. м³. Рациональній переробці піддається менш третини з них. Подрібнена деревина, представляючи собою продукт переробки круглих лісоматеріалів, у великих обсягах може використовуватись не тільки як сировинна основа для виробництва паливних брикетів, гранул та ін., а й як самостійне біопаливо [2].

Тріска деревини впевнено посіла провідне місце серед найпоширеніших видів біопалива. Спеціалісти пояснюють це її дешевизною і простотою виробництва. Використання тріски деревини як біопалива – екологічно і економічно виправданий шлях скорочення витрат на лісопромислових та інших підприємствах. Таке біопаливо не порушує природної рівноваги, оскільки вуглекислий газ, який виділяється при його згоранні, повністю поглинається зеленими насадженнями в процесі фотосинтезу. Зниження використання викопного палива (вугілля, мазут, газ) і перехід на біопаливо поліпшують екологічну обстановку, дозволяють досягти певного економічного ефекту. В табл.1 наведені дані теплотворної здатності та дані по викидах в атмосферу в залежності від виду палива [3].

Таблиця 1. Порівняльна характеристика різних видів палива

Вид палива	Теплотворна здатність, МДж/кг	Вміст сірки, %	Вміст золи, %	Вміст вуглекислого газу, кг/ГДж
Природний газ	35-38 МДж/м ³	0	0	57
Кам'яне вугілля	15-25	1-3	10-35	60
Мазут	42	1,2	1,5	78
Тріска деревини	10,5-12	0	2	0

Як видно з табл. 1, тріска є екологічно чистим паливом. Теплота згорання 1 кг деревної тріски відповідає 0,43 кг кам'яного вугілля, 0,31 кг залишків нафти та 0,5 кг сухого торфу.

Найважливішими якісними показниками деревного палива є вологість, фракційний склад, частка дрібних фракцій, вміст золи, питома вага, тепломісткість, наявність механічних домішок.

Тріска характеризується як однорідний сипучий матеріал. Структура тріски як сипучого тіла є найважливішим фактором, що визначає її механічні властивості. Для тріски характерні зв'язність частинок, їх рухливість, здатність змерзатись та злежуватись, ущільнюватись при статичних і динамічних впливах, утворювати склепіння при витіканні з бункерів і силосів. При вільному відсіпанні частинки тріски утворюють конусну купу з певним кутом до основи.

Як матеріал органічного походження, тріска гігроскопічна, схильна до ураження мікроорганізмами. Подібно іншим рослинним матеріалам, велика маса тріски володіє здатністю самозигріватись і при певних умовах самозайматися. Основними параметрами, що характеризують властивості тріски, є об'ємна маса, вологість, коефіцієнт повнодеревності, коефіцієнт ущільнення, кут природного ухилу, коефіцієнт внутрішнього тертя, початковий опір зрушенню, коефіцієнт тертя-ковзання по різній поверхні [4].

Об'ємна маса тріски характеризує щільність її укладання і визначається вмістом маси вологої деревини у виміряному обсязі тріски. Об'ємна маса залежить від щільності подрібнюваної деревини, вологості сировини, коефіцієнта повнодеревності тріски, а також ступеня її ущільнення і фракційного складу.

Переведення обсягу тріски в щільну деревну масу, визначається коефіцієнтом повнодеревності – найважливішою характеристикою в системі обліку вироблюваної тріски. Коефіцієнт залежить від гідротермічного стану тріски, умов її завантаження та дальності транспортування. Однак тріску у вільно насипаному стані можна вважати лише в момент відсіпання. Через нетривалий час під дією статичних навантажень від власної ваги тріска поступово самоущільнюється, змінюється її коефіцієнт повнодеревності. Значне ущільнення тріски спостерігається під впливом динамічних навантажень, що виникають, наприклад, при пневмозавантаженні або транспортуванні.

Значення коефіцієнта повнодеревності: для вільно насипаної тріски – $k = 0,36$; транспортування до 50 км – $k = 0,4$; перевезення понад 50 км – $k = 0,42$; в кінці транспортування на відстань від 500 км – $k = 0,43$

У залежності від фракційного складу, форми часток, ступеню наповненості пор вологою, ущільнення значення об'ємної маси одного й того ж матеріалу може відхилитися на 200-250%.

У табл. 2 наведена об'ємна вага вільно-насіпної тріски в залежності від її вологості [4, 5].

Таблиця 2. Об'ємна маса тріски у вільно-насіпному стані

Порода деревини	Об'ємна маса у вільно-насіпному стані, кг/м ³ , при вологості, %									
	12	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Сосна	187	213	231	245	260	274	292	306	321	335
Ялина	162	187	202	216	231	241	256	270	285	295
Модрина	239	277	295	317	335	357	374	396	414	436
Береза	234	263	285	303	321	339	360	378	396	414

Рухливість тріски характеризується кутом природного ухилу, коефіцієнтом внутрішнього тертя, початковим опором зрушенню, коефіцієнтом тертя по поверхні. Кут природного укусу утворюється площиною природного укусу вільно відсіпаної купи тріски з горизонталлю.

Величина кута природного укусу змінюється для тріски в межах 30-40° [4] і залежить від рухливості частинок. Чим більшою рухливістю вони

володіють, тим менше цей кут. Кут природнього ухилу для тріски сосни фракції 20 мм в межах 39-49°, 10 мм – 36-46°, 5мм – 32-58°. При цьому експериментальні дослідження, проведені Бечериковим І. В. [6], доводять, що кут природнього ухилу тріски може приймати значно більші значення.

Котельня, яка отримує енергію з біомаси, складається з котла та складу біомаси (рис.3). Більшу частину простору в приміщенні котельні займає саме склад біомаси. Якість роботи енергоустановки напряму залежить від безперебійної подачі сировини від складу в котел.

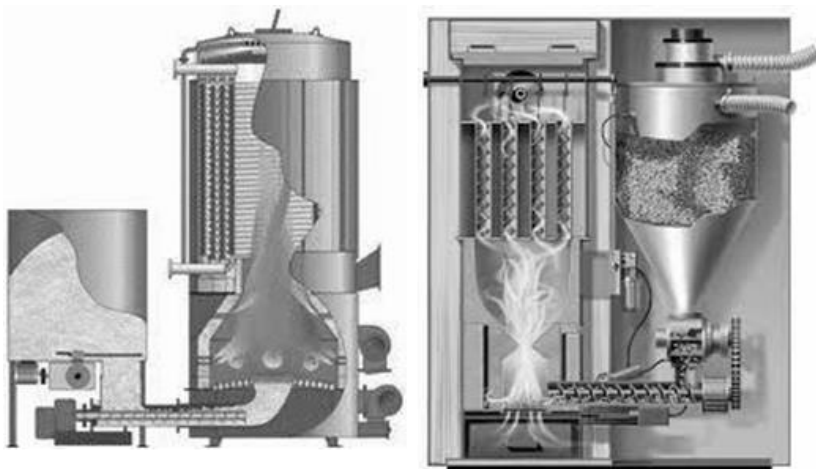


Рис.3. Схеми котлів, які працюють на твердому паливі

(<https://bio.ukr.bio/ru/boilers/model/38-HARGASSNER-Classic-kotel-na-pelletah/>)

Сучасний склад для зберігання тріски деревини повинен відповідати таким вимогам: повна автоматизованість, пожежна та екологічна безпека, економічність, велика місткість (запас матеріалу на 5-7 днів), можливість запобігання злежування та змерзання матеріалу. Тріска деревини характеризується різними властивостями, такими як гранулометричний склад, вологість, схильність до змерзання та злежування, наявність смол, гнилі. Всі ці характеристики призводять до того, що під час довгого зберігання в силосах збільшується сила зчеплення між частками, що зменшує їх рухливість та опір зсуву. Тому потрібно контролювати процеси всередині ємності та передбачати поведження матеріалу та його дію на конструкцію [7].

Склади для закритого зберігання біомаси в твердому вигляді поділяються на звичайні склади, бункери та силоси. Звичайний склад відрізняється від відкритої площадки наявністю огорожуючих конструкцій, що дозволяє захистити тріску від зовнішні опадів, але не вирішує проблем із завантаженням-вивантаженням та розвитком біологічних процесів. Як механізовані склади для зберігання сипучих матеріалів зарекомендували себе бункери та силоси, які співвідношенням висоти до розмірів в плані

Спірально-фальцеві конструкції, як компонент біоенергетичних установок. Конструкції спірально-фальцевих силосів для зберігання тріски деревини зарекомендували себе по всьому світу. Зокрема, італійська фірма BSP ENGINEERING SRL реалізувала ряд проектів для зберігання тріски деревини в різних країнах (рис. 4). Проекти включають в себе ємності для зберігання тріски деревини об'ємом до 10 000 м³, система розвантаження комплектується в залежності від технічних особливостей, гвинтовий генератор біомаси різної комплекції забезпечує безперербійне вивантаження матеріалу [10].

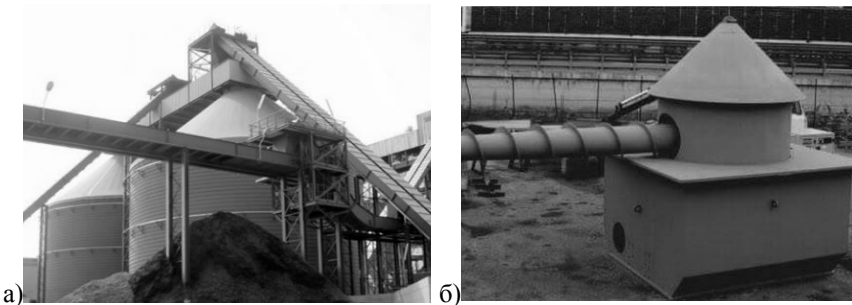


Рис.4. Продукція компанії BSP ENGINEERING SRL

(<https://www.lippel.com.br/>):

а) ТЕС, працююча на трісці деревини, Італія; б) гвинтовий генератор біомаси

На території України ці конструкції також починають набувати популярності. Вітчизняним підприємством ТОВ «КРЕАТИВ-АГРОМАШ» [11] було успішно реалізовано більше 10 спірально-фальцевих силосів для зберігання біомаси в твердому вигляді (рис. 5, 6) та більше 30 силосів для зберігання інших сипучих матеріалів, від зернових культур до цементу, а також резервуарів [12].



**Рис. 5. Котельня, працююча на лущинні соняшника,
м. Кривий Ріг**

Силосний склад для тріски деревини (рис. 6,б) є повністю автоматизованим, завантаження тріски відбувається за допомогою пневматичного обладнання, розвантаження – транспортерами, для попередження злежування та змерзання матеріалу всередині розміщений радіально-поворотний зачисний шнек, який забезпечує безперервне вивантаження (рис. 6,а). Система аспірації контролює викиди пилу під час завантаження силосу, система пожежогасіння, встановлена під покрівлю, попереджає самозаймання матеріалу.

Спірально-фальцеві конструкції в складі біогазових станцій. Біогазові установки мають суттєве значення у виробництві електроенергії і тепла від відновлюваних джерел енергії. В якості сировини для виробництва біогазу можуть використовуватися: відходи тваринництва, промислові та побутові відходи, тверді побутові відходи комунального господарства міст, рослинні залишки сільськогосподарського виробництва.

Метантенк, або ферментер (резервуар зброджування), займає центральне місце у будівництві біогазової установки і є другим етапом виробничого ланцюгу [13].



Рис. 6. Спірально-фальцевий силос для зберігання тріски:
а) м. Чернівці; б) м. Полтава

Біогазова станція складається з наступних основних компонентів: приймальний резервуар, метантенк, газосховище, резервуар-сховище дегістату (рис. 7).

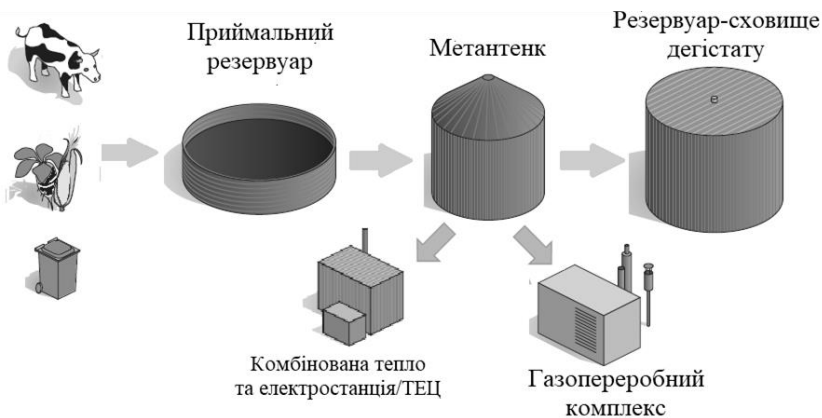


Рис 7. Схема біогазової станції

Метантенки – герметичні резервуари, що забезпечують зброджування осадів без доступу кисню повітря при підтримці оптимальної температури зброджуваного осаду. На відміну від двоярусних відстійників і освітлювачів-перегнивачів, у метантенках здійснюють підігрівання осадів

до 33 чи 53 °С, їх інтенсивне перемішування та утилізацію утворюваного біогазу [14].

Метантенки являють собою залізобетонні або металеві резервуари з теплоізоляційним покриттям. Резервуари можуть бути циліндричними з конусним днищем і конічним або сферичним перекриттям, а також можуть бути кулястої, яйцевидної форми. Часто, для кращої теплоізоляції, метантенки влаштовують заглибленими в землю або обволікають землею.

Метантенк – відповідальна споруда, до її конструкції висуваються жорсткі вимоги щодо надійності та міцності. Залізобетонні резервуари зброджування були досить розповсюдженими, однак вони мають свої недоліки: складність у виготовленні, велика вага та вартість. В зв'язку з процесами, які відбуваються всередині конструкції, утворення тріщин, протікання та корозія бетону були не рідкістю, і в крайніх випадках метантенки, які постраждали від цих проблем, доводилося зносити. Для попередження таких випадків у Німеччині були розроблені інструкції для сільськогосподарського будівельного сектора під назвою «Бетон для резервуарів на біогазових установках» [15].

Більш раціональними є металеві резервуари, для виготовлення яких використовуються рулонні смуги та сталеві листи, з'єднані зварюванням або болтами. Болтові з'єднання мають бути належним чином герметизовані. Герметизація болтових з'єднання – це довготривалий процес, що значно збільшує час на монтаж всієї конструкції.

Рішенням легкої та герметичної ємності метантенка є металеві резервуари спірально-фальцевого типу. Наприкінці 1980-х років Ксавер Ліпп розробив метантенк з горизонтальним процесом ферментації, з лопатевою мішалкою та гвинтовим конвеєром (рис. 8). Подальший розвиток та оптимізація метантенка призвели до створення чотирьох різних типів метантенків, кожен з яких підходить для різних сфер застосування

Подальший розвиток та оптимізація метантенка призвели до створення чотирьох різних типів метантенків (рис. 9), кожен з яких підходить для різних сфер застосування.

1. Модульний реактор KomBio із вбудованим газовим акумулятором (рис. 9,а). Технічні характеристики: об'єм від 100 м³ до 3000 м³; робочий тиск до 200 Ра. Реактор поєднує сучасний промисловий газовий акумулятор і високопродуктивний метантенк. Стаціонарна конструкція даху, що може бути утеплена, забезпечує захист мембрани газового акумулятора від атмосферних впливів і, отже, значно продовжує термін служби. Крім того, обігрів реактора KomBio знаходиться зовні ємності з нержавіючої сталі (Verinox), що забезпечує хорошу тепловіддачу по всій висоті ємності. Ізоляція до 200 мм дозволяє використовувати установку як у холодних, так і в гарячих регіонах по всьому світу. Додатковою особливістю KomBio

Reactor є запатентована технологія перемішувача, завдяки якій метантенк підходить для широкого спектру субстратів та забезпечує рівномірне перемішування ємності.



Рис. 8. Спірально-фальцевий метантенк із горизонтальним процесом ферментації

2. Універсальний метантенк з мембранним дахом (рис. 9,б). Технічні характеристики: об'єм від 200 м³ до 5000 м³; робочий тиск до 700 Ра. Універсальний метантенк призначений для використання на великих промислових та муніципальних підприємствах. Корпус виконаний із нержавіючої сталі (Verinox), що у поєднанні зі звареним мембранним дахом із нержавіючої сталі забезпечує найвищу якість внутрішньої частини ємності. Конструкція оснащена технологією зовнішнього нагріву, який завдяки гарній теплопровідності сталі забезпечує рівномірне нагрівання по всій висоті ємності. Гарна ізоляція стін та даху ємності зводить до мінімуму втрати тепла у процесі ферментації.

3. UniCentralmix – метантенк з зовнішнім нагрівом та центральним перемішувачем (рис. 9,в). Технічні характеристики: об'єм від 100 м³ до 7000 м³; робочий тиск до 3000 Ра. Центральне перемішування знижує потребу в енергії та забезпечує рівномірне перемішування субстрату. Гладкі внутрішні стінки також зменшують утворення відкладень у метантенку.

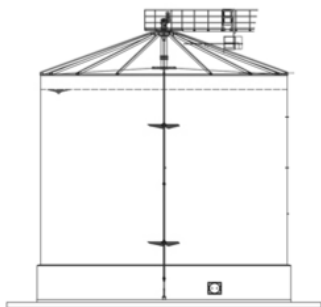
4. Метантенк EcoDigester (рис. 9,г). Технічні характеристики: об'єм від 100 м³ до 10 000 м³; робочий тиск до 700 Ра. Використовується для сільськогосподарського застосування, гнучка конструкція дозволяє працювати з різними субстратами та додатками. Метантенк може бути виконаний з газовим акумулятором або без нього в залежності від потреб

виробни
процесу.

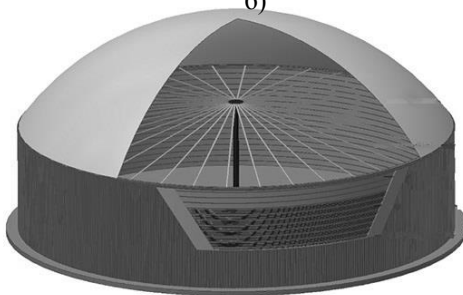
влі залежить від вимог виробничого



а)



б)



в)

г)

Рис. 9. Метантенки LIPP GMBH: а) модульний реактор KomBio; б) універсальний метантенк із мембранним дахом; в) uniCentralmix; г) ecodigester.

Метантенки фірми LIPP GMBH широко використовуються по всьому світі.

Біогазові потужності в Україні нарощуються. Ще на кінець 2014 р. в країні було 10 біогазових установок загальною потужністю 15 МВт, а станом

на кінець II кварталу 2018 року – 29 установок потужністю 41 МВт. Наразі станом на 1 липня 2020 року в Україні налічується 51 біогазова станція.

Висновки. Біоенергетика – перспективна галузь промисловості відновлювальної енергетики. Україна, серед інших країн світу, має значний ресурсний потенціал для виробництва біопалива, завдяки сприятливим природно-кліматичним умовам та наявності сировинної бази. Розглянуті характеристики тріски деревини підтверджують, що її використання як біопалива, є екологічним та перспективним засобом розвитку біоенергетики країни. Технології використання біомаси характеризуються постійним розвитком, що дозволяє щороку скорочувати використання імпортованих енергоносіїв, зменшувати викиди шкідливих газів та створювати нові робочі місця. Прогрес біоенергетики напряму залежить від інновацій в будівельній галузі. Всі процеси, які відбуваються на станціях, що отримують енергію з біомаси, висувають великі вимоги не тільки до якості технологічного обладнання, але й до конструкцій, в яких ці процеси відбуваються, оскільки їх аварії призводять до значних наслідків, як економічних так і екологічних. Наведено типи складів та резервуарів, для зберігання біомаси в різному вигляді, перераховані їх переваги та недоліки. Обґрунтовано, що конструкції спіральні-фальцевого типу – це унікальні та надійні споруди, які можуть використовуватись на різних біоенергетичних комплексах.

Використані інформаційні джерела:

1. Біоенергетика: Курс лекцій. Частина 1 [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. О. Будько. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 109 с.

2. Пічугін С., Оксененко К. Тріска деревини – екологічне паливо для біоенергетичних комплексів. *Екологія. Довкілля. Енергозбереження*: зб. матеріалів II міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 203-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». м. Полтава, 2–3 груд. 2021 р. Полтава, 2021. С. 266–268.

3. Свистунова І. В., Глотова В. О., Філатова А. В. Тверде біопаливо в теплозабезпеченні села : Збірник наукових праць. 7/2011. С. 119–122.

4. Никишов В. Д. Комплексное использование древесины: Учебник для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1985. 264 с.

5. Щільність тріски деревини [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу <https://elfa93.ru/raznoe/plotnost-shhepy-drevesnoj-tablicza-plotnosti-shhepy-i-opilok.html>

6. Бечериков И. В. Совершенствование функционирования закрытых складов древесных сыпучих материалов: дис. канд. техн. наук: 05.21.01 / Санкт-Петербург, 2017. 138 с.

7. Пічугін С. Ф., Оксененко К. О., Андрієвський Ю. В. Спірально-фальцевий силос – інноваційний склад для зберігання тріски деревини. *Інноваційні технології у будівництві, цивільній інженерії та архітектурі: тези XIX міжнародної науково-практичної конференції*: м. Чернігів, 19–22 верес. 2021 р. Чернігів, 2021. С. 245–246

8. Xaver Lipp [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://xaver-lipp.com/>.

9. Pichugin S., Oksenenko K. Comparative analysis of design solutions of metal silos, *Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 53(2), 54 -60 (2019).

DOI: <https://doi.org/10.26906/znp.2019.53.1890>.

10. BSP ENGINEERING SRL [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.lippel.com.br/>

11. ТОВ «КРЕАТИВ-АГРОМАШ» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.creative-silo.com/>

12. Пичугин С. Оксененко К. Использование спирально-фальцевых силосов на территории Украины. *ArCivE 2021*. 2021. С. 430–437.

13. Пічугін С., Оксененко К. Метантенк – металевий спірально-фальцевий резервуар – у складі біоенергетичних об'єктів. *Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022: зб. матеріалів I міжнародної науково-практичної конференції*: м. Полтава – Львів, 26–27 трав. 2022 р. Полтава, 2022. С. 483–485.

14. Поліщук В., Тарасенко С., Сергеева О. Конструктивні особливості метантенків // *Motol*. 2011. №13. С. 56–61.

15. Guide to biogas – from production touse – Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2010. 232 с.

**ВІДНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ КАМ'ЯНОЇ
КЛАДКИ, ПОШКОДЖЕНОЇ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЙ**

**RESTORING THE SERVICEABILITY OF MASONRY DAMAGED IN
EMERGENCY SITUATIONS**

Соловйов В. В., доктор хімічних наук, професор, **Довженко О. О.**,
кандидат технічних наук, професор, **Погрібний В. В.**, кандидат технічних
наук, старший науковий співробітник, **Усенко Д. В.**, аспірант

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка», Україна*

Solovyov V. V., DSc, Professor, **Dovzhenko O. O.**, PhD, professor,
Pohribnyi V. V., PhD, senior researcher, **Usenko D. V.**, PhD candidate

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine

Анотація. В умовах надзвичайних ситуацій підвищується ризик часткового або повного руйнування будівель і споруд, що обумовлює необхідність прийняття заходів щодо своєчасного уникнення негативних наслідків та підвищення екологічної безпеки. Розглядаються можливі варіанти підсилення кам'яної кладки при сумісній дії вертикальних і горизонтальних навантажень: діагональними металевими тяжами, розчинними та бетонними аплікаціями, перехресними та горизонтальними залізобетонними смугами, сіткою із скловолокна, вуглеволокном. Проаналізовано характер руйнування дослідних зразків та визначальні фактори впливу. У якості методики розрахунку міцності підсилених елементів запропоновано варіаційний метод у теорії пластичності, запропонований в Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Розроблено кінематично можливу схему, котра базується на характері руйнування, отриманому в дослідях. Отримана формулу для визначення граничного навантаження. Враховано обидві характеристики міцності кладки: при стисковій й розтязі, відношення геометричних параметрів елемента та площадки навантаження, кількість, місце розташування та міцність елементів підсилення. Розглянуто приклади розв'язання задач міцності при різних варіантах підсилення вуглеволокном.

Abstract. In emergency situations, the risk of partial or complete destruction of buildings and structures increases, which necessitates taking

measures to timely avoid negative consequences and improve environmental safety. Possible options for strengthening masonry under the combined action of vertical and horizontal loads are considered: diagonal metal strands, soluble and concrete applications, cross and horizontal reinforced concrete strips, fiberglass mesh, and carbon fiber. The nature of the destruction of prototypes and the determining factors of influence are analyzed. As a method for calculating the strength of reinforced elements, a variational method is proposed in the theory of plasticity, proposed at the National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic». A kinematically possible scheme has been developed based on the nature of the fracture obtained in the experiments. A formula for determining the boundary load is obtained. Both strength characteristics of masonry are taken into account: in compression and tension, the ratio of the geometric parameters of the element and the load area, and the number, location, and strength of reinforcement elements. Examples of solving strength problems for different variants of carbon fiber reinforcement are considered.

В Україні експлуатується велика кількість будівель із несучими цегляними стінами. В умовах надзвичайних ситуацій підвищується ризик часткового або повного руйнування будівель і споруд, що обумовлює необхідність прийняття заходів щодо своєчасного уникнення негативних наслідків та підвищення екологічної безпеки. На кам'яні елементи діють горизонтальні сили, наявність яких може призвести до руйнування кладки шляхом діагонального зсуву (рис. 1). Вибір способу підсилення пошкоджених будівель є актуальним завданням і потребує розроблення методики розрахунку опору кам'яної кладки сумісній дії вертикального і горизонтального навантаження, котра відсутня в нормативних документах.



Рис.1. Характер руйнування цегляної кладки при сумісній дії вертикальних і горизонтальних навантажень шляхом діагонального зсуву

В експериментальних дослідженнях [1-5] проаналізовано характер руйнування, визначальні фактори впливу: матеріал кладки, міцність каменю

і розчину, внутрішнє й зовнішнє армування кладки, підсилення діагональними металевими тяжами, розчинними та бетонними аплікаціями, перехресними та горизонтальними залізобетонними смугами, вуглеволокном та інші.

Традиційне застосування у якості підсилення металевих діагональних тяжів або попереднього обтиснення безумовно підвищує опір кладки.

Відоме підсилення кладки шляхом нанесення на бічні поверхні штукатурного шару з високоміцного розчину без та з армуванням його металевими сітками. Наявність штукатурних шарів, котрі працюють спільно з кладкою, підвищує міцність кладки, а наявність сіток дозволяє істотно підвищити її тріщиностійкість (до 40%) і відповідно відтермінувати момент руйнування, створюючи тим самим сприятливі умови для розвитку пластичних деформацій; руйнування підсиленої кладки відбувається за діагональною тріщиною, при наявності сіток в шарі підсилення уздовж стиснутої діагоналі паралельно раніше утвореним можуть з'явитися нові тріщини [6].

Експерименти [7] включали дослідження елементів із зовнішнім підсиленням зварними сітками із дроту, розміщеними в шарі бетону. Поведінка підсиленних зразків під навантаженням залежала від інтенсивності та способу армування. Руйнування починалося із утворення діагональної тріщини, розвиток якої певний час стримувала арматура, котра сприяє більш пластичному характеру руйнуванню порівняно із зразками без підсилення. Для зразків, армованих в двох напрямках, руйнування відбувалося за тріщиною, котра розповсюджувалася за довжиною діагоналі зразків, в напрямку якої прикладена сила. На останньому етапі завантаження спостерігалось місцеве роздроблення кладки біля вантажних башмаків.

У дослідах [8] розглядалось підсилення армованими перехресними та горизонтальною розчинними смугами. Підсилені зразки зруйнувалися за діагональними тріщинами. За умови досягнення максимальної несучої здатності, стрічки зберігали свою цілісність і попереджували обрушення дослідних зразків при руйнуванні. Навантаження тріщиноутворення для підсиленних елементів зросло на 20-40%, а руйнівне навантаження на 40-65% порівняно із елементами без підсилення. Збільшення інтенсивності армування смуг, рівня вертикальних напружень та міцності розчину підвищувало опір зсуву, а зростання відношення товщини до ширини елемента навпаки зменшувало його. Підсилення підвищило пластичні властивості кладки в 1,6 разів при односторонньому, і в 2,8 разів при двосторонньому підсиленні.

В експериментах [9] було використано підсилення зразків сіткою із скловолокна з обох сторін стіни з наступним нанесенням шару розчину.

Мало місце діагональне руйнування (рис. 2), їх міцність підвищувалася в середньому 1,3 разів, при цьому збільшилися пластичність кладки.

У дослідженнях [10-12] у якості елемента підсилення використовувалося вуглеволокно FibARM Tape 230 і FibARM Tape 240 та в'язуче FibArm Resin 230+ і FibArm Resin 530+. Застосування системи зовнішнього армування дозволило підвищити несучу здатність кам'яної кладки на 30 – 100% залежно від міцності вуглеволокна, площі, товщини і кількості шарів підсилення. Руйнування цих зразків, на відміну від підсилених за допомогою залізобетонних і бетонних апікацій, які наносилися за звичайною технологією і методом торкрет бетону, відбувалося за діагональною тріщиною зовні крихко, практично миттєво після досягнення напруженнями граничних значень.



Рис.2. Характер руйнування дослідних зразків, підсилених шаром розчину, армованого сіткою із скловолокна [9]

У [13] надані результати випробування зразків, підсилених полотном з вуглеволокна марки MBRACE FIB CF230 / 4900.200g / 5.100m з одного та двох боків зразка уздовж його розтягнутої діагоналі. Несуча здатність у першому випадку зовнішнього підсилення підвищується приблизно в 1,5 рази, а у другому в два рази. Руйнування зразків відбувалося уздовж його діагоналі як за каменем так і за розчином зовні крихко.

При порівнянні властивостей металевих та, наприклад, вуглецевих композитних елементів підсилення (рис. 3, а) останні мають суттєві переваги: значно менше співвідношення власної ваги до міцності, майже повна корозійна стійкість, відсутність обмежень за довжиною, спрощений, більш дешевий та швидкий монтаж, більша втомна міцність [14]. Недоліками можна вважати необхідність термічного захисту та більшу вартість матеріалу. На рис. 3, б наведені діаграми [15], котрі ілюструють у першу чергу міцнісні переваги композитних матеріалів перед сталевими.

Крім того вуглецеві композити мають більшу жорсткість. На рис. 3, в наведена схема розташування вуглецевих стрічок.

У Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» розроблено варіаційний метод у теорії пластичності, котрий вдало використовується при розрахунках бетонних, залізобетонних, кам'яних та армокам'яних елементів при зрізі, місцевому стисненні.

Розв'язання задачі починається із створення кінематичної схеми руйнування (рис. 4, а). Вона базується на картині руйнування (рис. 2). Розглядається підсилення у трьох рівнях за висотою зразка (рис. 4, б).

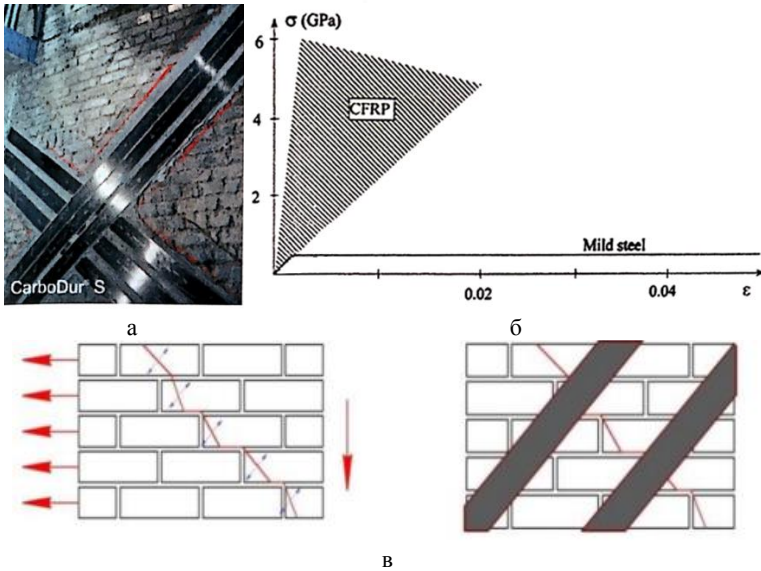


Рис.3. Підсилення цегляної кладки стрічками із вуглеволокна (а) та діаграми «напруження-деформації» при одновісному розтягні для сталі (б) та вуглецевих волокон (в), схеми наклеювання стрічок при діагональних тріщинах (в)

Елемент, що розглядається, розділяється на жорсткі диски, котрі здійснюють поступальний рух: клини під площадкою навантаження рухаються назустріч один одному із швидкістю V_2 , а частини, окреслені ділянками АСС₁А і ВСС₁В₁ віддаляються один від одного зі швидкістю V_1 . Поверхня руйнування складається із чотирьох площадок зсуву (грані клину), на яких діють граничні нормальні та дотичні напруження, котрі визначаються за умовою міцності Баландіна-Генієва, на площадці відриву прийняті напруження осьового розтягу кладки при руйнуванні за каменем.

Наступним етапом є визначення стрибків швидкостей на ділянках руйнування:

- на гранях клину (AC і BC) вони однакові і виражаються через невідомий кут γ

$$\left. \begin{aligned} \Delta V_n &= V_1 \cos \gamma - V_2 \sin \gamma \\ \Delta V_t &= V_1 \sin \gamma + V_2 \cos \gamma \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

площа ділянок

$$S_{AC} = S_{BC} = \frac{l_{loc}}{2 \sin \gamma} b, \quad (2)$$

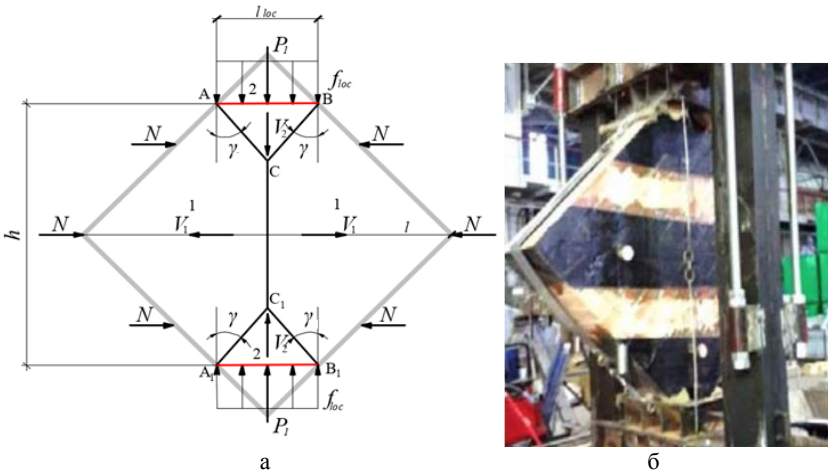


Рис. 4. Кінематична схема руйнування (а) підсиленого в трьох рівнях зразка (б)

для ділянки CC_1 розриви швидкостей обчислюється як

$$\left. \begin{aligned} \Delta V_n &= 2V_1 \\ \Delta V_t &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

а площа поверхні ділянки CC_1 дорівнює

$$S_{CC_1} = \left(h - \frac{l_{loc}}{2 \tan \gamma} \right) b. \quad (4)$$

Після цього етапа визначається потужність пластичної деформації цегляної кладки на площадках AC та BC як складова загального функціонала

$$\int_{S_i} m \left[2B \sqrt{1 + \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta V_t}{\Delta V_n} \right)^2} - 1 \right] \Delta V_n ds, \quad (5)$$

де $B^2 = (1 + \chi / (1 - \chi)^2) / 3$; $\chi = \frac{f_t}{f_d}$; S_i – площа поверхні руйнування; $\Delta V_t, \Delta V_n$ стрибки дотичної та нормальної до S_i складових швидкості.

$$m \left[2B \sqrt{1 + 0,25 \left(\frac{V_1 \sin \gamma + V_2 \cos \gamma}{V_1 \cos \gamma - V_2 \sin \gamma} \right)^2} - 1 \right] (V_1 \cos \gamma - V_2 \sin \gamma) \frac{l_{loc} b}{\sin \gamma}. \quad (6)$$

Далі записується потужність зовнішніх сил на заданих швидкостях на площадках CC_1 (площадка з напруженнями f_t), AB (площадка із зовнішнім навантаженням)

$$2f_t V_1 \left(\frac{h}{2} - \frac{l_{loc}}{2 \operatorname{tg} \gamma} \right) b - f_{loc} l_{loc} b V_2. \quad (7)$$

Наступним етапом являються математичні перетворення функціоналу методу та дослідження його на стаціонарний стан

$$J = m \left[2B \sqrt{1 + 0,25 \left(\frac{V_1 \sin \gamma + V_2 \cos \gamma}{V_1 \cos \gamma - V_2 \sin \gamma} \right)^2} - 1 \right] (V_1 \cos \gamma - V_2 \sin \gamma) \frac{l_{loc} b}{\sin \gamma} + 2f_t V_1 \left(\frac{h}{2} - \frac{l_{loc}}{2 \operatorname{tg} \gamma} \right) b - f_{loc} l_{loc} b V_2 = 0. \quad (8)$$

Враховуючи, що $k = V_1 / V_2$ і $\alpha = h / l_{loc}$, отримано формулу для визначення граничного навантаження для цегляного елемента

$$\frac{P_{lu}}{mbl_{loc}} = \left[2B \sqrt{(k - \operatorname{tg} \gamma)^2 + 0,25(k \operatorname{tg} \gamma + 1)^2} - (k - \operatorname{tg} \gamma) \right] / \operatorname{tg} \gamma + \frac{f_t k (\alpha \operatorname{tg} \gamma - 1)}{\operatorname{tg} \gamma m}. \quad (9)$$

Результати розрахунку для квадратного зразка із симетричним навантаженням при $\chi = 0,104$: $k = 0,922$, $\gamma = 29,78^\circ$, $P_{lu} / mbl_{loc} = 1,464$.

Рис. 5 ілюструє геометрію поверхні руйнування для даного випадку.

Підсилення розглядаються як зовнішнє армування, в функціонал методу вводиться додатковий член, котрий враховує потужність деформування вуглеволокна на заданих швидкостях

$$(2A_1 + A_2) \sigma_y 2V_1, \quad (10)$$

тут A_1 та A_2 – площі стрічок підсилення, σ_y – напруження в стрічках на момент руйнування.

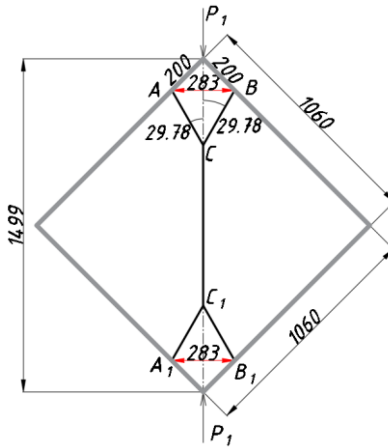


Рис.5. Геометрія поверхні руйнування квадратного кам'яного елемента при діагональному зсуві

Граничне навантаження для підсиленого зразка підраховується за формулою

$$\frac{P_{lu}}{mbl_{loc}} = \frac{\left[2B\sqrt{(k - tg\gamma)^2 + 0,25(1 + ktg\gamma)^2} - (k - tg\gamma) \right]}{tg\gamma} + \frac{f_1 k (ctg\gamma - 1)}{mtg\gamma} + \frac{(2A_1 + A_2)\sigma_y k}{bl_{loc} m}. \quad (11)$$

Для підсилення використовують декілька різновидів стрічок, які розрізняються за розмірами перерізу та модулем пружності (табл. 1) [15].

На рис. 6 зображено зміну геометрії руйнівної поверхні залежно від підсилення.

Згідно виконаних розрахунків міцність кам'яних елементів за рахунок підсилення підвищується в межах 1,6-2,7 разів. Однак, в експериментах [2-4] спостерігається збільшення міцності максимально до двох разів при значно більших площах елементів підсилення. Це пояснюється тим, що напруження вуглеволокна при розриві досягає 2800 МПа, що перевищує відповідні параметри для високоміцної арматури. Міцнісні характеристики кладки значно нижчі, отже при руйнуванні підсиленого зразка, напруження в елементах підсилення не досягають свого максимального значення.

Таблиця 1. Параметри стрічок Sika

Sika CarboDur S (Модуль пружності $E > 165000$ МПа)			
Тип	Ширина, мм	Товщина, мм	Площа перерізу, мм ²
Sika CarboDur S512	50	1,2	60
Sika CarboDur S612	60	1,2	72
Sika CarboDur S812	80	1,2	96
Sika CarboDur S1012	100	1,2	120
Sika CarboDur S1212	120	1,2	144
Sika CarboDur S1512	150	1,2	180
Sika CarboDur S614	60	1,4	84
Sika CarboDur S914	90	1,4	126
Sika CarboDur S1214	120	1,4	168

Результати розрахунку міцності підсиленого зразка за формулою (11) представлено в табл. 2 ($\sigma_y=2800$ МПа для елементів підсилення Sika CarboDur).

Таблиця 2. Результати розрахунків міцності підсилених елементів

Варіант підсилення	χ	k	γ	P_{lu} / mbl_{loc}
стрічка Sika CarboDur S1512	0,104	0,3	16,7	3,98
2 стрічки Sika CarboDur S612		0,379	20,73	3,12
стрічка Sika CarboDur S612		0,5	26,9	2,3

Серед можливих варіантів відновлення кам'яної кладки, пошкодженої в умовах надзвичайної ситуації при сумісній дії вертикальних і горизонтальних навантажень, ефективним являється підсилення за допомогою стрічок із вуглеволокна завдяки їх позитивним властивостям, зокрема невеликій власній вазі, корозійній стійкості, відсутності обмежень за довжиною, простоті і швидкості влаштування.

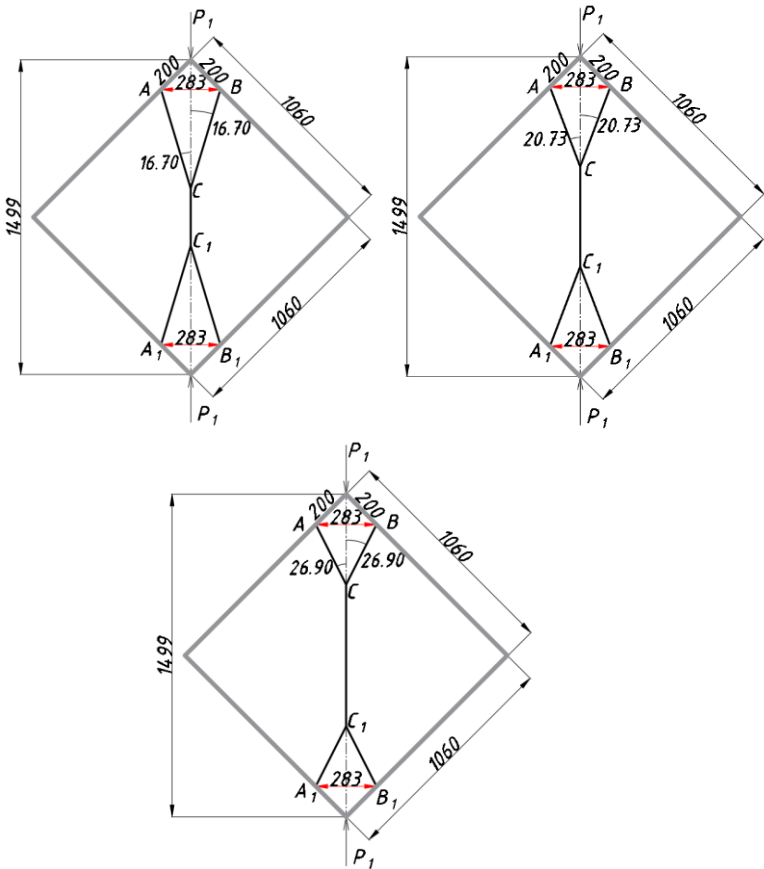


Рис.6. Зміна геометрії руйнівної поверхні в залежності від варіанта підсилення (згідно табл. 2)

Запропонована методика розрахунку міцності підсиленого елемента на основі варіаційного методу у теорії пластичності враховує характер руйнування, міцнісні характеристики кладки стиску та розтягу, відношення розмірів елемента та площадки передачі навантаження, кількість, параметри елементів підсилення. Розглядаються можливі варіанти підсилення кам'яної кладки при сумісній дії вертикальних і горизонтальних навантажень: діагональними металевими тяжами, розчинними та бетонними аплікаціями, перехресними та горизонтальними залізобетонними смугами, сіткою із скловолокна, вуглеволокном. Проаналізовано характер руйнування дослідних зразків та визначальні фактори впливу. У якості методики

розрахунку міцності підсилених елементів запропоновано варіаційний метод у теорії пластичності, запропонований в Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Розроблено кінематично можливу схему, котра базується на характері руйнування, отриманому в дослідях. Отримана формула для визначення граничного навантаження. Враховано обидві характеристики міцності кладки: при стисковій і розтяжній, відношення геометричних параметрів елемента та площадки навантаження, кількість, місце розташування та міцність елементів підсилення. Розглянуто приклади розв'язання задач міцності при різних варіантах підсилення вуглеволокном.

Використані інформаційні джерела:

1. Туманов А. В. Прочность армированных стен из кирпичной кладки при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Пенза : ПГАСУ, 2002. 190 с.
2. Поляков С. В. Каменная кладка в каркасных зданиях. М. : Государственное издательство по строительству и архитектуре, 1956. 192 с.
3. Измайлов Ю. В., Буровенко В. А., Кирпий А. Ф. Усиление зданий, поврежденных землетрясением ; под ред. А. В. Друмя, Н. В. Шебалина, Н. Н. Складнева, С. С. Графова, В. И. Ойзермана // Карпатское землетрясение 1986 г. Кишинев : 1990. С 303–317.
4. Kadam S., Singh Y., Bing L. (2012). Mechanical Prop-erties of Externally Strengthened Masonry. Proceedings of 15th world conferences on earthquake.
5. Mustafaraj E., Yardim Y. (2018). In-plane Shear Strengthening of Unreinforced Masonry Walls Using GFRP Jacketing. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 62(2), 330–336 <https://doi.org/10.3311/PPci.11311>
6. ДСТУ Б В.2.7–239:2010 Будівельні матеріали. Розчини будівельні. Методи випробувань / Мінрегіонбуд України. К., 2010. 94 с.
7. Тонких Г. П., Кабанцев О. В., Кошаев В. В. Экспериментальные исследования несущей способности каменной кладки при главных нагрузках // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2007. №6. С. 26–31.
8. Физдель А. И. Дефекты в конструкциях и сооружениях и методы их устранения. М. : Стройиздат, 1978. 160 с.
9. Соколов Б. С., Антаков А. Б. Результаты исследований каменных и армокаменных кладок // Вестник МГСУ. 2014. №3. С. 99–106
10. Махатадзе Л. Н. Комплексный метод исследования сейсмостойкости каменных зданий. Тбилиси, 1983. 111 с.
11. Митрофанов В. П., Довженко О. А., Погребной В. В. Вариационный метод расчета прочности каменной кладки при местном сжатии //

Строительство, материаловедение, машиностроение : Сборник научных трудов. Вып. №32. Днепропетровск : ПГАСА. 2005. С. 76–82.

12. Митрофанов В.П. Теория идеальной пластичности как элементарная механика псевдопластического предельного состояния бетона: основы, ограничения, практические аспекты, совершенствование // Комунальное хозяйство городов : Республиканский межведомственный научно-технический сборник. Вып. 72. К. : Техніка. 2006. С. 6–26.

13. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2006. - Офіц. вид. – [На заміну СНиП II-7-81 *; Чинні від 2007-01-02]. К. : Укрархбудінформ : Міноуд України, 2006. 82 с.

14. Старцев С. А., Сундукова Л. А. Усиление кирпичной кладки композитными матеріалами и винтовыми стежнями // Строительство уникальных зданий и сооружений. №6 (21). 2014. С. 17–31.

15. Сіка Україна: Офіційний сайт «Сіка Україна» / ООО «Сіка Україна». 2005. – Режим доступу: www.sika.ua.

АНТИОКСИДАНТНА АКТИВНІСТЬ МЕЛАТОНІНУ ПРИ ПОДОЛАННІ ЕНДОЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ПРИ ЛІКУВАННІ ВІРУСНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ ЛЮДИНИ, ЗОКРЕМА ПРИ COVID-19

A NTIOXIDANT ACTIVITY OF MELATONIN IN OVERCOMING ENDOECOLOGICAL RISKS IN THE TREATMENT OF HUMAN VIRAL DISEASES, ESPECIALLY IN CASE OF COVID-19

Соловійов В.В., доктор хімічних наук, професор, ²**Кузнецова Т.Ю.**, кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії та методики викладання хімії, ¹**Ілляш О.Е.**, кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної екології та природокористування, ³**Соловійова Н.В.**, кандидат медичних наук, доцент, ²**Іванченко А.В.**, аспірантка, ¹**Ярмола Т.І.**, кандидат медичних наук, доцент

¹ *Національний університет «Полтавська політехніка Імені Юрія Кондратюка», Україна*

² *Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка, Україна*

³ *Полтавський державний медичний університет, Україна*

¹ **Solovyov V.V.**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, ²**Kuznetsova T.Yu.**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Methods of Teaching Chemistry, ¹**Illiash O.E.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, ³**Solovyova N.V.**, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, ¹**Ivanchenko A.V.**, graduate student, ³**Yarmola T.I.**, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor

¹ *National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine*

² *Poltava V. G. Korolenko National Pedagogical University, Ukraine*

³ *Poltava State Medical University, Ukraine*

Анотація. Проведено моделювання антиоксидантної активності мелатоніну в аспекті його клінічного застосування при лікуванні вірусних захворювань людини, зокрема COVID-19, шляхом порівняння отриманих на нанорівні результатів квантово-хімічних досліджень за допомогою програмного модуля GAMESS (версія від 27 березня 2007 року) та програмного модуля Firefly 8 найсучаснішим неемпіричним квантово-хімічним методом в базисі 6-31G** (перерозподіл електронної густини, порядок зв'язків між атомами, енергетичні характеристики) зі змінами

макроскопічних параметрів процесу електровідновлення активних форм кисню в присутності мелатоніну (потенціал та граничний струм хвиль відновлення) у водному фізіологічному розчині шляхом електрохімічного генерування вільних радикалів кисню в присутності антиоксидантів. Доведена перспективність використання результатів квантово-хімічних розрахунків в поєднанні з електрохімічними дослідженнями для обґрунтування та встановлення особливостей та відмінностей антиоксидантної активності мелатоніну при взаємодії з супероксид-аніон-радикалом і гідроксил-радикалом з метою прогнозування шляхів створення нових лікарських препаратів на основі фармакологічної активності мелатоніну в умовах вірусної інфекції в аспекті його клінічного застосування при COVID-19.

Abstract. *The most important function of melatonin according to medical clinical trials is antioxidant activity (along with gerontoprotective, anti-stress, immunomodulatory, anti-inflammatory, etc.), which is found everywhere in the human body, as melatonin penetrates all organs and tissues. Therefore, it is important to study the effectiveness of endogenous antioxidants by modelling the mechanism of their interaction with free radicals by quantum chemistry in combination with experimental methods, including electrochemical that enables not only to justify the positive effect of antioxidants, but also to establish the potential significance of these substances as medicines. Electrochemical studies have confirmed the antioxidant properties of melatonin and at the macroscopic level the fundamental difference in the mechanisms of inhibition of antioxidant molecules of hydroxyl radicals and superoxide anion radicals under predominant antioxidant activity with melatonin has been proven. The antioxidant activity of melatonin in the aspect of its clinical application in*

COVID-19 was supported by comparing the results of quantum chemical studies obtained at the nano-scale (redistribution of electron density, orders of relations between atoms, energy characteristics) with changes in the macroscopic parameters of the process of electroreduction of reactive oxygen species in the presence of melatonin. The potential of applying quantum chemical calculations in combination with electrochemical studies has been demonstrated to substantiate and establish the characteristics and differences of antioxidant activity of melatonin when interacting with a superoxide anion radical and a hydroxyl radical in order to predict ways to create new medicines based on the pharmacological activity of melatonin for its clinical use in COVID-19.

Для оптимізації негативного впливу вільних радикалів на організм людини останнім часом у практичній медицині широко застосовуються антиоксиданти (бета-каротин, вітаміни С і Е, селен та ін.) [1]. Особливе місце

в ряду антиоксидантів займає гормон епіфізу – мелатонін (МЛТ) – N-ацетил-5-метокситриптамін ($C_{13}H_{16}N_2O_2$), який на думку авторів (1-3) більш ефективний антиоксидант порівняно з іншими.

На теперішній час підтверджена фармакологічна активність мелатоніну (МЛТ) в аспекті його клінічного застосування при COVID-19. Найважливіша функція мелатоніну за результатами медичних клінічних досліджень – це антиоксидантна активність (поряд із геронтопротекторною, антистресовою, імуномоделюючою, протизапальною та ін.), яка виявлена в організмі людини повсюди, так як МЛТ проникає в усі органи і тканини [13].

Антиоксидантний ефект МЛТ був встановлений Раселом Петером у 1983 році і підтверджений у багаточисельних джерелах, наприклад [1-5]. Головна направленість антиоксидантної дії МЛТ – захист ядерної ДНК, протеїнів та ліпідів клітин. Захисна дія цього гормону може виявлятися у будь-якій клітині живого організму відносно усіх клітинних структур. Слід відзначити, що механізм антиоксидантної дії МЛТ пов'язаний із його здатністю нейтралізувати вільні радикали (ВР), а також із активації у присутності глутатіон-пероксидазу – суттєвого ендogenous фактору ферментативного захисту від радикального окиснення [1,3]. Також слід відзначити, що МЛТ, на підставі експериментальних досліджень, є ефективним антиоксидантом порівняно із іншими [1,3].

Водночас позитивні результати застосування цього гормону для лікування різних захворювань, у тому числі COVID-19, отримані лише при аналізі медичних клінічних даних [6-14], не дозволяють пояснити і зрозуміти природу біохімічних процесів, що призводять до такого результату, та мають чисто феноменологічний характер. Тому представляється актуальним вивчення механізму взаємодії МЛТ із вільними радикалами методами квантової хімії, що, на наш погляд, дасть можливість на електронному рівні як отримати обґрунтування позитивного ефекту застосування МЛТ, так і встановити потенційну значущість в управлінні процесами застосування цього гормону як лікарського засобу.

Важлива також перспективність квантово-хімічних розрахунків для виявлення особливостей взаємодії деяких класів біологічних молекул з метою науково обґрунтованого синтезу нових хіміко-фармацевтичних препаратів [15-18].

Тому представляється актуальним вивчення ефективності дії ендogenous антиоксидантів шляхом моделювання механізму їх взаємодії із вільними радикалами методами квантової хімії в поєднанні з експериментальними методами, зокрема електрохімічним, що дає можливість не тільки отримати обґрунтування позитивного ефекту використання антиоксидантів, але й встановити потенційну значущість цих речовин як лікарських засобів [19-21].

Метою роботи було дослідження реакцій каталітичного окислення мелатоніну із супероксид-аніон-радикалом ($\bullet\text{OO}^-$) і гідроксил-радикалом ($\bullet\text{OH}$) в однакових умовах на макрорівні на основі результатів квантово-хімічних розрахунків із послідовним їх порівняльним аналізом із макрохарактеристиками електрохімічних досліджень.

Матеріали і методи. Теоретичне вивчення механізму взаємодії MLT з $\bullet\text{OO}^-$ і $\bullet\text{OH}$ виконувалося за допомогою програмного модуля GAMESS (версія від 27 березня 2007 року) та програмного модуля Firefly 8 найсучаснішим неемпіричним квантово-хімічним методом в базисі 6-31G** [17]. Для розрахунку впливу розчинника на властивості досліджуваних систем була застосована модель поляризаційного континууму PCM і задіяна програма CAUSSIAN 09 (D.01), доступ до якої люб'язно наданий доктором хімічних наук, професором Гуньком В. М. (Інститут хімії поверхні ім. О. О. Чуйка НАН України).

Результати та обговорення. Для аналізу антиоксидантної активності молекули MLT принципово важливе значення має встановлення найбільш активних центрів взаємодії цих молекул із вільними радикалами кисню. Для пошуку «напрямків атаки» молекули мелатоніну вільними радикалами кисню були виконані розрахунки розподілу молекулярного електростатичного потенціалу (МЕСПу) в радикалах $\bullet\text{OH}$ і $\bullet\text{OO}^-$ та молекулі MLT, за результатами яких встановлено, що для $\bullet\text{OH}$ існує мінімум МЕСПу, локалізований біля атома кисню, а для $\bullet\text{OO}^-$, навпаки, спостерігається його ізотропний розподіл. Отримана відмінність такого розподілу МЕСПу обов'язково повинна бути одним із визначальних чинників у встановленні механізму взаємодії MLT із радикалами, так як вони, маючи в своєму складі один неспарений електрон, будуть «атакувати» молекулу MLT у напрямках із позитивними значеннями МЕСПу.

Для пошуку мінімумів повної енергії, які відповідають максимумам взаємодії $\bullet\text{OH}$ та $\bullet\text{OO}^-$ з молекулою MLT, було проведено детальне сканування поверхні повної енергії взаємодії в околі «місць атаки» молекули MLT шляхом розрахунку перехідного стану реакції взаємодії, із визначенням енергії активації, для кожного з «напрямків атаки» при зміні кута між відповідними міжатомними зв'язками молекул антиоксидантів і радикалами та відповідних відстаней між атомами реагентів, яке засвідчило наявність для молекули MLT-16 мінімумів повної енергії, включаючи глобальний (рис.1).

Аналогічно цей процес відбувається при взаємодії $\bullet\text{OO}^-$ із молекулою мелатоніну (перенос заряду величиною в 0,664 із атомів кисню супероксид-аніон-радикала на молекулу MLT), внаслідок чого змінюється довжина зв'язку як у вільному радикалі з 0,136 до 0,143 нм, так і в молекулі мелатоніну N(8)-H(14) з 0,0999 до 0,142 нм (рис.2).

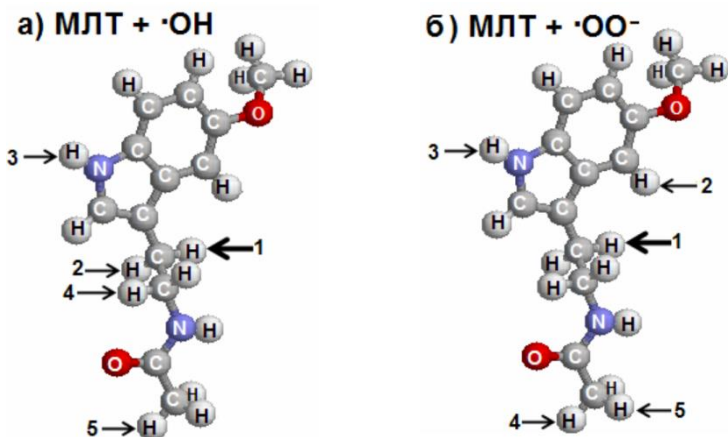


Рис.1. Найбільш імовірні напрямки взаємодії, що відповідають абсолютному (1) і локальним (2-5) мінімумам енергії взаємодії молекули МЛТ із ВР: а) гідроксил-радикал ($\cdot\text{OH}$), б) супероксид-аніон-радикал ($\cdot\text{OO}^-$)

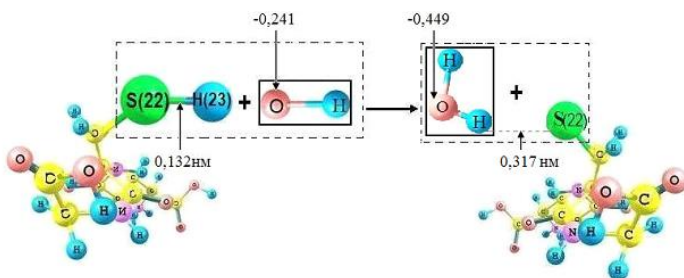


Рис.2. Схема взаємодії молекули МЛТ із $\cdot\text{OO}^-$ (стрілками вказані заряди на атомах по Льовдіну)

Для «ізольованого» гідроксил-радикала зростання електронної густини при взаємодії із атомом водню H(14) (у глобальному мінімумі повної енергії) молекули МЛТ становить близько 0,229, внаслідок чого збільшується довжина зв'язку між атомом азоту і атомом водню N(8)–H(14) у молекулі мелатоніну з 0,0999 до 0,311 нм (рис.3), указуючи тим самим на

вірогідність відриву цього атома водню від молекули MLT і приєднання його до $\bullet\text{OH}$ з утворенням молекули води.

Моделювання зміни концентрації радикалів ($\bullet\text{OO}^-$ та $\bullet\text{OH}$) відносно молекул антиоксидантів показало, що при взаємодії одночасно п'яти радикалів із молекулою MLT в цілому не змінює характер перерозподілу електронної густини для взаємодії із одним радикалом, але робить його більш «м'яким».

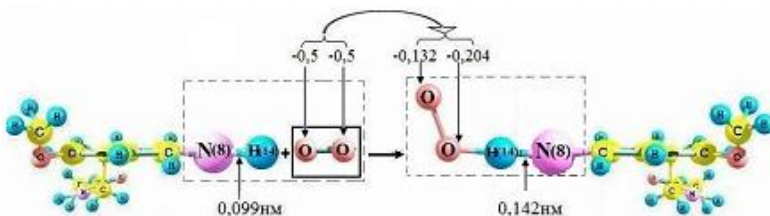


Рис.3. Схема взаємодії молекул MLT із $\bullet\text{OH}$ (стрілками вказані заряди на атомах по Льовдіну)

Отже, взаємодія молекули дослідженого антиоксиданту із вільними радикалами кисню ініціює різнонаправлений перерозподіл електронної густини в молекулах антиоксидантів (рис.4).

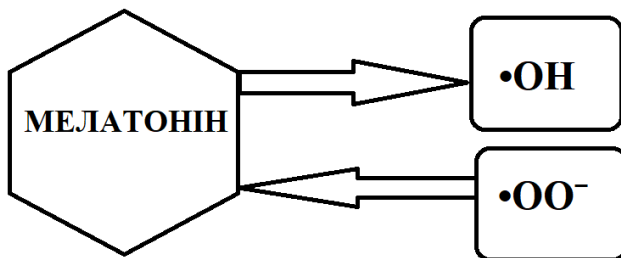


Рис. 4. Схема перерозподілу електронної густини при взаємодії молекули MLT із $\bullet\text{OH}$ та $\bullet\text{OO}^-$.

Для наближення результатів квантово-хімічного моделювання до реальних умов взаємодії молекули MLT із $\bullet\text{OH}$ та $\bullet\text{OO}^-$ в організмі людини було проведено моделювання впливу водного середовища на механізм взаємодії молекул антиоксидантів з вільними радикалами кисню в рамках програми Firefly 8. Аналіз отриманих результатів показав, що механізм перерозподілу електронної густини при врахуванні впливу водного

середовища з діелектричною проникністю $\epsilon = 78,355$ при $T = 298$ К у межах континуальної моделі розчинника PCM (модель поляризаційного континууму) для цих взаємодій залишається майже незмінним, що підтверджується порівнянням розподілу зарядів за Льовдіним, відповідних відстаней у MLT, $\bullet\text{OH}$, $\bullet\text{OO}^-$, а також величин енергії активації реакцій взаємодії молекул антиоксидантів із $\bullet\text{OH}$ та $\bullet\text{OO}^-$ (табл.1, табл.2).

Таблиця 1. Порівняльний розподіл зарядів q за Льовдіним при взаємодії молекули MLT із вільними радикалами кисню в точці глобального мінімуму

Взаємодія		q			E_a , кДж/моль
		MLT			MLT
		N(8)	H(14)	O(34)	
$\bullet\text{OH}$	Без PCM	-0,184	0,210	-0,470	106
	PCM	-0,178	0,215	-0,485	105
$\bullet\text{OO}^-$	Без PCM	-0,342	0,220	-0,204	31
	PCM	-0,370	0,209	-0,200	30

Таблиця 2. Порівняльний розподіл порядків зв'язків V_{ij} та відстаней R при взаємодії молекули MLT із вільними радикалами кисню в точці глобального мінімуму

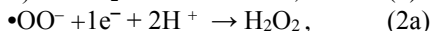
Взаємодія		MLT			
		N(8)-H(14)		O(34)-H(14)	
		V_{ij}	R , нм	V_{ij}	R , нм
$\bullet\text{OH}$	Без PCM	-	0,311	0,820	0,094
	PCM	-	0,314	0,816	0,095
$\bullet\text{OO}^-$	Без PCM	0,149	0,142	0,671	0,098
	PCM	0,139	0,144	0,689	0,097

Отже, квантово-хімічне моделювання взаємодії молекули MLT з $\bullet\text{OH}$ і $\bullet\text{OO}^-$, показало, що зміна концентрації радикалів відносно антиоксиданту та врахування впливу водного середовища принципово не впливають на перерозподіл електронної густини молекул антиоксидантів і надає можливість зробити висновок про те, що досліджені реакції відбуваються за кислотно-основним механізмом, причому молекула антиоксиданту по відношенню до $\bullet\text{OH}$ виступає як основа, а по відношенню до $\bullet\text{OO}^-$ – як кислота у відповідності із встановленою схемою (рис.4).

Для остаточного підтвердження висновків, отриманих за результатами квантово-хімічного моделювання, були проведені електрохімічні дослідження взаємодії MLT із вільними радикалами кисню у

водному фізіологічному розчині шляхом електрохімічного генерування вільних радикалів кисню в присутності антиоксидантів [18,19].

У результаті спостерігали (рис. 5), появу трьох хвиль, дві з яких реєструються при потенціалах, що відповідають потенціалам відновлення кисню до пероксиду водню (II) та пероксиду до води (III), і додаткова хвиля відновлення гідроксил-радикалу до гідроксил-іону (I), які характеризують реакції (1-3), аналогічні тим, що протікають у біосистемах в процесі дихання, обміну речовин, «кисневого стресу»:



Криві знімали на фоні 0,1М розчину NaCl у воді (фізіологічному розчині) з подальшим титруванням фонового електроліту добавками MLT різної концентрації (рис. 5).

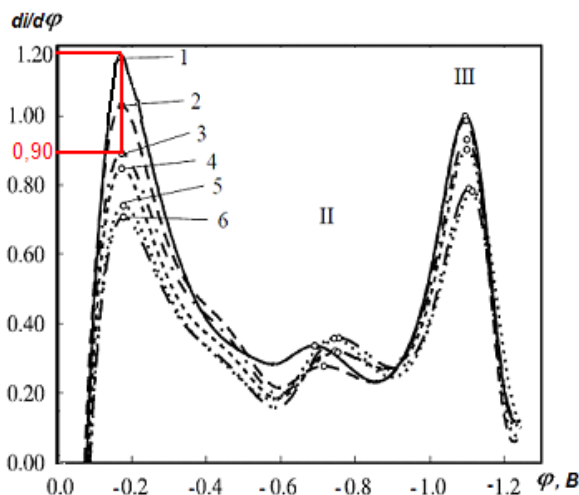
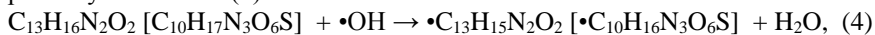


Рис. 5. Диференціальні вольтамперограми відновлення АФК на мідному катоді на фоні 0,1М NaCl у воді (1) в присутності різних концентрацій антиоксидантів: MLT: 2 – 0,39; 3 – 0,74; 4 – 1,07; 5 – 1,67; 6 – $2,18 \cdot 10^{-3}$ М/дм³.

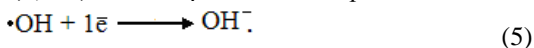
При введенні у фонний розчин добавок MLT різної концентрації спостерігали появу трьох хвиль. При цьому потенціал відновлення (ϕ) першої хвилі не змінювався, що вказує на відновлення однакових за типом

та формою ЕАЧ. Збільшення концентрацій добавок MLT призводить до істотного зниження граничного струму перших хвиль на вольтамперних кривих за рахунок чисто хімічної реакції інгібування в об'ємній фазі розчину за схемою (4):



що вказує на зменшення кількості ЕАЧ типу $\bullet\text{OH}$.

Подальше відновленням $\bullet\text{OH}$, концентрація яких буде зменшуватися внаслідок реакції (4) при введенні добавок MLT[GSH] буде спостерігатися при незмінному потенціалі (0,2 В) на електроді за такою реакцією:



Слід відмітити (рис.1), що в присутності добавок MLT з однаковою концентрацією $0,74 \cdot 10^{-3}$ М/дм³ спостерігається значне зниження граничного струму перших хвиль відновлення, в порівнянні із фоном (відносна величина зміни піка струму в 1,2 разів більша у присутності MLT).

На відміну від першої хвилі спостерігається катодний зсув другої хвилі потенціалу відновлення, при введенні як добавок MLT. Так як результати квантово-хімічних досліджень взаємодії $\bullet\text{OO}^-$ з MLT не вказують на розрив водневих зв'язків в молекулах MLT, а вказують на вірогідність утворення комплексів, то експериментально знайдений катодний зсув потенціалу другої хвилі відновлення для обох випадків, однозначно вказує на процес відновлення електроактивних комплексів, тип, форма і кількість яких буде визначатися концентрацією MLT відносно $\bullet\text{OO}^-$.

Зсув хвилі відновлення $\bullet\text{OO}^-$ в присутності MLT – в бік збільшення, що підтверджує також більш виражені антиоксидантні властивості MLT відносно $\bullet\text{OO}^-$. Таке обґрунтування зсуву другої хвилі процесу одноелектронного відновлення ЕАЧ корелює із результатами квантово-хімічної оцінки значень енергії активації при одноелектронному переносі заряду (рис.6.), які різняться для «ізольованої» молекули $\bullet\text{OO}^-$ та комплексу $\{\text{MLT} \cdot \bullet\text{OO}^-\}$. Незмінність потенціалу відновлення та зменшення граничного струму (перша хвиля) та катодний зсув потенціалу (друга хвиля) зі збільшенням концентрації антиоксидантів при взаємодії із вільними радикалами для обох випадків є прямим підтвердженням на макрорівні результатів квантово-хімічних розрахунків на нанорівні.

Отже, отримані результати експерименту повністю підтвердили на макрорівні результати квантово-хімічних досліджень і показали, що MLT виявляє антирадикальну активність [20]. Цікаво відмітити, що отриманий результат (реакція 4) якісно співпадає з результатами клінічних медичних досліджень С.О. Бачуріна [21], представленими у вигляді феноменологічної схеми взаємодію MLT із вільними радикалами кисню в організмі людини.

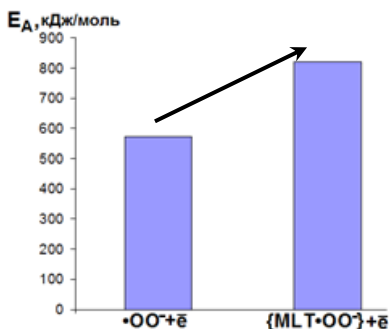


Рис.6. Діаграма зміни величин активаційних бар'єрів для $\bullet\text{OO}\bullet$ та його комплексів при одноелектронному відновленні

Таким чином, на основі аналізу результатів квантово-хімічного моделювання встановлено найбільш ймовірні активні центри взаємодії молекули MLT з вільними радикалами кисню, які відповідають найглибшим мінімумам повної енергії взаємодії. Досліджено механізм взаємодії молекули MLT з $\bullet\text{OH}$ і $\bullet\text{OO}\bullet$, який показав, що реакція між антиоксидантами і радикалами відбувається за кислотно-основним механізмом, причому антиоксиданти по відношенню до $\bullet\text{OH}$ виступають як основа, а по відношенню до $\bullet\text{OO}\bullet$ – як кислота. Проведені електрохімічні дослідження підтвердили антиоксидантні властивості мелатоніну, завдяки чому на макроскопічному рівні підтверджена принципова відмінність механізмів інгібування молекулами антиоксидантів гідроксил-радикалів та супероксид-аніон-радикалів на фоні превалюючої антиоксидантної активності з мелатоніном. Встановлена кореляція зміни макроскопічних параметрів процесу електровідновлення активних форм кисню в присутності мелатоніну (потенціал та граничний струм хвиль відновлення) з отриманими на нанорівні результатами квантово-хімічних досліджень (перерозподіл електронної густини, порядки зв'язків між атомами, енергетичних характеристик) при взаємодії молекул антиоксидантів із вільними радикалами [24].

Доведена перспективність використання результатів квантово-хімічних розрахунків в поєднанні з електрохімічними дослідженнями для обґрунтування та встановлення особливостей та відмінностей антиоксидантної активності мелатоніну при взаємодії з супероксид-аніон-радикалом і гідроксил-радикалом з метою прогнозування шляхів створення нових лікарських препаратів на основі фармакологічної активності MLT в умовах коронавірусної інфекції для його клінічного застосування при COVID-19.

Використані інформаційні джерела:

1. Claustrat B, Leston J. Melatonin: Physiological effects in humans *Neurochirurgie*. 2015; 61, 2-3:77-84
2. Mendel VE, Mendel OI. Melatonin: rol v organizme i terapevticheskie vozmozhnosti. Opyit primeneniya preparata Melaksen v rossiyskoy meditsinskoy praktike. [Melatonin: role in the body and therapeutic possibilities. Experience with the use of Melaxen in Russian medical practice] *RMZh*. 2010; 6:336-345. (Russian).
3. Reiter RJ, Rosales-Corral S, Tan DX, Jou MJ, Galano A, Xu B. Melatonin as a Mitochondria-Targeted Antioxidant: One of Evolution's Best Ideas. *Cell Mol Life Sci*. 2017; 74, 21:3863-3881. doi: 10.1007/s00018-017-2609-7.
4. Amaral FG, Cipolla-Neto J. A brief review about melatonin, a pineal hormone. *Arch Endocrinol Metab*. 2018; 62, 4:472-479.
5. Cipolla-Neto J, Amaral FG. Melatonin as a hormone: New Physiological and Clinical Insights. *Endocrine Reviews*. 2018; 39: 990-1028
6. Delagrange P, Guardiola-Lemaitre B. Melatonin, its receptors, and relationships with biological rhythm disorders. *Clin. Neuropharmacol*. 1997; 6:482-510.
7. Wetterberg L. Melatonin and clinical application. *Reprod. Nutr. Dev*. 1999; 9, 3:367-382.
8. Kvetnaia T. V. Melatonin: Rol i znachenie v vozrastnoi patologii [Melatonin: A role and influence in the age-related pathology] *RAMN*; pod red. prof. VKh. Khavinsona. VMEDA. SPb.; 2003. 256 p. (Russian).
9. Tan D, Manchester L, Reiter R, Qi W, Karbownik M, Calvo J. Significance of melatonin in anti oxidative defense system: reactions and products. *Biol. Signals Recept*. 2000; 9, 3-4: 137-159.
10. Arushanian EB. Melatonin i bolezni Al'tsgeimera [Melatonin and diseases of Al'tsgeimera]. *Nevrologiia i psikiatriia*. 2010, 1:100-106. (Russian).
11. Levin YaI. Melatonin i nevrologiia [Melatonin and neurology]. *Russkii medicinskii zhurnal*. 2007; 24:1851-1855. (Russian).
12. Belenichev I. F, Gubskii YuI, Levickii E.L i dr. Regulaciia antioksidantnogo gomeostaza i sistemy detoksikatsii organizma gormonom melatoninom. Rol melatoninzavisimykh retseptorov v realizatsii etoi funktsii [Regulation of the antioxidant homeostasis and the detoxication system of organism by melatonin. A role of the melatonin-related receptors in this regulation]. *Sovrem. problemy toksikologii*. 2003; 2:2-16. (Russian).
13. Anisimov VN, Komarova FI, Anisimov VN, Popovich IG, Zabezinskiy MA. Vliianie melatonina na opuholevyi rost [An influence of melatonin on tumour

growth] Melatonin v norme i patologii. Moskva: ID Medpraktika-M.; 2004. P.255–284. (Russian).

14. Sorochan PP, Gromakova IA. Rak molochnoi zhelezy i melatonin [Cancer of suckling gland and melatonin]. *Onkologiya*. 2007; 9, 1:11–15.

15. Tsendra O., Datsyuk A., Lobanov V., Grebenyuk A., Chuiko A. Interaction of some biomolecules with modified nanosilica surfaces studied by quantum chemistry. *Surface Chemistry in Biomedical and Environmental Science NATO Science Series. Series II: Mathematics, Physics and Chemistry* J.P.Blitz, V.M.Gunko. 2006; 228:315–324.

16. Tsendra O., Grebenyuk A., Lobanov V. Structure and properties of hydrated complexes of methylphosphonic acids. *J. Mol. Struct. : THEOCHEM*. 2008; 864:14–19.

17. Granovsky A. A. Firefly and PC GAMESS Firefly version 8.0.1. [Internet]. Access mode

18. Solovyova N. V., Kuznetsova T. Yu. Quantum chemical modeling of antioxidant activity of glutathione interacting with hydroxyl- and superoxide anion radicals. *Ukr. Biochem. J.* 2015; 87, 2:156–162.

19. Kuznetsova T. Yu, Solovyova N. V., Solovyov V. V, Kostenko V. O. Antioxidant activity of melatonin and glutathione interacting with hydroxyl and superoxide anion radicals. *Ukr. Biochem. J.* 2017; 89, 6:22–30.

20. Shapoval G. S., Kuznetsova T. Yu., Solovyov V.V., Kruglyak O. S. Elektrohimicheskoe issledovanie antioksidantnykh svoystv melatonina [Electrochemical study of the antioxidant properties of melatonin]. *Dopovidi NAN Ukraini*. 2009; 9:160–164. (Russian).

21. Russel J. Melatonin: Lowering the High Price of Free Radicals *J. Russel News Physiol. Sci.* 2000; 15:246–250.

22. Bachurin S. O. Mediko-himicheskie podhody k napravlennomu poisku preparatov dlya lecheniya i preduprezhdeniya bolezni Altsgeymera [Medico-chemical approaches to the targeted search for drugs for the treatment and prevention of Alzheimer's disease]. *Voprosy meditsinskoy himii*. 2001; 2:11–25 (Russian)

23. Mamchur V. I., Nosivets D. S., Homyak E. V. Melatonin kak vspomogatelnaya terapiya pro COVID-19 [Melatonin as an adjuvant therapy for COVID-19]. *Naukovo-praktichnyi zhurnal «Simeyna meditsina»*. 2020; 3(89):1–7 (Russian).

24. Соловйов В. В., Кузнецова Т. Ю., Ілляш О. Е., Соловйова Н. В., Іванченко А. В., Ярмола Т. І. Моделювання антиоксидантної активності мелатоніну в аспекті його клінічного застосування при Covid-19 // Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник Української медичної стоматологічної академії/ Том 22. №1 (2022). Полтава, 2022. С.117–123.

<https://doi.org/10.31718/2077-1096.22.1.117>

РЕЖИМИ ЗНЕШКОДЖЕННЯ СТИЧНИХ ВОД МІКРОДУГОВИМ РОЗРЯДОМ У СИСТЕМІ З ОБ'ЄМНИМ ЕЛЕКТРОДОМ

WASTEWATER TREATMENT MODES BY MICROARC DISCHARGE IN A SYSTEM WITH A VOLUMETRIC ELECTRODE

Трегубов Д. Г., кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри спеціальної хімії та хімічної технології, **Чиркіна М. А.**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри спеціальної хімії та хімічної технології, **Слепузніков Є. Д.**, кандидат технічних наук, заступник начальника кафедри спеціальної хімії та хімічної технології, **Пономаренко Р. В.**, доктор технічних наук, доцент, начальник факультету оперативно-рятувальних сил

Національний університет цивільного захисту України, Україна

Tregubov D. G., Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of Special Chemistry and Chemical Technology, **Chyrkina M. A.**, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of Special Chemistry and Chemical Technology, **Slepuzhnikov E. D.**, Ph.D., Deputy Head of the Department of Special Chemistry and Chemical Technology, **Ponomarenko R.V.**, Ph.D., Doctor of Engineering, Head of Operational and Rescue Forces Faculty

National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

Анотація. *Звернуто увагу на необхідності вдосконалення методів очищення промислових викидів, у тому числі стічних вод. Проаналізовано можливості різних груп водоочисних технологій. Акцентовано на широких можливостях електрохімічних технологій із видалення зі стічних вод забруднень органічного та неорганічного походження. Показано перспективність використання для цього об'ємного насипного електроду, зокрема у режимі утворення мікродугового розряду. Продемонстровано, що мікродуговий розряд на сталюму або коксовому насипному електроді призводить до диспергування матеріалу електродів із утворенням активної суспензії. З'ясовано, що у випадку диспергування сталі у мікророзрядах утворюється коагулянт на основі гідроксиду заліза, а в разі використання коксу – сорбент у вигляді дрібнодисперсного карбону; при цьому коагулянт дозволяє позбавляти стоки іонів важких металів, а сорбент – виводити зі складу стоку домішки органічного походження, наприклад, феноли. Досліджено три режими поєднання технологій утворення коагулянту та сорбенту в*

умовах мікродугового впливу: змішаний об'ємний електрод (кокс + сталева стружка), металева стружка у системі нерухомих графітових електродів, розподіл міжелектродного проміжку металевою сіткою на зони сталюого та коксового об'ємного електродів. Доведено, що в останньому випадку можливо утворення оптимального мікродугового режиму по частинах міжелектродного простору для утворення коагулянту ($4-6 \text{ Вт/см}^3$) та сорбенту ($2-3 \text{ Вт/см}^3$).

Abstract. Attention is paid to the need to improve methods of industrial emissions treatment, including wastewater. Possibilities of different groups of water treatment technologies are analyzed. Attention is focused on wide possibilities of electrochemical technologies for the removal of organic and inorganic contaminants origin from wastewater. Prospects of using a bulk electrode for this purpose are shown, in particular in the microarc discharge formation mode. It has been shown that microarc discharge on a steel or coke bulk electrode leads to the dispersion of the electrode material to form an active suspension. It was found that in the case of dispersing steel in micro-discharges, a coagulant based on the iron hydroxide is formed, and in the using coke case - a sorbent in the fine carbon form; while the coagulant allows to remove the heavy metal ions effluent, and the sorbent - to remove from the effluent impurities of the organic origin, such as phenols. Three modes of technologies combination of coagulant and sorbent formation in microarc influence conditions are investigated: volume electrode of mixed composition (coke + steel shavings), metal shavings in the system of fixed graphite electrodes, section of interelectrode gap by metal mesh to form zones with the bulk electrodes made of the steel and coke. It is proved that in the latter case it is possible to form an optimal microarc regime on interelectrode space parts for the formation of coagulant ($4-6 \text{ W/cm}^3$) and sorbent ($2-3 \text{ W/cm}^3$).

Вступ. Забезпечення техногенної безпеки є особливою функцією захисту населення й територій від надзвичайних ситуацій. Наслідки надзвичайних ситуацій хімічного характеру можуть виходити за межі держав, а екологічні та економічні витрати у зв'язку з аварією несуть не лише підприємства, що постраждали внаслідок аварії, а й відповідні держави. У разі, якщо на об'єкті відсутні певні небезпечні речовини із загальною масою, що перевищують або дорівнюють відповідній пороговій масі, з метою вирішення питання щодо віднесення об'єкта до класу підвищеної небезпеки застосовують відповідні розрахункові формули [1]. Такий аналіз проводиться з метою оцінювання впливу небезпеки від небезпечних речовин на здоров'я людини, об'єкти інфраструктури та довкілля. Висновок про небезпечність робиться у разі, якщо отримані розрахункові суми більші за

«1». Небезпечність певних об'єктів може виникати, в тому числі, й за неконтрольованих викидів відходів виробництва.

Розвиток промислового виробництва супроводжується утворенням нових водних забруднених багатоскладових систем, які підлягають очищенню: або для захисту природних водойм, або на стадіях оборотного водопостачання. До таких відносяться стічні води коксохімічного (КХВ), металургійного та гальванічного (ГВ) виробництв, які містять органічні та неорганічні забруднення, у тому числі іони важких металів та бенз(а)пірен. Але стандартні технології дозволяють видаляти важкі метали лише з одночасним підвищенням солемісту води. Сучасне кінцеве водоочищення шляхом біохімічної обробки потребує глибокого попереднього видалення багатьох сполук, які негативно впливають на життєдіяльність специфічних мікроорганізмів: фенолів, роданідів, смол, масел, бенз(а)пірену та ін.

Зменшувати солеміст вод дозволяють зворотний осмос та електродіаліз, але вони вимагають чистоти води по показнику вмісту дисперсних частинок до $5 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$, по ХПК – до $20 \text{ мгO}_2 \cdot \text{дм}^{-3}$. Як показують дані, наведені у табл.1 [2], не зважаючи на широкий спектр можливих впливів, разом у межах одного методу їх важко реалізувати. До того ж, багато технологічно простих методів обробки води, таких як озонування, зворотного осмосу, термічного рідкофазного окиснення, спалювання стічних вод потребують значних капіталовкладень на влаштування крупногабаритного або високотехнологічного обладнання. Так, для озонування необхідні потужні генератори напруги до 25 кВ, для термічного рідкофазного окиснення – робота апаратів під тиском до 15 МПа та температурою до $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Фенольні стічні води КХВ частково ліквідують шляхом мокрого гасіння коксу (як термохімічний метод) – при цьому, поки температура коксу перевищує певну критичну, відбуваються процеси термодеструкції та окиснення домішок, але подальше проливання коксу, що охолонув, призводить до випаровування зі шкідливими викидами.

Більш широкий спектр впливів на водну систему, порівняно з іншими методами очищення, та просту технологію має електрохімічна обробка. Електрична енергія вводиться в оброблювану воду та перетворюється в енергію хімічних реакцій або руху частинок. Реакції протікають на межі електрод-електроліт із формуванням сукупності активних продуктів. Перевагою таких методів є повна чи часткова відмова від споживання хімічних реагентів та безперервність обробки. Водночас, за поєднання з іншими методами впливу є можливість очищати промислові стічні води від домішок різного складу та дисперсності й знизити їх ХПК з 20000 до $100 \text{ мгO}_2 \cdot \text{дм}^{-3}$ [3] без збільшення солемісту. Перспективною технологією є обробка стічних вод у системах із об'ємним електродом, у тому числі у режимах з утворенням мікродугового розряду з метою активного формування дрібнодисперсного сорбенту.

Таблиця 1. Ефекти очищення в межах різних методів впливу на водні системи [2]

Групи методів очищення води	Фільтрація	Сорбція	Екстракція	Випарю-вання	Коагуляція	Флотація	Деструкція			
							хімічна	термічна	електро- хімічна	біоло- гічна
Біохімічні		+								+
Термохімічні				+		+	+	+		
Фізикохімічні										
зворотний осмос	+		+							
коагуляція (флотація)					+	(+)	+			
адсорбція	+	+								
озонування						+	+			
Електрохімічні										
електродіаліз	+	+							+	
електрохімічний вплив	+				+	+	+		+	
електродуговий вплив		+		+	+	+	+	+	+	

Метою даної роботи є уточнення конструктивних особливостей та оптимізація мікродугових режимів роботи електрохімічної системи з об'ємним насипним електродом, призначеної для очищення стічних вод, що містять забруднення як органічного, так і неорганічного походження. Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення наступних **завдань**: встановити оптимальні режими формування мікродугового розряду з досягненням ефективності та економічності утворення коагулянту та сорбенту; розробити рішення щодо одночасного утворення в межах одного електролізу коагулянту та сорбенту.

Стічні води ГВ мають забруднення з'єднаннями важких металів (наприклад, хрому) з вмістом до $100 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$. Їх очищення проводять реагентними або електрохімічними методами [4]. Ефективність електрохімічної технології визначає матеріал аноду. Поширені аноди (оксидно-рутенієві та оксидно-іридієві, покриті титаном) передбачають обробку лише концентрованих розчинів NaCl [5]. Широке технологічне впровадження мають хромові електродні покриття. За такої технології тривалентний хром є невід'ємним та одночасно шкідливим компонентом кислих електролітів хромування. За подачі напруги на електродну систему на оброблюваному катоді протікає серія реакцій, які приводять як до відновлення іонів Cr(VI) до металічного стану $\text{Cr}^{6+} \rightarrow \text{Cr}^0$, так й до неповного відновлення до Cr(III): $\text{Cr}^{6+} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$, що викликає накопичення іонів Cr(III) в електроліті; крім того, відбувається

відновлення іонів водню $H^+ > H_{алс}$ та $H_{алс} + H_{алс} > H_2$. Процес відбувається найбільш інтенсивно за великої анодної та малої катодної поверхні (при співвідношенні 10:1, напрузі 6 В та за температури 550 °С; за таких умов осадження триває 24 год.). Для підвищення ефективності процесу застосовують інтенсивне переміщування для оновлення у навколоанодному шарі концентрації іонів Cr(III). Надалі виникає необхідність очищення електроліту від залишків іонів Cr(III) за допомогою іонообмінних смол. Також стійкими до розбавлених розчинів NaCl є графітові матеріали. Активізацію анодних процесів досягають розвитком реакційної поверхні в умовах насипного аноду у сітчастому корпусі; заповненням електролізеру насипним електродом (кожна частинка має функції аноду та катоду) [5, 9].

Існують й більш ефективні покриття, що досягається за рахунок формування поліметалевого кластеру у вигляді потрійного сплаву Co–Mo–W [6]. Такі електродні покриття мають синергетичний ефект та підвищені показники ефективності використання. Введення до складу сплаву тугоплавких металів (вольфрам, молібден) дозволяє одержати матеріали, що можуть мати каталітичні, корозійностійкі, магнітні та високі характеристики міцності та твердості. Використання вказаних металів у процесі співосадження визначається близьким потенціалом їх виділення. Більш того, індивідуальні покриття вольфрамом і молібденом з водних розчинів не формуються через низьку перенапругу виділення водню та схильність цих металів до катодної пасивації, але вони здатні до осадження у вигляді сплаву саме з металами підгрупи заліза (залізо, кобальт, нікель).

Коагулянти (гідроксиди) для очищення стічних вод, забруднених хромом, отримують електрохімічним розчиненням аноду з заліза або алюмінію з коагуляцією забруднень води в іншій камері [7], що збільшує вихід сорбенту за током порівняно з електролізом, усуває пасивацію й зашпалення анодів забрудненнями води, дозволяє розчинювати металеві виробничі відходи. Перша стадія триває до 12 год., а роздільність технології вилучає з очищення інші електрохімічні ефекти.

Гальванокоагуляція з короткозамкненим гальванічним елементом «Fe-кокс» відновлює Cr(VI) до Cr(III), який у стані гідроксиду осаджується гідроксидом Fe(II). Така технологія спрощує електроживлення та знижує енерговитрати на очищення у 10 разів до 0,5 кВт·год·м⁻³, усуває пасивацію, дозволяє використати металеві відходи. Процес триває у широкому діапазоні значень рН та температур води. Осад, що утворюється, легко видаляється. Однак підтримання заданої якості технологічного процесу ускладнюється повільністю електрохімічних реакцій, що вимагає більших розмірів апаратів, та флуктуаціями сили струму в об'ємному електроді. Видаленню забруднень може допомогти електрофлотаж: гази електролізу утворюють пухирці та за

адгезії до них частинок забруднень утворюються агрегати, які спливають на поверхню рідини.

Поширене електрохімічне водоочищення за умови бездіафрагмового електролізу на нерозчинних електродах й наявності хлор-іонів (наприклад, додавання NaCl з низькими концентраціями). При цьому у воду переходять гіпохлорит натрію та молекулярний хлор, E_h розчину зростає до 1000 мВ. Графітові електроди мають збільшену поруватість та розвинуту робочу поверхню, що гальмує вихід хлору за струмом та інтенсифікує виділення кисню. При розчиненні залізних анодів за такої технології E_h знижується до -800 мВ за рахунок іонів Fe(II). Це дозволяє відновлювати Cr(VI) [7, 8]. У ході такої обробки рН може зростати до 10 за енерговитрат 2000 Кл/л. Однак, хлорування стічних вод може призвести до утворення хлорорганічних сполук, які потребують більш глибокого очищення.

Існує вид очищення стічних вод шляхом впливу на них мікророзрядами в середовищі об'ємного електроду: за подачі напруги у системі виникає електричний струм великої густини з утворенням у місцях контакту частинок численних електричних розрядів з температурою до 5000 °C та тиском до 100 МПа [10]. Більш інтенсивне введення енергії в робочій простір дозволяє зменшувати розміри апаратів. Температура іскри ініціює розкладання більшості речовин на прості сполуки, іони та вільні радикали. При цьому до 95% введеної енергії переходить у теплову, до 20% – витрачається на механічну роботу, до 10% – випромінюється [10]. Формується комплекс фізичного і хімічного впливів на забруднюючі воду домішки, а до електрохімічних ефектів додається високотемпературний вплив мікророзряду і пов'язані з ним процеси. Продукти плазмохімічних реакцій миттєво «заморожуються» у воді. Випромінювання в різних діапазонах ініціює подальші паро- та рідкофазні реакції, утворюються окисники, радикали та зона стиснення. Електричний розряд незаражує воду, сприяє коагуляції та окисненню сполук. Однак сам мікророзряд має крапкову дію, що обумовлює неможливість рівномірної обробки. Тому ефективне очищення стічних вод у мікророзрядах може бути досягнуто лише за використання усього комплексу перелічених впливів.

Окиснення під дією мікророзрядів протікає шляхом плазмохімічних, електрохімічних, термоокислювальних, фотохімічних і вторинних реакцій із утворенням нетоксичних сполук, аж до діоксиду карбону, сульфатів, азоту і води. Джерелом активних елементів є вода, яка у зоні розряду розкладається до атомарного кисню і водню. Мікродуги створюють ерозію карбонових електродів та розкладання органічних сполук із утворенням дисперсного карбону, який адсорбує органічні домішки стічних вод.

В умовах металевого об'ємного електроду зменшуються втрати на створення мікродугового розряду у середовищі стічної води. Тому ерозія

металевих електродів виникає за меншої електричної потужності з насиченням води великою кількістю дрібнодисперсних часток металу та наступним утворенням коагулянту. Наночастинки гідроксидів металів активно сорбують інші молекули з утворенням міцних сольватних комплексів. Але при цьому не видаляються органічні сполуки.

Досліджено [4, 9] обробку стічних вод електророзрядами з напругою живлення до 1000 В та великою густиною введення потужності. Для утворення мікродугового розряду амплітуда електричної напруги повинна корелювати з відстанню між електродами, яку заповнено об'ємним електродом. В умовах мережевої напруги діють різнополярні імпульси, що виключає з процесу обробки багато електрохімічних ефектів. При випрямленні струму виникають уніполярні імпульси з частотою 100 Гц. Але у різні моменти часу на систему діє напруга різної амплітуди, що ініціює електрохімічні процеси різного характеру та інтенсивності. Виникає потреба зменшення частки низьковольтних впливів, що досягають режимами: випрямлена напруга без коливачь; розряд електричного конденсатора; тиристорне «вирізання» максимуму мережевої напівхвилі.

Для досягнення ефективності такого очищення води проведено добір технологічних і електричних параметрів системи, властивостей електродів, геометрії реактора для даного режиму обробки. За дії короткого імпульсу з великою амплітудою зростає кількість мікродуг, реакційна поверхня та об'єм плазми розрядів. Енергія розподіляється пропорційно електричним опорам у системі «об'ємний електрод–мікродуга–стічна вода». Генерація мікродуг стає можливою, якщо електроопір сухого об'ємного електроду становить до 0,2 Ом·м [9]. Більш електропровідні кокси фракції 5-7 мм зменшують цей показник до 0,06 Ом·м, що знижує втрати потужності на утворення режиму мікророзрядів до 7% та підвищує видалення роданідів до 97% за їх вмісту 1 г/дм³. Питома електрична потужність початку генерації мікророзряду в імпульсному режимі – 1,6 Вт/см³, для змінного та постійного струмів – 13 і 16 Вт/см³, тобто знижується у 8-10 разів.

Ефективна мікродугова обробка реалізується за напруги в імпульсі до 1000 В, частоти до 500 Гц та тривалості 0,1-0,4 мс, що зменшує енерговитрати. Збільшення електричної напруги на електродах на 25% підвищує глибину очищення у два рази, інтенсифікує утворення дисперсного сорбенту, піроліз у мікророзрядах, наступні окисні процеси. Збільшення частоти імпульсів посилює рівномірність обробки. Збільшення ширини електродів за незмінної потужності імпульсної обробки підвищує кількість паралельних ланцюгів мікророзрядів та зменшує потужність одного мікророзряду. За зміни швидкості потоку виявлено механізми очищення у мікророзрядах: 1) інтенсивність деструкції домішок меншає за збільшення швидкості потоку, оскільки меншає кількість мікродуг на

одиницю поданої води; 2) поки сорбент є в надлишку, прискорення потоку покращує очищення; надалі виникає його нестача і погіршення очищення.

За умови видалення зі стічної води важких металів, потужність, що подається до реактору з об'ємним електродом у режимі електроімпульсної коагуляції 4,0-6,5 Вт/см³, а витрата енергії 2-2,5 кВт/м³ із інтенсивністю очищення 1 м³/год [4]. Стічні води КХВ містять феноли та роданіди, які електроімпульсна коагуляція не видаляє, тому для їх вилучення використано об'ємний електрод з металургійного коксу. При цьому більш рівномірний вплив на забруднення води створювали частинки карбону розміром до 5 мкм) за рахунок адсорбції органічних домішок. Більш повільно видаляються роданіди зі ступенем вилучення до 97%. Подана до реактору потужність становила до 4 Вт/см³, а витрата енергії на очищення стічної води – 20 кВт/м³ (або 10 кВт/м³ для доочищення після біохімічної установки) за подачі води 0,15 м³/год [9]. Видалення органічних сполук протікає ефективно за потужності 2 Вт/см³, роданідів – 2,6-2,9 Вт/см³. Електроімпульсне очищення хромвмісних стічних вод (40 мг/дм³) дозволяє досягати глибини очищення до 0,4 мг/дм³. Знешкодження фенольних вод із вмістом фенолів 500, роданідів 600 мг/дм³ дозволяє досягати ХПК – 20 мг/дм³. Зниження ефективності видалення фенолів спостерігається за їх концентрації менше 20 мг/дм³, а роданідів – менше 200 мг/дм³.

Приклад оптимізації режиму мікродугового впливу на стічні води показано у разі обробки розчину роданіду натрію, див. рис.1. Результати досліджень при цьому перераховувались на питому потужність електровпливу на одиницю об'єму насипного електроду та кількість води, яка оброблювалась одиницею об'єму реактора.

Для розширення діапазону впливів на стічну воду з видаленням як органічних, так і неорганічних домішок, досліджено можливість добору електрохімічних та мікродугових режимів обробки з одночасним утворенням у електродізері як гідроксидів заліза або алюмінію, так і дрібнодисперсного карбону. При цьому головним механізмом очищення вважаємо сорбційний ефект дії вказаних речовин на водну систему. Досліджено можливість реалізації такої технології декількома шляхами: поєднання вуглецевого та металевого об'ємного електродів у загальному міжелектродному просторі, розподіл металевого та вуглецевого електродів за шириною міжелектродного простору з відокремленням їх зон металевою сіткою (напрямок потоку води співпадає з напрямком електричного струму), розташування металевого об'ємного електроду між декількома стаціонарними графітовими електродами. Можливість об'єднання в одному апараті різних об'ємних електродів визначається близькими оптимальними електричними режимами обробки, що потрапляють в діапазон густини потужності в реакторі 3-5 Вт/см³.

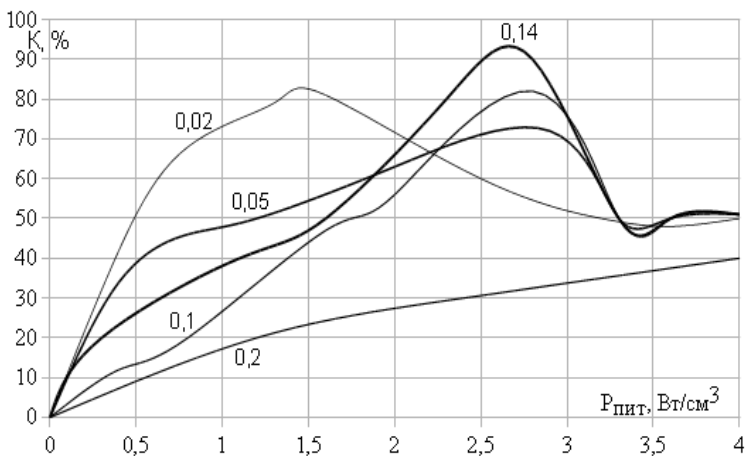


Рис.1. Залежність глибини очищення розчину роданіду натрію від питомої електричної потужності у реакторі за різної інтенсивності пропускання води крізь реактор: 0,02, 0,05, 0,1, 0,14 та 0,2 дм³/год·см³

Із позитивних моментів рішення щодо змішаного завантаження міжелектродного простору можна відмітити зменшення місць «зварювання» металевих частинок та простота технології. Однак, одночасне завантаження призводить до сегрегації частинок об'ємного електроду через деякий час із розділом на металеву стружку та металургійний кокс фракції 6-10 мм (відходи виробництва). Не можна керувати потужністю мікродуг окремо для мікродугового режиму у середовищі металевого об'ємного електроду або коксу. Можливо утворення у мікророзрядах таких побічних продуктів як карбіди заліза або алюмінію, останній у воді буде давати гідроксид та метан. Не зручно керувати складом об'ємного електроду за його нерівномірного витрачання у змішаному засипі. Потужність іскри відносно системи з металевим об'ємним електродом зменшується, а відносно системи з коксовим об'ємним електродом — збільшується. Водночас, наявність сорбентів-гідроксидів сприяє більш швидкому осадженню дрібнодисперсного карбону з обробленої стічної води.

Використання системи з паралельно розташованими активними та пасивними графітовими електродами вирішує питання високого електроопору коксової засипки та замінює систему комплексного об'ємного електроду, однак зменшує інтенсивність утворення дрібнодисперсного карбону та не дозволяє керувати окремо режимом утворення коагулянту та адсорбенту.

Розділ міжелектродного простору на зони металевого та коксового об'ємних електродів за рахунок регулювання взаємної ширини цих зон

дозволяє отримати потрібну густину потужності мікророзрядів у кожній зоні. Оскільки кокс має більший електричний опір, то для режиму формування мікродуг виявилось доцільним, щоб холодна стічна вода за горизонтального протікання спочатку потрапляла у зону карбонового об'ємного електрода, а потім – у зону металевого. У такому разі досягаються оптимальні режими утворення коагулянту та вуглецевого адсорбенту.

Таким чином, вирішене питання та розроблено режими комплексної мікродугової обробки стічних вод для видалення з неї забруднень органічного та неорганічного походження за рахунок утворення коагулянтів на основі гідроксидів заліза або алюмінію та вуглецевих адсорбентів.

Використані інформаційні джерела:

1. Чиркіна М. А., Слепужніков Є. Д., Пономаренко Р. В. До питання забезпечення техногенної безпеки на хімічно небезпечних об'єктах // *Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022* : Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції (26–27.05.2022, Полтава–Львів). Полтава : НУПП, 2022. С.646–649.
2. Трегубов Д. Г. Интенсификация процесса микродуговой очистки сточных вод при импульсном вводе мощности. *Вестник НТУ «ХПИ»*. 2000. №82. С.2–3. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3169>.
3. Beigeldrud G. M. Treatment of coking byproduct processing waste-water. *Koks i Khimiya*. 1996. №3. P. 32–33.
4. Глупак А. Н. Дослідження процесу електроімпульсного очищення хромвісних стічних вод. *Науковий вісник будівн.* 2000. №19. С. 213–217.
5. Слободської С. О., Сінкевич І. В., Тульський Г. Г., Шульга К. І. Визначення перспективних способів очищення стічних вод коксохімічного виробництва. *УглеХимический журнал*. 2009. № 3-4. С. 88–92.
6. Нарон Yu., Chyrkina M., Tregubov D. Co-Mo-W Galvanochemical Alloy Application as Cathode Material in the Industrial Wastewater Treatment Processes. *Materials Science Forum*. 2021, V.1038. P. 251–257.
7. Василенко О., Василенко Л. Гальванокоагуляція як універсальний метод очищення стічних вод від іонів важких металів. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*. 2017. №28. С. 48–52.
8. Смирнов Д. Н., Генкин В. Э. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. М. : Металлург, 1989. 224 с.
9. Tregubov D., Slobodskoj S. The study of microarc discharge electric characteristics in wastewater treatment. *Koks i Khimiya*. 1997. №9. P. 32–34.
10. Наугольных К. А., Рой Н. А. Электрические разряды в воде. М. : Наука, 1971. 155 с.

**ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ПЕРСПЕКТИВ БІОІНДИКАЦІЇ
ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ АТМОСФЕРИ У МІСТАХ
(НА ПРИКЛАДІ ЛУЦЬКА)**

**ASSESSMENT OF POSSIBILITIES AND PROSPECTS OF
BIOINDICATIONS OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE
ATMOSPHERE IN CITIES (ON THE EXAMPLE OF LUTSK)**

¹**Федонюк В. В.**, кандидат геогрічних наук, доцент кафедри екології та агрономії, ²**Іванців О. В.**, науковий співробітник, член Німецького державного фонду навколишнього середовища, ¹**Іванців В. В.**, кандидат історичних наук, доцент, завідувач кафедри екології та агрономії, ¹**Федонюк М. А.**, кандидат географічних наук, доцент кафедри екології та агрономії

¹*Луцький національний технічний університет, Україна*

²*Інститут рослин Бонського університету, Німеччина*

¹**Fedoniuk V. V.**, PhD (Geography), Assistant Professor of the Department of Ecology and Agronomy, ²**Ivantsiv O. V.**, scient., member of DBU (German Federal Environmental Foundation), ¹**Ivantsiv V. V.**, PhD (History), Head of the Department of Ecology and Agronomy, ¹**Fedoniuk M. A.**, PhD (Geography), Assistant Professor of the Department of Ecology and Agronomy

¹*Lutsk national technical university, Ukraine*

²*Nees Institute for Plant Biodiversity in university of Bonn, Germania*

Анотація. *Об'єктом даного дослідження є екологічний стан атмосферного повітря у м. Луцьк та його оцінка за допомогою ліхеноіндикаційного методу, а також економічне оцінювання біоіндикаційних методів моніторингу в містах. Методи дослідження: збір інформації, метод польових досліджень, метод лабораторного аналізу (інструментального та хімічного), метод моделювання, прогнозування і вивчення можливостей застосування біоіндикаційних методів екологічного моніторингу (на прикладі методу ліхеноіндикації), графічні методи, метод аналізу і синтезу, порівняння і аналогії, методи аналізу та співставлення літературних даних щодо екологічного стану атмосферного повітря у місті. Результати виконання дослідження: здійснено ліхеноіндикаційне обстеження мікрорайонів м. Луцьк та проведено оцінку екологічного стану атмосферного повітря в них, досліджено зв'язок поширення лишайників у мікрорайонах та хімічними показниками атмосферних опадів, досліджено*

вплив природних чинників (температура, вологість, вміст вуглекислого газу) на ріст та поширення лишайників шляхом закладення профілю на ділянці, що суміжна до автомагістралі та паркової зони міста, проаналізовано можливі шляхи покращення стану атмосферного повітря; проаналізовано економічну доцільність запровадження біоіндикаційних методів як доповнючої системи екологічного моніторингу стану атмосферного повітря у міських населених пунктах.

Ключові слова: біоіндикація, ліхеноіндикація, екологічний стан, атмосферне повітря, кислотність атмосферних опадів, екологічний моніторинг.

Abstract. *The object of this study is the ecological state of atmospheric air in Lutsk and its assessment using the lichen indication method, as well as economic evaluation of bioindication monitoring methods in cities. Research methods: information collection, field research method, laboratory analysis method (instrumental and chemical), modeling method, forecasting and study of bioindication methods of environmental monitoring (on the example of lichen indication method), graphic methods, method of analysis and synthesis, comparison and analogy, methods of analysis and comparison of literature data on the ecological state of atmospheric air in the city. Research results: lichen-indicative survey of the districts of Lutsk and assessment of the ecological state of atmospheric air in them, investigated the relationship between the spread of lichens in the neighborhoods and chemical indicators of precipitation, the influence of natural factors (temperature, humidity, carbon dioxide content) on the growth and spread of lichens by laying a profile on the area adjacent to the highway and the park area of the city, analyzed possible ways to improve the air; the economic expediency of introduction of bioindication methods as a supplementary system of ecological monitoring of atmospheric air condition in urban settlements is analyzed.*

Key words: bioindication, lichen indication, ecological condition, atmospheric air, acidity of precipitation, ecological monitoring.

Вступ. Екологічно безпечне середовище – це вагомий чинник формування суспільного стану, який прийнято характеризувати поняттям «забезпечення сталого розвитку». Екологічно безпечні умови довкілля важливі для людини, вони є визначальними для її здоров'я, безпеки, самопочуття. Як відомо, понад 70 % людей на нашій планеті проживають у містах, чи в урбоекологічних системах. У даних системах часто екологічний стан довкілля бажає кращого, формується ряд гострих проблем, серед яких – забруднення речовинами-політантами, шумове забруднення довкілля, підвищений рівень електромагнітних полів, тощо. Всі названі негативні

чинники можуть відобразитися на формуванні екологічно безпечного середовища життя, до якого прагне сучасне людство.

Саме тому встановлення ступеня чи рівня екологічної безпеки середовища в містах та урбанізованих зонах – це важливе і актуальне завдання, яке визначило вибір теми нашого дослідження. Дана робота магістра завершує великий етап аналізу сучасного екологічного стану атмосферного повітря в м. Луцьк, який ми провадили протягом останніх років. У роботі підсумовано результати здійснення біоіндикаційного (ліхеноіндикаційного) моніторингу екологічного стану атмосфери у Луцьку, оцінено економічні та організаційні перспективи впровадження в практику екологічного моніторингу у містах методик такого типу, зроблено висновки та узагальнення за результатами апробації дослідження.

Мета дослідження полягала в тому, щоб оцінити перспективність впровадження у містах України недержавних альтернативних систем екологічного моніторингу (на прикладі застосування ліхеноіндикаційного моніторингу стану атмосферного повітря в Луцьку).

Обрана мета дослідження спонукала до формулювання *таких завдань*: оцінити можливості застосування в містах біоіндикаційних методів контролю та аналізу екологічного стану довкілля; узагальнити результати застосування одного з біоіндикаційних методів – методу пасивної ліхеноіндикації – у м. Луцьк для оцінки екологічного стану атмосферного повітря в його мікрорайонах; провести економічне оцінювання доцільності та перспективності застосування альтернативних біоіндикаційних методів контролю параметрів довкілля в містах України (на прикладі м. Луцька); побудувати ряд графіків, діаграм, картограм, що наочно ілюструють отримані результати при здійсненні ліхеноіндикації території міста Луцька, екологічних параметрів стану атмосферного повітря у ньому; сформулювати висновки та рекомендації на основі проведеного дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів. У роботі вперше здійснено та описано результативність застосування методу пасивної ліхеноіндикації для оцінки екологічного стану атмосферного повітря у м. Луцьк, забрудненості його кислотними оксидами, проведена екологічна оцінка та порівняння стану окремих мікрорайонів нашого міста за показниками чистоти повітряного басейну. Практична значущість роботи. Результати здійсненого дослідження можуть бути використані для впровадження в практику недержавних екологічних систем моніторингу у містах України, як доповнення до існуючих інструментальних методів та мереж (типу «Еко-Сіті» та інше), а також – із метою популяризації екологічних знань, донесення до громадян нашого міста важливості дотримання нормативів

екологічної безпеки, забезпечення екологічної чистоти середовища, в якому ми проживаємо.

Методологічними засадами проведення даного дослідження виступали як основні наукові та науково-пізнавальні методи: метод комплексного аналізу, метод прогнозу, оцінковий метод, методи синтезу, дедукції та індукції, математичні та статистичні методики, методи графічної інтерпретації та представлення отриманих результатів, так і спеціальні методи, які застосовуються в природничих у тому числі в екологічних науках: метод польових спостережень, досліджень, обстежень, метод аналізу проб та зразків, метод маршрутних спостережень, картографічні методи, методи комп'ютерної оцінки і моделювання природних процесів і явищ.

Під біоіндикацією розуміють спостереження і контроль параметрів навколишнього природного середовища на основі аналізу стану, розвитку та динаміки біологічних і біохімічних процесів живих організмів (рослин, тварин, мікроорганізмів, мохів, лишайників, водоростей тощо) [1, 2, 4].

Серед поширених та описаних у науковій літературі методів біоіндикації назвемо основні:

- Ліхеноіндикація, або встановлення екологічного стану довкілля, у першу чергу – атмосферного повітря, на основі спостереження за поширенням, ростом і розвитком лишайників (симбіонтів гриба та синьо-зеленої водорості, які живляться виключно з атмосферного повітря, і тому є дуже чутливими до його хімічного та мікробіологічного складу);

- Бріоіндикація, або аналіз екологічного стану повітря, ґрунтів, біоти на основі спостереження за поширенням, ростом та розвитком мохів; даний метод добре зарекомендував себе при оцінці загальних екологічних умов у біоценозі, при аналізові типів ґрунтового середовища, тощо;

- Мікоіндикація, або використання грибкових організмів як індикаторів екологічного стану навколишнього середовища (елементи біогеоценозів, стан атмосферного повітря, стан ґрунтів, стан водних об'єктів тощо);

- Ентомобіоіндикація – використання комах, спостережень за їх життєдіяльністю, поширенням та міграціями для аналізу окремих екологічних параметрів довкілля;

- Біоіндикація з використанням пилку рослин, який чутливо реагує на певні, навіть незначні, зміни екологічних параметрів стану навколишнього середовища;

- Морфофізіологічна біоіндикація, яка ґрунтується на визначенні певних морфологічних та фізіологічних ознак і відхилень в живих організмів (найчастіше – рослин) у залежності від змінних умов навколишнього середовища. При застосуванні даного методу біоіндикації оцінюють, наприклад, розмір, форму, забарвлення листя дерев чи інших рослин, висоту

та розгалуженість їх крон, вегетаційні процеси та стадії, активність процесів росту та розмноження, і інші параметри [1, 2, 3, 7, 17, 18, 20, 22].

Це – лише найвідоміші біоіндикаційні методи, які застосовуються при екологічному моніторингові стану атмосферного повітря. Аналогічно, свої методи біоіндикації визначені для водних об'єктів, для лісових біоценозів, для ґрунтових екосистем.

У міському середовищі оцінка і аналіз саме екологічного стану атмосферного повітря є надзвичайно важливим, адже ми дихаємо повітрям щохвилини, і якщо на воду, яка тече з крана, можна поставити фільтри, а також можна самостійно визначати, якими продуктами харчуватися – ніхто з нас не може самостійно проконтролювати якість повітря, яким ми дихаємо. Вона – однакова для всіх у даному місті.

Зупинимося детальніше на одному з названих біоіндикаційних методів – методі ліхеноіндикації, що застосовувався нами при дослідженні. Проведемо огляд історії його становлення принципів застосування, впровадження, переваг та недоліків з точки зору сучасної екологічної та біологічної науки.

Важливим та системним завданням сучасності є захист навколишнього природного середовища. Якщо середовище є забрудненим, порушується його цілісність, деградує окремі компоненти, то на такі негативні явища першими будуть реагувати живі організми. Організми, які є найбільш чутливими до змін параметрів довкілля, називають організмами – біоіндикаторами. Як вже відмічалось серед біоіндикаторів можуть бути як рослини, так і тварини, птахи, риби, мікроорганізми, мохи, лишайники тощо.

Методики біоіндикації мають ряд суттєвих переваг: вони недорогі, не потребують значних економічних вкладень, можуть бути застосовані на протязі тривалого періоду часу. Проте, ряд авторів відзначає, що основними недоліками біоіндикаційних методів є їх нижча точність у порівнянні з інструментально-вимірвальними методиками [13, 14, 15, 16].

Хорошими біоіндикаторами екологічного стану атмосфери є такі організми, як лишайники. Лишайники надзвичайно широко поширені навколо нас, вони є дуже невибагливими до умов середовища, до поверхні чи субстрату, до якого прикріплюються. Даний вид живих організмів відзначається підвищеною чутливістю до чистоти повітря, що пояснюється особливостями життєвих процесів цих організмів: лишайник не має кореневої системи, він не живиться з ґрунту чи субстрату, водночас він також і не являється паразитом, бо лишайник вбирає вологу та поживні речовини з атмосфери. Якщо в атмосфері з'явиться щось погане для лишайника – він відразу на це зреагує [8, 9, 19, 23].

Ліхеноіндикація («ліхенос» – лишайник) – це біоіндикація екологічного стану повітря за допомогою спостережень та оцінки росту і розвитку, поширення, видового складу лишайників. Ліхеноіндикація – це окремий напрямок біоіндикаційної екології, який розпочав активно розвиватися з другої половини ХХ століття, хоча започаткований був набагато раніше, ще у ХІХ ст.

Ліхеноіндикація – це цікавий та знаний метод, його відносять до рекомендованих науковцями методик екологічного моніторингу. Є певні зауваги до умов, у яких рекомендують використання даного виду біоіндикації, тому що лишайники дуже чутливі не тільки до забруднення, але і до зміни природних параметрів стану атмосферного повітря (вологості, температури, біотичних параметрів тощо). І якщо концентрація забруднювачів не є критичною, то в такому випадку саме природні фактори в основному впливають на ріст та поширення лишайника. Ми спостерігали, наприклад, за дуже бурхливим та активним поширенням лишайників у зоні з високим вмістом біологічно активних речовин, в районі міських очисних споруд Луцька (Вишків), де поєднуються відразу три сприятливих для лишайників метеорологічних чинники: підвищена температура повітря внаслідок нагріву від відкритих відстійників стічних осадів, підвищена вологість повітря та висока концентрація біогенно активних речовин у тому ж повітрі в даній зоні [18, 19, 20, 22].

Ліхеноіндикація буває пасивна та активна. Першу також інколи називають візуальною (хоча візуальні спостереження проводяться при ліхеноіндикації завжди). При пасивній ліхеноіндикації ведуться спостереження, оцінюється їх поширення, стан покриву, видовий склад, складаються ліхеноіндикаційні оціночні карти. Активною (чи, по-іншому, експериментальною ліхеноіндикацією називають методи, при яких дослідник «не чекає милостей від природи»), а прирощує зразки лишайників-індикаторів у районі дослідження, визначає накопичення деяких забруднювачів у відібраних зразках, веде окремі види активного впливу на ділянки лишайникового покриву, оцінюючи результати. Досить поширеною є практика одночасного, паралельного чи послідовного застосування як пасивної, так і активної ліхеноіндикації.

У процесі вибору видового складу лишайників, які будуть хорошими біоіндикаторами екологічного стану території м. Луцьк та чистоти повітряного басейну нашого міста, було враховано наступні показники та рекомендації: як зазначено у [8], «для умов рівнинної частини України найкращими середньочутливими індикаторами є листоваті лишайники *Parmelia sulcata*, *Hypogymnia physodes*, а також види родини *Parmeliaceae*. Найчутливішим до атмосферного забруднення є кущисті лишайники родів

Rawalim (R. fraxinea, R. farinacea, R. pollinaria, R. dilacerata), Evermia (E. prunastri E. mesomorpha), Pseudevernia (P. furfuracea)» [8].

Для провадження ліхеноіндикаційного дослідження найкраще підходять невеликі чи середні міські населені пункти, або їх мікрорайони. Результати можуть бути порівняні між собою для різних міст чи для різних мікрорайонів одного міста, оцінені та описані.

У даному дослідженні було застосовано як основний метод пасивну (візуальну) ліхеноіндикацію в районах Луцька.

Дослідники-екологи розробили спеціальні допоміжні таблиці і проградуйовані шкали оцінки поширення, видового складу і морфологічних особливостей лишайників у даному районі дослідження. Серед таких дослідників варто виділити Х. Х. Трасса, знаного естонського ботаніка та еколога, ліхеноіндикаційні дослідження якого є класичними у даній сфері, а розроблені оціночні таблиці та шкали – досить простими та зручними у використанні. Трасс Ханс Хартмутович – це відомий фітоценолог, ліхенолог та ботанік. Найвідоміша його праця: «Трасс Х.Х. Геоботаника. История и современные тенденции развития», 1976 р. У 1985-1986 роках він написав свої основні праці по ліхеноіндикації. Ряд шкал Х. Х. Трасса ми використали при проведенні власного дослідження[17].

Відомими методиками ліхеноіндикації є методики таких вчених, як Браун-Бланке; Д. Деслувер та Ф.Лебланк; Ю. Мартин [7, 8, 11, 15, 21].

Ми вибрали для проведення досліджень саме методу Х.Трасса, бо вона, на нашу думку, проста, чітка, зрозуміла й найкраще підходила для обраної території дослідження, м. Луцьк.

Підсумовуючи історичний огляд досліджень у галузі ліхеноіндикації, варто відмітити, що можна виділити наступні його етапи

Першовідкривачі та основоположники методу ліхеноіндикації – це такі вчені, як А. Нюландер (1886, Франція, Париж), В. Шпек (1870, Україна, Харків), Р. Сернандер (1920, Англія) [1, 2, 4, 5, 20, 23].

Дослідники, що розвивали метод у ХХ ст. – це, в першу чергу, Д. Деслувер, Ф. Леблан (Канада), Х.-Х. Трасс (Естонія), Р. Шуберт (Німеччина), В. Браун-Бланке, К. Шейдегер (Швейцарія), Л. Н. Мартин, А. В. Пчолкін, А. С. Боголюбов (Росія), О. Ллойд (Англія, Шотландія) [1, 4].

Українські ліхеноіндикаційні дослідження кінця ХХ ст. – початку ХХІ ст. провадили такі дослідники та науковці: С. Я. Кондратюк, В. Г. Мартиненко, Н. М.Корнелюк, Л. В. Димитрова (Львів, Тернопіль, Луцьк, Рівне, Івано-Франківськ), С. С.Кравчук, М. В.Романюк (Могилів-Подільський), О. М.Кривко (Харків), О. Є.Ходосовцев (Херсон), С. Д.Зеленко (Чернігів), Л. А.Некрасенко, О. М.Байрак (Кременчук) [1, 2, 3, 4, 9, 11, 13, 16].

Активно продовжують розвиватися і сучасні ліхеноіндикаційні дослідження в Україні. Варто відмітити праці таких авторів, як Аверчук А. С. (Донецьк, 2011), Маслова О. В. (Запоріжжя, 2013), Зоріна Н. О., Радловська К. О., Боднар Н. В., Голембійовська М. Ю. (Івано-Франківськ, 2016), Димитрова Л. В. (Київ, 2008), Леонідов Р. О., Краснощок Л. І. (Маріуполь, 2017), Радомська М. М., Страва Т. В., Ніна В. (Васильків, Київ, 2016-2018) та багатьох інших [1, 2, 3, 4, 8, 9, 11, 15].

Сучасні ліхеноіндикаційні дослідження в світі провадять такі відомі дослідники як Paoli L., Munzi S., Guttova A., Senko D., Sardella G., Loppi S. (Італія, 2015); Darnajoux R., Lutzoni F., Miadlikowska J., Bellenger J.-P. (Канада, 2015); Bao Y. Ju Y., Li B., Sun Y. (Китай, 2016); Voamponsem L. K., Freitas C. R., Williams D. (Нова Зеландія, Австралія, 2017), Will-Wolf S. (США, 2018), Брязов Л. Г., Сафранкова К. А., Большунова Т. С. (Росія, 2015-2019) та багато інших [11, 18, 20].

Упродовж досить тривалого часу (2015-2019 рр.) нами було організовано та проведено ліхеноіндикаційне дослідження в мікрорайонах м. Луцьк, основною метою якого було виявлення екологічного стану атмосферного повітря, градацій цього стану, зон із потенційно загрозливим екологічним станом.

До завдань, які ставилися у процесі здійснення ліхеноіндикації (за пасивним методом, або методом візуальних спостережень за поширенням та видовим складом лишайників, були віднесені завдання щодо встановлення зв'язку між екологічним станом повітряного басейну у окремих мікрорайонах нашого міста та поширеності листуватих накипних та куцистих лишайників у цих же мікрорайонах.

Застосовувалися методи польових обстежень (візуальне визначення ступеня покриття кори дерев лишайниками різних видів), методи статистико-математичного аналізу отриманих результатів, методи графічної інтерпретації отриманих результатів, методи аналізу оцінки, порівняння та інші.

Для оцінки поширення лишайників у мікрорайоні використовувалися обстеження дерев, на корі яких лишайники селяться найчастіше. Було застосовано описану в загальному у першому розділі методу Х. Х. Трасса, запропоновані цим дослідником оціночні шкали та таблиці для порівняння ступеня покриття кори дерева лишайниками [20].

Серед різних видів дерев декоративних, фруктових тощо), які зустрічаються у м. Луцьк, в якості об'єкта для оцінки поширення лишайників було обрано такий вид, як липа дрібнолиста. Вона поширена практично у всіх мікрорайонах, які обстежувалися, є достатня кількість дерев відповідно однакової вікової групи, кора липи досить гладка, що

полегшує сам процес визначення ступеня покриття лишайником та робить його результати точнішими.

Методика проведеного обстеження мікрорайонів Луцька була наступною: місто ділиться на умовні квадрати, в кожному квадраті визначається кількість дерев, які будуть обстежуватися вибиралося по 10-12 дерев липи дрібнолистої приблизно одного віку). Якщо обстеження ведеться по вулиці, або на території паркової зони, скверу, то обстежується і описується (із занесенням результатів у польовий журнал) кожне 3, 5 чи 10 дерево відповідного виду по обидві сторони від проїжджої частини (якщо ми на вулиці) або по обидва боки від алей, доріжок у парку. На стовбурі липи обчислення площі скритості лишайниками робиться за рахунок застосування відповідної палетки (розміром 10 на 10 см, з площею одного квадрата 1 см^2 , яка виготовлена з прозорого пластика). Палетку ми зробили самостійно, розкресливши на прозорому пластику квадрати.

Окремо у журналі зазначався видовий склад лишайників, які були виявлені (для цього використовувався визначник лишайників). Визначалася площа поширення накипних, листкуватих та кущистих лишайників (кущистих було виявлено найменше, і не у всіх мікрорайонах нашого міста вони зустрічалися). На стовбурі кожного описаного дерева вибиралося по чотири пробні площі для аналізу: дві знизу, близько до землі, і дві – вище, на висоті зросту людини (1,5-1,7 м). Пробні ділянки вибиралися з різних сторін стовбура (північної південної західної та східної). Такого типу візуальні обстеження подекуди проводять, відмічаючи поширення якогось одного виду лишайника, або декількох видів, ми вели дослідження на основі встановлення співвідношення між поширенням листкуватих, накипних та кущистих лишайників, тому що саме в цьому ряду зростає їх загальна чутливість до екологічних параметрів стану атмосферного повітря, зокрема, до наявності кислотних оксидів у повітрі. А види окремих лишайників ми описували по мірі їх виявлення. Виявилось, що видове різноманіття лишайників є приблизно однаковим у різних мікрорайонах міста. Відмінності були лише в поширенні видів кущистих лишайників, які зустрічалися далеко не усюди [5, 21, 22].

Додатковим індикаційним маркером при проведенні ліхеноіндикаційного дослідження є розмір розетки листуватого лишайника чи довжина «бороди» (талому) кущистого лишайника. Оцінку вкритості кори липи лишайниками ми проводили за оціночними таблицями Х. Х Трасса. Ступінь вкритості стовбура дерева лишайниками різних видів визначався у відсотках.

Таким чином, кожне дерево було описане за ступенем вкритості його стовбура лишайниками (листкуватими, накипними та кущистими, якщо такі були). Після цього для кожного квадрату (вулиці, мікрорайону, паркової

зони тощо) обчислювалися середні статистичні показники ступеня скритості стовбурів дерев лишайниками різних типів. Визначався середній відсоток ступеня скритості стовбурів липи дрібнолистої накипними, чи плівковими, лишайниками (НЛ), кущистими лишайниками (КЛ) та листуватими лишайниками (ЛЛ). Вважається, що сим більшим є сумарний показник вкритості стовбурів дерев лишайниками (тобто чим він ближчий до 100%, тим чистішим є атмосферне повітря у даному мікрорайоні міста. Зокрема, чим більше лишайників живе на корі дерев – тим нижчими є концентрації оксидів сульфуру та нітрогену в атмосферному повітрі. Хорошою індикаційною ознакою є також виявлення кущистих лишайників, адже вони особливо вибагливі до чистоти повітря і зустрічаються лише в зонах особливо чистої атмосфери. Для нашого міста такими зонами виявилися зелені насадження в парках, у заплаві р. Стир та подекуди – в заплаві р. Сапалаївка [20,21].

Отримані узагальнені результати представлено на картограмах поширення лишайників – біоіндикаторів у нашому місті та загального екологічного стану атмосферного повітря в його мікрорайонах, в межах території проведеного дослідження. Картограми представлено на рисунках 1 та 2. На рис. 1 кольором різного насичення показано зростання чи зменшення площі покриття лишайниками стовбурів дерев у різних мікрорайонах Луцька. Чим зеленіший колір – тим більше лишайників зустрічалось в даному мікрорайоні. Варто відзначити, що дана картограма узагальнено побудована з врахуванням поширення усіх видів лишайників (тобто і кущистих, і листуватих, і накипних). На рис. 2 аналогічно, кольорами різного забарвлення та насичення, представлено оцінку екологічної ситуації в досліджуваних мікрорайонах. Варто відмітити, що екологічна ситуація є загрозливою у тих зонах, де колір більш насичений, а відносно екологічно чистими та безпечними за станом повітря є райони, забарвлені у світлі відтінки фіолетового чи сірого [20].

Найчистішим повітря, за даними проведеного ліхеноіндикаційного обстеження, виявилось в паркових зонах міста (Центральний парк культури та відпочинку імені Лесі Українки, парк 40-ого мікрорайону, парк імені 900-річчя Луцька та інші). Суттєво більш забрудненим є повітряне середовище у промислових районах нашого міста, а особливо – вздовж автомагістралей із потужним автотрафіком. Відзначимо, що часто такі автомагістралі проходять через житлові, «спальні» мікрорайони, і забруднення повітря представляє пряму небезпеку для жителів міста.

Отже, при оцінці проведеного дослідження та аналізові і інтерпретації його результатів можна зробити наступні висновки: вздовж найбільших автомагістральних доріг Луцька, у промислових зонах нашого міста екологічний стан атмосферного повітря є загрозливим. Про чисту екологічну

Небезпечною є екологічна ситуація у мікрорайонах, прилеглих до вулиць львівської, Дубнівської, Проспекту Соборності, Київського майдану, Вулиці Володимирської, 40-ого мікрорайону. В даних районах виявлені показники покритості стовбурів дерев лишайниками у межах 10-15%. Це досить мало. По цих районах пролягає мережа автотранспортних магістралей з досить напруженим трафіком. Це переважно вулиці, що є «віздними» до Луцька, по них щодня рухається великий транспортний потік, число машин особливо велике в пікові години протягом робочого тижня, а також на початку та наприкінці вихідних днів. Також у даних мікрорайонах зосереджені і найбільші промислові об'єкти та підприємства. Дані чинники і викликають збільшення викидів у атмосферу речовин які пригнічують ріст та розвиток лишайників, а також становлять загрозу і для людини та інших живих організмів.

При оцінці та порівнянні між собою показників ступеня вкритості лишайниками окремих дерев у межах одного мікрорайону варто відзначити, що чітких залежностей між, наприклад, розміщенням дерева ближче або далі від траси, і ступенем цього покриття, виявлено не було. Проте загальний показник вкритості був помітно меншим у промислово та транспортно навантажених районах міста.

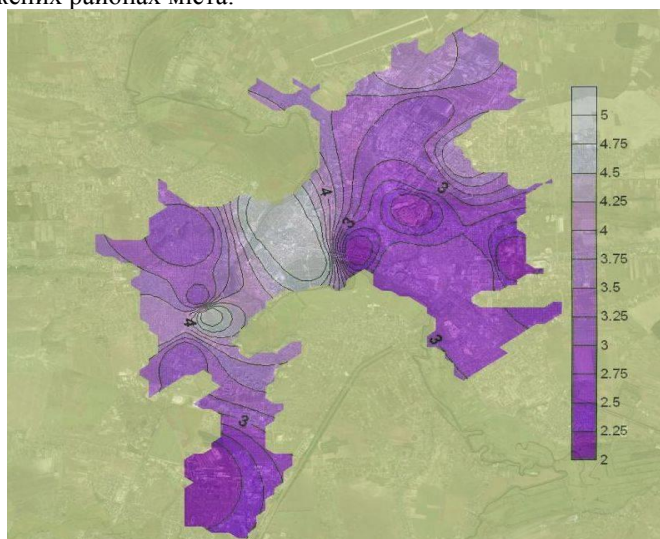


Рис. 2. Картограма загального екологічного стану (чистоти) повітря у Луцьку

*Числова шкала – це зони різного екологічного стану: 4-5 – чиста зона, 3-4 – зона середнього забруднення, 2-3 – зона сильного забруднення, 1-2 – зона загрозливого забруднення.

Найбільш загрозливими показниками за значенням ступеня покриття стовбурів дерев лишайниками відзначені такі райони нашого міста, як зона поблизу Цегельного заводу №3 (вулиця ромислова, вулиця Львівська). Тут середній показник вкриття стовбурів липи лишайниками 11,5 %. В районі ЛПЗ (завод ПРАТ «СКФ») виявлено, що показник ступеня покриття стовбурів дерев лишайниками становить всього 8,9%. Найнижчим даний показник виявився у районі мікрорайону Вересневе (Цукровий завод) – 7,1%. Отже, не тільки неприємними запахами, що поширюються майже на все місто, впливає цукровий завод на стан атмосферного повітря, але і викидами речовин-забруднювачів які пригнічують ріст та поширення лишайників-біоіндикаторів.

До зони сильного забруднення ми також віднесли район, який прилягає до проспекту Волі, де спостерігається активний рух автотранспорту практично цілодобово. Ще один мікрорайон, де були виявлені низькі значення вкритості дерев лишайниками – це 55-ий квартал. Але для цієї зони було б не зовсім коректно проводити порівняння, аналогічне з іншими мікрорайонами, бо даний мікрорайон – «наймолодший» в нашому місті, дерева тут ще досить молоді, відповідно, липи також не тієї вікової категорії, що в інших мікрорайонах. Тобто ми припускаємо, що тут лишайники ще просто «не наростили». Для росту та розвитку їм потрібен час, адже це – багаторічні організми.

Висновки: 1) Комплекс проведених досліджень, оцінок та розрахунків дозволяє визначити ліхеноіндикаційний метод аналізу екологічного стану атмосфери у місті як ефективний, доступний в реалізації та економічно мало затратний. Даний метод біоіндикації заслуговує на увагу в якості альтернативного моніторингового методу оцінки стану повітряного басейну, що може використовуватися як доповнення до існуючих інструментальних методик. 2) Оцінювання поширення лишайників та екологічного стану атмосфери в мікрорайонах Луцька дозволило виявити зони сильного, середнього та помірного забруднення, які картографовані та описані в роботі. Добрим та задовільним екологічний стан повітряного басейну міста є лише у зелених зонах, в районі набережної, заплави р. Стир. 3) Розроблені картограми дозволяють оцінити розміщення зон максимального та мінімального забруднення повітряного басейну в Луцьку. Дані карти можуть використовуватися як з навчальною та еколого-просвітницькою метою, так і для практичних потреб міських органів державної влади, екологічних підрозділів, екологічних та* наукових організацій. 4) Порівняльний економічний аналіз вартості навіть мінімального розширення стаціонарної мережі екологічного моніторингу атмосфери у Луцьку та вартості запровадження ліхеноіндикаційного

моніторингу на постійній основі (пасивної та активної ліхеноіндикації) підтвердив, що біоіндикаційні методи можуть ефективно використовуватися як доповнюючі оцінки екологічного стану атмосферного повітря в міських населених пунктах.

Використані інформаційні джерела:

1. Ашихміна Т. Я. та ін. Біоіндикація та біотестування – методи пізнання екологічного стану навколишнього середовища. К. : Знання, 2005. 450 с.

2. Димитрова Л. В. Ліхеноіндикація забруднення атмосферного повітря м. Києва // Укр. ботан. журнал. 2008. Т. 65, № 4. С. 572–585.

3. Зеленко С. Д. Ліхеноіндикаційна оцінка забрудненості повітря м. Чернігова // Український ботанічний журнал. К. : 1999. №56 (1). С. 64–67.

4. Зоріна Н. О., Радловська К. О., Бондар Н. В., Голембійовська М. Ю. Оцінка екологічного стану атмосфери міста Івано-Франківська методом ліхеноіндикації // Екологічна безпека та збалансоване ресурсовикористання. Івано-Франківськ: 2016. №1(13). С. 70–84.

4. Іванців О. В. Дослідження екологічного стану повітря у Луцьку методами ліхеноіндикації // Студентська наукова конференція факультету екології та приладо-енергетичних систем, 2-7 грудня 2016 р. ІВВ Луцького НТУ, 2016. С.20–22.

5. Іванців О. В. Оцінка впливу параметрів мікроклімату на ріст та розвиток лишайників при проведенні ліхеноіндикаційних досліджень // Сучасні аспекти ресурсозбереження : Тези III факультетської студентської наукової конференції (Факультет екології, туризму та електроінженерії). Луцьк, 2006. С. 10–12.

6. Мартин Ю. Л. Лихеноиндикационное картирование загрязнения атмосферного воздуха // Международная школа по лишеноиндикации. Таллин, 1984. С. 15–34.

7. Кондратюк С. Я., Мартиненко В. Г., Димитрова Л. В., Корнелюк Н. М. Ліхеноіндикація [Текст]. К. ; Кіровоград : ТОВ «КОД». 2006. 260 с.

8. Кравчук С. С., Романюк М. В. Ліхеноіндикація стану забруднення оточуючого середовища у м. Могилеві-Подільському та його околицях [Електронний ресурс] – Режим доступу: [//www.lib.ua-ru.net/diss/cont/150403.html](http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/150403.html)

9. Липа О. Я., Добровольський І. А. Ботаніка [Текст]: Систематика нижчих і вищих рослин. К. : Вища школа, 1975. 400 с.

10. Ліхеноіндикація (вивчення забруднення повітря за допомогою лишайників) [Електронний ресурс] – Режим доступу: [//http://gov.cap.ru/home/g3/000/asio/200/252.htm](http://gov.cap.ru/home/g3/000/asio/200/252.htm)

11. Голлербах М. М., Федоров А. А. Жизнь растений. В 6-ти т. Т. 3. Водоросли, лишайники. М. : «Просвещение», 1977. 487 с.

12. Некрасенко Л. А., Байрак О. М. Аналіз ліхеноіндикаційного картування м. Кременчук // Український ботанічний журнал. К. : 2002. №59 (3). С. 278–284.

13. Окснер А. Н. Определитель лишайников. Морфология, систематика и географическое распространение лишайников [Текст]. М. : Наука, 1974. 162 с.

14. Пчелкін А. В. Ліхеноіндикація забруднення атмосфери за допомогою епіфітних видів лишайників [Електронний ресурс] – Режим доступу: [//www.nature-archive.ru/lichens/lichenoidikatsiya.php](http://www.nature-archive.ru/lichens/lichenoidikatsiya.php)

15. Романюк Н. З., Войтюк В. П., Коцун Л. О., Вашук Л. І., Кузьмішина І. І. Водорості та лишайники [Текст] : Методичні рекомендації до лабораторних занять для студентів I курсу біологічного факультету. Луцьк : РВВ «Вежа» ВДУ ім. Лесі Українки, 2002. 77 с.

16. Трасс Х. Х. Геоботаника. История и современные тенденции развития. Л. : Наука, 1976. 252 с.

17. Федонюк В. В., Іванців О. І. Районування території м. Луцька за допомогою ліхеноіндикаційної оцінки екологічного стану // Енергетична безпека навколишнього середовища : Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (24-26 вересня 2015 року). Луцьк : РВВ Луцького НТУ, 2015. С.46-49.

18. Федонюк В. В., Іванців О. І. Дослідження впливу кислотності атмосферних опадів у Луцьку на поширення лишайників // Екологічні проблеми Волині : Матеріали Круглого столу, 24-26 березня 2016 р. С.40–42.

19. Федонюк В. В., Іванців В. В., Федонюк М. А., Іванців О. В. Картографування екологічного стану повітряного басейну м. Луцька на основі ліхеноіндикації // Часопис картографії: Збірник наукових праць. К. : КНУ ім. Тараса Шевченка, 2016. Вип.16. С. 259–271.

20. Федонюк В. В., Іванців О. В. Аналіз екологічного стану повітряного басейну м. Луцька на основі ліхеноіндикаційного дослідження // Екологічні нотатки. №4. Луцьк : ІВВ Луцького НТУ, 2017. С.79–88.

21. Федонюк М. А., Іванців О. В., Федонюк В. В. Економічна оцінка ліхеноіндикаційної системи моніторингу екологічного стану атмосферного повітря у м. Луцьку // Матеріали Круглого столу (23-24 березня 2018 року). Луцьк : ІВВ Луцького національного технічного університету, 2018. С.22–25.

22. Федонюк В. В., Іванців О. В. Оцінка економічної доцільності впровадження системи біоіндикаційного моніторингу стану атмосферного повітря у м. Луцьку // Екологічні нотатки. №6. Луцьк : ІВВ Луцького НТУ, 2018. С.28–36.

ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПОВЕРХНЕВІ ВОДИ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

ASSESSMENT OF TECHNOGENIC LOAD ON SURFACE WATERS OF CHERNIGIV REGION

Чугай А. В., доктор технічних наук, професор, декан природоохоронного факультету, **Глод А. В.**, магістр з екології

Одеський державний екологічний університет, Україна

Chugai A., Doctor of Sciences (Technical), Professor, Dean of Environmental Protection Faculty, **Hlod A.**, Master of Environmental Science

Odessa State Environmental University, Ukraine

Анотація. З метою уникнення негативних впливів на водні ресурси, ефективного використання вод важливим є контроль за водоспоживанням і водокористуванням, діяльністю підприємств для розробки заходів щодо раціонального управління водними ресурсами. У роботі виконано оцінку техногенного навантаження на водні об'єкти Чернігівської області за багаторічний період. Також наведено відомості щодо стану водних об'єктів через військову агресію Російської Федерації на території України. Основними водокористувачами у Чернігівській області є підприємства промислового сектору і комунального господарства. Одним з найбільш навантажених річкових басейнів є басейн р. Десна. Найкращі значення комплексного коефіцієнту ефективності водокористування K відзначено у 2015-2016 рр. Погіршення ситуації в останні роки обумовлено зниженням коефіцієнту ефективності водовідведення. За значенням комплексного показника техногенного впливу K_k відзначено тенденцію до його зменшення з 2014 р. майже в два рази. Чернігівську область можна віднести до другого екологічного району з помірним рівнем техногенного навантаження. Найбільш гірші умови з позицій сталого розвитку відзначались у 2011-2013 рр. Рівень техногенного навантаження на водні об'єкти не відповідає нинішньому стану. На разі не представляється можливим оцінити наявні зміни стану вод, адже в умовах воєнного стану проведення відбору проб тимчасово призупинено.

Ключові слова: техногенне навантаження, сталий розвиток, водокористування, водоспоживання.

Abstract. *In order to avoid negative impacts on water resources, effective use of water is important to control water consumption and water use, activities of enterprises to develop measures for the rational management of water resources. The paper evaluates the technogenic load on water bodies of Chernigov region for many years. Information on the state of water bodies due to the military aggression of the Russian Federation on the territory of Ukraine is also provided. The main water users in Chernigov region were enterprises of the industrial sector and public utilities. One of the most loaded river basins in Chernigov region is the Desna river basin. The best values of the complex coefficient of water use efficiency K were observed in 2015-2016. Deterioration of the situation in recent years is due to a decrease in the value of the coefficient of efficiency of water disposal. According to the value of the complex index of anthropogenic impact K_k there is a tendency to its decrease since 2014 by almost 2 times. Chernigov region can be attributed to the second ecological zone with a moderate level of anthropogenic load. The worst conditions from the position of sustainable development were observed in 2011-2013. The level of technogenic load on water bodies does not correspond to the current state. At present, it is not possible to assess the existing changes in the state of the waters, as under martial law sampling has been temporarily suspended.*

Key words: *technogenic load, sustainable development, water use, water consumption.*

Основною водною артерією Чернігівської області є р. Десна, річкова система якої включає понад три десятки річок. Її води використовуються для забезпечення водоспоживання міст Чернігів, Київ і багатьох інших міст і населених пунктів, що розміщуються в межах її водогосподарських ділянок.

Із метою уникнення негативних впливів на водні ресурси, ефективного використання вод важливим є контроль за водоспоживанням і водокористуванням, діяльністю підприємств для розробки заходів щодо раціонального управління водними ресурсами. Ці фактори визначають актуальність дослідження.

Метою роботи є оцінка техногенного навантаження на водні об'єкти Чернігівської області за багаторічний період. Окремою складовою роботи став аналіз стану водних об'єктів через військову агресію Російської Федерації на території України.

Основними завданнями при виконанні дослідження були такі: визначити основні джерела антропогенного впливу на водні об'єкти Чернігівської області;

- виконати оцінку техногенного навантаження;

- виконати аналіз сучасного стану водних об'єктів з урахуванням наслідків військової агресії російської федерації.

У цілому по території області протікає 1570 річок загальною довжиною 8369 км. У басейні р. Десна формується близько 22% поверхневого стоку р. Дніпро і 15% стоку всіх річок України [1].

Загальний забір води в 2020 р. в області становив 106,9 млн. м³, що на 5,4 млн. м³ більше порівняно з 2019 р. Це пов'язано зі збільшенням об'ємів використання води КП «Чернігівська ТЕЦ» ТОВ фірми «ТехНова» [1]. Відомості про динаміку водозабору за останні роки в Чернігівській області наведено на рис. 1.

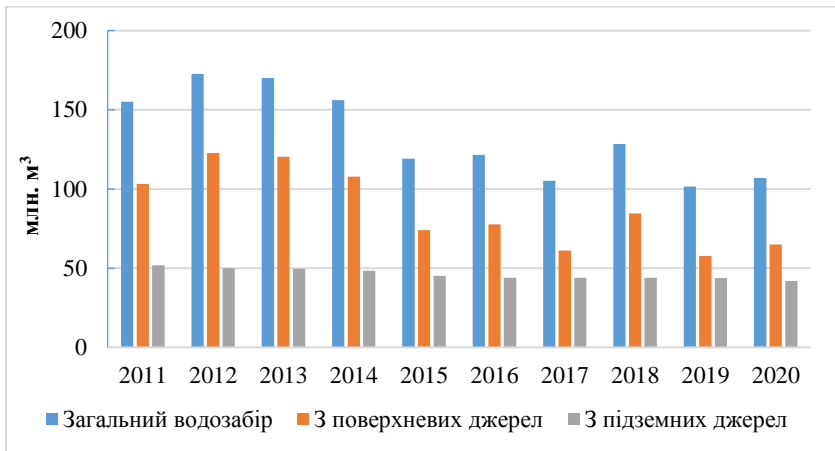


Рис. 1. Динаміка водозабору в Чернігівській області у 2011-2020 рр. [1]

Основними водокористувачами в області є підприємства промисловості і комунального господарства (рис. 2).

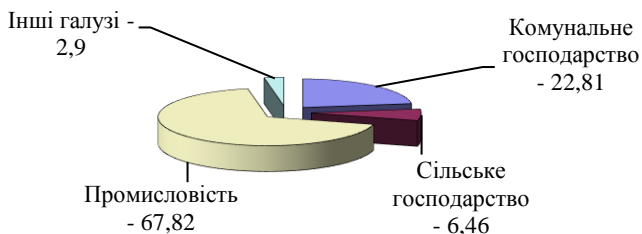


Рис. 2. Структура загального водокористування в Чернігівській області у 2020 р., млн. м³ [1]

Головними забруднювачами поверхневих водних об'єктів регіону є підприємства житлово-комунального господарства, в тому числі КП «Чернігівводоканал». У цілому більше 10 підприємств області здійснювали скид недостатньо очищених стічних вод.

Якщо аналізувати динаміку водозабору і використання води по всіх річках області, то, як зазначено вище, р. Десна дійсно є головною водною артерією, і показники у всі роки на порядок перевищують відповідні значення для інших річок (рис. 3-4).

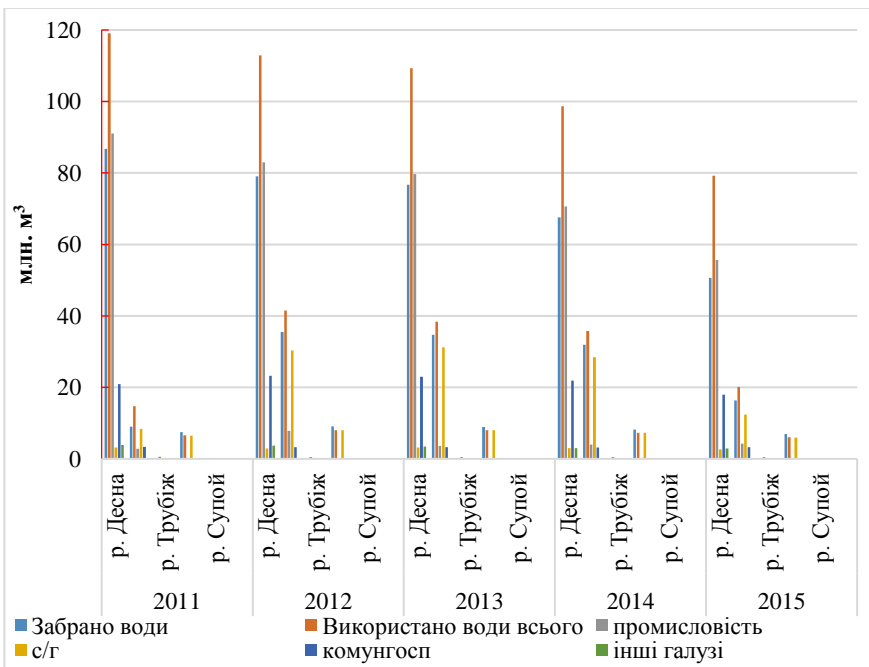


Рис.3. Показники водозабору і водокористування по річках Чернігівської області за період із 2011 по 2015 роки [1]

Оцінка техногенного навантаження на водні об'єкти є важливою складовою у формуванні природоохоронної діяльності та встановленні рівня використання водних ресурсів. Нами виконано оцінку на водні об'єкти Чернігівської області за період з 2011 по 2020 роки. З цією метою було застосовано декілька методів.

Один із методів враховує комплексний коефіцієнт, який базується на коефіцієнтах водопостачання і водозабору. Дана методика дозволяє оцінити

ефективність водокористування на основі коефіцієнтів ефективності водоспоживання і водовідведення [2, 3], а саме розрахувати комплексний коефіцієнт ефективності водокористування K . Його складові (коефіцієнт ефективності водопостачання K_1 і коефіцієнт ефективності водовідведення K_2) враховують дані про забір води, втрати води при транспортуванні, скид

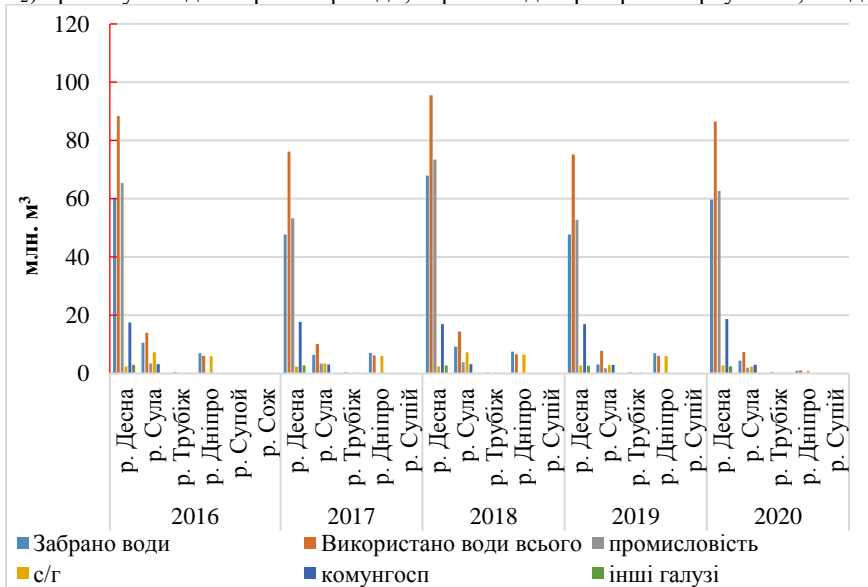


Рис. 4. Показники водозабору і водокористування по річках Чернігівської області за період із 2016 по 2020 роки [1]

стічних вод у водні об'єкти, в т.ч. без очищення і нормативно-чистих стічних вод. Значення коефіцієнтів змінюються від 0 до 1, відповідно їх кращі значення наближені до 1. Розрахунки виконуються за такими формулами:

- коефіцієнт ефективності водопостачання

$$K_1 = \frac{Q_{заб} - Q_{втр.тр.}}{Q_{заб}}, \quad (1)$$

- коефіцієнт ефективності водовідведення

$$K_2 = 1 - \frac{Q_{б/оч.}}{Q_{ск} - Q_{н/чис.}}, \quad (2)$$

- комплексний коефіцієнт:

$$K = K_1 \cdot K_2, \quad (3)$$

де $Q_{зab.}$ – забір води з природних водних джерел для використання, млн. м³;
 $Q_{втр.тр.}$ – втрати води при транспортуванні, млн. м³;
 $Q_{б/оч.}$ – скидання стічних вод без очищення, млн. м³;
 $Q_{ск.}$ – скидання стічних вод у водні об'єкти, млн. м³;
 $Q_{н/чс.}$ – обсяг нормативно-чистих (які не потребують очищення) стічних вод, що скидаються у водні об'єкти, млн. м³ [2, 3].

Аналіз динаміки зміни коефіцієнтів водопостачання та водовідведення (рис. 5) показав, що найкраще значення коефіцієнту водовідведення K_2 відзначалось у 2015 р. В цілому з 2011 р. спостерігається тенденція до покращення значень коефіцієнту з різким спадом у 2017 р. За коефіцієнтом водопостачання K_1 ситуація є стабільною, різких коливань значень не спостерігалось.

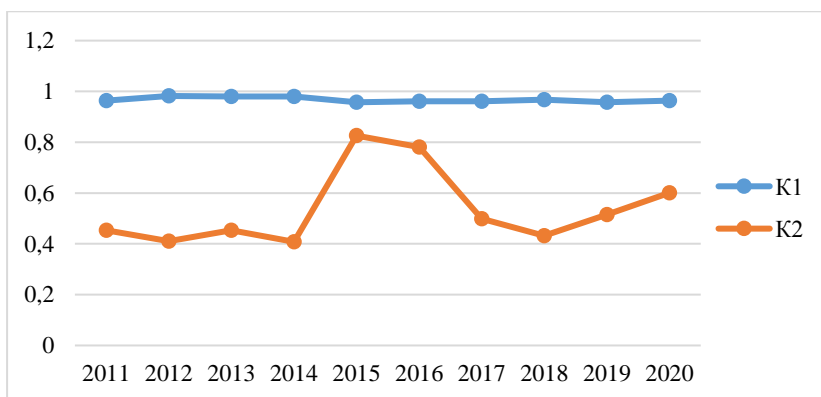


Рис.5. Динаміка зміни показників водопостачання та водовідведення у водні об'єкти Чернігівської області

Найкращі значення комплексного коефіцієнту ефективності водокористування K (рис. 6) відзначено у 2015 – 2016 рр. (0,79 і 0,75 відповідно), найгірші – у 2010 р. (0,34). Ситуація з 2010 до 2014 р. була майже стабільною. У 2015 р. відзначається максимум значення K з подальшим різким зниженням у 2017 р. Загальне погіршення ситуації обумовлено зниженням значення коефіцієнту ефективності водовідведення. В цілому в останні роки ефективність показників водокористування поверхневих вод Чернігівській області відповідає середнім значенням коефіцієнту K .

Також було виконано оцінку техногенного впливу на довкілля Чернігівської області в цілому, в тому числі з урахуванням показників водозабору і скидів стічних вод. Для такої оцінки використано комплексний показник техногенного впливу на навколишнє середовище певної території, який розраховується за формулою:

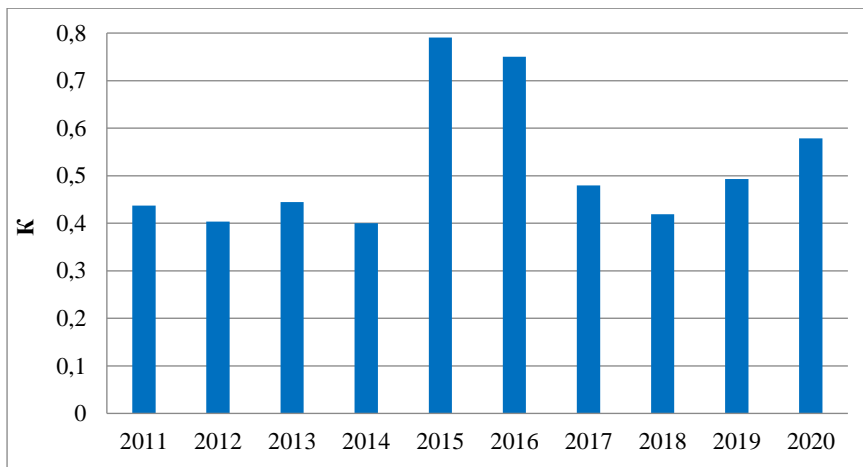


Рис. 6. Оцінка ефективності водокористування в межах Чернігівської області (2011-2020 рр.)

$$K_{\kappa} = \left(\frac{M_B}{S_m} + \frac{V_3 \cdot V_C}{S_m} + \frac{M_{ВД}}{S_m} \right) \cdot P_{Ж}, \quad (4)$$

де M_B – маса викиду ЗР, т/рік;

S_m – площа території області, га;

V_3 – маса води, яка забирається на потреби споживачів, м³/рік;

V_C – маса скидання стічних вод, м³/рік;

$M_{ВД}$ – маса відходів, що утворилися на даній території, т;

$P_{Ж}$ – кількість жителів, які проживають на даній території, тис. чол. [4, 5].

Комплексний показник техногенного впливу змінюється у широкому діапазоні і дозволяє поділяти території дослідження на декілька екологічних районів за рівнем навантаження. Кожний екологічний район характеризується певним рівнем техногенного навантаження на компоненти довкілля і станом біоти. Як приклад, було запропоновано такі градації екологічних районів:

1) $K_{\kappa} < 10 \cdot 10^{-2}$;

2) $K_{\kappa} = (10 - 100) \cdot 10^{-2}$;

$$3) K_k = (100 - 1000) \cdot 10^{-2};$$

$$4) K_k > 1000 \cdot 10^{-2} [5].$$

Їх умовно можна характеризувати як райони з низьким, помірним, високим і надзвичайно високим рівнем техногенного навантаження.

Було розраховано показник K_k для Чернігівської області за 2011-2020 рр. із застосуванням матеріалів Доповідей про стан навколишнього природного середовища в Чернігівській області.

На рис. 7 наведено результати розрахунку. Як видно, за період дослідження відзначається тенденція до зменшення показника з 2014 р. майже в два рази, що свідчить про відповідне зменшення рівня техногенного навантаження. Такі результати обумовлені суттєвим зменшенням кількості відходів, що утворювалися на території області. Також у 2019-2020 рр. зменшились обсяги загального водозабору і скидів стічних вод порівняно з 2015-2016 рр. В цілому Чернігівську область можна віднести до другого екологічного району з помірним рівнем техногенного навантаження.

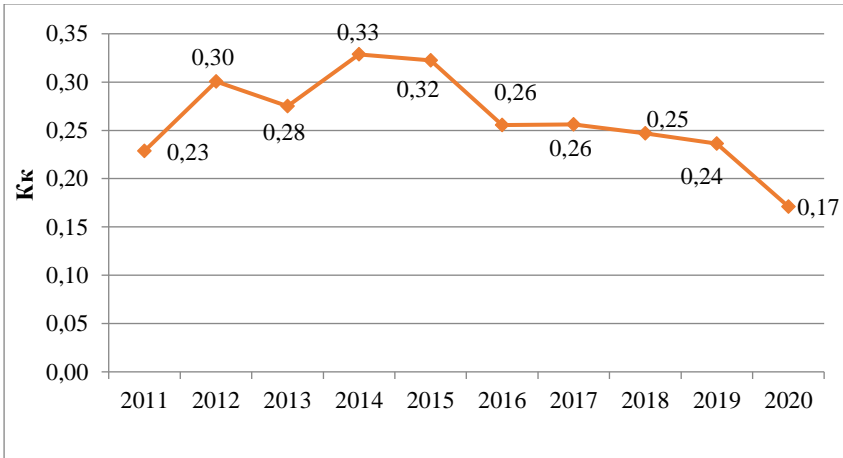


Рис. 7. Динаміка зміни комплексного показника техногенного впливу на довкілля Чернігівської області

Також проведено оцінку стану водних ресурсів Чернігівської області (на прикладі р. Десна) з позицій сталого розвитку. З цією метою була використана метрика для вимірювання процесів сталого розвитку (МВСП) [6], а саме її окремі індикатори і параметри:

- індикатор «якість води I_{WQL} » (параметри – середньорічні концентрації завислих речовин (I_{SS}) і нітратів (I_{NT}), середньорічна мінералізація (I_{MIN}));

- індикатор «кількість води I_{WQN} » (параметри – забір води з природних (I_{WAV}) і підземних (I_{GAV}) джерел у розрахунку на 1 особу);
- індикатор «навантаження на екосистеми I_{ECO} » (параметр – використання свіжої води у розрахунку на 1 особу (I_{EF5}));
- індикатор «водне навантаження I_{WAT} » (параметр – скидання зворотних вод (I_{REW}) у поверхневі водні об'єкти) [6].

Вихідні дані були нормовані так, щоб усі параметри приймали значення від 0 до 1 із застосуванням принципу лінійного нормування:

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}. \quad (5)$$

Усі параметри приведені до такого виду, що їх кращі значення наближені до 0.

Результати оцінки наведені на рис. 8-9.

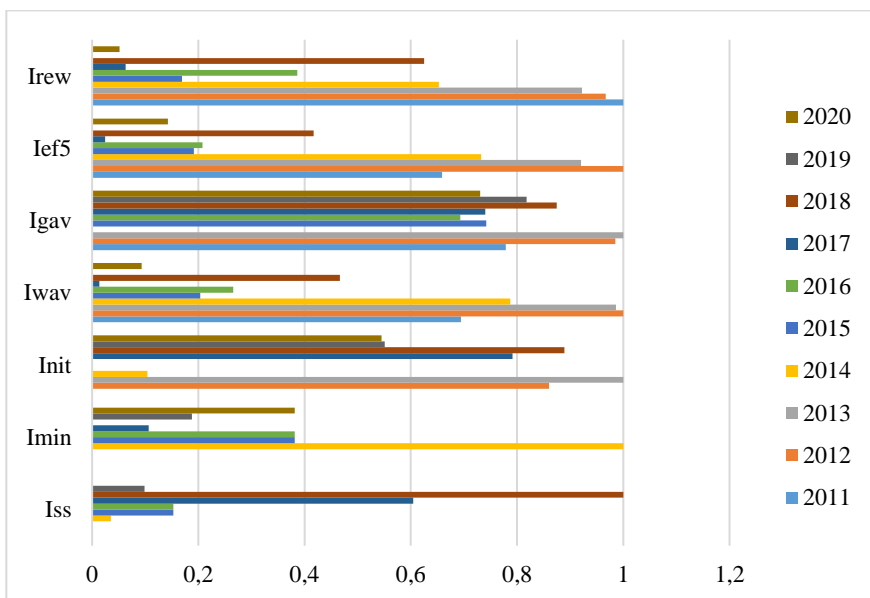


Рис. 8. Зміни окремих параметрів МВСР (водні об'єкти Чернігівської області)

Як видно з рис. 8, серед параметрів, що застосовувались для оцінки, найгірші значення найбільш часто відзначались для таких показників: скид

зворотних вод I_{REW} , використання свіжої води I_{EF5} , забір води з природних I_{WAV} і підземних I_{GAV} джерел. Загальна оцінка (рис. 9) показала, що найбільш гірші умови з позицій сталого розвитку відзначались у 2011-2013 рр. З 2014 р. відзначається суттєве покращення умов, хоча у 2018 р. зафіксовано різке збільшення показника за рахунок майже всіх параметрів, що використовувались для оцінки.

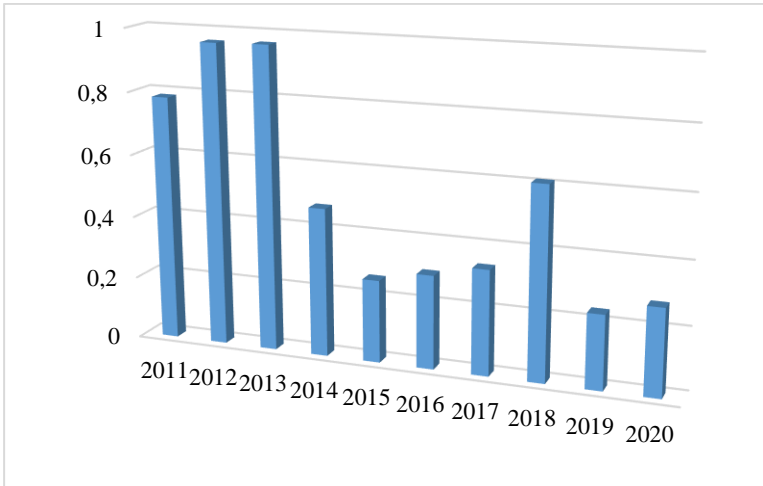


Рис. 9. Оцінка стану водних об'єктів Чернігівської області за показниками сталого розвитку

У цілому в останні роки стан водних об'єктів Чернігівської області характеризувався покращенням умов з позицій сталого розвитку. Отримані висновки підтверджуються результатами оцінки техногенного навантаження на водні об'єкти, наведеними вище.

Так, окремі результати дослідження щодо оцінки техногенного навантаження на водні об'єкти Чернігівської області представлені у роботах авторів [7-10].

У зв'язку зі вторгненням російської федерації на територію України були атаковані Чернігів та інші міста. Військові дії на території Чернігівської області вплинули не лише на життя цивільного населення, але й на стан об'єктів критичної інфраструктури, поверхневі водні об'єкти і цілком на розвиток регіону.

Представлені вище результати щодо оцінки рівня техногенного навантаження на водні об'єкти виконані на основі даних за період 2011-2020 рр. і не відповідають нинішньому стану з багатьох причин. На разі не

представляється можливим оцінити наявні зміни стану вод р. Десна, адже в умовах воєнного стану проведення відбору проб тимчасово призупинено.

Із 3 березня до квітня 2022 р. м. Чернігів та його передмістя знаходилися в облозі. За офіційною інформацією станом на квітень місто було зруйновано на 70%. Майже всі удари, які були завдані по Чернігову і області, прийшлися на цивільну інфраструктуру. Це будинки, школи, дитячі садки тощо. Значно пошкоджено Чернігівську ТЕЦ, яка є основним підприємством регіону, об'єми виробництва якого регулюють водозабір [11].

Унаслідок нічного удару 11.03.2022 р. були пошкоджені магістральні труби водопровідної мережі, через витoki було припинено водопостачання міста [12]. 14.03.2022 р. російські війська пошкодили насосну станцію КП «Чернігівводоканал», що здійснювала забір, очищення та постачання води у Чернігівській області, наслідком чого є можливим забруднення водних ресурсів небезпечними забруднювальними речовинами [12].

КП «Чернігівводоканал» є основним водоспоживачем підземних вод у Чернігівській області. Окупантами знищено чотири одиниці автотранспортної техніки, трансформаторні підстанції, насосну автоматику і каналізаційну насосну станцію підприємства. Пошкоджено резервуари чистої води, внаслідок чого відбулася їх розгерметизація [11]. Пошкоджені 3 з 5 водозабірних станцій, постраждали магістральні мережі, згоріло багато спецтехніки Водоканалу (близько 50%) [13].

На рис. 10 представлені наслідки обстрілу об'єктів КП «Чернігівводоканал».

За час окупації Чернігівської області у м. Чернігів сапери на дні р. Десна знешкодили потужну авіаційну бомбу. 500-кілограмовий снаряд не здетонував, коли російські окупанти намагалися атакувати міст, що сполучає Чернігів із Києвом. Результатом такого вибуху могло стати потрапляння до водного середовища великої кількості CO_2 , C , CO_x , N_xO_y , SO_2 та інших ЗР в залежності від фізичних, хімічних та технологічних властивостей снаряду [14]. Що стосується гідрохімічної та гідрогеологічної ситуації у регіоні, то в умовах воєнного стану проведення відборів проб тимчасово призупинено [15]. Із 2.04.2022 р. водопостачання деяких будинків було припинено внаслідок руйнації каналізаційного колодязя та пошкодження 25-30 м каналізаційної труби $D_u=160$ мм, яке сталося внаслідок бомбового удару. Можливість дослідити стан каналізаційних мереж у КП «Чернігівводоканал» з'явилася лише після відновлення мережі водопостачання будинку, яка також була пошкоджена в результаті бомбардування [16]. У табл. 1 представлена інформація щодо проривів труб та припинення водопостачання у м. Чернігів станом на 16.04.2022 р. Водопостачання деяких селищ та міст області також було припинено,

наприклад, в с. Киїнка, Трисвятська Слобода і Зарічне [17]. Станом на 13.05.2022 р. водопостачання с. Киїнка, Трисвятська Слобода і Зарічне не відновлене. Тому, починаючи з 06.05.2022 р. КП «Чернігівводоканал» розпочав почасову подачу води в



Рис. 10. Наслідки обстрілу об'єкту КП «Чернігівводоканал» [18, 19] мережі селищ [20]

Із 25.04.2022 р. водопостачання води до квартир у місті, що розміщені на верхніх поверхах, було відновлено. Проте і досі кількість проривів у водопровідних мережах зростає, виконуються постійні аварійні роботи на об'єктах. Подовжують розвозити питну воду до приватних секторів.

Таблиця 1. Дані щодо проривів водопровідних мереж
(16.04.2022 р.) [21]

№ з/п	Місце прориву	Діаметр умовного проходу Ду, мм	Припинено водопостачання
1	вул. Толстого, 6 (від вул. Єлицька до вул. Лисенка)	250	вул. Тиха, пров. Тихий, вул. Успенська, вул. Гайова, пров. Гайовий, вул. Лісковицька (частково)
2	вул. Текстильників, 25	300	Вул. Текстильників 25а, 26 і Самоквасова, 12
3	вул. Соснова, 62	100	по вул. Соснова від вул. Кібальчича до вул. Грибоєдова
4	вул. Бортнянського, 17	50	Приватні будинки по вул. Бортнянського від вул. Шевченко до вул. Рахматуліна і можливо під відключення потрапили вул. Вишнева і вул. Сосницька
5	Шевченко, 49 б.	100	5-ти поверх. буд. по вул. Шевченко, 49б
6	вул. Київська, 125	50	вул. Київська від № 115 до № 127
7	вул. Чайковського, 1-3	100	9-ти поверхові будинки по вул. Чайковського, 3, 5, Котляревського, 34, Мстиславського, 109
8	вул. Кривулевського, 2	150	Без води 9-ти пов. буд. по вул. Освіти, 6, 8 і біля 6 приватних буд. по вул. Кривулевського
9	вул. Самострова, 33	100	приватні будинки по вул. Самострова і вул. Низова

Із урахуванням подовження на даний час воєнного стану в Україні до кінця літа 2022 р. нині і до закінчення військових дій оцінити зміни стану

водних об'єктів, рівня техногенного навантаження у повному обсязі не представляється можливим.

Використані інформаційні джерела:

1. Екологічний паспорт Чернігівської області за 2020 рік. Чернігів, 2021. 264 с.

2. Чугай А. В., Сафранов Т. А. Методи оцінки техногенного впливу на довкілля. Навчальний посібник. Одеса : Букаєв Вадим Вікторович, 2021. 118 с.

3. Кулаков А. А., Шафигуллина А. Ф. Совершенствование водопользования: проблемы и перспективы. Молочнохозяйственный вестник. 2016. №4. С. 52–62.

4. Мыларшиков А. М. Систематизация методов оценки антропогенного воздействия на окружающую среду. Науковедение. 2012. №3. Електронний ресурс: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistematizatsiya-metodov-otsenki-antropogennogo-vozdeystviya-na-okruzhayuschuyu-sredu> (дата звернення: 10.01.2021).

5. Гамм Т. А., Калие А. Ж. Дифференциация территории по экологическим показателям техногенной нагрузки. Вестник ОГУ. 2004. №9. С. 98–101.

6. Сталій розвиток регіонів України. URL: http://nung.edu.ua/files/attachments/stalyy_rozvytok_regioniv_ukrayiny.pdf (дата звернення: 06.04.2022).

7. Chugai A., Hlod A., Pylypiuk V. State and quality of water in the Desna river basin (within the Chernigiv region). Environmental problems. 2021. Vol. 6, Num. 4. P. 226-232.

8. Глод А. В. Оцінка антропогенного навантаження на води р. Десна (Чернігівська область). Матеріали XX наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. Одеса : ОДЕКУ, 2021. С. 105–106.

9. Чугай А. В., Глод А. В. Оцінка техногенного впливу на довкілля Чернігівської області // Проблеми екології та енергозбереження : Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв : НУК ім. адм. Макарова, 2021. С. 56–57.

10. Глод А. В. Стан водних ресурсів Чернігівської області за показниками сталого розвитку // Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України : Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції. Київ : ІТТА, 2022. С. 57–59.

11. Електронний ресурс: URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/nataliya-hocyanivska-oglyanula-obyekti-kritichnoyi-infrastrukturi-chernigova-yaki-postrazhdali-vnaslidok-vijskovoyi-agresiyi> (дата звернення: 12.05.2022).

12. Электронный ресурс: URL: <https://chernigiv-rada.gov.ua/news/id-53043/> (дата звернення: 12.05.2022).
13. Электронный ресурс: URL: <https://chernigiv-rada.gov.ua/news/id-53005/> (дата звернення: 12.05.2022).
14. Электронный ресурс: URL: <https://news.obozrevatel.com/ukr/vojna-v-ukraine/putin-proviv-repetitsiyu-svogo-ostannogo-slova-na-mariupolskomu-protsesi.htm> (дата звернення: 12.05.2022).
15. Электронный ресурс: URL: <https://desna-buvr.gov.ua/wp-content/uploads> (дата звернення: 12.05.2022).
16. Электронный ресурс: URL: <https://newch.tv/u-bahatopoverkhovomu-budynku-v-tsentri-chernihova-vidkliuchat-vodu-61253/> (дата звернення: 12.05.2022).
17. Электронный ресурс: URL: <https://newch.tv/sela-u-peredmisti-chernihova-zalyschaiutsia-bez-tsentralizovanoho-vodopost> (дата звернення: 12.05.2022). Электронный ресурс: URL: <https://suspilne.media/225779-koli-u-cernigovi-vidnovlat-centralizovane-vodopostacanna-nev> (дата звернення: 12.05.2022).
18. Электронный ресурс: URL: <https://suspilne.media/238666-dva-misaci-bez-svitla-koli-vidnovlat-elektropostacanna-na-bobrovici-u-cernigovi/> (дата звернення: 12.05.2022).
19. Электронный ресурс: URL: https://facebook.com/permalink.php?story_fbid=7322873021120751&id=319393874802069 (дата звернення: 13.05.2022).
20. Электронный ресурс: URL: <https://newch.tv/u-chernihovi-zrostaie-kilkist-poryviv-vodoprovidnykh-merezh-60736/> (дата звернення: 12.05.2022).

**ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЗРУЙНОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ
ПРИ БУДІВНИЦТВІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

**USE OF ELEMENTS OF DESTROYED STRUCTURES IN THE
CONSTRUCTION OF ROADS**

Ярошук О. С., завідувач дорожньої екологічної лабораторії,
Харитонова Н. М., завідувач відділу екології та земляного полотна,
Вирожемський В. К., кандидат технічних наук, завідувач відділу
сертифікації продукції

*Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний
інститут імені М. П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна*

Yaroshchuk O., Kharytonova N., Vyrozhemskyi V.

Анотація. В процесі подальшого підвищення ефективності народного господарства загалом також підвищується ефективність дорожнього господарства. Важливе значення в цьому процесі має економне використання матеріально-сировинних ресурсів. Потреба в сировині безупинно росте, а добувати її доводиться з все більш віддалених родовищ. Спустошення природних родовищ приводить до підвищення цін на сировину, а подальший видобуток може привести до неминучого виснаження природних ресурсів. Одним із напрямків економії сировинних ресурсів і охорони навколишнього середовища є підвищення рівня використання вторинних ресурсів замість первинної сировини. В наші дні багато уваги приділяється питанню поводження з відходами, використанню відходів в якості вторинної сировини. Питання утилізації відходів в останні роки здобуває вирішального значення для зниження антропогенного впливу на навколишнє середовище та умови існування людини. Особливо актуально це питання стає під час військової агресії росії проти України, коли окупантами зруйновано тисячі жилих будинків, промислових та транспортних споруд. У статті запропоновані шляхи поводження з відходами зруйнованих конструкцій, наведені варіанти використання їх для будівництва автомобільних доріг.

Abstract. In the process of further increasing the efficiency of the national economy in general, the efficiency of road facilities also increases. The economical use of raw material resources is important in this process. The need

for raw materials is constantly growing and more and more distant deposits have to be extracted. Destruction of natural deposits leads to an increase in the price of raw materials, and further extraction may lead to the inevitable depletion of natural resources. One way of saving raw materials and protecting the environment is to increase the use of secondary resources instead of virgin raw materials. Nowadays, much attention is paid to the issue of waste management, the use of waste as secondary raw materials. The issue of waste recycling in recent years is becoming crucial to reduce the anthropogenic impact on the environment and the conditions of human existence. This issue is especially relevant during the military aggression of Russia against Ukraine, when the occupiers destroyed thousands of houses, industrial and transport facilities. The article proposes ways to handle demolition waste of destroyed structures, presents options for their use in the construction of roads.

Вступ. Ми живемо в епоху науково-технічного прогресу. Це дуже добре для економіки і побуту людей. Але гостро стоїть питання видобутку природних ресурсів. Тому останнім часом розглядається питання використання вторинної сировини та відходів в різних сферах господарства.

Проблема поводження з відходами є однією з ключових екологічних проблем, і усе більш вагомою в ресурсному аспекті.

Україна входить в число країн з найбільш високими обсягами утворення та накопичення відходів. Щорічно їх утворюється 700-720 млн.т. Загальна маса накопичення на території України відходів у поверхневих сховищах перевищує 25 млрд. т, що в розрахунку на 1 кв. км площі становить близько 40 тис. т [1].

Ефективна утилізація будівельних відходів дозволить вирішити ряд важливих питань:

- вчасно розвантажувати будівельний майданчик у період будівництва. Це не дасть можливості виникнення простою в роботі, спростить пересування фахівців і техніки та дозволить уникнути проблем із контролюючими органами;
- зберегти природні ресурси шляхом використання вторинної сировини – собівартість таких матеріалів в рази дешевше, що вигідно для компаній з виробництва будівельної продукції;
- уникнути забруднення навколишнього середовища через масове поховання будівельного сміття, розпад якого може привести до суттєвих наслідків.

Використовувати будівельні відходи можливо при будівництві автомобільних доріг шляхом застосування їх в конструкціях дорожнього одягу.

Конструкції дорожнього одягу. Дорожній одяг складається з кількох шарів. Він складається з покритву, основи та, за необхідності, додаткових шарів основи. Покрив – це шар укріпленого органічним чи мінеральним в’язучим матеріалу. Відповідно асфальтобетонний чи цементобетонний. До складу асфальтобетону входить мінеральний заповнювач (щебінь, пісок), мінеральний порошок та бітум. За необхідності зверху асфальтобетонного покритву влаштовуються шари зносу, що забезпечують рівність та необхідні характеристики зчеплення колеса транспортного засобу з поверхнею дороги. Основа, як правило, влаштовується з мінерального матеріалу, укріпленого чи неукріпленого в’язучим.

Особливості влаштування шарів дорожнього одягу, їх типи і матеріали, з яких вони складаються, наведені в ДБН В.2.3-4 [2].

При конструюванні дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям необхідно керуватися наступними принципами:

а) тип дорожнього одягу та вид покриття, конструкція дорожнього одягу в цілому повинні задовольняти транспортно-експлуатаційним вимогам, які ставляться до дороги певної категорії з очікуванням у перспективі складом і інтенсивністю руху, з урахуванням зміни інтенсивності протягом заданих міжремонтних термінів і передбачуваних умов ремонту й утримування;

б) конструкція одягу може бути прийнята типовою чи розроблена індивідуально для кожної ділянки або ряду ділянок, що характеризуються подібними природними умовами (грунт земляного полотна, умови зволоження, клімат, наявність місцевих дорожньо-будівельних матеріалів тощо) з однаковими розрахунковими навантаженнями. При виборі конструкції дорожнього одягу для даних умов перевагу слід віддавати перевіреним на практиці в даних умовах типовій конструкції;

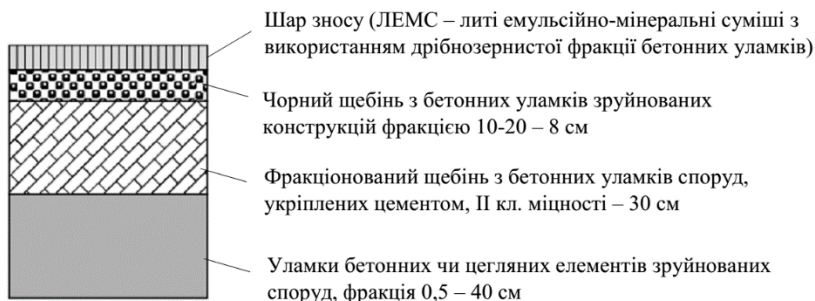
в) у районах, недостатньо забезпечених традиційними кам’яними матеріалами, допускається (при відповідному обґрунтуванні) застосовувати місцеві кам’яні матеріали, побічні продукти промисловості та ґрунти, властивості яких можуть бути поліпшені шляхом їх обробки в’язучими матеріалами (цементом, бітумом, вапном та ін.);

г) конструкція повинна бути технологічною і забезпечувати можливість максимальної механізації і автоматизації дорожньо-будівельних процесів [3].

Товщину окремого шару попередньо призначають в залежності від мінімальної конструктивної товщини, регламентованої діючими нормами ДБН В.2.3-4 [2].

Приклад влаштування конструкцій дорожнього одягу наведено на рисунку 1.

IV категорія



V категорія

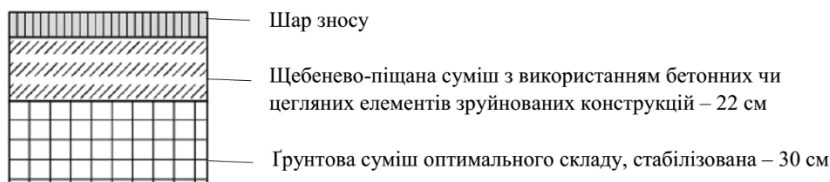


Рис.1. Приклад влаштування конструкцій дорожнього одягу низьких категорій [4].

Використання будівельних відходів під час будівництва автомобільних доріг.

Бій та уламки бетонних конструкцій та цегли можуть бути використані як крупний та дрібний заповнювач для цементобетонів, асфальтобетонів і як матеріал для основи дорожнього одягу.

Бітумні суміші, які містять нафтову складову (покрівельні та гідроізоляційні бітумні будівельні вироби) можуть бути використані як домішки для виробництва асфальтобетонних сумішей, чорного щебеню, інших орґано-мінеральних сумішей.

Матеріали, що містять азбест, після помолу до стану тонкодисперсних порошків, можуть бути використані для виробництва мінерального порошку як складової асфальтобетонної суміші.

Згідно з Державним класифікатором України ДК 005-96 «Класифікатор відходів» [5] до групи 45 включено відходи, що утворюються під час будівельних робіт, знесення будівель і споруд, а також відходи, які утворилися внаслідок техногенних катастроф (аварій), природних катастроф та явищ. Цю діяльність класифіковано в розділі 45 КВЕД.

Такими відходами є: ґрунт, залишки асфальту, гравій, щебінь, пісок, мука доломітова, заповнювачі, гіпсоцементи, мастика гідроізоляційна, речовини зв'язувальні зіпсовані, забруднені або неідентифіковані, їх залишки, металеві деталі, деревина непридатна. Фактично більшість цих відходів буде утворюватися в незначній кількості в порівнянні з загальними обсягами відходів будівництва.

У таблиці 1 наведено орієнтовний перелік відходів, які потенційно можуть утворитись при будівництві, реконструкції або капітальному ремонті автомобільної дороги, що проектується. Основний обсяг відходів будівництва припадає на виробничо-технологічні відходи (4510.2), які будуть утворюватися в результаті демонтажу пошкоджених та відпрацьованих конструкцій дорожнього одягу, інженерних мереж і комунікацій (існуючої системи освітлення).

У зв'язку зі збройною агресією зі сторони російської федерації в нашої країні на даний час вже багато зруйнованих об'єктів, що перетворені на будівельне сміття, яке необхідно демонтувати і по можливості використовувати повторно. На даний момент в Україні зруйновано 23 тис.км доріг та 305 штучних споруд. Про це на брифінгу в Медіацентрі Україна – Укрінформ заявив перший заступник голови Укравтодору [6].

Будівельні вироби (продукція), виготовлені з використанням відходів від руйнування, повинні відповідати вимогам Технічного регламенту будівельних виробів (продукції), затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 20 грудня 2006 р. №1764 [7].

Одним із варіантів повторного використання зруйнованого дорожнього одягу є виконання холодного ресайклінгу. Холодний ресайклінг – процес ремонту і часткової заміни асфальтобетонного покриття автомобільних доріг шляхом зняття пошкоджених частин дорожнього покриття і в подальшому переробки його на дорозі чи на асфальтобетонному заводі із додаванням нових матеріалів для відновлення його властивостей [8, 9, 10].

У ДСТУ 8978 [8] наведено інформацію щодо операцій з улаштування шару дорожнього одягу з використанням технології холодного ресайклінгу, які проводять на автомобільній дорозі, склад ланки машин і механізмів, які потрібні для влаштування шару дорожнього одягу. ДСТУ-Н Б В.2.3-39 [9] встановлює вимоги до процесів влаштування шарів дорожнього одягу. Вимоги до матеріалів, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу (до фізико-механічних характеристик): фрезерованого матеріалу, в'язучих, мінеральних матеріалів наведені в ДСТУ 8976 [10].

Таблиця 1. Перелік будівельних відходів згідно з Державним класифікатором України ДК 005-96 «Класифікатор відходів»

№ з/п	Код (згідно з ДК 005-96)	Назва класифікаційного угруповання (згідно з ДК 005-96)	Пропозиції щодо використання відходів в дорожньому будівництві
1	4510	Відходи будівельних робіт, знесення та ремонту будівель і споруд	Крупний та дрібний заповнювач як матеріал для дорожнього одягу
2	4510.1	Відходи вхідних компонентів, які використовують у будівництві	
3	4510.1.1	Відходи матеріалів основних та речовин, які використовуються у будівництві	
4.	4510.1.1.01	Гравій, щебінь, пісок, мука доломітова, заповнювачі, гіпсоцементи, мастика гідроізоляційна, речовини зв'язувальні зіпсовані, забруднені або неідентифіковані, їх залишки, які не можуть бути використані за призначенням	Домішки для виробництва асфальтобетонних сумішей, чорного щебеню, інших органо-мінеральних сумішей
5	4510.1.2	Відходи матеріалів допоміжних а речовин, які використовують у будівництві	Домішки для виробництва асфальтобетонних сумішей, чорного щебеню, інших органо-мінеральних сумішей
6	4510.1.2.01	Емульсії дорожні зіпсовані, забруднені або неідентифіковані, їх залишки, які не можуть бути використані за призначенням	
7	4510.1.2.02	Матеріали зв'язувальні органічні зіпсовані, забруднені або неідентифіковані, їх залишки, які не можуть бути використані за призначенням	
8	4510.1.3	Відходи напівфабрикатів та виробів комплектувальних, які використовують у будівництві	Крупний та дрібний заповнювач як матеріал для основи дорожнього одягу
9	4510.1.3.01	Вироби стінові бетонні, стовпи, черепиця бетонна зіпсовані, забруднені або неідентифіковані, які не можуть бути використані за призначенням	
10	4510.1.3.10	Матеріали та вироби будівельні ізоляційні, в т. ч. картони, полотна, мати, плити, зіпсовані, забруднені або неідентифіковані, їх залишки, які не можуть бути використані за призначенням	
11	4510.2	Відходи виробничо-технологічні, які утворюються в будівництві	Крупний та дрібний заповнювач як матеріал для основи дорожнього
12	4510.2.9	Відходи виробничо-технологічні, які утворюються в будівництві інші, не позначені іншим способом, або відходи від комбінованих процесів	
13	4510.2.9.04	Залишки асфальту та суміші асфальтобетонної без вмісту дьогтю	Повторне використання при ремонтних роботах

			на об'єктах вулично-дорожньої
14	4510.2.9.09	Відходи змішані будівництва та знесення будівель і споруд	Матеріал для основи дорожнього одягу, як крупний та дрібний заповнювач для цементо- і асфальтобетону
15	4510.3	Відходи кінцевої продукції будівництва	
16	4510.3.1.	Продукція бракована	
17	4510.3.1.01	Продукція будівельна (в т. ч. від ремонту будівель і споруд, шляхів, мостів, шляхопроводів тощо) некондиційна	

У випадках застосування в шарах дорожніх конструкцій матеріалів від розбирання існуючого дорожнього одягу (в тому числі і при застосуванні холодного ресайклінгу) необхідно передбачати науково-технічний супровід. Також всі автомобільні дороги вищих категорій підлягають обов'язковому науково-технічному супроводу [11].

Заходи поводження з відходами, які передбачені нормативними документами. У будівельних нормах та національних стандартах, якими користуються при проектуванні будівництва, реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг передбачені заходи щодо мінімізації утворення відходів [12, 13, 14, 15].

На виконання вимог нормативних документів, в розділах із охорони навколишнього середовища необхідно наводити дані щодо:

- кодування відходів, у відповідності з Класифікатором відходів ДК 005-96[5];
- розрахунків та орієнтовних обсягів утворення відходів відповідно СОУ 42.1-37641918-096:2012 Виробничі норми природних втрат дорожньо-будівельних матеріалів [16];
- способу поводження з відходами (локалізація, тимчасове зберігання, переробка та вивезення) [17, 18, 19, 20].

Остаточне рішення щодо утилізації (знешкодження) відходів будівництва приймається генпідрядною будівельною організацією (за узгодженням з замовником робіт) у встановленому порядку на етапі розробки проекту виробництва робіт (ПВР).

Проект виробництва робіт в обов'язковому порядку повинен містити: узгоджену схему збору відходів; графік їх вивезення; угоди (або інші підтверджувальні документи) на передачу запланованих обсягів відходів іншим організаціям (підприємствам) для повторного використання, утилізації (знешкодження).

Державні будівельні норми поширюються на будівельні об'єкти на різних етапах їх життєвого циклу:

- проектування;
- будівництво;
- експлуатація;

- зняття об'єкта з експлуатації.

До науково-технічного супроводу на проектування входять етапи:

- детальне обстеження ділянки;
- уточнення ґрунтової основи;
- розроблення та оптимізація конструкції дорожнього одягу;
- вибір найбільш економічного рішення.

До науково-технічного супроводу на будівництво входять етапи:

- отримання інформаційної допомоги при вирішенні будівельних завдань;

- моніторинг стану конструкцій та інженерного обладнання;
- відпрацювання технологічних рішень з урахуванням умов виконання робіт;
- перевіряння якості матеріалів, виробів, конструкцій.

Висновки. В результаті ведення воєнних дій із боку росії на території України зруйновано багато будівель і споруд. Після розбирання завалів і первинної переробки елементи зруйнованих конструкцій їх можна використовувати в будівництві автомобільних доріг.

Для вирішення проблеми звільнення територій від елементів зруйнованих конструкцій наведені приклади використання відходів даного класу для влаштування різних конструктивних шарів дорожнього одягу.

Використані інформаційні джерела:

1. URL: <https://www.unian.ua/ecology/1327494-sortuvannya-smitty-a-v-ukrajini-viyti-na-noviy-riven.html>
2. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво
3. Піндус Б. І., Гончаренко В. В. Проектування автомобільних доріг : Навчальний посібник. Горлівка : ДонНТУ, 2013.
4. Посібник з управління комунальними дорогами для органів місцевого самоврядування «Буквар доріг майбутнього». Київ, 2020.
5. Державний класифікатор України ДК 005-96. Класифікатор відходів.
6. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-presshall/3508479-gumanitarna-dopomoga-vid-cehii-rezultati-vidnovlenna-doroznoi-infrastrukturi.html>
7. Постанова Кабінету Міністрів України від 20 грудня 2006 р. №1764 Про затвердження Технічного регламенту будівельних виробів (продукції)
8. ДСТУ 8978:2020 Настанова з влаштування шарів дорожнього одягу за технологією холодного ресайклінгу
9. ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016 Настанова з влаштування шарів дорожнього одягу з кам'яних матеріалів
10. ДСТУ 8976:2020 Матеріали дорожні, виготовлені за технологією холодного ресайклінгу. Технічні умови

11. ДБН В 1.2-5:2007 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів.
12. Закон України від 5 березня 1998 року №187/98-ВР «Про відходи».
13. ДБН А.2.2-1-2003 Проектування. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд.
14. ДСТУ 9030:2020 Автомобільні дороги. Оцінка впливів на навколишнє середовище. Вимоги до проектної документації.
15. ДСТУ 9076:2021 Автомобільні дороги. Оцінка впливу на довкілля.
16. СОУ 42.1-37641918-096:2012 Виробничі норми природних втрат дорожньо-будівельних матеріалів.
17. Постанова КМУ від 03.08.1998 р. № 1216 «Про затвердження Порядку ведення реєстру місць видалення відходів».
18. Постанова КМУ від 31.08.1998 р. № 1360 «Про затвердження Порядку ведення реєстру об'єктів утворення, оброблення та утилізації відходів».
19. Постанова КМУ від 01.11.1999 р. № 2034 «Про затвердження Порядку ведення державного обліку та паспортизації відходів».
20. Постанова КМУ від 13 липня 2000 р. № 1120 «Про затвердження Положення про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх утилізацією/видаленням і Жовтого та Зеленого переліків відходів».

РОЗДІЛ ІІІ

ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА



PROBLEMS of USING RENEWABLE ENERGY SOURCES IN UKRAINE

Denisov V., Chuprina L., Pidruchna A.

Institute of General Energy of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Abstract. *The article considers the trends in the development and use of renewable energy sources in the world and in Ukraine against the backdrop of the environmental crisis, the reduction of world fossil fuel reserves and rising prices for it. Shown, that one of the possible directions for the renewable energy sources use is the systems for their integrated use creation, which can, firstly, reliably provide consumers with cheap thermal and electrical energy and, secondly, reduce its cost. A basic scheme of the multivariate system for autonomous heat supply to a residential array, based on a complex selection of renewable energy sources, sources of solar and electricity resources for different regions of Ukraine proposed. The proposed system will ensure reliable energy supply to both low-power consumers and sufficiently large objects, will reduce the consumption of fossil fuels and, to a large extent, ensure independence from external energy systems.*

Keywords: *renewable energy sources, heat supply, integrated use, fuel, resources.*

Introduction. Renewable energy sources, against the backdrop of the environmental crisis, the reduction of world reserves of fossil fuels and rising prices for it, are actively replacing traditional fossil fuels. According to the IEA, by 2024 their share will reach 30% or 3700 GW, the cost of solar energy will decrease by 15-35%, which will serve as an impetus for further growth in its use. The development of renewable energy is faster than expected, and its installed capacity may increase by 50% over the coming years. A number of countries are planning to phase out fossil fuels completely in the first half of this century. Some periods, the energy generation from renewable energy sources in USA exceeds 50% of the total consumption balance. Iceland is almost completely self-sufficient from renewable energy sources.

In the last century middle, extensive international cooperation on nature protection began, important environmental agreements reached, and most countries adopted important environmental laws. In 2019 the European Commission presented the European Green Course (EGD) – a roadmap for ensuring the resilience of the EU economy by tackling the climate crisis by reducing CO₂ emissions, resource efficiency, transition to a clean economy and slowing down climate change [1]. The main goal of the European Green Course

is 50-55% reduce emissions by 2030 and reduce greenhouse gas emissions to zero by 2050. It applies to all the economy sectors, including energy, metalworking, transport, construction, agriculture, chemical industry and more. In 2020, the share of renewable energy sources in the generation of EU countries surpassed all other energy sources for the first time in history: the share of RES accounted for 38% of the total generation against 37% of the share of traditional electricity. In March 2021, Europe recorded a historic high of wind power plant electricity generation - 28.9% of daily electricity demand. The Government of Ukraine has stated its intention to join the Green Course, as it is a practical implementation of the European integration vector of the country's development [2].

The possible direction for the renewable energy sources use is the creation of systems for their integrated use, which can, firstly, reliably provide consumers with cheap thermal and electrical energy and, secondly, reduce its cost. The best option is to create autonomous heating systems based on the use of local energy resources, which would not be associated with either the consumption of imported fuel or the consumption of electricity from the power grids. Systems, that operate on self-sufficiency in both thermal and electrical energy, using the most common in a particular region primary energy sources.

Geothermal systems are widely used in the world for the electricity and heat production. Solar energy is rapidly developing. Wind energy primarily used for electricity generation. Each of sources has its own advantages and disadvantages. Information on the various renewable energy sources integrated use for various regions of Ukraine is very limited.

Modern technologies and equipment make it possible to create complex systems of the joint heat and electricity generation for the wide class energy purpose.

The purpose of this work is to analyze the possibility and feasibility of creating integrated heat supply systems based on renewable energy sources, taking into account the specifics of various regions of Ukraine. The paper analyzes the resource base of geothermal, solar and wind energy in the regions of Ukraine, the prerequisites for creating integrated heat supply systems, environmental aspects of creating such systems and some technical and economic assessments of them.

Materials and methods. One main advantages of the renewable energy sources using compared to other types of energy are their environmental friendliness and minimal impact on the environment. Table 1 shows comparative data of the environmental parameters power plants on renewable energy sources and traditional fuels [3].

One can see, almost all parameters of power plants running on renewable energy sources have significant advantages over power plants on traditional fuels. For example, the geothermal power plants atmosphere emissions amount 20-35

times lower compared to coal-fired thermal power plants and the cost of nature protection 30 times lower.

Table 1. Comparison of the power plants ecological parameters

Type of power plant	Emissions in atmosphere M ³ /MWh	Fresh water consumption M ³ /MWh	Waste water discharge M ³ /MWh	Volume of solid waste kg/MWh	Withdrawal lands ha/MWh	Conservation spending %total cost.
Solar	-	-	0,02	-	2-3	-
Wind	-	-	0,01	-	1-10	1
Geotherma	1	-	-	-	0,2	1
Biomass	2-10	20	0,2	0,2	0,2-0,3	-
TPP – coal	20-35	40-60	0,5	200-500	1,5	30
TPP - gas	2-15	2-5	0,2	0,2	0,5-0,8	10
HPP	-	-	-	-	100	2
NPP	-	70-90	0,2	0,2	2,0	50

Brief specification of the Ukraine geothermal conditions

The main physical earth's crust parameter determines the geothermal resources characteristics is the temperature of rocks.

In accordance with the Geothermal Atlas of Ukraine, at a depth of 500 m, temperatures change from 13°C in the center of the country, to 19-32°C for the Donbass and the Dnieper-Donetsk Depression, and to 43°C for the Transcarpathian region.

At a depth of up to 1 km in the area of the Ukrainian Shield, temperatures do not exceed 19-22°C. In the Donetsk region, the temperature field is in the range 23-50°C. Temperature fluctuations up to 50°C observed in the Carpathian region. In the Transcarpathian region at depths of 1000-2000 m temperatures are 70-100°C. In the Precarpathian zone, waters with a temperature 45-50°C were found, and at a depth of 2000 m – with a temperature of 60-70°C. On the territory of the Crimea, waters with a temperature of 60-90°C identified. At depths of 3-3.5 km, a higher temperature background with large differences observed. Excluding individual anomalies in the Donetsk region, in the extreme west of the country and in the Crimea, 90% of the thermal waters occurring at this depth have a temperature of no higher than 100°C. According to ITTP NASU research, quite large volumes of coolant with a temperature 84-95°C, are at depths up to 5 km. At a depth of 10 km, almost throughout the entire territory of Ukraine, rocks have a temperature above 100°C. However, there are currently no technologies for extracting heat from such depths.

In Ukraine, there are a large number of mothballed wells in the territories of gas and oil fields. According to some reports, there are more than 20 thousand of them. The largest number of wells is located on the territory of the densely

populated region of the Dnieper-Donets Depression. Figure 1 shows the layout of these wells [4].

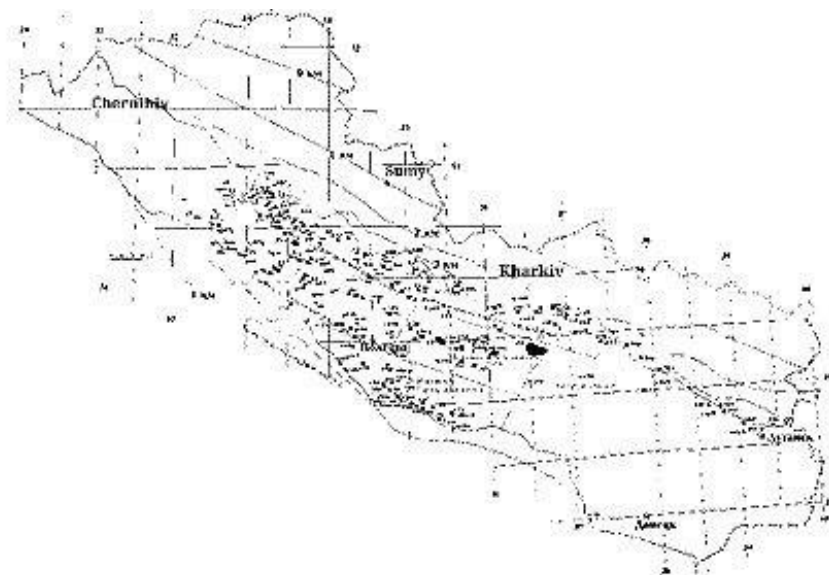


Fig. 1. Scheme of the wells location in the territory of the Dnieper-Donetsk Depression

The thermal waters temperature range in this area ranges from 35 to 170°C. According to preliminary data, 82 wells can use for the thermal water extraction. The largest number of wells located in Chernihiv and Sumy regions. There are two deposits each in the Poltava and Kharkiv regions. The most promising are the Monastyrishchenskoye field with a temperature of 90°C out of a horizon 3383 m deep and the Gadyachskoye gas condensate field, where there is a well 5200 m deep, with a water temperature of 119-120°C and salinity of 252-232 g/l.

The existing wells use could significantly reduce the cost of preparatory work. With a certain reconstruction and refinement, they can use to create geothermal plants for various purposes.

Thus, according to experts, a significant part of the country's territory may be promising for the use of geothermal energy. The foreign experts technical and economic analysis shows, that with modern technology for extracting heat from hydrothermal resources, systems with a depth of boreholes up to 3 km are economically justified. In Ukraine, 90% of thermal waters potential at a given depth does not exceed 100°C and can use for heat supply needs.

Figure 2 shows potential of geothermal energy in Ukraine [5].



Fig. 2. Potential of geothermal energy in Ukraine [5]

Solar radiation – the amount of solar energy received per 1 m² surfaces during one light day. Solar radiation depends on the sun height, cloudiness, others natural phenomena, the angle of the sun's rays incidence (morning, noon, evening). The total solar radiation knowing makes it possible, to calculate solar energy amount (kWh/m²-day), which solar collector or solar battery will receive in a given month of the year. According to the solar radiation intensity, the territory of Ukraine divided into four zones (Fig.3).

The largest annual the solar radiation value per unit area in the first zone I1 = 1350 kWh / m², and the smallest in the fourth zone I4 = 1000 kWh / m². In the second and third zones, these values are I2 = 1250 kWh / m² and I3 = 1150 kWh / m², respectively. The first and second zones include the southern regions of Ukraine. More than half of the country's territory is in the third zone. The fourth zone is the least favorable for the solar energy use due to frequent clouds.

The solar energy generation increase during the year estimated at 30-40% [3]. Solar energy resources, taking into account the solar installations efficiency, can be up to 17 billion kWh of heat, which allows saving up to 2.5 million tons of equivalent fuel per year.

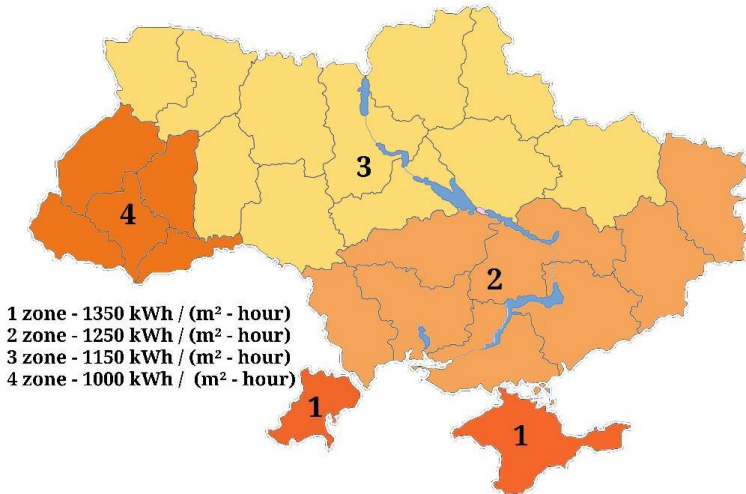


Fig. 3. The solar radiation intensity on the territory of Ukraine

Wind energy resources. Ukraine has significant wind energy resources (Fig.4) [6]. Wind energy unevenly distributed throughout Ukraine. In the south of the country, the wind potential is much higher than in the north. The most favorable regions are Lviv, Ivano-Frankivsk, Zakarpattia, the western part of Chernivtsi region, the Black and Azov coasts, Odessa, Mykolaiv, Kherson, Zaporizhia, Donetsk, Luhansk region, Crimea.



Fig. 4. Wind energy resources in Ukraine [6]

According to the Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, the total capacity of wind farms that can be built over the next 20 years in promising regions of Ukraine can be estimated at 7 GW with a possible annual energy production of about 15 billion kWh / year.

Gas resources of substandard fields. Ukraine has a significant number of explored gas, gas condensate and oil and gas fields that are not developed due to their unsatisfactory condition. Off-balance reserves of minimum fields are about 11 billion m³ of gas [7]. Involvement of undeveloped and preserved fields in the fuel and energy complex of Ukraine and use of these resources to solve regional problems of energy supply to local consumers can significantly reduce energy shortages and ensure stable operation of local energy supply systems.

Heat resources for seasonal accumulation. One of the ways to reduce fuel consumption for domestic heat supply in winter is the accumulation of heat in summer. Sources of heat for accumulation can be secondary energy resources of industrial enterprises, excessive heat of boilers and thermal power plants, year-round heat supply systems based on solar collectors. A promising direction is the creation of seasonal batteries using the heat-retaining properties of solids and liquids.

When developing projects using renewable energy sources, as in the development of any energy facility, it is necessary to take into account the environmental aspects of the problem. The sharp increase in human economic activity in recent decades has led to such serious consequences as climate change, depletion of natural resources, environmental pollution, degradation of the biosphere and, as a result, the deterioration of the life quality. Global CO₂ emissions reached 38.0 GT in 2019. To date, no artificial carbon sinks can remove carbon from the atmosphere to the extent necessary to combat global warming [2]. Believed, that the generation of energy at wind, solar, geothermal stations, where there is no combustion of hydrocarbon fuels, leads to «zero CO₂ emission». However, it should be borne in mind that the construction of the plant on renewable sources requires a set of measures related to the work of machine-building, metallurgical and other enterprises that use energy from traditional sources that generate greenhouse gases and other pollutants. When considering the full period of existence of a renewable energy facility – from an idea to the disposal of used equipment, including preparation, exploration, infrastructure, equipment, supply of raw materials, construction work, disposal of waste and equipment after the end of the life of the project, we cannot talk about «zero CO₂ emissions». Thus, the effect of the transition to renewable energy is determined not only by the period of energy production. To assess the impact on the environment requires consideration of the impact of all stages of the existence of the object. The life cycle analysis should take into account the complete system life, from the materials, during construction receipt to the waste management at the end of the

life operation. At present, side effects from the creation and operation of renewable energy facilities not sufficiently studied, and they are often contradictory.

The total power plants using renewable energy sources life cycle emission is an order of magnitude lower than that of plants using fossil fuels. At the same time, should emphasize, that the level of emissions from nuclear power plants is at the level of the lowest indicator of emissions from renewable sources. Table 2 shows the distribution of emissions depending on the energy sources used: fossil fuels, renewable sources and nuclear energy [8].

Table 2. CO₂ emission indicators for different types of power plants during life cycles

Technology	
Wind	12
Tidal	15
Hydraulic	20
Ocean Wave	22
Geothermal	35
Solar (photovoltaic) batteries	40
Solar Concentrators	10
Bioenergy	230
Coal	820
Gas	490
Atomic	12

The reasons why greenhouse gas emissions can reach high values for the life cycles of hydropower, solar, bioenergy and geothermal plants are different.

These values are averages, and data from different studies can vary significantly, depending on the technology used and the specific conditions of production.

Obviously, greenhouse gas emissions for different types of power plants are fundamentally different. For wind, solar, geothermal and hydropower, the main source of environmental action is the production of materials, equipment's and the construction of stations. The situation is similar in the nuclear power industry.

In the energy sector operating on fossil fuels, the main part of the emissions comes from the combustion of fuel necessary for the operation of the plant. The same is true for bioenergy.

These data analysis shows, that greenhouse gas emissions in the life cycle of renewable energy sources remain significantly lower compared to non-renewable energy resources (excluding nuclear energy). At the same time, it is necessary to take into account the life cycle circumstances in energy projects based on renewable energy sources.

In addition to greenhouse gas emissions, renewable energy has other environmental side effects. For example, when using solar energy, the source of environmental pollution are plants that produce semiconductor materials of solar cells, as well as the disposal or utilization of energy waste. The use of wind turbines causes damage to living organisms by creating mechanical and aerodynamic noise and powerful infrasonic vibrations, creating barriers to air communications and radio and television broadcasting. The production of electricity from biomass produces a significant amount of by-products (wash water and distillation residues) that significantly pollute the environment. In the case of geothermal energy, much depends on the composition of the energy source – thermal water, which characterized by high temperature and mineralization with a complex chemical composition. In the process of its use and utilization, direct thermal pollution of the environment is possible, as well as, the release into soil, water, atmosphere numbers of chemical compounds, including greenhouse gases.

Development of renewable energy sources, increasing the capacity of RES stations, requires a simultaneous increasing of the minerals for the operation of enterprises that produce materials and equipment for the establishment and operation of these stations. That is, increasing energy production through renewable energy, respectively, leads to increased consumption of traditional resources. Therefore, it will be possible to talk about zero emissions and bright-green color of energy at RES, only when full production cycles will create, which ensure the production of renewable energy without the participation of traditional fuels.

Ukraine has all the prerequisites for the development of «green energy»:

- significant reserves of geothermal energy of medium potential, distributed almost throughout the territory;
- significant potential for solar and wind energy;
- scientific potential;
- scientific and technical experience in the design and implementation of alternative energy facilities;
- fairly voluminous legislation regulating the development of alternative energy projects;
- numerous benefits for the production of «green» energy;

– Government has repeatedly stated its support for the development of this area.

The feasibility and efficiency of using renewable energy sources are determined mainly by the amount of production profit and payback periods, which, in turn, depend on heat and electricity tariffs. Calculations show, that in the conditions of existing tariffs and prices, projects of geothermal thermal power plants can be economically feasible, with high profitability and short payback periods [9].

Economic indicators of geothermal projects developed for different regions of Ukraine shown in Table 3.

Table 3. Economic indicators of geothermal projects

	Regions			
	Lviv region, Mostyska	Chernihiv region	Crimea	Zakarpattia region, Beregovo
Depth of wells, m	3500	3500	2230	1300
Number of well	3 (2/1)*	2 (1/1)*	3 (2/1)*	5 (3/2)*
Type of wells	NW**	RW**	NW**	NW/RW**
Water temperature, C°	95	90	90	60
Heat load, MW	12,57	1,63	20	6
Annual heat consumption, MWh	42075	7304,7	51200	18148

** For the Beregovo city data are given in the format: for new wells / for restored wells*

In terms of profitability, they correspond to the economic indicators of heating projects based on low-fuel boilers. But environmental advantages, such as independence from market conditions and from pricing in the fuel market, make geothermal heating systems more cost-effective compared to fuel boilers [8].

The rapid development of solar energy technologies has led to a significant increase in its economic potential during recent years. More and more countries around the world are paying attention to the development of this industry.

The paper [10] analyzed the economic efficiency of using hot water systems based on solar collectors in comparison with alternative solutions for heating water with electricity or gas, and showed that the use of such systems is cost-effective. Despite the high capital costs compared to electric and gas water heating systems, they pay off, on average, within 13-25 years.

One of the most important points in the introduction of hot water systems based on solar collectors is not only their economic efficiency, but also the ability significantly reduce gas consumption in the housing and communal sector. This circumstance plays a crucial role in the issue of ensuring the energy independence of Ukraine.

The modern level of engineering and technology in the field of solar and geothermal energy makes it possible to create industrial power plants for the

integrated use of solar and geothermal energy for heating and hot water supply. Schematic diagram of such an installation shown on fig. 5.

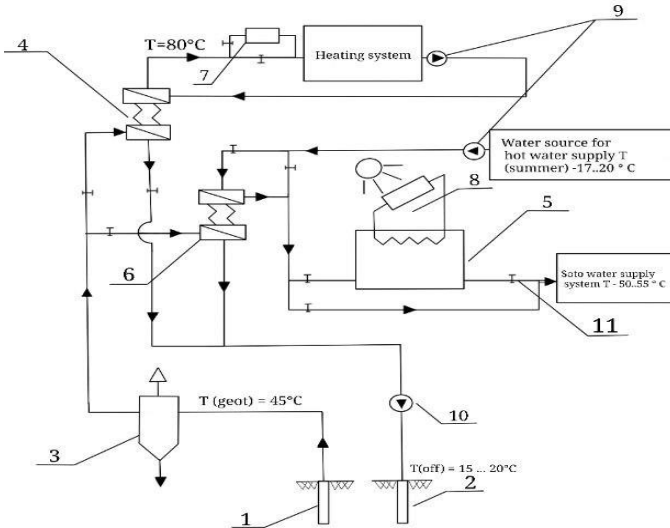


Fig. 5. Schematic diagram of the heat supply system with integrated use of geothermal and solar energy:

1 – production well, 2 – absorbing well, 3 – gas sludge separator, 4 – heat pump of the heating system, 5 – storage tank, 6 – heat pump of the hot water supply system, 7 – peak heater, 8 – solar installation, 9 – mains water pump, 10 – injection pump, 11 – shut-off valves.

In winter, heating and hot water supply is carried out only by a geothermal installation. In summer, hot water is supplied only by a solar installation. The highest efficiency of such an installation is achieved at a geothermal coolant temperature above 70°C and specific annual solar radiation above 1250 kWh/m². According to the ITTF NASU report, these conditions are provided in the Transcarpathian, Donetsk, Odessa regions and in the Crimea.

An analysis of the economic indicators of the project for the integrated use of geothermal and solar energy showed its competitiveness in the energy market, despite that the specific capital costs are 10-15% higher than the specific capital costs for the actual geothermal installations. A similar trend takes place when comparing the heat cost. The cost price of 1 MWh of heat in a complex installation is 10-15% higher than the cost price in a geothermal installation, which is caused by an increase in depreciation charges, since a complex installation has a higher cost.

The creation of geothermal-wind heat supply systems is promising and, in some cases, economically efficient. As shown in the ITTF NASU report, the specific investment in combined geothermal-wind heating systems exceeds the specific investment in purely geothermal systems by 2.8 times. Compared to gas-fired boilers, these specific capital investments are lower. The cost of heat in a combined plant is approximately the same as in a purely geothermal plant. Compared to the cost of heat at gas boilers, the cost of heat of a combined plant is 1.4-3 times lower. The payback period for combined geothermal wind turbines varies widely from 3 years. Projects of combined geothermal-wind heat supply systems can be competitive in the energy market and can be considered as an alternative to heat supply projects based on fuel boilers.

As a result of hostilities in Ukraine, as well as in connection with the forced migration of the population in Ukraine, there is a lot of work to be done to restore the destroyed and modernize outdated heating systems in cities and towns. Construction, restoration, modernization of existing heating systems is provided by complex programs of post-war reconstruction of the country [1].

In the current situation, it is very important when developing projects to use fundamentally new, at the level of world standards, solutions aimed at saving natural gas and the widespread use of local resources and non-traditional energy sources. In these projects, the use of "imported" fuel will be minimized and the resources most common in a particular region will be used to the maximum. The large-scale development and use of non-traditional energy sources can become an important alternative to fossil fuels, a significant factor in increasing the energy independence of the country, improving the socio-economic living conditions of the population, and preserving the environment.

In Ukraine, in recent years, the solar and wind energy market has been rapidly developing, including in the segments of private households and large industrial stations. This cannot be said about geothermal energy. Due to a number of circumstances, its development in Ukraine was frozen in the zero years of this century. But it makes a lot of sense to return to the use of geothermal energy in heating systems, since only it is the most reliable, it is not affected by any external factors, unlike other renewable energy sources such as wind and solar energy.

Of great interest is the simultaneous use of geothermal, solar and wind energy. These three types of sources can make it possible to create an autonomous heat supply system that is minimally dependent on external energy sources.

Based on the foregoing, we have developed a schematic diagram of a multi-variant system of autonomous heat supply for a residential area for various regions of Ukraine. The scheme includes the following main technological units: heat consumer for heating and hot water supply; geothermal unit, which includes a system of production and injection wells, heat pumps, injection pumping unit,

main pipelines; solar water heater, including solar panel, battery tank, underground heat accumulator; wind generator; peak boiler (Fig. 6).

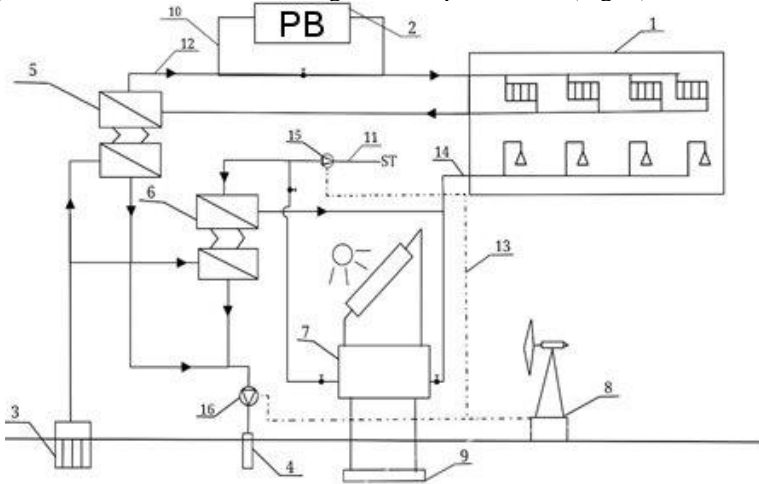


Fig. 6. Schematic diagram of a multivariate system of autonomous heat supply based on the integrated use of renewable energy sources, local fuel resources and electricity:

1 – consumer, 2 – peak boiler, 3 – geothermal wells, 4 – absorption well, 5-6 – heat pumps, 7 – solar water heater, 8 – wind power plant, 9 – ground heat accumulator, 10 – shut-off valves, 11 – mains water, 12 – main heat supply pipeline, 13 – power lines for pumping units, 14 – hot water supply.

The scheme description:

Geothermal coolant from wells (3), extracted with a temperature of up to 45C is fed into the heat pump of the heating system (5), cooled and enters through the pumping unit into the injection well (4). In parallel, part of the coolant enters the heat pump of the hot water supply system (6) and after cooling is also fed into the injection well. Chilled water from the consumer supplied to the heat pump of the heating system (5), heated and supplied for heating to the consumer (1). The heat pump of the domestic hot water system (6) supplied with water from the any source, which has certain parameters, heated and enters the consumer. The solar water heater (7) can provide a hot water supply system if required. The wind power generation unit (8) provides power to the pump units (15) and (16). The peak boiler (2) switched on if necessary to heat the mains water for supply to the consumer. The choice of boiler and fuel type selected in each case according to the possibilities. When creating such schemes, it is necessary to provide for constant coordination of the production process and redistribution of energy in accordance

with the schedule of consumers. To this end, the schemes include heat accumulators (9).

The proposed scheme is universal, it can be used in any region of the country, taking into account the specifics of a particular region. So, for example, in the southern regions of the country, the greatest load can be provided by a solar unit. In the Transcarpathian region, where there are high-temperature geothermal waters – using a geothermal installation in combination with a wind turbine. For the northern regions, it is advisable to use mainly surface geothermal resources, and so on.

The use of the proposed scheme will ensure reliable power supply to both low-power consumers and sufficiently large facilities, reduce the consumption of fossil fuels and, in large extent, ensure independence from external energy systems.

Conclusions. One of the possible directions for the use of renewable energy sources is the creation of systems for their integrated use, which will, firstly, reliably provide consumers with cheap thermal and electrical energy and, secondly, reduce its cost. The best option is to create autonomous heating systems based on the use of local energy resources, which would not be associated with either the consumption of imported fuel or the consumption of electricity from the power grids. These should be systems, that operate on self-sufficiency in both thermal and electrical energy. When creating them, the most common primary energy sources in a particular region should be used.

Ukraine has all the prerequisites for the development of «green energy»: significant reserves of geothermal energy of medium potential, distributed almost throughout the territory; significant potential for solar and wind energy; scientific potential; scientific and technical experience in the design and implementation of alternative energy facilities; fairly voluminous legislation regulating the development of alternative energy projects; numerous benefits for the production of «green» energy; Government has repeatedly stated its support for the development of this area.

In the current situation, when the country faces a huge amount of work to restore heat supply systems against the backdrop of rising prices for traditional energy carriers, a shortage of their resources, expanding environmental protection requirements and striving for energy independence, the issue of developing autonomous heat supply systems for small settlements with the maximum possible use of local energy resources. The large-scale development and use of non-traditional energy sources can become an important alternative to fossil fuels, a significant factor in increasing the energy independence of the country, improving the socio-economic living conditions of the population, and preserving the environment.

As result of the analysis of the effectiveness of the use of geothermal, solar and wind installations in heat supply systems, a schematic diagram of a multivariant system of autonomous heat supply for a residential area based on the integrated use of renewable energy sources, local fuel resources and electricity is proposed.

The scheme is universal, it can be used in any region of the country, taking into account the specifics of a particular region. The use of such a scheme will ensure reliable power supply to both low-power consumers and sufficiently large facilities, will reduce the consumption of fossil fuels and, to a large extent, ensure independence from external energy carriers.

Used information sources:

1. Introduction to Green Deal for Europe. Presentation by Dr. Vladislav Bizek, key WECOOP expert on EU legislation April 15, 2021. URL: https://wecoop.eu/wp-content/uploads/2021/04/Bizek_DKU_15_April.pdf.

2. Recommendations of the committee hearings on the European Green Course. The Committee on Ukraine's Integration into the EU heard reports from ministries on measures to implement the Recommendations of the committee hearings on «European Green Course».

3. Bekirov E., Fursenko N. Ecological characteristics of solar and wind power plants. Motrol, 2013, vol 15, №5. Pp. 147.

4. Geology and minerals of Ukraine: Atlas. Kyiv. Publishing house of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2001. 168 p.

5. Potential of geothermal energy in Ukraine. URL: <https://msd.com.ua/vozobnovlyaemye-i-vtorichnye-istochniki-energii/potencial-geotermalnoj-energii-v-ukraine/>.

6. Renewable and secondary energy sources. URL: <https://msd.com.ua/vozobnovlyaemye-i-vtorichnye-istochniki-energii/vozobnovlyaemye-i-vtorichnye-istochniki-energii/>

7. State balance of mineral reserves. Natural gas. Geoinform. 1998.

8. Zabarny G. M., Shurchkov A. V., Barilo A. A. (1999). Feasibility study of the feasibility of using heat pumps in geothermal heat supply systems using thermal waters of the Miocene thermal aquifer complex of the Transcarpathian region. Kiev. ITTF NAS of Ukraine. 230 p. [in Ukrainian].

9. Shurchkova Yu. A., Pidruchna A. O. Renewed technical–and–economic estimation of the efficiency of realization of projects of using geothermal energy. Probl. zagal'n. energ. 2020, 2(61):43-50 doi.org/10.15407/pge2020.02.043

10. Klen A. N., Efremenko V. V. Economic efficiency of using hot water systems based on solar collectors. <https://media.neliti.com/media/publications/311566-economic-efficiency-of-hot-water-systems-1544aa62.pdf>

**СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ «ВІДНОВЛЮВАНА
ТЕПЛОЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, АЛЬТЕРНАТИВНІ ВИДИ
ПАЛИВА ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ»: ВИМОГИ ЧАСУ**

**SPECIALIZATION «RENEWABLE HEAT ENERGY AND
ENVIRONMENTAL PROTECTION»: TIME REQUIREMENTS**

Голік Ю. С., кандидат технічних наук, професор кафедри, завідувач кафедри теплогазопостачання та енергетики, **Степова О. В.**, професор, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної екології та природокористування, **Ілляш О. Е.**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної екології та природокористування

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», Україна*

Holik Yu., Ph.D., University Professor, Head of the Department of Heat and Gas Supply and Energy **Stepova O.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Ecology and Nature Management, **Illiash O.**, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Ecology and Nature Management

Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic National University, University Ukraine

Анотація. У Законі України «Про вищу освіту» (пункту 20, статті 1) визначені умови підготовки фахівців закладами вищої освіти в особливих випадках щодо можливості відкривати в межах визначених спеціальностей окремі спеціалізації на актуальні вимоги часу. В Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» робочою групою з фахівців кафедр «Прикладної екології та природокористування» та «Теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики» за участі стейкхолдерів розроблено освітньо-професійну програму спеціалізації «Відновлювана теплоелектроенергетика, альтернативні види палива та захист довкілля» за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища». Дана програма орієнтована на формування загальних та професійних компетентностей, необхідних для вирішення природоохоронних завдань у сфері відновлюваної енергетики, застосування альтернативних видів палива, інших практичних завдань в енергетичній та

виробничих сферах в умовах забезпечення захисту довкілля в складний після воєнний період відновлення України.

Abstract. *It is determined that on the basis of the provisions of the Law of Ukraine «On Higher Education» (paragraph 20, Article 1) on the possibility of training specialists in higher education institutions in special cases and the possibility of opening certain specializations within the specified specialties at the National University «Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk» working group of specialists from the Departments of «Applied Ecology and Nature Management» and «Heat and Gas Supply, Ventilation and Heat Power Engineering», with the participation of stakeholders developed an educational and professional program «Renewable heat protection Environmental protection technologies». This program is focused on the formation of general and professional competencies needed to solve environmental problems in the field of renewable energy, the use of alternative fuels, other practical tasks in the energy and industrial spheres to protect the environment in difficult post-war reconstruction.*

У відповідності до концепції «Зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року» Україна була однією з перших європейських країн, що ратифікували Паризьку угоду, одним із аргументів чого були питання суттєвих кліматичних змін на території України, які зумовлюють підвищення ризиків для здоров'я і життєдіяльності людини, природних екосистем та секторів економіки, а також питання забезпечення національної, екологічної, економічної та енергетичної безпеки України.

Завдяки цьому формування названої концепції було зумовлено істотною трансформацією підходів до розвитку енергетики в світі у контексті її екологізації та декарбонізації з особливою увагою до проблем боротьби зі зміною клімату та досягнення глобальних цілей сталого розвитку. Це обумовило та окреслило нові міжнародні зобов'язання України у напрямі оновлення спільної кліматичної та енергетичної політики. Ці зміни мали безпосередній вплив України на держави – члени Європейського Співтовариства, де відбувається формування оновленої кліматично-енергетичної політики. Передбачалося, що це дозволило б досягти довготривалого позитивного ефекту, який забезпечить сталий розвиток та конкурентоздатність України. Але на фоні подій 2022 року, що пов'язані з військовою агресією росії на території України, ці питання набули ще більшої важливості й стали одними з головних для нашої країни.

На цьому фоні, наряду з основними негативними наслідками зміни клімату в Україні, які були визначені раніше: підвищення ризиків для здоров'я людини, пов'язаних практично з усіма проявами

гідрометеорологічних явищ; значне зменшення врожаїв основних сільськогосподарських культур; загострення проблем з водопостачанням; посилення деградації земель та опустелювання; зменшення продуктивності, життєздатності та стійкості лісів; пришвидшення деградації екосистем, виникнення аварій і нестабільного функціонування електричних мереж та централізованих систем тепlopостачання, додалися нові надзвичайні питання оновлення та розбудови зруйнованого та знешкодженого господарства та інфраструктури України в умовах суттєвого дефіциту енергетичних ресурсів та занадто зневажливого відношення до захисту навколишнього середовища.

У цих умовах на перший план виходять питання, пріоритетність яких передбачає широке запровадження енергоощадних та енергоефективних матеріалів, техніки і технологій, реалізація яких дозволить скоротити обсяги споживання палива в умовах, коли капітальні витрати на одиницю «збереженої» енергії, значно менші ніж на одиницю генерованої при одночасному зменшенні техногенного навантаження на довкілля й можливості його відновлення на територіях, які зазнали суттєвого руйнування в результаті воєнних дій. Водночас запровадження політики кліматичної нейтральності та досягнення національних цілей у боротьбі з кліматичними змінами мають бути нерозривно пов'язані з забезпеченням безпеки постачання енергоресурсів, що вимагатиме подальшого поглиблення інтеграції, розвитку міждержавних мереж та діджиталізації енергетики з дотриманням принципу технологічної нейтральності особливо до навколишнього середовища.

Актуальність поставленого питання підтверджується матеріалами, які були надруковані ще до війни 2022 року в журналі «Сучасна освіта», №4 квітень, 2017 р. у статті «Спеціаліст з альтернативної енергетики – професія майбутнього» [1]. В ній визначено, що зараз головний енергозберігаючий вектор задає Європа, а нові галузі енергетики вимагають кваліфікованих кадрів. Поки попит на них задовольняє потреби ринку, але в найближчому майбутньому ситуація зміниться, і в Україні також... Тому професію фахівця з альтернативної енергетики з упевненістю можна вважати однією з професій майбутнього.

У підтвердження цього наведені такі доводи: традиційні види енергії (газ, нафта, вугілля) стрімко скорочуються і як наслідок підвищується попит на фахівців, здатних запропонувати альтернативу. У найближчі 5-10 років фахівці в галузі альтернативної енергетики стануть одними з найбільш затребуваних і високооплачуваних на ринку праці України. Підтвердженням цього служить той факт, що, наприклад, середній дохід фахівця з альтернативної енергетики в США становить близько 60000 доларів на рік.

За оцінками українських експертів, наведеними в «Галузевій програмі енергоефективності та енергозбереження до 2017 року» запасів нафти вистачить на 43 роки, газу на 56 років, урану на 30 років, вугілля – 170 років. Схожа ситуація не тільки в Україні, але і в світі. Тому далекоглядні західні країни сьогодні активнокладають кошти в розвиток альтернативної енергетики. До відновлюваних джерел енергії відносяться сонячна, вітрова, геотермальна енергія, біомаса і енергія Світового океану. Мета цілком прагматична – вирішити питання енергозалежності і розуміння, що надра Землі не безмежні.

Цікава інформація – сьогодні на українському ринку альтернативної енергетики працюють фахівці двох основних профілів: технарі і маркетингологи. Перші займаються виробництвом і розробками, другі «просувають» вироблений товар. У число перших входять фізики, хіміки, фахівці з мікроелектроніки та інші. Але другим не обійтися без спеціальних навичок. Так чи інакше, це люди з технічною освітою. Вони повинні розуміти принцип роботи продуктів і вже на цю базу додавати необхідні юридичні, економічні та інші знання [1]. Також визначено, що, наприклад, сонячна енергетика – чисте, невичерпне і дешеве джерело альтернативної енергії, гарантія екологічно чистого майбутнього. Загальна кількість сонячної енергії, що надходить на поверхню Землі за тиждень, перевищує енергію всіх світових запасів нафти, газу, вугілля та урану. Потенційно сонце може виробляти до 10000 ТВт – це в 5000 разів більше потужності всіх сучасних стаціонарних енергетичних установок Землі. Сонячна енергетика – новітня наука, що стрімко розвивається, а в фундаментальних дослідженнях й наукових розробках повинні брати участь фахівці цієї спеціальності.

Із точки зору авторів [1] найкраще отримувати профільну освіту, вона буде особливо цінуватися в подальший кар'єрі. Це спеціальність «Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії». В Україні фахівців з такою кваліфікацією вже готують НТУУ «КПІ імені І.Сікорського», Херсонський національний технічний університет, Одеська національна академія харчових технологій, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Запорізька державна інженерна академія та деякі інші.

За кордоном фахівців цього напрямку готують за магістерською програмою Європейських центрів Дослідження Альтернативної Енергії (EUREC) в університетах Франції, Англії, Нідерландів, Іспанії, Португалії, Греції; магістерська програма Erasmus Mundus із вітряної енергії, організована Делфтським університетом Нідерландів, Датським технічним університетом, Норвезьким університетом природних і технічних наук, Ольденбурзьким університетом імені Карла фон Осецького [1].

Відомий теоретик еколого-економічного спрямування Мельник Л. Г [2] однією з важливих задач сучасного пізнавального процесу вважає додаткове формування у майбутніх фахівців знань про збалансований розвиток, який гарантує забезпечення потреб теперішнього часу, одним із компонентів якого є «зелена» економіка. За його поглядом концепція «зеленої» економіки все ширше й більше знаходить розповсюдження в освітньо-професійних програмах підготовки фахівців вищої школи й базується на трьох аксіомах:

- неможливо безмежно розширяти сферу впливу в обмеженому просторі;
- неможливо вимагати забезпечення безмежно зростаючих потреб в умовах обмеженості ресурсів;
- все на поверхні Землі є взаємопов'язаним.

Автор [2] визначає, що досвід ЄС свідчить про те, що базовими напрямками «Зеленої» економіки є: альтернативна енергетика; рекреація; органічне землеробство; лісове господарство; «зелений» транспорт; «зелене» будівництво; «зелене» матеріалознавство. І головне, майбутні фахівці повинні розуміти, що експлуатація не відновлюваних природних ресурсів держави повинна поступово замінюватися використанням відновлюваних природних ресурсів, а також формуванням «зелених» виробництв.

Суттєвими труднощами в досягненні поставлених цілей в Україні станом на 01.06.2022 р. залишається наявність потрібної кількості фахівців в області використання відновлюваних й альтернативних джерел енергії одночасно з вирішенням питань раціонального ставлення до захисту навколишнього середовища. Слід відмітити, що за останній час наукові школи в цьому напрямі почали створюватися в ряді вищих навчальних закладах Києва, Харкова, Івано-Франківська, Одеси, Чернівців.

Частина закладів вищої освіти України нову спеціалізацію впроваджують тільки на магістерському рівні, інші починають цей процес вже з бакалаврату. У своїй більшості, навчальні заклади пристосовували свої спеціалізації до напрямку 14 «Електрична інженерія» й спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Так у КПІ імені І.Сікорського в навчально-науковому інституті атомної та теплової енергетики (ТЕФ) в 2017 році була створена спеціальна кафедра альтернативної електроенергетики та електротехніки та відкрита нова спеціалізація, яка отримала назву «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії».

Студенти, що навчаються за даною освітньою програмою, на практиці беруть участь у проектуванні, створенні і експлуатації енергоустановок, що використовують відновлювані джерела енергії: вітроелектричних, фотоелектричних, гідроенергетичних та геотермальних систем та станцій,

комплексних систем електроспоживання на основі відновлюваних джерел енергії, систем теплозабезпечення з використання геліоколекторів та теплових насосів різних типів; систем перетворення та використання енергії біомаси для виробництва нових видів палива, а також електричної та теплової енергії [3].

У національному університеті «Одеська політехніка» на базі цієї ж спеціальності 141 створена така ж спеціалізація «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії» [4]. Фахівці набувають знання та навички як в галузі відновлюваної енергетики, так і в теплоенергетиці та електроенергетиці, що дозволяє їм працювати і в Україні, і за кордоном не тільки на підприємствах, які генерують, постачають та використовують тепло – і електроенергію, але й в харчовий чи хімічний промисловості, консалтингових компаніях, вищих навчальних закладах. До того ж, студенти можуть одночасно навчатись в Польщі за програмою «Подвійний диплом».

У Київському національному університеті технологій та дизайну [5] на базі цієї ж спеціальності розроблена бакалаврська спеціалізація «Інтелектуальні системи відновлюваної енергетики та електромобілів». Освітня програма спрямована на підготовку фахівця, який здатний використовувати професійно-профільовані знання, уміння та практичні навички в галузі електричної інженерії для розв'язання спеціалізованих задач з розроблення, проектування, обслуговування інтелектуальних систем із використанням відновлюваних джерел та джерел живлення електромобілів, а також для вирішення практичних проблем у професійній діяльності з врахуванням сучасних тенденцій розвитку галузі.

Харківський національний університет радіоелектроніки на базі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка створив ОПП «Інженерія відновлюваних джерел енергії» першого рівня вищої освіти. Ця спеціалізація, з точки зору авторів, відповідає предметній області спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» й належить до технологій та систем, які пов'язані з розробкою теоретичних основ, методів і технічних засобів використання сонячної, вітрової, припливної, хвильової, геотермальної енергії, біоенергії, гідроенергії малих річок та інших поновлювальних джерел енергії. А об'єктами діяльності бакалавра цієї програми є теоретичні та методологічні основи та інструментальні засоби створення і використання телекомунікаційних та радіотехнічних теорій у галузі інженерії відновлюваних джерел енергії [6].

У Харківському національному університеті імені Каразіна розроблена освітня програма «Прикладна фізика нетрадиційної енергетики». Це сучасна освітня програма, спрямована на підготовку висококваліфікованих спеціалістів із прикладної фізики та

енергоресурсозбереження. Освітня програма орієнтована на засвоєння теоретичних знань і практичних навичок в області фізики відновлюваних джерел енергії, нетрадиційних методів виробництва та транспортування електричної енергії, перетворення для людства корисних видів енергії, розроблення енергоустановок, що використовують відновлювані джерела енергії, математичного та комп'ютерного моделювання процесів енергоперетворення, оброблення даних у нетрадиційній енергетиці. Перевагою освітньої програми є орієнтація саме на прикладні аспекти фізики в галузі нетрадиційної енергетики, а особлива увага надається поглибленому вивченню фізичних основ отримання та перетворення енергії з відновлюваних джерел у поєднанні з використанням сучасних комп'ютерних технологій для моделювання цих процесів, знання яких потребує ринок праці у зв'язку з приєднанням університету у 2017 році до Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA) [7].

В Українському державному університеті залізничного транспорту теж на базі спеціальності 141 на рівні ступеня вищої освіти бакалавр розроблено спеціалізацію «Альтернативні джерела енергії та екологічно чистий транспорт». В ОПП передбачено вивчення питань виробництва, передачі, розподілення та перетворення електричної енергії на електричних станціях, в електричних мережах та системах на залізничному транспорті з урахуванням застосування традиційних та відновлюваних джерел енергії, у тому числі на залізничному транспорті [8].

У ТНУ «ХП» в рамках спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» розроблена спеціалізація для магістерського рівня «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії».

В Івано-Франківському національному університеті нафти і газу відкрито спеціалізацію «Інженерія відновлюваної енергетики» в межах спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка». Особливістю програми є поєднання інформаційно-вимірювальної техніки та енергетики для вирішення актуальних завдань у сфері традиційної та відновлюваної енергетики, а вибіркові освітні компоненти забезпечують належний рівень здобуття м'яких навичок: критичного мислення, креативності, комунікації, командної роботи. Фокус програми зроблено на формування фахівця, здатного розв'язувати задачі, пов'язані з розробленням, проектуванням та експлуатуванням систем відновлюваної енергетики й інформаційно-вимірювальних систем й пристроїв. Особливістю програми є поєднання інформаційно-вимірювальної техніки та енергетики для вирішення актуальних завдань у сфері традиційної та відновлюваної енергетики [9].

Досить цікавою для магістрів енергетиків є програма Всесвітніх студій (WorldWide Students) – освітня програма фонду Віктора Пінчука, яка

спрямована на формування нового покоління української професійної еліти. У рамках програми підтримується прагнення талановитої української молоді отримати сучасну освіту у провідних університетах світу та використати отримані знання заради розвитку України, підвищення її довгострокової конкурентоздатності перед викликами ХХІ століття. Одна з програм «Всесвітніх студій» – альтернативна енергетика. Магістерська програма з альтернативної енергетики є одним із небагатьох комплексних курсів, що пропонуються в університетах. Програми охоплюють не тільки технології виробництва відновлюваної енергетики, але й пропонують опанувати суттєвими знаннями зі сфери екологічного законодавства та фінансів. Програми фокусуються на вивченні таких відновлюваних джерел енергії як променева енергія Сонця, вітер, гідроенергія, природна теплова енергія, тощо [10].

У Вінницькому технічному фаховому коледжі в рамках 141 спеціальності розробили ОПП для спеціалізації «Обслуговування та ремонт установок відновлюваної енергетики» освітньо-професійний ступінь – фаховий молодший бакалавр з електроенергетики, електроніки та електромеханіки [11].

Полтавський регіон відрізняється в Україні тим, що мав значні запаси нафти, газу, газового конденсату, торфу. За цими показниками Полтавщина входила у Першу десятку, а за деякими й п'ятірку в Україні. Тому можливо було б не хвилюватися про енергетичні ресурси, але час бере своє.

У Законі України «Про вищу освіту» визначено, що заклади вищої освіти можуть відкривати в межах визначених спеціальностей в особливих випадках окремі спеціалізації на актуальні вимоги часу або потреби регіонального замовлення. У відповідності до пункту 20, статті першої, спеціалізація – складова спеціальності, що може визначатися закладом вищої освіти та передбачає одну або декілька профільних спеціалізованих освітніх програм вищої або післядипломної освіти.

У Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» робочою групою з фахівців кафедр «Прикладної екології та природокористування» та «Теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики» за участі стейхолдерів – представника «ТОВ «НКЦ-НЬЮФОЛК», генерального директора Закревського А.А., розроблено освітньо-професійну програму спеціалізації «Відновлювана теплоелектроенергетика, альтернативні види палива та захист довкілля» за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища». При розробці освітньо-професійної програми були враховані позитивний досвід та елементи ОПП спеціальностей та спеціалізацій із альтернативної та відновлюваної енергетики як навчальних закладів України та Європи.

Дана програма орієнтована на формування загальних та професійних компетентностей, необхідних для вирішення природоохоронних завдань у сфері відновлюваної енергетики, застосування альтернативних видів палива, інших практичних завдань в енергетичній та виробничих сферах задля забезпечення захисту довкілля, що гарантують право бакалавра продовжити навчання з метою отримання вищих освітніх рівнів і наукових ступенів.

Програма базується на сучасних технологіях захисту навколишнього середовища, забезпечення екологічної безпеки в умовах розвитку відновлюваної теплоелектроенергетики й застосування альтернативних видів палива. Вона акцентована на спеціалізовані задачі технічного і технологічного характеру у сфері охорони довкілля, збалансованого природокористування, що передбачають застосування теоретичних основ і методів захисту навколишнього середовища, та характеризуються комплексністю і невизначеністю умов. Характерною особливістю даної програми є високий рівень підготовки фахівців, який забезпечується розвинутою міжнародною співпрацею в науковій і освітній сферах, застосуванням в освітньому процесі власних спеціалізованих лабораторій та використанням сучасних виробничих баз стейкхолдерів Полтавщини.

Теоретичний фокус Програми: фундаментальні теорії та методи природничих і технічних наук; принципи екоцентризму та екологічного імперативу, міждисциплінарності та мультидисциплінарності, комплексності та системності; етапи життєвого циклу при оцінці стану навколишнього середовища; основні поняття та принципи проектування та функціонування навколишнього середовища; сутність та параметри технологічних процесів із використанням відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива; принципи розроблення нових та удосконалення існуючих технологій захисту навколишнього середовища з урахуванням розвитку відновлюваної та альтернативної енергетики; правила застосування чинної законодавчої та нормативної бази в сфері екологічної та енергетичної безпеки.

Практичний фокус Програми: вибір й проектування технологій захисту навколишнього середовища в умовах застосування відновлюваних джерел енергії, альтернативних видів палива; вирішення природоохоронних завдань у виробничій сфері, на етапах проектування, виготовлення, експлуатації та ремонту обладнання систем відновлюваної теплоелектроенергетики.

Узагальнена інтегральна компетентність підготовки передбачає розв'язання складних спеціалізованих задач і вирішування практичних проблем технічного та технологічного характеру у сфері екології, охорони довкілля, збалансованого природокористування, забезпечення енергетичної безпеки та застосування теоретичних основ і методів технологій захисту

навколишнього середовища, технологій і обладнання у сфері відновлюваної та альтернативної енергетики.

Теоретичний зміст предметної області:

- обов'язкова компонента – 75%, зокрема:
 - теоретична підготовка – 66,25%;
 - практична підготовка (навчальна, виробнича й переддипломна практики) – 3,75%;
 - виконання кваліфікаційної роботи – 5,0%;
- вибіркова компонента – 25,0%.

По закінченню навчання бакалавр за даною спеціалізацією здатний виконувати професійні роботи згідно ДК 003:2010:

2148.2 – фахівець з геосистемного моніторингу навколишнього середовища;

2149.2 – експерт з енергозбереження та енергоефективності;

2149.2 – інженер з техногенно-екологічної безпеки;

2149.2 – експерт з енергоефективності нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії;

3111 – фахівець із нетрадиційних джерел енергії;

3111 – фахівець із управління енергозбереженням у будівлях;

3113 – технік із експлуатації біоенергетичних установок, технік із експлуатації вітроенергетичних установок; технік із експлуатації сонячних енергетичних установок;

3113 – фахівець із нетрадиційних видів енергії

2213.2 – інженер із відтворення природних екосистем, використання водних ресурсів; інженер з охорони природних екосистем, інженер з природокористування.

Основні місця роботи: державні і наукові організації, промислові підприємства, інспекції екологічного напрямку та інспекції з енергонагляду, лабораторії промислових підприємств та наукових установ.

На думку фахівців-розробників ОПП, впровадження нової спеціалізації суттєво підвищить зацікавленість молоді до питань захисту навколишнього середовища в умовах використання відновлюваних та альтернативних джерел енергії в післявоєнний час відновлення та розбудови України.

Використані інформаційні джерела:

1. Ягофарова Ф. Спеціаліст з альтернативної енергетики – професія майбутнього. *Сучасна освіта*, 2017. №4. С. 20–21.

2. Мельник Л. Г., Дегтярьова І. Б., Завдовьева Ю. Н. «Зелена» економіка та третя промислова революція в університетській освіті // *Сучасний стан та проблеми вищої екологічної освіти* : Матеріали Всеукраїнської науково-методичної конференції. Одеса, 2017. С 102–104.

3. Сайт кафедри відновлюваних джерел енергії КПІ ім. Ігоря Сікорського. 02.06.2022. URL: <http://vde.kpi.ua>.

4. Сайт національного університету «Одеська політехніка». URL. <https://op.edu.ua/>.

5. Сайт Київського національного університету технологій та дизайну. URL. <https://www.knutd.edu.ua>.

6. Освітня програма Інженерія відновлюваних джерел енергії. 02.06.2022. Сайт Харківського національного університету радіоелектроніки. UPL.en ([https://nure.ua/en/applicants/specialties – and specialization /specialty – 172-telecommunications –and radio-engineering/](https://nure.ua/en/applicants/specialties-and-specialization/specialty-172-telecommunications-and-radio-engineering/)

7. Сайт Харківського національного університету імені Василя Назаровича Каразіна. Освітньо-професійна програма Прикладна фізика нетрадиційної енергетики. URL. [start.Karazin.ua/ programs/5/14/105/202/](http://start.Karazin.ua/programs/5/14/105/202/)

8. Сайт Українського державного університету залізничного транспорту. Освітньо-професійна програма Альтернативні джерела енергії та екологічно чистий транспорт (проект). Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. URL. [https://kart.edu.ua/ department/kafedra-etem](https://kart.edu.ua/department/kafedra-etem).

9. Сайт Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. URL. <https://nung.edu.ua/>

10. Програма Всесвітніх студій (WorldWide Students) – освітня програма фонду Віктора Пінчука. URL. <https://worldwidestudies.org/>

11. Вінницький технічний фаховий коледж. URL. <https://vtc.vn.ua/>

**ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ
ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВОДНЮ**

**INTERMISSIBILITY OF COMBUSTIBLE GASES
WHEN USING HYDROGEN**

Колієнко А. Г., кандидат технічних наук, професор кафедри
теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», Україна*

Koliienko A. G., PhD, Professor at the Department for Heat and Gas Supply,
Ventilation and thermal power industry

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine

Анотація. У роботі наведено результати досліджень, метою яких є обґрунтування можливості переходу на спалювання водню в системі газопостачання комунально-побутових та промислових споживачів без необхідності зміни конструкції пальників та режиму їх роботи. Для цього комплексно розглянуті критерії взаємозамінності природного газу та його сумішей із воднем. Визначено вплив вмісту водню на показники теплової потужності, вихід шкідливих речовин, а також явища проскоку та відриву полум'я. Вперше розглянуто вплив вмісту водню на показники променевого теплообміну у топках газовикористовуючого обладнання. Розроблено рекомендації щодо допустимого вмісту водню в суміші з природним газом, що забезпечує ефективне, безпечне та екологічне використання такого палива.

Annotation. The paper presents the results of research aimed at substantiating the possibility of switching to hydrogen combustion in the gas supply system of municipal and industrial consumers without the need to change the design of burners and their mode of operation. For this purpose, the criteria of interchangeability of natural gas and its mixtures with hydrogen are comprehensively considered. The influence of hydrogen content on the indicators of thermal power, yield of harmful substances, as well as the phenomenon of leakage and flame separation is determined. For the first time the influence of hydrogen content on the indicators of radiant heat exchange in the furnaces of gas-using equipment is considered. Recommendations on the permissible

hydrogen content in a mixture with natural gas, which ensures efficient, safe and environmentally friendly use of such fuel, have been developed.

Крім економічних чинників розвитку суспільства, ясно простежуються «зелені» тенденції сьогодення. Процеси декарбонізації стали трендами економічного розвитку країн Європейського Союзу. Україна прагне адаптуватися до Європейського «зеленого» курсу (European Green Deal) [1] і це передусім передбачає використання чистих джерел енергії. У цьому напрямку проекти використання водню у якості палива для комунально-побутових і промислових споживачів визивають значний інтерес.

Під взаємозамінністю розуміють можливість постійної, ефективної та безпечної роботи газопальникових пристроїв (ГПП) при заміні горючого газу, без внесення змін до конструкції пальника та іншого обладнання пристроїв, що використовують газ, а також без зміни режиму роботи та налаштувань роботи такого обладнання.

Таким чином, тільки для взаємозамінних газів існує можливість безперешкодного переходу з одного виду газового палива на інше із збереженням (або допустимими змінами) наступних характеристик обладнання:

- теплової потужності, N , кВт;
- коефіцієнта корисної дії, η , %;
- стабільної роботи ГГУ без явищ проскоку (light back) та відриву полум'я (flame lift);
- повноти згоряння палива (допустимої концентрації продуктів хімічного недопалу палива у продуктах згоряння), мг/м^3 , або % об.;
- відсутності жовтих «проблисків» полум'я (yellow tipping), що свідчать про перебіг піролітичних процесів та сажоутворення (sooting) у зв'язку з недостатнім надходженням повітря на горіння (загального або первинного).

Предметом дослідження, таким чином, є завдання ефективного та безпечного використання різних газів у промисловості та комунально-побутовому секторі з погляду дедалі ширшого використання водню та його сумішей. В роботі розглядається комплекс вимог до можливості заміни природного газу горючими газовими сумішами, що містять водень, за умови збереження параметрів роботи газоспальювальних установок без суттєвої зміни конструкції і режимів роботи газопальникових і топкових пристроїв, а також їх тягодуттєвого обладнання і газових мереж. Саме визначення принципів надійного нормування параметрів взаємозамінності горючих газів є метою дослідження.

Методом досліджень вибрано порівняльний критичний аналіз нормативної літератури та доступних результатів експериментальних

досліджень, а також власні теоретичні та експериментальні дослідження у вибраному напрямку.

Крім проблем, пов'язаних із відсутністю в Україні нормативної бази для використання водню і його транспортування; суттєвим викидом CO₂ у процесі каталітичного парового риформінгу вуглеводнів при отриманні водню; відсутністю достатньої кількості електричної енергії «зеленого» походження для електролізу води, що робить сумнівним тезу про «зелений» характер водню, виникають інші питання. І в першу чергу – це можливість спалювання водневих газів в існуючих газоспалювальних агрегатах.

Згідно чинного EN 437: 2003. «Test gases.-Test pressures.-Appliance categories». (в Україні-ДСТУ ГОСТ EN 437:2014, «Випробувальні гази. Випробувальний тиск. Категорії приладів») усі види горючих мережних газів, котрі подаються споживачам, класифікуються за різними категоріями (Gas family): першою другою і третьою; а також за різними групами (Group), наприклад: H, L, E. Кожна категорія, включає гази, котрі об'єднані в групи – вони мають аналогічні характеристики горіння і об'єднані по принципу тотожності у певному діапазоні величини (числа), що називають індексом Воббе.

Такий усталений діапазон індекса Воббе для різних газів, об'єднаних в одну групу, означає, що газові прилади, які використовують різні горючі гази у межах однієї групи (наприклад групи L) будуть ефективно і безпечно працювати за сталої потужності при спалюванні цих газів без будь яких змін у конструкції газопальникових і топкових пристроїв і без коригування режимних параметрів роботи газоспалювальної техніки.

На території України характерним є використання в основному горючого (природного газу) другої категорії групи L або E. Згідно вимог ДСТУ ГОСТ EN 437:2014, індекс Воббе за нижчою теплоотою згорання для газів групи L повинен мати значення від мінімального 39,1 МДж/м³ до максимального 44,8 МДж/м³ (приведених до умов: температура 15°C , тиск 1013,25 мбар). Виходячи із аналітичного виразу для визначення індексу Воббе теплота згорання такого газу повинна приблизно бути у межах від 34 до 54,6 МДж/м³. Газове обладнання на території України випускається, постачається і експлуатується саме для такої категорії газів.

Визначення індекса Воббе виконується згідно залежності:

$$W_i = \frac{H_i}{\sqrt{d}} = \frac{H_i}{\sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_{нов}}}};$$

де H_i – нижча теплота згорання горючого газу¹, МДж/м³;
 d – відносна густина горючого газу;
 $\rho_g, \rho_{пов.}$ – густина горючого газу і повітря на горіння за однакових умов, кг/м³;

Тотожність (точна або приблизна) одного із індексів взаємозамінності – індексу Воббе для двох газів свідчить про те, що теплова потужність паливоспалювальної установки при переході з одного виду газу на інший не буде суттєво змінюватись. Це гарантує отримання однакової кількості енергії від установки при переході з одного газу на інший.

Згідно вимог ДСТУ ГОСТ EN 437:2014 для ефективної і безпечної експлуатації газовикористовуючого обладнання, що надходить споживачам, воно повинно пройти випробування шляхом спалювання певних випробувальних газів, кожен із яких за своїм складом є критичним з точки зору забезпечення зазначених вище характеристик роботи обладнання. Таким чином, індекс Воббе є не єдиним критерієм взаємозамінності газів. Тотожність індексу Воббе для двох газів є необхідною, але не достатньою умовою для забезпечення взаємозамінності газів.

Таблиця 1. Тип, склад і характеристики випробувальних газів

Група мережного горючого газу	Назва випробувальної характеристики роботи обладнання		
	Проскок полум'я	Відрив полум'я	Повнота згорання, сажоутворення
Друга категорія, група L	-	G27 Склад: CH ₄ -82% об., C ₃ H ₈ -18% об., W _i =35,17 МДж/м ³ H _i =27,89 МДж/м ³	G26 Склад: CH ₄ -80% об., C ₃ H ₈ -7% об. N ₂ - 13%об. W _i = 40,52 МДж/м ³ H _i =33,36 МДж/м ³
Друга категорія, група E	G222 Склад: CH ₄ -77% об. N ₂ -23 % об. W _i =42,87 МДж/м ³ H _i =28,53 МДж/м ³	G231 Склад: CH ₄ -85% об. C ₃ H ₈ -15 % об. W _i =36,82 МДж/м ³ H _i =28,91 МДж/м ³	G21 Склад: CH ₄ -87% об. C ₃ H ₈ -13 % об. W _i =49,60 МДж/м ³ H _i =41,01 МДж/м ³

Як видно із таблиці 1, для випробування газового обладнання на наявність проскоку пропонується газова суміш з умістом водню до 23%. Таким чином, уміст водню у 23% у суміші з природним газом згідно з вимогами ДСТУ ГОСТ EN 437:2014 є критичним з точки зору втрати стабільності факелу і виникнення явища проскоку полум'я. І це важливо для теми, котра розглядається у цій статті.

¹ Можливим є також визначення індекса Воббе за величиною вищої теплоти згорання

Із точки зору практичного застосування ДСТУ не став в Україні основним документом, котрий визначає якість газу або критерії його взаємозамінності. На відміну від інших країн ЄС цей документ не адаптований повністю до умов українського газового ринку.

Навіть на сайті групи Нафтогаз України <https://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/04FF98894B956A3FC2257F5000428F98?OpenDocument> при висвітленні питання про якість газу апелюють не до ДСТУ EN, а до ГОСТ 5542-87 «Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия».

Цей норматив радянського, а потім російського походження відмінювався в Україні, а потім його дія була поновлена. Згідно з цим ГОСТом оцінка взаємозамінності газів виконується лише за одним критерієм – індексом Воббе. Він повинен становити для мережевого природного газу 41,2 – 54,5 МДж/м³ (у перерахунку на температуру 20°C). Допустиме відхилення цього критерія від номінального значення (встановленого угодою на постачання газу) для різних природних газів повинно становити не більше 5%, як в більшу так і в меншу сторону від номінальної величини. Таким чином забезпечується вимога сталої теплової потужності газоспалювального агрегату при переході з одного виду газу на інший. Інші вимоги щодо взаємозамінності газів у цьому документі відсутні.

Теплота згорання газу, котрий дозволено постачати промисловим і комунально-побутовим споживачам повинна становити не менше 31,8 МДж/м³. Концентраційні межі спалахування газу у суміші з повітрям повинні лежати у межах чисел: нижня межа спалахування – близько 5% об, верхня – близько 15% об. Для порівняння – для водню нижча теплота згорання становить 10,785 МДж/м³, а межі спалахування – 4% і 75%.

Таким чином, чинною в Україні основною нормативною документацією не передбачається використання в газотранспортній системі і газорозподільних мережах для промислових і комунально-побутових споживачів іншого горючого газу, ніж природний газ з теплою згорання, яка нормується різними документами у різних межах, але мінімальна величина нижчої теплоти згорання такого газу повинна бути не менше 31,8 МДж/м³.

Законом «Про внесення змін до Закону України «Про альтернативні види палива» щодо розвитку виробництва біометану, підтверджується аналогічний підхід до біометану, як альтернативного виду палива. Згідно з цим законом «біометан – біогаз, що за своїми фізико-технічними характеристиками відповідає вимогам нормативно-правових актів до природного газу для подачі до газотранспортної та газорозподільної системи або для використання в якості моторного палива».

Порівняння індексів взаємозамінності Воббе для метану і водню підтверджує факт неможливості переведення пальників на природному газі на водень – відмінність індекса Воббе для цих газів становить 15%, що у три рази перевищує нормовану величину у 5%. Тому актуальності набуває питання про використання не чистого водню а суміші водню і природного газу і про допустимий уміст водню у такій горючій суміші для можливості безперешкодного переходу роботи пальників із природного газу на газ, що містить водень. При цьому необхідно враховувати, що оцінка взаємозамінності газів на підставі лише одного індексу Воббе є недостатньою. Питання ефективності, екологічності та безпеки використання газового палива вимагають аналізу по ширшому колу показників взаємозамінності.

Критерії взаємозамінності горючих газів об'єднує міжнародний стандарт ISO 13686. В Україні чинним аналогом ISO є нормативні вимоги ДСТУ ISO 13686:2015. «Природний газ. Показники якості» [3].

Перелік основних індексів взаємозамінності згідно [3] наведено в таблиці 2. Кожен із них дає можливість аналізувати ті чи інші небажані явища, котрі виникають при переході з одного горючого газу на інший.

Таблиця 2. Перелік основних критеріїв взаємозамінності

Назва методики або індексу	Країна	Перелік контрольованих параметрів процесу горіння в паливоспалювальній установці
Індекс Ноя	ЄС	Теплова потужність установки
Критерії Даттона	Великобританія Австралія	Відрив полум'я Жовті проблиски полум'я (сажоутворення) Повнота згорання
Метод Вівера	США	Повнота згорання Відрив полум'я Проскок полум'я Жовті проблиски полум'я Теплова потужність установки Забезпечення необхідної величини витрат дуттьового повітря (коефіцієнту надлишку повітря)
Метод АГА ²	США	Відрив полум'я Проскок полум'я Жовті проблиски полум'я
Метод Дельбурга	Франція	Жовті проблиски полум'я Утворення сажі

Із огляду на те, що ДСТУ ISO 13686:2015 є національним стандартом України, котрий регламентує показники усіх горючих газів у статті виконано аналіз величин основних індексів взаємозамінності для природного газу і його суміші з воднем згідно із цим нормативом.

²АГА – американська газова асоціація

Індекс Ноя, (Кпоу). $J_{(K)}$ є одним із ранніх індексів взаємозамінності і варіацією індексу Воббе. Визначається згідно залежності, наведеної в [4, 5] і залежить від теплоти згорання газу і його щільності. Визначення індексу Кпоу у цій роботі виконувалось за величиною нижчої теплоти згорання. Величину вищої теплоти згорання доцільно використовувати лише у разі конденсації водяної пари, що утворюється при згоранні. Це можна досягти в обмеженій групі пристроїв конденсаційного типу. А в побутових газових плитах це в принципі неможливо. Згідно з [4], якщо для двох газів, індекс Кпоу відрізняється більше за 5%, то газу не є взаємозамінними.

Результати розрахунків показують, що для суміші водню і природного газу це має місце уже при умісті водню більше 20...25% об. Теплова потужність установки при збільшенні частки водню у горючому газі буде зменшуватись. Отже згідно індекса Кпоу газу з більш високим умістом водню, ніж 20...25% об є не взаємозамінними з природним газом.

При цьому у якості базового природного газу приймали газ із нижчою теплоотою згорання 35,89 МДж/ м³; вища теплота згорання для такого газу становить 39,93 МДж/ м³; нижче число Воббе – 48,22 МДж/ м³; вище число Воббе – 53,67 МДж/ м³.

Постачання такого природного газу є характерним для систем газопостачання України. Згідно EN 437 і ДСТУ ISO 13686:2015 такий газ належить до групи Е. Діапазон зміни вищого критерія Воббе для газів групи Е становить $W_s = 40,9...54,7$ МДж/м³; (значення приведено до температури 15 °С та тиску 1013,25 мбар.

За умови підмішування до такого газу 10% водню отримаємо горючий газ з вищим числом Воббе $W_s = 52,18$ МДж/м³, за умови підмішування 30% водню – $W_s = 49,58$ МДж/ м³. Усі газу належать до групи Е, але відхилення від номінального значення критерія Воббе базового природного газу становить 7,6%, що більше за нормовані 5% і є свідченням того, що газу не взаємозамінні. Детальний аналіз видів газів наведено в першій частині статті [2]. У якості номінального значення критерія Воббе або Ноя приймають величину, що встановлена угодою на постачання газу.

Критерії Даттона [6]. До них належать: $J_{CF(D)}$ – індекс неповноти згорання, $J_{L(D)}$ – індекс відриву, $J_{S(D)}$ – індекс сажоутворення.

Індекс неповного згорання $J_{CF(D)}$ визначає вірогідність утворення продуктів хімічного недопалу при заміні основного газу газом-замінником. Нормативи вимагають, що для запобігання неповного згорання газу $J_{CF(D)}$ повинен становити нижче 0,48. Екстремальне значення для газу, що заміщає, становить 1,48. При спалюванні газів із більшим за 1,48 показником $J_{CF(D)}$ матиме місце утворення продуктів хімічного недопалу і зменшення ККД установки.

Розрахунок критерія показує, що збільшення умісту водню у природному газі не погіршує показник неповноти згорання і не є критичним для суміші, оскільки супроводжується зменшенням концентрації вуглеводнів у горючій суміші. За критерієм повноти згорання природний газ і його суміш з воднем є взаємозамінними за будь якої концентрації водню у суміші.

Індекс відриву полум'я J_{LD} оцінює можливість взаємозамінності горючих газів уже за критерієм стабільності процесу горіння – небезпеки виникнення явищ відриву або проскоку полум'я. Цей індекс визначається згідно залежності [7, 8]. Нормовані значення індексу відриву J_{LD} для взаємозамінних газів лежать у межах від 0 до 6. Значення індексу, що близькі до 6 свідчать про те, що відрив полум'я вірогідний, а якщо J_{LD} близький до 0, то спалювання газу не буде супроводжуватись відривом і втратою стабільності факелу. Перехід величин J_{LD} до від'ємних значить означає високу вірогідність іншого небезпечного явища – проскоку полум'я в корпус пальника повного попереднього перемішування, що супроводжується мікрровибухом, погасанням факелу, надходженням горючої суміші до топки або в атмосферу і неконтрольованим спалахуванням такої суміші (вибухом).

Результати розрахунку індекса для суміші природного газу з воднем наведено на рис. 1.

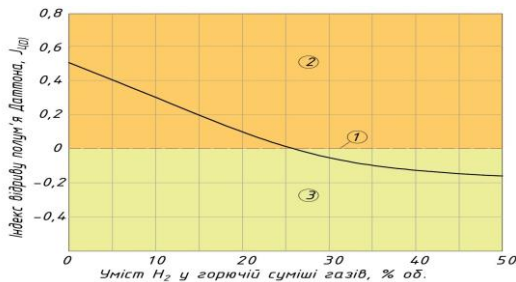


Рис.1. Індекс відриву полум'я Даттона, $J_{CF(D)}$. 1 – нормоване значення індекса $J_{CF(D)}$; 2 – область відриву полум'я; 3 – область проскоку полум'я

Аналіз таблиці показує, що при збільшенні об'ємної частки водню у суміші з природним газом більше 20...25% об. така суміш стає не взаємозамінною з природним газом. А спалювання такої суміші супроводжується небезпечним явищем проскоку полум'я.

Ще один індекс Даттона – **індекс сажоутворення J_{SD}** оцінює ризики і можливості переходу з одного виду газу на інший із точки зору безпеки протікання у полум'ї піролітичних процесів розкладу вуглеводнів і

утворення сажистих частинок, що забарвлюють полум'я у жовтий колір. Нормоване значення цього індексу становить 0,6. Збільшення величини $J_{S(D)}$ для газу, що заміняє основний вище 0,6 означає небезпеку сажоутворення і обмежені можливості взаємозамінності[8]. Результати розрахунку наведено на рис. 2. Вони свідчать, що введення водню до складу природного газу не загрожує сажоутворенням. Таким чином, за цим критерієм суміші природного газу і водню є взаємозамінними.

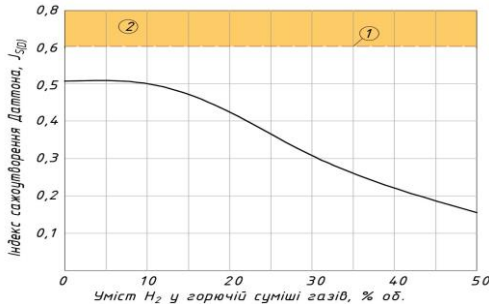


Рис.2. Індекс сажоутворення Даттона, $J_{S(D)}$. 1 – нормоване значення індекса $J_{S(D)}$. 2 – область небезпеки сажоутворення

Метод Вівера. Цей багато індексний метод досліджує можливість взаємозамінності газів у більш широкому і складному контексті. Згідно [9] підґрунтям для цього методу слугували десятки тисяч експериментів з 500 різними горючими газами, у ході яких досліджувались можливості переведення пальників в основному низького тиску з одного горючого газу на інший без втрати стабільності і ефективності горіння.

Суть цього методу полягає у визначенні відношення комплексу характеристик властивостей газу і процесу горіння для двох газів – основного(паспортного) і газу замітника і порівняння цих показників з граничним значенням. Якщо вимога виконується то газу вважаються взаємозамінними за певним критерієм. Перші три критерії мають граничне значення, рівне 1.

1. **Індекс сталой теплової потужності, $J_{H(w)}$** – це відношення критерія Воббе для газе – замітника, W_s і основного газу W_a :

$$J_{H(w)} = \frac{W_s}{W_a} \quad (1)$$

де W – критерій Воббе, що визначається згідно залежності.

Умовою взаємозамінності є $J_{H(w)} = 1,0(\pm 5\%)$. Більше відхилення не є допустимим за умовою недопустимої зміни теплової потужності. Також це може призвести до хімічного недопалу, збільшення втрат теплоти, зменшення ККД і порушення стабільності горіння.

Для досягнення взаємозамінності двох газів величина $J_{H(W)}$ повинна бути рівною $0,95 < J_{A(W)} < 1,05$ [9]. Перевищення верхньої межі означає нестачу повітря, що призводить до теплової потужності, що супроводжується, як правило, збільшенням втрат з відхідними газами, хімічним недопалом і зменшенням ККД установки. У разі, якщо $J_{H(W)} < 0,95$, то матиме місце дефіцит теплової потужності, що призведе до порушення технологічного процесу установки. Результати розрахунків величини $J_{H(W)}$ для суміші природного газу і водню наведено в таблиці 2.

Індекс забезпечення необхідною кількістю повітря на горіння, $J_{A(W)}$ включає теоретичну потребу у повітрі на горіння основного газу $V_{t.a}$ і газу замітника $V_{t.s}$ і їх відносну щільність – d_a , d_s , відповідно:

$$J_{H(W)} = \frac{V_{t.s} \sqrt{d_a}}{V_{t.a} \sqrt{d_s}}; \quad (2)$$

Умовою безперешкодного переведення роботи пальника з природного газу на суміш природного газу і водню індекс повинен становити $0,95 < J_{A(W)} < 1,05$ [10]. У разі перевищення допустимої величини має місце нестача повітря для повного згорання, що призводить до хімічного недопалу і зменшенню ефективності роботи установки. При зниженні встановленої величини $0,95$ і нижче будемо мати горіння при завищених коефіцієнтах надлишку повітря, що може призвести до відриву полум'я, збільшенню втрат теплоти з відхідними газами, зменшенню ККД установки і збільшенню утворення токсичних оксидів азоту у зоні горіння. Дійсні значення індекса за різного умісту водню у суміші наведено у таблиці 2.

Індекс відриву полум'я, $J_{L(W)}$. Схильність полум'я горючого газу до відриву чи проскоку визначається таким фізико-хімічним параметром процесу горіння, як швидкість поширення полум'я. Тому залежність для визначення індекса відриву полум'я включає в себе цей параметр для основного газу $S_{L.N.a}$ і газу замітника $S_{L.N.s}$ [10]:

Результати розрахунку індексу відриву наведено в таблиці 2. Газу з показником $J_{L(W)}$ більшими за одиницю схильні до відриву полум'я зі зрізу пальника, подальше збільшення такого показника свідчить про зростання такої небезпеки.

Індекс проскоку полум'я, $J_{F(W)}$ також залежить від швидкості розповсюдження полум'я. Явище проскоку виникає у разі, якщо швидкість розповсюдження полум'я буде більшим за швидкість газоповітряної суміші у пальнику. Якщо $J_{F(W)} > 0$, то згорання газу буде супроводжуватись проскоком полум'я, що загрожує виникненню аварійної ситуації у ході

експлуатації установки [10]. Значення величини $J_{F(W)}$ для газів з різним умістом водню наведено в таблиці 2.

Індекс жовтих проблисків полум'я, $J_{Y(W)}$ [11].

Наявність жовтих проблисків полум'я свідчить про погіршення якості горіння і утворення у полум'ї частинок сажі, котрі виникають внаслідок загального або локального дефіциту повітря для повного згорання, або внаслідок неякісного перемішування газу і повітря. Такі явища є вкрай небажаними при роботі газоспалювальної установки. Якщо $J_{Y(W)} > 0$, то згорання газу буде супроводжуватись утворенням сажі і жовтими проблисками полум'я. Збільшення показника $J_{Y(W)}$ означає зростання загрози утворення сажі. Значення величини $J_{Y(W)}$ для газів із різним умістом водню наведено в таблиці

Результати розрахунку індексу жовтих проблисків полум'я наведено в таблиці 2.

Індекс неповного згорання, $J_{I(W)}$

Цей індекс визначає можливість утворення газоподібних продуктів неповного згорання і в першу чергу монооксиду карбону при заміні основного газу – газом заміником. Таке явище виникає в результаті нестачі повітря на горіння, або внаслідок збільшення частки карбону у складі горючого газу. Якщо показник $J_{I(W)} > 0$, то це означає що взаємозамінність газу за цим показником відсутня, а згорання газу буде супроводжуватись хімічним недопалом, і як наслідок, – зниженням ефективності роботи газоспалювальної установки [11]. Результати розрахунків величини індексу неповного згорання також наведено в таблиці 2.

Аналіз за методом взаємозамінності Вівера показує що перехід із природного газу на суміш природного газу і водню у промислових і комунально-побутових паливоспалювальних установках призводить до наступних небажаних явищ, що виникають у процесі горіння:

- зменшення теплової потужності пальника і газоспалювального агрегату у разі збільшення частки водню у суміші вище 10% об. і вище;
- протікання процесу горіння при завищених коефіцієнтах надлишку повітря, що буде супроводжуватись зменшенням ККД газоспалювальної установки і схильністю пальників без попереднього змішування з повітрям до відриву полум'я (в разі збільшення частки водню у суміші до 20% об. і більше);
- проскоку полум'я в корпус пальників попереднього змішування, що супроводжується аварійною ситуацією з погасанням факелу (в разі збільшення частки водню у суміші до 20% об. і більше).

Таблиця 2. Характеристики індексів взаємозамінності горючих газів за методом Вівера

Назва індекса взаємозамінності	Позначення	Нормоване значення індекса	Концентрація водню у суміші з природним газом, % об			
			0	10	30	50
Індекс сталої теплової потужності	$J_{H(W)}$	1 ($\pm 5\%$)	1,0	0,95	0,92	0,87
Індекс забезпечення необхідною кількістю повітря на горіння	$J_{A(W)}$	1 ($\pm 5\%$)	1,0	0,96	0,90	0,83
Індекс відриву полум'я	$J_{L(W)}$	1 ($\pm 5\%$)	1,0	1,12	1,44	1,83
Індекс проскоку полум'я	$J_{F(W)}$	< 0,0	0,0	0,22	0,73	1,46
Індекс жовтих проблісків полум'я	$J_{Y(W)}$	< 0,0	0,0	-0,04	-0,01	-0,18
Індекс неповноти згорання	$J_{I(W)}$	< 0,0	0,0	-1,2	-1,5	-1,9

Таким чином, за вищезазначеними критеріями і шкідливими явищами, що супроводжують процес горіння, природний газ і відповідні суміші його з воднем є невзаємозамінними.

У такому разі переведення газопальникових пристроїв з природного газу на суміш його з воднем повинно супроводжуватись обов'язковою реконструкцією газоспалювальної установки, тягодуттьових пристроїв, стабілізаторів горіння і режимів роботи пальників.

У той же час, за критеріями неповного згорання і жовтих проблісків полум'я, добавка водню до природного газу не призводить до явищ, що погіршують параметри процесу горіння.

Таким чином існуючі, добре досліджені і висвітлені в нормативній літературі методи оцінки взаємозамінності Кноу, Даттона і Вівера дають можливість детально розглянути наслідки, що виникають при заміні одних видів горючих газів іншими. Використання таких методів, є обов'язковим при розгляді можливості спалювання природного газу з воднем, як альтернатива природному газу.

Усі наведені критерії взаємозамінності відносяться безпосередньо до роботи газопальникових пристроїв.

Але крім цього, є ще одна складова цього питання. Це зміна характеру теплообміну у топкових пристроях, які будуть працювати на газах – заміниках із підвищеним умістом водню.

Об'єм і склад продуктів згорання при внесенні водню до горючої суміші змінюються [2]. Так, наприклад, при переході на спалювання суміші з умістом водню до 30% об. об'єм продуктів згорання зменшується з 11,95 м³/м³ до 7,59 м³/м³ із одночасним зменшенням умісту CO₂ у складі продуктів згорання. Ці два фактори призводять до погіршення теплообміну у топках теплогенерувальних агрегатів. Перший – в результаті зменшення швидкості продуктів згорання, а другий – внаслідок зменшення інтенсивності променевої складової теплообміну.

Дослідження, що проведені при спалюванні нафтозаводського газу на Кременчуцькому НПЗ із змінною складовою водню від 20% до 54% об. свідчать про те, що спалювання газів із значною кількістю водню призводить до масового переходу пальників теплових агрегатів у режим роботи з проскоком полум'я. Змінюється також емісійна тепловіддача факелів і конвективний теплообмін на поверхнях нагрівання.

Критерієм відмінностей процесу теплообміну може бути співвідношення кількості карбону і гідрогену у елементарному складі горючого газу C/H, що впливає на емісійну тепловіддачу факелу [12].

На рис. 3 представлено зміну відносної кількості теплоти, що сприймається променевими поверхнями нагрівання котла залежно від умісту водню у суміш горючих газів. Зменшення променевої складової теплообміну у топці переносить значну його частину в менш ефективну конвективну частину котла. Це неминуче збільшує температуру відхідних газів і зменшує ККД котла.

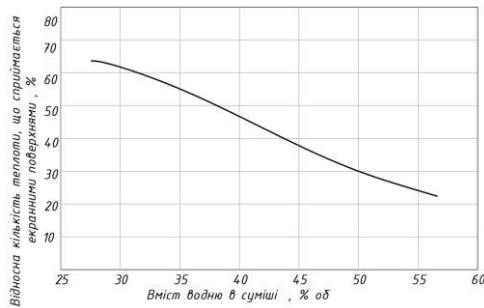


Рис. 3. Вплив складу газу на емісійну тепловіддачу у топковому просторі

Причиною такої ситуації є зміна згаданого раніше співвідношення умісту карбону та гідрогену в елементарному складі газу, C/H. Зміщення значення C/H у бік гідрогену призводить до зменшення «світимості» факелу, тобто зниження жовтої (вуглецевої) складової спектру і, як наслідок, ступеню чорноти топкового простору.

Важливо також підкреслити, що у процесі виконаних досліджень було підтверджено зниження стабільності роботи інжекційних газопальникових пристроїв. При значному умісті водню спостерігався неконтрольований режим проскоку полум'я, що вимагало негайного втручання операторів обладнання, щоб уникнути аварійної ситуації.

Таким чином, використання газів-замінників у вигляді суміші водню та природного газу, вимагає коригування існуючої методики теплового та

аеродинамічного розрахунку котельних агрегатів та іншого тепловикористовуючого обладнання.

Висновки

1. Використання сумішей природного газу з воднем є дієвим кроком у вирішенні задачі декарбонізації діяльності людини. Основним питанням при такому переході є допустимий вміст водню в суміші, що не змінює параметрів ефективності, екологічності та безпеки використання газового палива.

2. Виконаний аналіз та дослідження дозволяють стверджувати, що використання суміші природного газу з вмістом водню не більше 10% об. є допустимим для інжекційних пальників побутових газових плит та обладнання малої потужності без внесення конструктивних та режимних змін. У ряді випадків може бути більш високий вміст водню (до 15 ... 20% об.) Однак це вимагає додаткових випробувань і змін в режимах або конструкції газових приладів.

Досягти практичної можливості використання газоспалювальних установок, що призначені для природного газу, на горючих сумішах його з воднем у кількості, що перевищує 20...25% можна лише за умови зміни конструкції пальника і зміни тиску горючого газу перед пальником.

3. Дутьові газові пальники промислових установок за характером організації процесу горіння не схильні до явищ відриву та проскоку полум'я. В цьому випадку можна рекомендувати можливість безпечної роботи пристроїв на суміші з вмістом водню до 20-25% об. Але слід, зважати на супутнє зниження теплової потужності пристроїв (до 15...20%) і заздалегідь вивчити технічні можливості компенсації цього явища.

4. Можливість переходу газових приладів з газу однієї групи або сімейства на іншу групу або сімейство за класифікацією ДСТУ ISO 13686:2015 та EN 437, або для переходу з одного приєднувального тиску газу на інший повинно враховуватись ще на етапі виготовлення і випробування газових приладів.

У паспортних даних газових приладів необхідно наводити їх категорію, яка залежить від того на які групи і родини (згідно ДСТУ ISO 13686:2015) горючого газу розраховано роботу того чи іншого приладу. І лише за таких умов можна призначати заходи, які можна застосовувати для переведення приладу з газу одного сімейства або групи на інші, в тому числі й на суміші природного газу з воднем.

Так, наприклад, для приладів однієї категорії, призначених для використання газу лише одного сімейства або групи, втручання в конструкцію і налаштування приладу взагалі є неприпустимим, або можливим за рахунок лише зміни діаметра сопла пальника чи встановлення

дроселя. Це у повній мірі відноситься до приладів, призначених для спалювання горючих газів однієї групи Е.

Для інших категорій газових приладів, призначених для роботи на газах декількох сімейств, переналаштування приладів можливо за рахунок більш широкого переліку заходів. Серед них: заміна сопла, чи встановлення дроселя; налаштування витрат газу; налаштування витрат первинного повітря; зміна приєднувального тиску і режиму роботи регулятора тиску; відключення функції «малого полум'я». Але це повинно знайти своє відображення в конструкції таких приладів.

Вирішення широкого кола питань унормування загальних технічних вимог, методів випробування і ефективного використання горючого газу у газових приладах, а також їх виготовлення і класифікації необхідно вирішувати разом із рекомендаціями про використання водню у системах газопостачання України.

5. Виконані дослідження дозволили встановити істотний негативний вплив добавки водню до суміші на випромінювальні характеристики полум'я. Цей факт необхідно враховувати, поряд із падінням теплової потужності, у теплових установках, у яких променевий теплообмін у топці є важливою технологічною складовою. До них належать, насамперед, котельні установки з екранованими топками, технологічні печі.

Використані інформаційні джерела:

1. European Commission (2019). Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions. The European Green Deal. Brussels, 11.12.2019. COM(2019) 640 final.

2. Колієнко А. Г. Використання суміші природного газу і водню у якості палива в комунально-побутових і промислових паливо-спалювальних теплогенеруючих установках // Нафтогазова галузь України. 2021. №4 (52). С. 25–30.

<http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/10188>.

3. ДСТУ ISO 13686:2015. Природний газ. Показники якості.К.,2015.

4. Knoy M. F. Graphic Approach to the Problem of Interchangeability, A.G.A. Proc. 1953. Pp 938–47][Knoy, Frank, Combustion Experiments with Liquefied Petroleum Gases, Gas, vol. 17, p. 14-19, June 1941.

6. Briggs T. The combustion and interchangeability of natural gas on domestic burners. Ind Eng Lett 2014;4:67–87.

7. Dutton B. C. A New Dimension to Gas Interchangeability, Communication 1246, The Institute of Gas Engineers, 50th Autumn Meeting, 1984.

8. Lander D. UK situation regarding gas quality. Present to Marcogaz gas qual WG28th June 2002; 2002.

9. International Gas Union, BP International Company, GL Industrial Services UK.

10. Guidebook to Gas Interchangeability and Gas Quality; 2011. Ortíz JM. Fundamentos de la Intercambiabilidad del Gas Natural. Ciencia 2014:6–15.

11. Ferguson D. H. Fuel interchangeability considerations for gas turbine combustion. In: Fall 2007 east states sect meet combust inst, Charlottesville, Virginia. Pittsburgh (PA): Combustion Institute; 2007. P. 1–10.

12. Halchuk-Harrington R., Wilson RD. AGA bulletin #36 and weaver interchangeability methods: yesterday's research and today's challenges. In: 2006 Oper sect proc – gas assoc Boston, MA, United States; 2–4 May, 2006. P. 802–823.

<https://www.youtube.com/watch?v=QKNnIPTckTA>
<https://www.youtube.com/watch?v=QKNnIPTckTA>
at

РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИНТЕЗУ ГАЗОВИХ ГІДРАТІВ

DEVELOPMENT OF INSTALLATION FOR RESEARCH OF GAS HYDRATE SYNTHESIS

Кутний Б. А., доктор технічних наук, доцент

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», Україна*

Kutnyi B., Dr. Sci., Associate Professor

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine

Анотація. Газоподібні вуглеводні при контакті з водою за певних співвідношень температури та тиску утворюють сполуки, які називають газовими гідратами. Це тверді кристалічні речовини білого кольору, котрі ззовні нагадують сніг або лід. Газогідрати є нестійкими молекулярними сполуками, які при зниженні тиску чи підвищенні температури розкладаються на свої складові: газ і воду. В роботі виконано аналіз перспективних шляхів застосування газових гідратів та існуючих технологій їх синтезу. Проаналізовано причини низької швидкості гідратоутворення в різних установках. Показано, що для вдосконалення технології синтезу газових гідратів необхідно виконати поглиблені дослідження впливу на цей процес таких факторів: тиск та температура газу, температура рідини, розмір бульбашок, видів сурфактантів та дослідити вплив звукових коливань різної частоти. Для виконання таких досліджень автором визначено цілі та розроблено план досліджень, запропоновано експериментальну установку, дано її загальний опис та детальний опис її головних складових, наведено методiku досліджень.

Ключові слова: газові гідрати, дослідна установка, синтез газогідратів.

Abstract. Gaseous hydrocarbons in contact with water at certain ratios of temperature and pressure form compounds called gas hydrates. These are white crystalline solids that look like snow or ice. Gas hydrates are unstable molecular compounds that decompose into their components: gas and water when the pressure drops or rises. The analysis of perspective ways of application of gas hydrates and existing technologies of their synthesis is carried out in the work. The reasons for the low rate of hydrate formation in different installations are analyzed. It is shown that in order to improve the technology of synthesis of gas

hydrates it is necessary to perform in-depth studies of the influence of the following factors: gas pressure and temperature, liquid temperature, bubble size, types of surfactants and to study the effects of sound vibrations of different frequencies. To perform such research, the author defines the objectives and developed a research plan, proposed an experimental setup, gave a general description and a detailed description of its main components, provides research methods.

Key words: *gas hydrates, research installation, synthesis of gas hydrates.*

Вступ. Фізико-хімічні властивості клатратів дозволяють зберігати і перевозити природні гази у звичайних негерметичних контейнерах із застосуванням таких транспортних засобів як автомобілі, вагони, платформи, річкові та морські судна. Найбільш перспективними є такі сфери застосування газогідратів: зберігання і транспортування природних газів. Це насамперед доставка та зберігання природних газів у віддалені й важкодоступні житлові та промислові райони. По-друге, газові гідрати (ГГ) можна використовувати як генератори горючих газів для двигунів внутрішнього згорання (автомобілі, автономні електростанції тощо). Також варто відмітити, що синтезовані газові гідрати дозволяють перевозити і зберігати легкі вуглеводні (метан, етан), які зараз, як правило, спалюються на місцях видобування, що значно погіршує екологічну обстановку в прилеглих районах.

Сучасний стан знань. Із хімічної точки зору газові гідрати являють собою сполуки включення (клатрати), які побудовано на основі каркаса з молекул води, у порожнинах котрого розташовано молекули газів або легкокиплячих рідин [1]. Унаслідок невеликих спотворень кристалічної решітки утворюються менш щільні клатратні каркаси [2].

Молекули метану утворюють структуру КС-I, заповнюючи всі види порожнин. Також вони можуть брати участь в утворенні інших структур як заповнювач малих порожнин [3]. Автори робіт [4, 5] відмічають таку особливість: часто навіть при створенні необхідних термодинамічних умов реакція утворення гідратів займає тривалий час.

Для промислового синтезу газових гідратів важливим є одночасне виконання таких умов: термобаричні умови повинні бути в зоні гідратоутворення; необхідно забезпечити задану концентрацію компонентів на міжфазній поверхні; площа міжфазної поверхні має бути максимальною; потрібно забезпечити відведення теплової енергії із зони гідратоутворення, намагаючись уникати утворення льоду, який сповільнює процес гідратоутворення.

Технології синтезу газових гідратів. Газогідрати застосовуються як робочі тіла в різноманітних технологічних процесах для: безкомпресорного стискування газів [6, 7], розділення газових сумішей [8], виробництва й

акумулювання холоду [9], штампуванні деталей [10]. Використовувати газогідратну технологію також доцільно для підвищення ефективності видобування і підготовки природного газу при розробці газових і газоконденсатних родовищ у період зниження пластового тиску [11].

Технологічно процеси гідратоутворення можна розподілити на три види: взаємодія крапель рідини (води) з газом, взаємодія бульбашок газу з рідиною та взаємодія парів рідини з газом. У пристроях інжекційного типу застосовується перший спосіб гідратоутворення [12]. Оскільки дифузія газу через гідратну плівку практично не відбувається, то процес гідратоутворення швидко сповільнюється, а отримана суміш містить багато води.

Інший спосіб гідратоутворення [12] ґрунтується на інжекції газу на межі входження у поверхню води струменя води, який подається під тиском. Головною проблемою цього методу є відносно мала маса «захопленого» газу порівняно з кількістю використаної води.

В апаратах барботажного типу [13] гідратоутворення відбувається при взаємодії бульбашок газу з рідиною. У роботі [14] описано спосіб синтезу ГГ шляхом подачі зрідженого газу в охолоджену рідину. Проте цей спосіб можна застосовувати лише для зріджених газів (етан, пропан та ізобутан). Метан має критичну температуру $-82,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, тому для нього цей спосіб не застосовується.

Метод утворення ГГ унаслідок взаємодії водяної пари з газом на охолодженій поверхні [15] дозволяє у широких межах регулювати термобаричні умови проведення синтезу і дисоціації ГГ. Зважаючи на низький парціальний тиск водяної пари в умовах низьких температур, такий спосіб має низьку продуктивність і застосовується переважно в лабораторних дослідженнях.

У способі розпилення з попереднім газонасиченням рідину перед подачею в розпилювач або безпосередньо в самому розпилювачі насичують газом [16]. Отриманий гідрат метану має вигляд дрібних сніжинок. Головними недоліками є: мала продуктивність однієї форсунки, можливість її забруднення, необхідність пресування отриманої «снігоподібної» маси.

Застосування поверхнево-активних речовин (ПАР) дозволяє зменшити силу поверхневого натягу на границі фаз [17]. Для ефективної дії в процесах гідратоутворення, ПАР повинні створювати стійку піну у воді з низькою температурою. Зокрема, в роботі [18] розглядається вплив ПАР на швидкість утворення гідратів. Вплив концентрації ПАР на гідратоутворення потребує окремого дослідження.

Відомо, що швидкість росту гідратної плівки пропорційна різниці температур рівноважного стану гідрату при робочому тиску і температури газу (переохолодженню). У роботі [19] в основу кінетики росту гідратної

плівки покладено теплообмін міжфазної поверхні з навколишнім середовищем. У статті [20] запропоновано математичну модель для визначення часу формування гідратної плівки на міжфазній поверхні залежно від тиску газу та кількості зародкових частинок.

Лабораторні дослідження [21] показують, що утворення гідратів в ізохорно-ізоермічних умовах (статичний режим) займає тривалий час – від шести годин до декількох тижнів. За даними роботи [22], кінетика процесу утворення гідрату метану описується експоненційною функцією з емпіричним коефіцієнтом, яка відображає лише загальний характер перебігу процесу гідратоутворення в часі. У статті [23] повідомляється, що завдяки впливу магнітного поля можна прискорити початок гідратоутворення з десяти до двох годин, проте дані щодо швидкості масообміну не наведено. У роботі [24] відмічається, що переохолодження на 1-2 °C різко збільшує швидкість гідратоутворення, а подальше переохолодження поступово знижує швидкість росту кристалів гідрату.

У роботі [25] для визначення швидкості гідратоутворення автори орієнтуються на кількість молів поглинутого газу. Через відсутність функціонального зв'язку з часом застосовані залежності можна застосовувати лише для обробки експериментальних даних. Для барботаажної установки з виготовлення гідратів CO₂ в статті [26] автори пропонують визначити швидкість утворення газогідратів за емпіричною формулою, яка містить чотири емпіричні коефіцієнти, котрі у кожному випадку потрібно визначити експериментально.

Обґрунтування інноваційного характеру дослідження. Аналіз вищенаведених робіт указує на емпіричність отриманих залежностей які потребують коригування в інших умовах гідратоутворення. Недостатньо досліджено вплив тиску газу, температури рідини, розміру бульбашок, видів сурфактантів та інших факторів на цей процес. Відсутність такої важливої інформації значно ускладнює прийняття технічних рішень при проектуванні промислових установок для синтезу гідратів.

Обґрунтування рішення дослідницької проблеми. Для вдосконалення ГТ технологій пропонується проведення комплексного дослідження процесів синтезу газових гідратів для різних газів та їх сумішей в умовах застосування мікробульбашок та з використанням таких активаторів як сурфактанти та акустичний вплив. Виконані нами попередні дослідження [27-37] показують, що саме ці напрямки є найбільш перспективними в досягненні максимальної швидкості гідратоутворення при високому газовмісті гідрату.

Метою роботи є розроблення наукових основ промислового синтезу газових гідратів. Для досягнення поставленої мети потрібне вирішення наступних дослідницьких завдань:

1. Дослідити вплив термобаричних умов, гідродинамічних процесів та підведення додаткової енергії у вигляді акустичного випромінювання на інтенсивність масообмінних процесів при синтезі газогідратів.

2. Вдосконалити математичну модель гідратоутворення, яка дозволяє враховувати дифузійні, тепло- і масообмінні процеси на міжфазній поверхні та розв'язання на її основі конкретних задач про вплив теплофізичних факторів на швидкість синтезу газогідратів.

3. Експериментальним шляхом визначити інтенсивність масообмінних процесів в області гідратоутворення та дослідити вплив інтенсифікуючих факторів (мікробульбашок, концентрації сурфактантів, акустичного впливу).

4. Дослідити процеси кристалізації, які відбуваються на міжфазній поверхні при гідратоутворенні. Встановити особливості застосування охолодженого газу для інтенсифікації синтезу газогідратів. Визначити залежність швидкості гідратоутворення від складу газової суміші.

5. Розробити методологічні основи теплотехнічного розрахунку промислового апарату для синтезу газогідратів та перевірити їх експериментальним шляхом. Визначити вплив температури і тиску газу, часу, концентрації поверхнево активних речовин та інших факторів на газовміст синтезованого газогідрату.

і Для виконання експериментальних досліджень планується монтаж установки барботажного типу для швидкого отримання газогідратів різних газів за рахунок використання таких інтенсифікуючих засобів, як: застосування мікробульбашок газу, застосування сурфактантів та акустичних коливань. Планується проведення експериментальних досліджень з синтезу газових гідратів із газів метанового ряду. Причому як чистих газів, так і їх сумішей. Дослідження впливу сурфактантів та акустичних коливань на інтенсифікацію процесів гідратоутворення. Дослідження впливу газів-активаторів: сірководню, азоту, пропану. Також планується дослідження особливостей гідратоутворення водорозчинних газів, наприклад вуглекислого газу та сірководню.

Цілі дослідження. Основною задачею досліджень є пошук оптимальних конструктивних характеристик реактора та параметрів газової суміші в установках для прискорення процесу синтезу газових гідратів з високим газовмістом. Також важливим завданням є отримання кількісних показників для визначення швидкості гідратоутворення в різних умовах, визначення домінуючих факторів впливу на цей процес.

Результати розрахунків показують [33, 34, 36], що початкова температура газу в бульбашці відіграє ключову роль у процесах гідратоутворення. Чим нижча температура газу, тим інтенсивніше відбувається процес гідратоутворення. Проте, при занадто низькій

температурі газу повинно відбуватися «обмерзання» бульбашки, яке може різко сповільнити процес гідратуутворення. Саме тому за допомогою дослідної установки планується визначити оптимальну температуру газу для гідратуутворення.

Відомо, що склад газової суміші впливає на заповнення великих і малих стільників клатратної решітки газогідрату. Чим повніше заповнена решітка, тим більший газовміст гідрату і тим він краще зберігається в нерівноважних умовах.

Попередні дослідження показали важливість руйнування газогідратної кірки, яка утворюється на поверхні газових бульбашок. Одним з перспективних способів такого впливу є акустичні коливання. Для дослідження можливостей інтенсифікації процесів гідратуутворення установка доповнена блоком акустичного впливу.

Аналіз ризиків. Основними ризиками для виконання проекту є робота з горючими газами метанового ряду, які знаходяться під значним надлишковим тиском. Як наслідок – вибухо- і пожежонебезпечність виконуваних робіт. Крім того, сірководень відносяться до отруйних газів, а діоксид вуглецю належать до небезпечних речовин. Засобами боротьби з цими газами є активна вентиляція приміщень. Для уникнення небезпечних ситуацій необхідно неухильно дотримуватися правил техніки безпеки.

Способи дослідження. При виконанні науково-дослідних робіт планується використання стандартних експериментальних методів досліджень, які ґрунтуються на інструментальному вимірюванні теплофізичних параметрів (часу, температури, тиску, маси, витрат, напруги, сили стуму, сили поверхневого натягу та ін.). Передбачається статистична обробка отриманих первинних результатів вимірювань.

Також у роботі планується застосування методів математичного моделювання. З цією метою створено пакет прикладних комп'ютерних програм на основі математичних моделей із застосуванням новітніх методів чисельних розрахунків, що забезпечує високу точність обчислення і мінімальні витрати машинного часу при розв'язанні поставлених задач.

Схема установки для дослідження реакції синтезу газових гідратів показана на рис.1. Дослідна установка складається з наступних блоків: блок підготовки гідратоутворюючої суміші газів (метан, етан, пропан, бутан, азот, сірководень, вуглекислий газ); реактор; блок рециркуляції газу та його охолодження; холодильне обладнання; блок аналізу складу газової суміші; блок підготовки води; блок акустичного впливу.

Блок підготовки гідратоутворюючої суміші. Газ метан у балоні знаходиться при кімнатній температурі під тиском 250 Бар. До нього приєднано редуктор з манометрами до та після. На редукторі тиск дроселюється до 45-60 бар. Метан є основною складовою газових сумішей.

Газ етан в балоні знаходиться при кімнатній температурі в зрідженому стані під тиском 40-50 Бар. До нього приєднано редуктор з манометрами до та після. На редукторі тиск дроселюється до 30-35 бар. Етан у сумішах є допоміжним газом, який сприяє утворенню газогідрату структури КС-II.

Газ в балоні пропану знаходиться у рідкому стані при кімнатній температурі під тиском 5 Бар. На редукторі тиск дроселюється до 1-5 бар. Пропан у суміші є допоміжним газом і застосовується для прискорення реакції гідратоутворення.

Сірководень в балоні знаходиться при кімнатній температурі у рідкому стані під тиском 8-10 Бар. На редукторі тиск дроселюється до 1-2 бар. Застосовується для насичення водного розчину в реакторі сірководнем, що дозволяє досліджувати процеси гідратоутворення, які спостерігаються в природних середовищах, зокрема у Чорному морі.

Діоксид вуглецю в балоні знаходиться при кімнатній температурі під тиском 60 Бар. На редукторі тиск дроселюється до 45-60 бар. За редуктором встановлено стабілізатор витрат газу і витратомір. Застосування вуглекислого газу дозволить визначити особливості гідратоутворення газів, які гарно розчиняються у воді. Також вуглекислий газ – основний компонент для дослідження процесів заміщення.

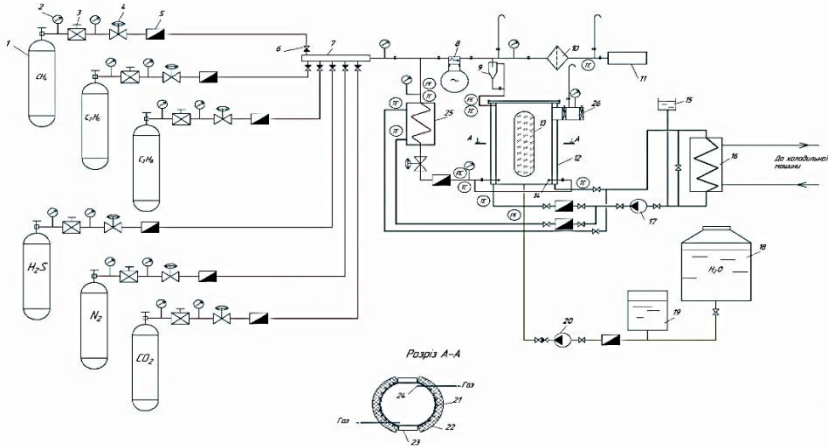


Рис. 1. Принципова схема установки для дослідження заміщення газових гідратів:

1 – балон газовий; 2 – манометр; 3 – редуктор газовий; 4 – стабілізатор витрат; 5 – витратомір; 6 – зворотний клапан; 7 – гребінка; 8 – компресор; 9 – відцентровий осушувач; 10 – фільтр-осушувач; 11 – газоаналізатор; 12 – реактор; 13 – оглядове вікно; 14 – трубки для подачі гідратоутворюючого

газу в реактор; 15 – розширювальний бак холодоагента; 16 – теплообмінник-випарювач холодильної машини; 17 – циркуляційний насос холодоагента; 18 – бак дистильованої води; 19 – бак для приготування розчину; 20 – розчинний насос; 21 – трубки охолодження реактора; 22 – теплова ізоляція реактора; 23 – закалене товстостінне скло; 24 – форсунка; 25 – газорідинний кожухотрубний теплообмінник; 26 – герметичний шлюз

Азот в балоні знаходиться при кімнатній температурі під тиском 200 Бар. На редукторі тиск дроселюється до 45-60 бар. Азот – звичайно міститься у великій кількості у продуктах згорання вуглеводневої сировини. Також може виступати як каталізатор процесу заміщення.

На гребінці відбувається змішування газів. Для уникнення перетікання газу між лініями з різним тиском гребінку оснащено зворотніми клапанами.

Реактор має циліндричну форму для уникнення застійних зон при обертанні суміші води та гідрату. Матеріал реактора – нержавіюча сталь товщиною не менше 5 мм. Для можливості ревізії кришки реактора у верхній та нижній частині прикріплені на фланцях до корпусу. Нижня кришка має отвори для приєднання трубопроводів.

Для отримання гідратів різних газів у нижній частині реактора розташовані дві насадки. Для інтенсифікації масообмінних процесів струмів газу кожної з них підводиться до корпусу реактора тангенційно. Реактор розташовано вертикально для спливання бульбашок газу та гідрату і рівномірного заповнення ним ємності.

Для забору проб газогідрату у верхній частині реактора передбачено герметичну шлюзову камеру. Для охолодження і підтримання заданої температури реактор обладнано охолоджуючою «рубашкою» у вигляді двох мідних пластин з припаяними до них мідними трубками.

Блок рециркуляції газу та його охолодження складається з сепаратора крапель води, компресора та кожухотрубного теплообмінника.

Корпус компресора повинен витримувати тиск 100 бар. Компресор повинен забезпечувати збільшення тиску газу на 2-5 бар і мати змінні оберти або ресивер для регулювання витрат. Теплообмінник рекуперативний кожухотрубний для відведення надлишкової теплоти від газового потоку і задання необхідної температури газу перед входом в насадку.

Холодильна машина застосовується для термостабілізації реактора та охолодження газової суміші перед введенням в реактор. Холодильна машина повинна мати потужність 1-3 кВт, і забезпечувати температуру кипіння хладону -10...-30 °С. Для передачі теплоти від хладону до вторинного холодоносія застосовується випарювач типу рідина-рідина. Параметри вторинного холодоносія -5...+5 °С. У якості холодоносія вторинного

контур застосовується спирт етиловий. Для його циркуляції передбачено насос з сухим ротором. Для компенсації зміни об'єму вторинного холодоносія передбачено розширювальний бак.

Визначення складу газової суміші здійснюється шляхом взяття проб газу, відділення скрапленої вологи, осушення. Для цього проби відбираються з газопроводу після вологовідділювача і подають на фільтр-осушувач, який наповнено силікагелем чи алюмогелем. Після відділення вологи і осушення пробу газу подають на газоаналізатор.

Блок підготовки води застосовується для заправки реактора водою із заданою концентрацією солей та сурфактантів (ПАР), видалення надлишкової води з реактора та взяття проб води. Складається з пластикової ємності для дистильованої води з об'ємом 100 л; бака для приготування води з заданою концентрацією солей з об'ємом 20 л; витратоміра та насоса.

Блок акустичного впливу застосовується для уведення в рідину акустичних коливань заданої частоти та амплітуди. Він складається з генератора коливань змінної частоти, підсилювача, випромінювача та контрольно-вимірюючих приладів.

Методика досліджень. Дослідження процесів синтезу відбуваються два етапи: формування газогідратного масиву та визначення газовмісту отриманого газогідрату.

Для імітації природних умов перед виконанням досліду усередині реактора можна розмішувати подрібнені гірські породи. Після цього реактор заправляється підготовленою водою. Вода може містити різну кількість солей та інших домішок (блок підготовки води). Далі відбувається охолодження реактора до заданої температури за допомогою охолоджуючої «рубашки». Після цього, відбувається насичення води одним із водорозчинних газів. Наприклад для імітації умов Чорного моря в реактор подається визначена кількість сірководню, який розчиняється у воді. На наступному етапі в реактор закачується газ-гідратоутворювач чи суміш газів. Тиск підвищується до необхідних для синтезу умов. Після цього вмикається компресор і здійснюється циркуляція газу в реакторі. При падінні тиску в реакторі здійснюється поповнення гідратоутворюючої суміші газів із балонів. Гідрат формується у реакторі при заданих термобаричних умовах та заданій концентрації газової суміші.

Процес формування газогідрату контролюється візуально, за допомогою товстостінних стекол на корпусі реактора та кількісно, за допомогою просвічування світлодіодом чи лазером. Також можливе взяття проб за допомогою герметичного шлюзу.

У процесі вимірювань записуються температури, тиски, витрати та концентрації. Для реєстрування цих величин передбачено датчики з електронним виходом і можливістю приєднання до комп'ютера. Записана

інформація аналізується за допомогою математичного моделювання процесів тепло- та масообміну.

Висновки. Таким чином, вдосконалення технології синтезу газогідратів дозволить: розширити можливості зберігання та транспортування природних газів у формі їх клатратних з'єднань за рахунок усунення необхідності використання ємностей високого тиску; підвищити ефективність зберігання і транспортування природних газів за рахунок зниження тиску дисоціації, підвищення масового вмісту газів в одиниці об'єму утворених клатратів та за рахунок збільшення їх газовмісту; вдосконалити технологію використання гідратів як акумуляторів теплоти; вдосконалити технологію опріснення морської води; вдосконалити технологію фракційного поділу природного газу.

Використані інформаційні джерела:

1. Бондаренко В.І., Витязь О.Ю., Зоценко М.Л. та ін. Газогідрати. Гідратоутворення та основи розробки газових гідратів : монографія. Дніпропетровськ : «Літограф», 2015. 219 с.
2. Kutnyi B., Nashvan A. Main features of gas hydrates // Journal of New Technologies in Environmental Science. 2017. 4/1. P.165–170.
3. Sloan E.D., Koh C.A. Clathrate hydrates of natural gases. Third edition. Boca Rator, London, New-York, CRC Press, 2008.
4. Чувилин Е.М., Гурьева О.М. Экспериментальное изучение образования гидратов CO₂ в поровом пространстве промерзающих и мерзлых пород // Криосфера Земли. 2009. Т. XIII, №3. С. 70–79.
5. Особенности кинетики гидратообразования метана в водных растворах электролитов / П.А. Нефёдов, А.А. Джеджерова, В.А. Истомин, С.И. Долгаев, В.Г. Квон // Вести газовой науки. 2014. №2 (18). С. 83–89.
6. Клименко В. В., Мельников О. Л., Скрипник О. В. Застосування газогідратних технологій для стискування газу, розділення газових сумішей та транспорту газу // Тези 61-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка, 15-17 квітня 2009 р. Полтава : ПолтНТУ, 2009. Т. 1. С. 89–91.
7. Газотурбінний привід з газогідратним дотискувачем паливного газу [Електронний ресурс] / В. В. Клименко, М. В. Босий, В. П. Парафійник, С. О. Прилипко // Холодильна техніка та технологія. 2014. №4 (150). С. 10–37. – Режим доступу http://nbuv.gov.ua/UJRN/htit_2014_4_8
8. Семенов А. П., Винокуров В. А. Газогидратное разделение газовых смесей // Перспективы освоения газогидратных месторождений : Тезисы докладов, Международная конференция (17-18 ноября 2009 г.). Москва, 2009. С. 156–159.

9. Клименко В. В., Скрипник О. В., Личук М. В. Підвищення ефективності використання природного холоду в плодоовочесховищах // Холодильна техніка та технологія. 2013. Т. 49, №6. С. 55–59.

10. Скрипник О. В., Клименко В. В., Свяцкий В. В., Віхтоденко А. А. Виготовлення безпористих деталей з використанням газогідратних технологій // Scientific Horizons – 2015: materials of the XI International scientific and practical conference, september 30 – october 7, Sheffield, UK. – Sheffield: Science and education LTD, 2015. Vol. 11. Technical sciences. Construction and architecture. P. 27–29.

11. Підвищення ефективності видобування і підготовки газу з виснажених родовищ шляхом застосування газогідратної технології / В. В. Клименко, М. Л. Зоценко, О. В. Бандуріна, Л. О. Педченко // Сучасні технології в машинобудуванні, транспорті та гірництві : Вісн. КрНУ ім. М. Остроградського. 2012. Вип. 2(73). С. 92–95.

12. Pavlenko A. M., Pedchenko L. O., Pedchenko M. M. Organization of continuous cycle of production gas hydrate // Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education: SWorld. December 2012. P. 18–27.

13. Behkish A., Lemoine R., Oukaci R., Morsi B. I. Novel correlations for gas holdup in large-scale slurry bubble column reactors operating under elevated pressures and temperatures // Chemical Engineering Journal. 2006. Vol. 115. P. 157–171.

14. Чернов А. А., Мезенцев И. В., Мелешкин А. В., Пильник А. А. Новые методы получения газогидратов // Современная наука исследования, идеи, результаты, технологии. 2015. №1 (16). С. 159–164.

15. Пат. 2457010 РФ МПК В01D 9/00 С1. Способ получения газовых гидратов / Коверда В. П., Решетников А. В., Файзуллин М. З. №2010146944/05; заявл. 17.11.2010; опубл. 27.07.2012, Бюл. 21

16. Thomas D. V. Rapid Gas Hydrate Formation Processes: Will They Work? / D. V. Thomas, E. T. Charles, P. V. Mark // Energies. 2010. №3. P. 1154–1175.

17. Dierker M., Schäfer H.J. Surfactants from oleic, erucic and petroselinic acid: Synthesis and properties (англ.) // European Journal of Lipid Science and Technology. 2010. Vol. 112, №1. P. 122.

18. Донцов В. Е. Процессы растворения и гидратообразования за ударной волной в жидкости с пузырьками из смеси азота и углекислого газа при наличии поверхностно-активного вещества // Теплофизика и аэромеханика. 2009. Т. 16, №1. С. 89–101.

19. Запорожец Е. П., Шостак Н. А., Ключко В. В. Исследования процессов образования и диссоциации гидратов // Газовая промышленность. 2016. №9 (743). С. 53–58.

20. Шагапов В. Ш., Ялаев А. В., Шепелькеви О. А. Период индукции гидратообразования при контакте газа и воды // Вестник ТюмГУ. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2015. Т. 1, №2(2). С. 50–58.

21. Phenomenological modeling of hydrate formation and dissociation. / M.C.G. Chacin, R.G. Hughes, F. Civan, C.E Taylor // *Advances in the Study of Gas Hydrates*. – New York, NY, USA : Kluwer Academic/Plenum Publishers. 2004. P. 27–38.

22. Bondarenko V., Svietskina O., Sai K. Study of the formation mechanism of gas hydrates of methane in the presence of surface-active substances // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. №5/6 (89). Technology organic and inorganic substances. P. 48–55.

23. Бондаренко В. І., Максимова Е. О., Овчинников М.П. Про технологію виробництва штучних газових гідратів // *Уголь України*. 2015. №12. С. 33–37.

24. Овчинников М. П., Гнущевич К. А., Сай К. С. Утилізація шахтного метану дегазацийних свердловин та його транспортування у твердому стані // *Геотехнічна механіка*. 2014. №115. С. 132–140.

25. Образование гидратов природного газа в дисперсном льду, стабилизированном наночастицами диоксида кремния / Л. С. Поденко, А. О. Драчук, Н. С. Молокитина, А. . Нестеров // *Криосфера Земли*. 2017. Т. XXI, №2. С. 43–51.

26. Скрипник О. В., Клименко В. В. Газогідратна технологія утилізації двооксиду вуглецю із сатураторного газу цукрового виробництва // *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2011. Вип. 24. Ч. І. С. 257–264.

27. Патент на винахід 121772 UA, МПК B01F 3/04, C10L 3/10. Спосіб отримання газових гідратів у лабораторних умовах / Абдуллах Н. М., Кутний Б.А.№ а 2017 11859; Заявл. 04.12.2017; Опубл. 27.07.2020, Бюл.№14.

28. Kutnyi B., Pavlenko A., Holik Y. Results of experimental studies into the dynamics of mass-exchange processes during synthesis of propane hydrate // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. №4/6 (100). P.16–24. 10.15587/1729-4061.2019.174555.

29. Кутний Б. А. Термодинамічні основи синтезу газових гідратів: монографія. Івано-Франківськ : Видавництво ІФНТУНГ, 2019. 230 с. ISBN 978-966-694-337-1.

30. Pavlenko A., Kutnyi B., Abdullah N. A study of phase transition processes features in liquid-gas systems // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. №4/5 (88). P. 43–50.

31. Pavlenko A., Kutnyi B., Holik Yu. Study of the effect of thermobaric conditions on the process of formation of propane hydrate // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. №5/5 (89). P. 43–50.

32. Павленко А.М., Кутний Б.А., Абдуллах Н.М. Аналіз умов утворення і дисоціації газових гідратів // Вісник приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. 2017. Вип.34. С.60–68.

33. Кутний Б. А., Павленко А. М., Абдуллах Н. М. Аналіз впливу розміру газопарової бульбашки на процес гідратоутворення // Холодильна техніка та технологія. Розділ 2. Енергетика та енергозбереження. 2017. Т.53, №3. С. 21–28. ISSN: 2409-6792

34. Kutniy B., Pavlenko A.M. Mathematical modeling of the thermodynamic process gas-steam bubbles // Academic journal Series: Industrial machine building, civil engineering. Poltava: PoltNTU, 2018. Is. 1 (50). P. 220–226. ISSN 2409-9074

35. Abdullah N., Kutnyi B. Influence of external factors on the process of hydrates development in laboratory conditions // Technology audit and production reserves. 2018. №4/1(42). P.39–45. ISSN 2226-3780

36. Кутний Б. А., Павленко А. М. Математичне моделювання фазовоперехідних процесів у газо-рідинних системах // Енергетика: економіка, технології, екологія : науковий журнал. 2018. №4. С. 105–114.

37. Kutnyi B., Pavlenko A. Experimental researches of the mass-exchange processes dynamics in the propane hydrate synthesis // Journal of New Technologies in Environmental Science. 2019. Vol.3, №2. P.76–83. ISSN 2544-7017

ІНТЕГРУВАННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ У ШУМОЗАХИСНІ ЕКРАНИ

Лежнева О. І., кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
Україна*

Lezhneva E., PhD, Assoc. Prof., Department of Ecology

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

Анотація. Дослідження присвячено оцінці різних типів шумозахисних екранів, що застосовуються для зниження рівня транспортного шуму. Головна мета полягає в розробці інженерної споруди для нейтралізації шкідливих речовин двигунів внутрішнього згоряння, відображення та поглинання звукових хвиль, забезпечення безпеки дорожнього руху та підвищення енергоефективності. Представлено досвід європейських країн щодо використання шумозахисних екранів з інтегрованими сонячними батареями. Надано види та конструктивні особливості сонячних батарей. Запропоновано модель комбінованого шумозахисного екрану з інтегрованими сонячними батареями, яку можна використовувати для захисту міського середовища від шуму, звукових хвиль та хімічних сполук двигунів внутрішнього згоряння. Комбінований шумоізоляційний екран із інтегрованими сонячними батареями являє собою інженерну конструкцію, що складається з фундаменту, звукопоглинальних, звуковідбивних модулів і сонячних елементів, що відрізняється тим, що має Y-подібний профіль, оснащений металевими перфорованими модулями, наповненими звукопоглинальними матеріалами (полімери органічного походження, композиційні матеріали, мінеральні волокна тощо) і звуковідбивними прозорими або напівпрозорими модулями, що встановлені на фундаменті з фотокаталітичного бетону, а енергія, отримана від сонячних панелей, передається на вуличні ліхтарі, які встановлюються на основу екрану. Винахід може бути використаний для захисту від шуму, звукових хвиль та хімічних сполук вихлопних газів двигунів внутрішнього згоряння міського середовища, житлових будинків та пішохідних зон.

Abstract. The article is devoted to the assessment of the noise load of road transport on the environment of large cities. The goal is to develop engineering structures to neutralize harmful substances from internal combustion engines, display and absorb sound waves, ensure road safety and improve energy

efficiency. The experience of European countries on the use of noise protection screens with integrated solar batteries is presented. The types and design features of solar panels are presented. A model of a combined noise protection barrier with integrated solar batteries is proposed. This screen can be used to protect the urban environment from noise, sound waves and chemical compounds of internal combustion engines. The combined noise barrier with integrated solar panels is an engineering structure consisting of a foundation, sound-absorbing, sound-reflecting modules and solar cells, which differs in that it has a Y-shaped profile equipped with metal perforated modules filled with sound-absorbing material (polymers of organic origin, composite materials, mineral fibers, etc.) and sound-reflecting transparent or translucent modules, installed on a foundation made of photocatalytic concrete, and the energy obtained from the solar panels is transferred to street lights, which are installed on the foundation of the screen. The invention can be used to protect against noise, sound waves and chemical compounds of exhaust gases of internal combustion engines of urban environment, residential buildings and pedestrian areas.

Вступ. Постійно зростаюча інтенсивність транспортних потоків щорічно супроводжується посиленням техногенного навантаження на населення сучасних міст. Із збільшенням кількості транспортних засобів та швидкості їх пересування вулицями значних міст світова спільнота визначила шум як один з головних чинників, що погіршують рівень життя людей. У порівнянні з Україною, міжнародне співтовариство знаходиться на багато кроків попереду у питаннях боротьби з транспортним шумом. Шумове забруднення навколишнього середовища є актуальною проблемою для більшості країн Європейського союзу, що мають розвинену інфраструктуру.

Роботи дослідників показали, що шум несприятливо впливає практично на всі системи організму людини, викликаючи в ньому як короткочасні, так і тривалі та стійкі функціональні зміни, що приводять до виникнення захворювань серцево-судинної, нервової і інших систем, а також ослабленню імунної системи організму [1]. Надмірний шум може стати причиною нервового виснаження, психічної пригніченості, вегетативного неврозу, виразкової хвороби, розладу ендокринної і серцево-судинної систем. Шум заважає людям працювати та відпочивати, знижує продуктивність праці і збільшує травматизм на виробництві й у побуті [2].

Проблема боротьби з міськими шумами тісно пов'язана з раціональним перетворенням міського середовища, яке повинно йти шляхом ліквідації або скорочення кількості джерел шуму, локалізації зони емісії шуму, зниження рівня звуку джерел і захисту від шуму місць перебування людини [3].

У даний час накопичений величезний практичний досвід застосування різноманітних шумозахисних заходів для зниження автотранспортного шуму. В Японії, США, Німеччині, Італії, Канаді, в Австралії, Швеції та інших країнах встановлені десятки тисяч кілометрів акустичних екранів. Японія, Франція і Німеччина використовують шумопоглинальне дорожнє покриття для зниження шуму шин автомобілів. Для зниження рівня звуку на шляху його поширення успішно використовуються насипи й зелені насадження. Розробка комплексу шумозахисту здійснюється відповідно до необхідного зниження рівня звуку, а вибір екранних споруд продиктований, в першу чергу, міркуваннями ефективності шумозахисних заходів і їх вартістю, а також вимогами безпеки, особливостями експлуатації та естетичним сприйняттям.

Мета дослідження полягає у розробці інженерної конструкції для абсорбування шкідливих речовин відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання, відображення та поглинання звукових хвиль, забезпечення умов безпеки дорожнього руху та підвищення енергоефективності.

У зв'язку з проблемою забезпечення людства енергоресурсами сьогодні потрібні нові джерела і кардинальні зміни у виробництві, розподілі, транспортуванні та споживанні енергії, що засновані на принципово нових технологіях. Все більш перспективним стає використання альтернативних джерел енергії, серед яких одну з лідируючих позицій утримує сонячна енергія.

Як показав зарубіжний досвід, повний потенціал використання сонячної енергії можна розкрити, якщо інтегрувати елементи сонячних батарей в різні будівельні конструкції, наприклад, у даху і стіни комерційних і промислових будівель. Також ефективним рішенням є поєднання сонячних батарей із шумозахисними екранами. Такий підхід дозволяє отримати ефективний захист від шуму разом із виробленням «чистої» електроенергії.

При проектуванні шумозахисних екранів із інтегрованими сонячними батареями зазвичай виникають такі проблеми [4]:

- затінення і низька інтенсивність сонячного випромінювання;
- забруднення і руйнування панелей сонячних батарей;
- фізичні обмеження для розміщення;
- вітрові навантаження;
- вандалізм і крадіжки.

До переваг використання шумозахисних бар'єрів із інтегрованими сонячними батареями відносять [5]:

- зменшення вартості сонячної батареї, так як в якості основи виступають шумозахисні екрани;

– подвійне використання земельних ресурсів, що дозволяє використовувати землю по краях дороги як для захисту від шуму, так і для виробництва електроенергії;

– позитивне сприйняття населенням;

– близьке розташування до районів, що потребують електроенергію і захист від шуму;

– позитивний вплив на екологічну ситуацію.

Для ефективного використання панелей сонячних батарей у шумозахисних екранах необхідно, щоб на кожен метр екрану доводилося від 1 до 5 квадратних метрів сонячної батареї. Слід зазначити, що замість шумозахисних екранів можна використовувати безпосередньо саму панель сонячної батареї, але при цьому для забезпечення необхідного захисту від шуму треба щоб кожен квадратний метр конструкції важив мінімум 25 кг [6]. У Мадридському інституті акустики був проведений експеримент, який показав, що панель сонцезахисної батареї з основою з кераміки дозволяє досягти зниження шуму в 32 дБ.

Перший успішний досвід застосування шумозахисних екранів із елементами сонячних батарей був реалізований у Швейцарії в 1989 році, після чого в ряді країн європейської співдружності також наслідували цей приклад.

На сьогоднішній день існує шість основних типів шумозахисних екранів із інтегрованими сонячними батареями [5].

Досвід експлуатації показав, що найбільшими показниками шумозахисту в порівнянні з іншими типами володіють екрани з розташованими зигзагом сонячними батареями, а так само з касетною і ступінчастою конфігурацією сонячних батарей. Варіант із установкою сонячних батарей зверху шумозахисного екрану зазвичай застосовується для удосконалення вже існуючих екранів, при цьому найбільший захист від шуму забезпечується в разі, якщо панелі сонячної батареї повернені в сторону дороги. До такого типу належить, наприклад, перший побудований екран з сонячною батареєю, який розташований у Швейцарії уздовж траси А13. Він включає в себе 2208 полікристалічних фотоелементів японської фірми Куосега загальною площею 968 м², спрямованих у бік проїжджої частини під кутом 45 градусів. Даний шумозахисний екран із інтегрованою сонячною батареєю виробляє 110000 кВтч на рік [7].

Ступінчаста установка сонячних батарей є недорогим способом удосконалення вже побудованих шумозахисних екранів, особливо в тих випадках, коли необхідно поліпшити показники захисту від шуму. Така конфігурація демонструє непогані шумозахисні показники, однак необхідно брати до уваги ефект самозатемнення, який може негативно позначитися на показниках вироблення електроенергії.

Двосторонні сонячні панелі здатні перетворити сонячну енергію, що потрапляє як на лицьову, так і на задню сторону панелі, і зазвичай використовуються в разі орієнтації дороги Північ-Південь. І при двосторонній і при вертикальній конфігурації (що використовується при орієнтації дороги Схід-Захід) панелі сонячних батарей можуть виступати безпосередньо в ролі шумозахисного екрану. Вимірювання показали, що вертикальні і двосторонні панелі сонячних батарей, які використовуються в якості шумозахисних екранів, мають такі ж шумозахисні властивості, як і звичайний екран.

Найбільше застосування в Європі отримали шумозахисні екрани з сонячними батареями, розташованими зигзагом або мають касетну конфігурацію. Їх високі шумозахисні якості досягаються завдяки використуванню матеріалів і куту нахилу самих панелей, який може варіюватися від 35 градусів до 75 градусів.

В Європі закріплена практика за якою шумозахисні екрани, що є основою для сонячних батарей знаходяться у веденні муніципальних властей, в той час як самі сонячні батареї належать енергетичним компаніям.

В основу запропонованої моделі комбінованого шумозахисного бар'єру поставлено завдання вдосконалити шумозахисний екран таким чином, щоб він виконував одночасно декілька завдань [9]:

- 1) абсорбція шкідливих речовин відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння;
- 2) відбивання звукової хвилі;
- 3) шумопоглинання;
- 4) дотримання умов безпеки дорожнього руху;
- 5) підвищена енергоефективність.

Поставлена мета досягається завдяки тому, що в інженерній споруді одночасно використовуються різні матеріали, а Y-образна конструкція шумозахисного екрану дозволяє зекономити на його висоті.

Дифракційні явища, що виникають на гранях екрану, суттєво впливають на його ефективність, особливо в області низьких частот. Тому, в конструкції шумозахисного екрану необхідно передбачити такі конструктивні елементи, які сприятимуть зменшенню розповсюдження вторинних (дифракційних) акустичних хвиль, що огинають екран та потрапляють до ділянки території, що захищається. Цій вимозі в повній мірі відповідає захисна інженерна конструкція Y-образного профілю із звукопоглинальною поверхнею (рис. 1).

Вибір такої форми шумозахисного екрану обумовлений:

- 1) можливістю зменшення дифракції на його кромці;

- 2) запобіганням утворення фронту відбитої звукової хвилі, що дає змогу не встановлювати захисний екран із протилежного боку автомобільної дороги;
- 3) можливістю підбору модулів екрану під заданий спектр транспортного шуму;
- 4) простотою монтажу та експлуатації.

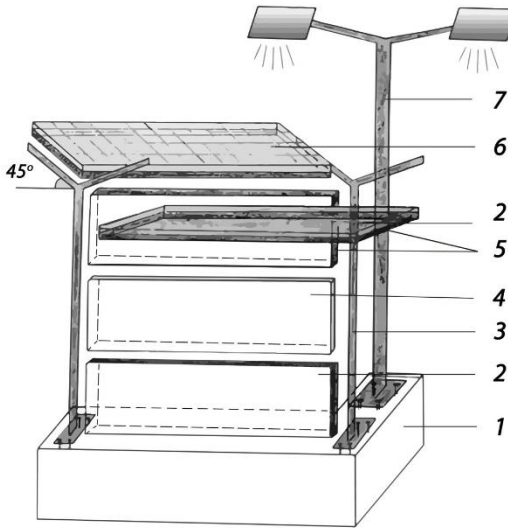


Рис.1. Конструктивний устрій складових елементів комбінованого шумозахисного екрану:

- 1 – абсорбуючий шар бетонної конструкції шумозахисного екрану;
- 2 – перфорований металевий модуль; 3 – опорні стійки;
- 4 – звуковідбивні прозорі модулі; 5 – звукопоглинальні матеріали;
- 6 – елементи сонячних батарей; 7 – ліхтарі вуличного освітлення.

Крім того, Y-образна конструкція шумозахисного екрану дозволяє зекономити на його висоті. Це є суттєвою перевагою для великогабаритних об'єктів захисту, наприклад, багатоповерхових споруд.

Ефективність використання запропонованого пристрою досягається наступним чином.

В абсорбуючий шар бетонної конструкції 1 додається каталізатор. Фотокаталітичний бетон виготовляється за технологією, згідно з якою в рецептуру бетону додаються наночастинки каталізатора – діоксиду титану (TiO_2). Під впливом ультрафіолетових променів сонячного світла діоксид

титану активує кисень у навколишньому повітрі. Кисень взаємодіє з оксидами азоту таким чином, що утворюються іони нітриту, які в свою чергу, взаємодіючи з вапном у цементі, перетворюються в нітрати й змиваються водою. Обсяг змитих нітратів настільки малий, що ним можна знехтувати. Додавання діоксиду титану в цемент покращує механічні властивості одержуваних бетонів. Фотокаталітична активність бетонів на основі діоксиду титану при регулярному чищенні активної поверхні зберігається через багато років після початку застосування.

На бетонній конструкції закріплюються опорні стійки 3 для розміщення звукопоглинальних і звуковідбивних модулів та сонячних батарей, верхня частина яких має Y-образну форму з кутом нахилу 45°.

У конструкції захисного екрану застосовуються звукопоглинальні матеріали 5 із метою зниження вторинних акустичних проявів транспортного потоку внаслідок відбиття акустичних хвиль від поверхні екрану у протилежний бік. В якості сировини для виробництва звукопоглинальних матеріалів можна застосовувати: полімери органічного походження, композиційні матеріали, мінеральні волокна та ін.

Із урахуванням того, що призначення захисного екрану полягає не тільки в зниженні акустичної складової впливу транспортних потоків на прилеглу територію, але й ступеня інгредієнтного забруднення, вибір наповнювача звукопоглинальних модулів здійснюється з урахуванням можливих абсорбційних якостей матеріалу. З урахуванням цього можливим є зниження ступеня загазованості не тільки на примігстральних територіях, але й безпосередньо в зоні руху автотранспортних потоків.

Таким вимогам задовольняють вуглецеві матеріали. В якості сировини для них можна використовувати будь-які речовини, що містять вуглець: целюлоза, торф, кам'яне вугілля, синтетичні полімерні матеріали та ін. Вуглецеві матеріали можуть бути у різних формах: гранульовані, волокнисті, пористі, плівкові.

Шум транспортного потоку є непостійним, тому звукопоглинальний матеріал повинний бути ефективним у широкій області частот. Ефективність звукопоглинального матеріалу в значній мірі обумовлюється низкою його характеристик, таких як товщина, питома площа поверхні пор, загальний обсяг наскрізних каналів, щільність та ін. Виходячи з міркувань зручності монтажу та подальшої експлуатації, доцільним є використання вуглецевих матеріалів у вигляді рулонних матеріалів із волокнистою структурою, а також у вигляді пористих плит. Для фіксації звукопоглинального матеріалу в модулі та попередженні його висипання із конструкції захисного екрану можна використовувати тканинні оболонки, які можуть бути виготовлені, наприклад, зі скляного або капронового волокна. З метою підвищення рівня

пожежної безпеки конструкції можливою є обробка тканинних оболонок антипіренами.

Звукопоглинальний матеріал розміщується в перфорованому металевому модулі 2, який забезпечує необхідну жорсткість конструкції.

У зв'язку з необхідністю забезпечення зорового комфорту мешканців сельбищної зони та достатньої видимості водіїв шумозахисні екрани доцільно виконувати прозорими, але це погіршує їх захисні властивості. В даній моделі пропонується комбінувати світлопрозорі та звукопоглинальні модулі.

Для того, щоб не перешкоджати огляду користувачам дороги, мешканцям, знизити відчуття замкнутості простору, стомлюваність водіїв і пасажирів, тим самим забезпечити умови безпеки дорожнього руху, в конструкцію шумозахисного бар'єру рекомендується додавати прозорі панелі 4. Для цього можна використовувати прозорі матеріали – монолітне поліметилметакрилатне скло, а також напівпрозорі – полікарбонат.

Повний потенціал сонячної енергії можна розкрити, якщо інтегрувати елементи сонячних батарей 6 в інженерні конструкції. Ефективним вирішенням є поєднання сонячних батарей з шумозахисними екранами. Такий підхід дозволяє отримати ефективний захист від шуму разом з виробленням «чистої» електроенергії.

Універсальність конструкції захисного екрану, що пропонується, підтверджується тим, що він може бути придатним для розміщення ліхтарів вуличного освітлення 7, в яких джерелом живлення є сонячні батареї, що розташовуються в верхній частині бар'єру. Така комбінація є економічно доцільною як із боку капіталовкладень на будівництво системи зовнішнього освітлення, так і з боку його енергоефективності.

Розроблена корисна модель може бути використана для захисту від шуму, звукових хвиль та хімічних сполук відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння міського середовища, житлових будівель та пішоходних зон.

Таким чином, комбінований шумозахисний бар'єр з інтегрованими сонячними батареями, представляє інженерну споруду, що складається з фундаменту, звукопоглинальних, звуковідбивних модулів та елементів сонячних батарей, який відрізняється тим, що має Y-образний профіль, оснащений металевими з перфорацією модулями, заповненими звукопоглинальним матеріалом (полімери органічного походження, композиційні матеріали, мінеральні волокна, тощо) та звуковідбивними прозорими або напівпрозорими модулями, встановлений на фундамент із фотокаталітичного бетону, причому енергія, отримана від сонячних батарей, передається до ліхтарів вуличного освітлення, також встановлених на цьому фундаменті.

Використані інформаційні джерела:

1. Murphy E., King T. Environmental Noise Pollution, Noise Mapping, Public Health and Policy. University of Hartford, CT, Elsevier Inc., 282, 2014.
2. James P. Noise Pollution. Advanced Air and Noise Pollution Control, 2, 441–452, 2005.
3. Lezhneva E., Vakulenko K., Galkin A. Assessing of traffic noise pollution of road transport in urban residential. Romanian Journal of Transport Infrastructure. Article №2, Romanian Journal of Transport Infrastructure, Vol. 8, 2019, №1. P. 34–52.
4. PV in Non Building Structures a design guide. Task 7. Report IEA PVPS T7-02:2000. April 2001.
5. Photovoltaic noise barrier – Canada. Dorothy Remmer, Jose Rocha. August 2008.
6. PV soundless – world record «along the highway» – a PV sound barrier with 500 kwp and ceramic based PV modules M. Grottke, T. Suker, R. Eyraş, J. Goberna, O. Perpina, A. Voigt, A. Thiel and K. Kellner. September 2003.
7. Results of the monitoring programmer N.J.C.M. van der Borg M. J. Jansen. February 2003.
8. Singh N., Davar S. Noise pollution-sources, effects and control. Journal of Human Ecology, 16(3), 181–187, 2004.
9. Патент України №136314, 12.08.2019 Комбінований шумозахисний бар'єр з інтегрованими сонячними батареями / Лежнева О.І.

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ З
УРАХУВАННЯМ ЕКОЛОГІЧНИХ, ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА
СТРУКТУРНИХ ФАКТОРІВ
В ЕКОНОМІЦІ НА ІЄРАРХІЧНИХ РІВНЯХ**

**METHOD OF FORECASTING ENERGY CONSUMPTION LEVELS
TAKING INTO ACCOUNT ECOLOGICAL, TECHNOLOGICAL AND
STRUCTURAL FACTORS IN THE ECONOMICS ON HIERARCHICAL
LEVELS**

Майстренко Н. Ю., кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник

Інститут загальної енергетики НАН України, Україна

Maistrenko N. Yu., Candidate of Technical Sciences (PhD),
Senior Researcher

*Institute of General Energy of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Ukraine*

Анотація. Попит на паливно-енергетичні ресурси, в тому числі на електроенергію, на будь-якому ієрархічному рівні побудови економіки визначається за методикою прогнозування рівнів енергоспоживання з урахуванням екологічних, технологічних та структурних факторів. Дія цих факторів охоплює більшість складових, що впливають на енергоспоживання в економіці України на середньостроковий та довгостроковий термін. Методика є частиною уточненого нормативного методу, що використовується в методах комплексного прогнозування для основних груп споживачів на різних ієрархічних рівнях побудови економіки. Вона враховує потенціали енергозбереження від екологічних обмежень та структурних і технологічних зрушень в економіці. Потенціал енергозбереження поділяється на міжсекційний, внутрішньосекційний, технологічний та екологічно обмежений. Останній введений вперше та уточнює споживання енергоресурсів від рівня підприємства (технології) до рівня країни в допустимих межах за діючим екологічним законодавством.

Ключові слова: методика, попит, рівні споживання енергоресурсів, прогнозування, потенціал енергозбереження, екологічно обмежений потенціал енергозбереження, електрична енергія.

Abstract. Demand for fuel and energy resources, including electricity, at any hierarchical level of economic development is determined by the method of forecasting energy consumption levels taking into account environmental, technological and structural factors. The effect of these factors covers most of the components that affect energy consumption in Ukraine's economy in the medium and long term. The methodology is part of a refined regulatory method used in integrated forecasting methods for major consumer groups at different hierarchical levels of economic construction. It takes into account the potential for energy savings from environmental constraints and structural and technological changes in the economy. Energy saving potential is divided into intersectional, intrasectional, technological and environmentally limited. The latter was introduced for the first time and clarifies the consumption of energy resources from the level of the enterprise (technology) to the level of the country within acceptable limits under current environmental legislation.

Key words: methodology, demand, levels of energy consumption, forecasting, energy saving potential, ecologically limited energy saving potential, electric energy.

Метод комплексного прогнозування попиту на енергоресурси розроблений в Інституті загальної енергетики НАН України [1]. Він використовує на першому етапі прогнозування нормативний метод. Його складовою частиною є методика прогнозування рівнів енергоспоживання з урахуванням екологічних, технологічних та структурних факторів в економіці України на ієрархічних рівнях. Вона враховує загальний потенціал енергозбереження (від структурних і технологічних зрушень та екологічно обмежений) в секціях, розділах, групах, класах економіки, у виробництві (наданні послуг) у видах економічної діяльності (ВЕД) та країні в цілому за чинним класифікатором видів економічної діяльності КВЕД-2010. Цей класифікатор відображає ієрархічний поділ економіки України. Актуальність дослідження полягає в необхідності розробки методології прогнозування попиту на паливно-енергетичні ресурси в умовах воєнних, економічних та екологічних викликів сьогодення, значного обмеження ресурсів, різкого зростання їх вартості, відтоку трудових ресурсів за межі держави, складності логістичних рішень та підвищення ролі їх ефективного використання. Новизною роботи є врахування екологічних обмежень при прогнозуванні попиту на енергетичні ресурси. Введено поняття екологічно обмеженого потенціалу енергозбереження, який враховує зміни в енергоспоживанні, що викликані запровадженням екологічних обмежень в секціях економіки для забезпечення її сталого розвитку. Метою проведеного дослідження є вдосконалення прогнозування попиту на енергетичні ресурси шляхом уточнення методики прогнозування рівнів енергоспоживання з

урахуванням екологічних, технологічних та структурних факторів в економіці на ієрархічних рівнях. У методику також включено діюче екологічне законодавство стосовно обмеження викидів забруднюючих речовин та парникових газів на прогностний період, у подальшому можливо додати зміни для посилення екологічного захисту довкілля.

Для розрахунку рівнів споживання паливно-енергетичних ресурсів за видами економічної діяльності та в економіці країни в цілому виділено групи показників енергетичної ефективності [2]: 1-й рівень: – макрорівень – країна: енергоємність валового внутрішнього продукту (ВВП), енергоємність валової доданої вартості без врахування податків на продукти та субсидій на продукти (ВДВ разом), енергоємність випуску продукції на рівні країни; 2-й рівень: – мезорівень 1 – секції за видами економічної діяльності (ВЕД): енергоємність валової доданої вартості (ВДВ) за ВЕД, енергоємність випуску продукції на рівні ВЕД; 3-й рівень: – мезорівень 2 – розділи (групи, класи) за ВЕД: енергоємність випуску продукції на рівні групи або класу продукції; 4-й рівень: – мікрорівень – продукція по енергоємних видах продукції, товарів і послуг, енергоємність випуску продукції на рівні підприємства або окремої технології, якщо на підприємстві використовується декілька технологій (технологічних переділів).

На рівні країни (1-й рівень: – макрорівень) обсяги сумарного прогностного споживання ПЕР можуть визначатись за видами економічної діяльності та для населення:

$$P_s^t = \sum_q P_q^t + P_{нас}^t$$

де q – вид економічної діяльності за діючим класифікатором; $P_{нас}^t$ – прогноз споживання ПЕР населенням (визначається за окремою

методикою); $\sum_q P_q^t$ – сумарне енергоспоживання за видами економічної діяльності (ВЕД), яке визначається за формулою:

$$\sum_q P_q^t = \sum_q e_{ВДВq}^{\delta} V_{ВДВq}^t - \sum_q \Delta E_q^t \pm \sum_q \Delta A$$

де $e_{ВДВq}^{\delta}$ – енергоємність ВДВ q -го виду економічної діяльності;

$V_{ВДВq}^t$ – обсяг ВДВ у прогностному році, що задається прогностною

структурою ВДВ; $\sum_q \Delta E_q^t$ – сумарний прогностний потенціал

енергозбереження у t-му році по всіх q-тих видах економічної діяльності у прогнозованому році для всієї економіки:

$$\sum_q \Delta E_q^t = \sum_q \Delta E_q^{\text{міжс}} + \sum_q \Delta E_r^t,$$

де $\sum_q \Delta E_q^{\text{міжс}}$ – прогнозний потенціал енергозбереження у t-му році від міжсекційних структурних зрушень, $\sum_q \Delta E_r^t$ – прогнозний потенціал енергозбереження у t-му році, що враховується на нижчих ступенях

побудови економіки; $\sum_q \Delta A$ – прогнозний потенціал енергозбереження у t-му році від врахування екологічних обмежень, що визначаються на нижчих ступенях побудови економіки. Знак \pm означає, що екологічні обмеження можуть сприяти виробництву (наданню послуг) або зменшувати його обсяги до прийнятних в екологічному розумінні величин, тобто величина додатна означає перевитрати за рахунок впровадження екологічних обмежень, або від’ємна – потенціал енергозбереження.

За необхідності прогноз споживання паливно-енергетичних ресурсів для економіки, що має у своєму складі експортно-орієнтовані види продукції та послуг, може визначатись як сума прогновної потреби в ПЕР для забезпечення внутрішнього ринку та зовнішнього попиту в товарах і послугах.

Прогнозний випуск продукції у t-му включає обсяги, призначені для внутрішнього споживання $V_{\text{вн}}^t$ та на експорт $V_{\text{екс}}^t$:

$$V^t = \alpha V_{\text{вн}}^t + \beta V_{\text{екс}}^t,$$

де α і β – коефіцієнти, що обмежують виробництво (надання послуг), розраховуються згідно чинного екологічного законодавства, щоб не перевищити допустимі обсяги викидів забруднюючих речовин та парникових газів. Формуються на рівні виробництва (надання послуг) екологічними обмеженнями по обсягу випуску продукції.

Сукупний попит на паливо або енергію j-го виду у t-му році на виробництво k-того виду продукції можна записати так:

$$P_{jk}^t = \alpha \sum_k P_{\text{вн}jk}^t + \beta \sum_k P_{\text{екс}jk}^t,$$

де $\sum_k P_{енjk}^t$ – внутрішній попит на j-й вид палива або енергії, що визначається потребою k-тих споживачів у цьому виді палива або енергії для забезпечення потреби внутрішнього ринку у t-му році; $\sum_k P_{екскjk}^t$ – зовнішній попит на j-й вид палива або енергії, який дорівнює витратам j-того виду палива або енергії на виробництво експортної продукції k-того виду у t-му році.

Внутрішній попит на певний вид j-того палива чи енергії на рівні економіки складається з потреби у певному виді палива для виробництва k-тої продукції (в т.ч. енергоносіїв: електричної і теплової енергії, води, повітря, ін.) або наданні послуг, який визначається сумою надходження палива власного видобутку або власного виробництва продуктів переробки палива з імпоротної сировини та імпортних видів палива і продуктів їх переробки, а обраховується через наскрізну енергоємність j-того виду енергоресурсу на виробництво одиниці продукції k-того виду:

$$P_{енjk}^t = \sum_k e_{ВДВjk}^t V_{енk}^t \pm \sum_k \Delta A_{ен}$$

де $e_{ВДВjk}^t$ – енергоємність ВДВ j-того виду енергоресурсу на виробництво одиниці продукції за k-тим ВЕД у t-му році відповідно; $V_{енk}^t$ – обсяг продукції k-того ВЕД для внутрішнього споживання, який визначається через споживання продукту на 1 особу або групу населення (кількість сімей чи 1000 осіб):

$$V_{енk}^t = g_k^t N^t$$

де g_k^t – споживання на особу k-тої продукції у країні у t-му році; N^t – чисельність населення країни у t-му році або груп населення, для яких виконувалось статистичне спостереження; $\pm \sum_k \Delta A_{ен}$ – обсяг прогнозного потенціалу енергозбереження у t-му році від врахування екологічних обмежень k-того ВЕД для внутрішнього споживання.

Зовнішній попит на j-тий вид палива або енергії, який дорівнює витратам j-того виду палива або енергії на виробництво експортної продукції k-того виду у t-му році, складається з потреби у певному виді палива для виробництва продукції (в т.ч. енергоносіїв: електричної і теплової енергії, води, повітря, ін.) за k-того ВЕД, який визначається сумою надходження палива власного видобутку або власного виробництва

продуктів переробки палива з імпортової сировини та імпортованих видів палива і продуктів їх переробки, та співвідношення цін зовнішнього і внутрішнього ринку або їх індексів:

$$P_{ексjk}^t = \sum_k e_{ВДВjk}^t V_{екск}^t \frac{I_{екск}}{I_{вск}} \pm \sum_k \Delta A_{екс}$$

де $V_{екск}^t$ – обсяг продукції k-того виду для зовнішнього споживання, $I_{екск}$ – експортні ціни на продукцію або їх індекси, тис. або млн грн, тис. або млн дол. США, або % чи частка, $I_{вск}$ – внутрішні ціни на продукцію або їх індекс, що склалась в економіці, тис. або млн грн, тис. або млн дол. США, $\pm \sum_k \Delta A_{екс}$ – обсяг прогнозного потенціалу енергозбереження у t-му році від врахування екологічних обмежень k-того ВЕД для зовнішнього споживання.

На 2-му рівні (мезорівень 1) для q секцій економіки обсяги прогнозного споживання ПЕР можуть визначатись за видами економічної діяльності:

$$P_q^t = \sum_r P_r^t$$

де r – вид економічної діяльності, що входить до секцій за діючим класифікатором; $\sum_r P_r^t$ – сумарне енергоспоживання у секції за видами економічної діяльності (ВЕД) r, яке визначається за формулою:

$$\sum_r P_r^t = \sum_r e_{ВДВr}^{\delta} V_{ВДВr}^t - \sum_r \Delta E_r^t \pm \sum_r \Delta A_r$$

де $e_{ВДВr}^{\delta}$ – енергоємність ВДВ r-того виду економічної діяльності в базовому році, що входить до певної секції; $V_{ВДВr}^t$ – обсяг ВДВ у прогнозованому році для секції, що задається прогнозовою структурою ВДВ; $\sum_r \Delta E_r^t$ – сумарний прогнозний потенціал енергозбереження у t-му році по всіх r-тих видах економічної діяльності для секції, $\pm \sum_r \Delta A_r$ – обсяг прогнозного потенціалу енергозбереження у t-му році від врахування екологічних обмежень r-того ВЕД.

За видами економічної діяльності визначають рівні кінцевого споживання енергії, які використовують для обчислення сумарного енергоспоживання для рівня 1 і рівня 2 :

$$P_{ke}^t = e_{ВДВ, j}^t V_{ВДВ, r}^t,$$

де $e_{ВДВ, j}^t$ – енергоємність ВДВ j-того виду енергії (паливоємність, теплоємність, електроємність) r-того виду економічної діяльності у t-му році для всієї економіки або секції економіки, кг у.п./грн.;

$V_{ВДВ, r}^t$ – прогнозний обсяг валової доданої вартості r-того виду економічної діяльності у t-му році для всієї економіки або секції економіки, тис. грн/рік.

Прогнозний обсяг виробництва k-того виду продукції у t-му році на рівні секцій включає обсяги, призначені для внутрішнього споживання $V_{внк}^t$

та на експорт $V_{екск}^t$. Методологія обчислення аналогічна обчисленню на рівні країни, з відповідною заміною індексів. Відповідно прогноз споживання паливно-енергетичних ресурсів для рівня секцій, що мають у своєму складі експортно-орієнтовані види продукції та послуг, має визначатись як сума прогнозної потреби у ПЕР для забезпечення внутрішнього ринку та зовнішнього попиту в товарах і послугах із врахуванням коефіцієнтів α і β , що обмежують виробництво (надання послуг) згідно чинного екологічного законодавства.

Аналогічно методичним підходам до визначення обсягів прогнозного споживання паливно-енергетичних ресурсів на 2-му рівні (мезорівень 1) для секцій економіки г можна запропонувати визначення обсягів прогнозного споживання ПЕР на 3-му рівні: мезорівень 2 – розділи (групи, класи) за видами економічної діяльності. Для розділів або (груп, класів) використовується не енергоємність ВДВ k-того виду економічної діяльності, що входить до певної секції, а енергоємність випуску продукції на рівні k-тих розділів, груп, класів:

$$\sum_k P_{kr}^t = \sum_k e_{kr}^{\delta} V_{kr}^t - \sum_k \Delta E_{kr}^t \pm \sum_k \Delta A_{kr}$$

де P_{kr}^t – рівень прогнозного споживання паливно-енергетичних

ресурсів відповідної групи продукції, e_{kr}^{δ} – енергоємність випуску продукції базового року, що входить до певних розділів, груп, класів; V_{kr}^t –

обсяг випуску продукції, що входить до певних розділів, груп, класів та

задається прогнозом випуску продукції; $\sum_k \Delta E_{kr}^t$ – сумарний прогнозний потенціал енергозбереження у t-му році по певних розділах, групах, класах,

$\pm \sum_k \Delta A_{kr}$ – прогнозований потенціал енергозбереження у t-му році від врахування екологічних обмежень відповідної продукції (надання послуг), що входить до певних розділів, груп, класів.

Витрати палива (електроенергії, теплоенергії) для k-того виду продукції в розділах (групах, класах) P_{kr}^t перераховуються в умовне паливо,

$$\frac{I_{екскr}}{I_{вкр}} \geq 1$$

визначається енергоємність k-того виду продукції (за умови $\frac{I_{екскr}}{I_{вкр}}$, тобто співвідношення експортних і внутрішніх цін більше (або дорівнює) одиниці):

$$e_{kr}^{\bar{o}} = \frac{P_{kr}^{\bar{o}}}{V_{kr}^{\bar{o}}},$$

де $\sum_k \Delta E_{kr}^t$ – сумарний потенціал енергозбереження k-того виду продукції певного ВЕД, що на рівні розділу (групи, класу) включає

$$\sum_k \Delta E_{krer}^{mex}$$

технологічний потенціал енергозбереження та потенціал енергозбереження від внутрішньосекторних структурних зрушень у розділі

(групі, класі) $\sum_k \Delta E_{krer}^{внс}$:

$$\sum_k \Delta E_{kr}^t = \sum_k \Delta E_{krer}^{mex} + \sum_k \Delta E_{krer}^{внс}$$

Також слід зазначити, що на рівні розділу (групи, класу) заходи з енергозбереження надають певним підприємствам диференційну ренту в порівнянні з іншими, що працюють без відповідних заходів.

Сукупний попит визначається для третього рівня:

$$P_{jkr}^t = \alpha \sum_k P_{внjk}^t + \beta \sum_k P_{ексjkr}^t$$

де α і β – коефіцієнти визначаються на рівні виробництва (надання послуг) екологічними обмеженнями по обсягу випуску згідно чинного

екологічного законодавства з врахуванням граничних обсягів викидів забруднюючих речовин та парникових газів.

Відповідно прогноз споживання паливно-енергетичних ресурсів для рівня розділів (групи, класу), що мають у своєму складі експортно-орієнтовані види продукції та послуг, буде визначатись аналогічно рівню 2, але внутрішні ціни на продукцію або їх індекси, які складаються на рівні секції, можуть відрізнятись від відповідних цін у розділі (групі, класі), бо наповнення продукцією вищого рівня більше, ніж у розділі (групі, класі), оскільки в меншій частці не враховані обсяги додаткового виробництва, що є в секції та в секціях на рівні країни. Це пояснюється наповненням кожної секції додатковим, не врахованим в основному виді діяльності виробництвом певної продукції (спостерігається не в усіх секціях, розділах, групах, класах).

Для 4-го рівня (мікрорівень): прогноз рівня споживання (палива, електроенергії, теплоенергії) j -того виду паливно-енергетичних ресурсів на виробництво k -тої продукції у t -му році для енергоємних видів продукції визначається за формулою:

$$P_{jk}^t = \sum_k p_k V_k^t$$

де p_k – питомі витрати палива (електроенергії, теплоенергії) k -того виду продукції: кг у.п./т, Мкал/т, кВт·год/т; V_k^t – обсяг k -того виду продукції, тис.т або млн т.

Витрати палива (електроенергії, теплоенергії) k -того виду продукції P_{jk}^t перераховуються в умовне паливо, визначається наскрізна

$$\frac{I_{exckr}}{I_{vckr}} \geq 1$$

енергоємність k -того виду продукції, (за умови $\frac{I_{exckr}}{I_{vckr}} \geq 1$, тобто співвідношення експортних і внутрішніх цін більше (або дорівнює) одиниці):

$$e_{kn}^{\bar{o}} = \frac{P_{jk}^t}{V_k^t}$$

та наскрізні енерговитрати k -того виду продукції:

$$P_{kn} = \sum_k e_{kn} V_k^t$$

Енерговитрати на експортну продукцію обчислюються за наскрізною енергоємністю:

$$P_{exk}^t = \sum_k e_{kn} V_{exk}^t$$

Прогнозні рівні кінцевого споживання видів палива (енергії) на експортну продукцію за видами продукції, з врахуванням потенціалу енергозбереження можна описати залежністю:

$$P_{exk}^t = \sum_k e_{kn} V_{exk}^t - \sum_k \Delta\Pi_k \pm \sum_k \Delta A_{exk}$$

де $\sum_k \Delta\Pi_k$ – сумарний потенціал енергозбереження k-того виду продукції певного ВЕД, що на рівні виробництва включає технологічний потенціал енергозбереження по кожній технології m або виду виробництва

$\sum_k \Delta E_{kper}^{max} = \sum_k \Delta\Pi_k \pm \sum_k \Delta A_{exk}$ k; – екологічно обмежений потенціал енергозбереження для експортних видів продукції по кожній технології m або виду виробництва k, тобто екологічні обмеження можуть підвищувати обсяг виробництва (надання послуг) або зменшувати його до прийнятних в екологічному розумінні величин, тут за рахунок впровадження екологічних обмежень можуть бути перевитрати зі знаком «+», чи потенціал енергозбереження зі знаком «-».

Також необхідно зазначити, що на рівні випуску експортної продукції, кожне підприємство матиме свій певний потенціал енергозбереження, реалізуючи який, отримуватиме додаткові кошти у вигляді ренти. Відповідно, прогноз споживання паливно-енергетичних ресурсів для виробництв, що мають у своєму складі експортно-орієнтовані види продукції та послуг, має визначатись як сума прогнозованої потреби у ПЕР для забезпечення внутрішнього ринку та зовнішнього попиту у товарах і послугах, причому, кожне підприємство буде діяти згідно з своїм фінансовим планом із метою отримання максимального прибутку. Сукупний попит на паливо або енергію j-того виду у t-му році на виробництво k-того виду продукції на цьому рівні визначається аналогічно попередньому.

Внутрішній попит на певний j-тий вид палива чи енергії складається з потреби у певному виді палива для виробництва k-тої продукції (в т.ч. енергоносіїв: електричної і теплової енергії, води, повітря, ін.) або наданні послуг, який визначається сумою надходження палива власного видобутку або власного виробництва продуктів переробки палива з імпоротної сировини та імпортованих видів палива і продуктів їх переробки:

$$P_{enjk}^t = \sum_k e_{ijk}^t V_{enjk}^t \pm \sum_k \Delta A_{enjk}$$

де e_{ijk}^t – наскрізна енергоємність j-того виду енергоресурсу на виробництво одиниці продукції k-того виду у t-му році відповідно; V_{enik}^t – обсяг продукції k-того виду для внутрішнього споживання. $\pm \sum_k \Delta A_{enik}$ – обсяг прогнозного потенціалу енергозбереження у t-му році від врахування екологічних обмежень по продукції k-того виду для внутрішнього споживання.

Зовнішній попит на j-тий вид палива або енергії, який дорівнює витратам j-того виду палива або енергії на виробництво експортної k-тої продукції у t-му році, обраховується з врахуванням співвідношення цін зовнішнього і внутрішнього ринку або їх індексів:

$$P_{exjk}^t = \sum_k e_{ijk}^t V_{exk}^t \frac{I_{exk}}{I_{vck}} \pm \sum_k \Delta A_{exk}$$

де V_{exk}^t – обсяг продукції k-того виду для зовнішнього споживання, I_{exk} – експортні ціни на продукцію або їх індекси, тис. або млн. грн, тис. або млн. дол. США, або % чи частка, I_{vck} – внутрішня ціна на продукцію або її індекс, що склалась конкретно на кожному підприємстві, тис. або млн. грн,

$\pm \sum_k \Delta A_{exk}$ – обсяг прогнозного потенціалу енергозбереження у t-му році від врахування екологічних обмежень по продукції k-того виду для зовнішнього споживання. Слід зауважити, що по кожному виду продукції k чи технології m екологічно обмежений потенціал енергозбереження для видів продукції:

$$\sum_k \Delta A_k = \sum_k \Delta A_{enik} + \sum_k \Delta A_{exk}$$

Показник обсягу продукції для внутрішнього споживання може розраховуватись і за іншими показниками, крім споживання на особу, залежно від специфіки виду продукції.

Критерії для вибору видів продукції при визначенні рівнів споживання ПЕР для експортно-імпортних операцій у промисловому виробництві описані у [3].

Висновки. Уточнена методика прогнозування рівнів енергоспоживання з урахуванням екологічних, технологічних та структурних факторів в економіці на ієрархічних рівнях вдосконалює процес

прогнозування попиту на енергетичні ресурси на рівні країни та на нижніх рівнях для подальшого застосування комплексним методом. На кожному рівні структурування економіки можливо врахувати як загальний потенціал енергозбереження (обчислити економію або перевитрати ПЕР), так і його складові: технологічний, міжсекційний, внутрішньосекційний та екологічно обмежений потенціал енергозбереження.

Використані інформаційні джерела:

1. Кулик М. М., Маляренко О. Є., Майстренко Н. Ю., Станиціна В. В., Спітковський А.І. Застосування методу комплексного прогнозування для визначення перспективного попиту на енергетичні ресурси. Проблеми загальної енергетики. 2017. Вип. 1 (48). С.5–15.

<https://doi.org/10.15407/pge2017.01.005>

2. Майстренко Н. Ю., Сизоненко В. П. Вплив заміни класифікатора видів економічної діяльності на розрахунки рівнів споживання паливно-енергетичних ресурсів Проблеми загальної енергетики. 2014. Вип. 2 (37). С.35–45.

3. Майстренко Н. Ю., Маляренко О. Є. Методика прогнозування рівнів споживання енергетичних ресурсів у харчовій промисловості з урахуванням економічних факторів попиту і пропозиції та експортних можливостей // Розвиток національної економіки: теорія і практика : Мат. міжн. наук.-прак. конф. 3-7 квітня 2015 р. Івано-Франківськ: ДВНЗ «Прикарпатський нац. ун-т ім. В. Стефаника, 2015. Ч.3. С. 390–391.

4. Маляренко О. Є., Майстренко Н. Ю., Станиціна В. В. Обґрунтування прогнозних обсягів потенціалу енергозбереження в укрупнених секторах економіки з урахуванням технологічних і структурних зрушень // Проблеми загальної енергетики. 2016. Вип. 4(47). С.58–67.

5. Майстренко Н. Ю. Удосконалена чотирьохрівнева методика прогнозування рівнів енергоспоживання з урахуванням структурних зрушень в економіці // Проблеми загальної енергетики. 2017. Вип. 3(50). С.15–22. <https://doi.org/10.15407/pge2017.03.015>

6. Майстренко Н. Ю. Прогнозування рівнів споживання ПЕР у переробній промисловості з урахуванням загального структурного потенціалу енергозбереження // Проблеми загальної енергетики. 2018. Вип. 1(52). С.32–40. <https://doi.org/10.15407/pge2018.01.032>

7. Куц Г. О., Маляренко О. Є., Майстренко Н. Ю., Станиціна В. В. Визначення прогнозного попиту на теплову енергію комплексним методом з урахуванням потенціалу енергозбереження // Проблеми загальної енергетики. 2018. Вип. 3(54). С.10–15.

8. Майстренко Н. Ю. Прогнозування попиту на паливно-енергетичні ресурси у енергоємних виробництвах харчової промисловості з урахуванням

потенціалу енергозбереження // Проблеми загальної енергетики. 2018. Вип. 4(55). С.11–16. <https://doi.org/10.15407/pge2018.04.011>

9. Малярєнко О. Є., Майстрєнко Н. Ю., Панченко Г. Г. Прогнозна оцінка зменшення викидів парникових газів від використання вугілля в економіці України // Проблеми загальної енергетики. 2021. Вип. 1(64). С.60–67.

ДЖЕРЕЛА НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ТЕПЛОТИ ДЛЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК

LOW-GRADE HEAT SOURCES FOR HEAT PUMP PLANTS

Тесленко О. І., кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник, **Дерій В. О.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник, **Соколовська І. С.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

*Інститут загальної енергетики Національної академії наук України,
Україна*

Teslenko O. I., Candidate of Technical Sciences (PhD), Leading Researcher, **Derii V. O.**, Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Scientist, Senior Researcher, **Sokolovska I. S.**, Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Researcher

*Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Ukraine*

Анотація. Проведені дослідження показали, що в розвинутих країнах Європи для теплонасосних установок використовуються джерела низькопотенційної теплоти як природного, так і антропогенного походження. Встановлено, що в умовах великих міст України для теплонасосних установок централізованого теплопостачання найбільш доцільно використовувати теплоту антропогенного походження: вентиляційних викидів будівель, під'єднаних до цих систем, стічних вод, димових газів котелень та ТЕЦ, технологічних вод, викидів та скидів промислових підприємств, що дасть можливість знизити негативний вплив на довкілля. Використання низькопотенційної теплоти теплонасосними установками для централізованого теплопостачання: зовнішнього повітря знайде застосування в теплих районах України; природних водойм буде помірним через обмежену доступність до них; ґрунтів та ґрунтових вод не знайде широкого застосування через щільність міських забудов. Скидна вентиляційна теплота супермаркетів, торгово-розважальних центрів та метрополітенів буде використана не для централізованого теплопостачання, а для власних потреб цих організацій.

Ключові слова: теплова енергія, джерело низькопотенційної теплоти, тепловий насос, централізоване теплопостачання.

Abstract. *Studies have shown that low-grade heat sources of both natural and anthropogenic origin are used for heat pump plants in developed European countries. It is established that heat of anthropogenic origin – ventilation emissions of buildings connected to district heating systems, wastewater, flue gases of boilers and CHP, process water, emissions and discharges of industrial enterprises – is most expedient to use for heat pump plants of district heating in the conditions of large cities in Ukraine. It will reduce the negative impact on the environment. The use of low-grade heat sources by heat pump plants for district heating: outdoor air will be used in warm areas of Ukraine, natural reservoirs will be used moderately due to limited access to them, soil and groundwater will not be widely used due to the density of urban development. Exhaust ventilation heat of supermarkets, shopping malls, and subways will be used not for district heating, but for the own needs of these organizations.*

Key words: *thermal energy, low-grade heat source, heat pump, district heating.*

Однією із умов забезпечення сталого розвитку світового суспільства є мінімізація антропогенного впливу на довкілля, зокрема, шляхом суттєвого зменшення споживання викопного вуглецевмісного палива та широкомасштабного впровадження безпаливних технологій виробництва енергії. Міжнародне енергетичне агентство (англ. International Energy Agency, IEA) та Міжнародне агентство з відновлювальної енергії (англ. International Renewable Energy Agency, IRENA) в своїх звітах [1, 2, 3] щодо низьковуглецевого розвитку систем теплопостачання прогнозують в 2050 р. зростання загальної кількості теплових насосів (ТН) у світі до 1,8 млрд. установок, частка яких у загальному виробництві теплової енергії для обігріву становитиме 55%. Також наголошується на подальшому домінуючому впровадженні парокомпресійних ТН, які використовуватимуть електричну енергію від «вуглецевочистих» сонячних, вітрових і гідралічних електростанцій та низькопотенційну теплову енергію доквілля, промислових та комунально-побутових вторинних енергетичних ресурсів. Ця обставина створює важливий технологічний важіль для впровадження безвуглецевої теплової енергетики майбутнього без викидів забруднюючих речовин та парникових газів в атмосферу, які притаманні існуючим технологіям з використанням викопного палива.

У 2020 р. була оприлюднена Стратегія ЄС щодо секторальної інтеграції енергетичних систем [4], яка забезпечить зв'язок різних носіїв енергії (електроенергії, тепла, холоду, газоподібного, твердого та рідкого палива) між собою та з секторами кінцевого використання, такими як будівлі, транспорт чи промисловість. Зв'язування секторів та носіїв енергії

дозволить оптимізувати енергетичну систему в цілому, а не декарбонізувати та окремо підвищувати ефективність у кожному секторі.

У розвинутих країнах Європи ТН широко застосовують у різних сферах економіки: хімічній, нафтопереробній, фармацевтичній, біохімічній, харчовій, металообробній, автомобільній, для сушіння деревини, твердих агропродовольчих та біологічних матеріалів, паперу, цегли; для комунальних та побутових потреб [5, 6].

В Україні проектом Національного плану дій із розвитку відновлювальної енергетики на період до 2030 року [7] планується збільшити частку відновлюваної енергії в системах обігріву та охолодження з 9,3% в 2020 р. до 35% в 2030 р., зокрема, постачання теплової енергії від ТН за десятиліття має зрости в 13,5 разів з 52 тис. т н.е. (2020 р.) до 700 тис. т н.е. (2030 р.).

Широкомасштабне впровадження ТН технологій обумовлює необхідність та актуальність науково-технічної підтримки щодо визначення доцільності та можливості використання різноманітних джерел низькопотенційної теплоти (ДНТ) в системах тепlopостачання. Існуючі дослідження спрямовані переважно на впровадження ТН для індивідуального та автономного тепlopостачання житлових та адміністративних будівель, локалізованих технологічних процесів [8-18].

Метою даних досліджень є обґрунтування вибору ДНТ для теплонасосних установок (ТНУ) систем централізованого тепlopостачання (СЦТ). В цих дослідженнях використано метод порівняльного аналізу.

Енергоефективність парокompресійних ТН визначається відношенням теплоти Q , отриманої за температури T , до затраченої роботи A на привід компресора ТН, яке прийнято називати коефіцієнтом перетворення COP (англ. Coefficient of Performance, COP). Для ТНУ під час визначення COP необхідно враховувати також споживання електроенергії всім допоміжним обладнанням та приладами, насамперед циркулюючими насосами (теплоносій – рідина) та нагнітальними вентиляторами (теплоносій – повітря або відхідні гази).

Стаття 10 Закону України «Про альтернативні джерела енергії» [19] містить загальні умови віднесення ТН до обладнання відновлюваної енергетики. Критерієм віднесення ТНУ (з електричним приводом) до установок відновлюваної енергетики Директивою ЄС 2018/2001 [20] встановлюється мінімально допустиме значення середнього розрахункового сезонного коефіцієнту корисної дії зазначених ТН.

Залежність COP парокompресійного ТН від перепаду температур між нагрітою водою (теплоносія в тепломережі) і охолодженою водою (теплоносія від ДНТ) наведено на рис. 1. Технологічно сучасні компресійні ТНУ можуть забезпечити температуру теплоносія, що нагрівається ТН, до

90°C, а деякі до 120°C [5, 21]. COP ТНУ, який обумовлений різницею температур ДНТ та теплоносія на виході з ТНУ (води в тепломережі), у випадку підвищення температури теплоносія більше 90°C не відповідає вимогам з енергоефективності відновлювальної енергетики $COP > 3,2$ (різниця температур має бути менше 40°C).

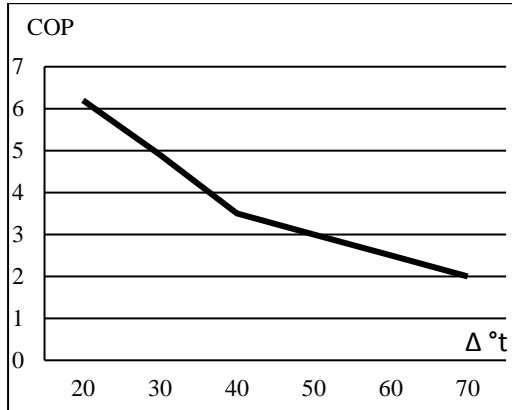


Рис.1. Залежність COP парокompресійного ТН від перепаду температур між нагрітою та охолодженою водою [22]

Також існує обмеження по температурі на виході з ТН, яке обумовлене температурним графіком теплоносія в тепломережі СЦТ. Запобіжним заходом для наведеного вище обмеження може бути підігрів ТНУ зворотної води в тепломережі.

У ТНУ використовують різноманітні ДНТ природного та штучного (антропогенного) походження. Природні ДНТ: зовнішнє повітря, води відкритих водоймищ, підземні води, ґрунт та гірські породи верхнього шару Землі та сонячна енергія [12]. Штучні ДНТ: скидні (стічні) води, повітря вентиляційних систем, рідини систем охолодження технологічних процесів, нагрітий ґрунт навколо підземних споруд тощо.

Застосування ТН для утилізації скидної низькопотенційної теплоти штучного походження в містах на сьогодні є перспективним напрямком щодо зниження негативного впливу на довкілля та збільшення енергоефективності.

ДНТ характеризуються низкою теплотехнічних показників: доступністю, температурним та енергетичним потенціалами, щільністю теплового потоку тощо. Для ефективного використання ТНУ в СЦТ суттєвим показником ДНТ є щільність його теплового потоку.

ДНТ класифікують за типом носія теплової енергії: аеротермальні (газоподібний); геотермальні (верхній шар ґрунту); гідротермальні (рідина); геліотермальні (сонячне випромінювання).

До *газоподібних ДНТ* природного походження відносять зовнішнє повітря, а до ДНТ антропогенного походження – теплові вторинні енергетичні ресурси: викиди промислових, торговельних та комунально-побутових систем вентиляції та охолодження будівель та споруд, димові гази (газоподібні продукти згорання палива) тощо.

Зовнішнє повітря є загальнодоступним ДНТ з майже необмеженим тепловим потенціалом та широким діапазоном температур його використання. Повітряні ТН потребують найменших інвестиційних витрат.

Технічно досяжний тепловий потенціал зовнішнього повітря в Україні становить 6307 тис. т н.е. на рік [23]. Загалом економічно доцільний потенціал зовнішнього повітря для України в цілому становить 3,5 млн. т у. п. на рік [14], а економічно доцільний потенціал зовнішнього повітря, досяжний для СЦТ за оцінкою авторів, становить 9734,9 тис Гкал на рік і з сумарною тепловою потужністю ТНУ до 905 МВт.

Недоліками повітряних ТНУ є суттєве зменшення COP за низьких температур зовнішнього повітря (рис.2) та необхідність проведення дефростації (розморожування) випарника при утворенні на його поверхні шару льоду, який погіршує теплообмін між повітрям і холодоагентом.

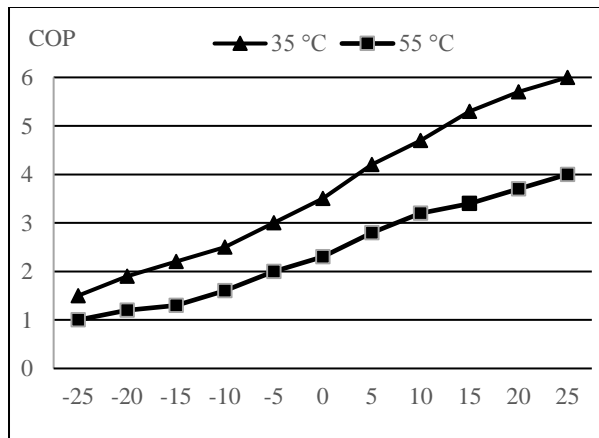


Рис.2. Залежність COP ТН типу «повітря – вода» від температури зовнішнього повітря (для моделі Dimplex LA-17-TU) [24]

Кількість необхідних циклів дефростації залежить від вологості та температури повітря. Максимальна кількість циклів дефростації спостерігається за температури зовнішнього повітря від -5°C до $+2^{\circ}\text{C}$. Ця обставина обумовлює низьку ефективність повітряних ТНУ в умовах одночасної високої вологості та низької температури зовнішнього повітря [13, 17].

Скидне повітря систем вентиляції приміщень, приєднаних до СЦТ, має суттєвий потенціал, який може становити до 25% від загального обсягу споживання теплової енергії будівлями [25]. Перевагою цього ДНТ є максимальна наближеність до споживача та СЦТ і високий температурний потенціал (від $+15^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$). Тепловий потенціал скидного повітря систем вентиляції оцінювався з використанням офіційної інформації щодо житлових будівель України [26]. При цьому було зроблено припущення, що в силу різних перешкод доступ буде забезпечений тільки до половини вентиляційних викидів. Проведене авторами дослідження встановило, що повний тепловий потенціал вентиляційних викидів приміщень, під'єднаних до СЦТ України, становить близько 24,1 млн. Гкал, а доступна середня тепла потужність за опалювальний період становить 1870,5 МВт.

Скидна теплота систем вентиляції та кондиціювання супермаркетів та торгово-розважальних комплексів, як ДНТ, також має високий температурний потенціал (від $+15^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$) та максимальну наближеність до споживача та СЦТ. В результаті проведення розрахункового аналізу низки мереж супермаркетів в Україні з торговельною площею понад 200 м^2 (середня висота приміщень приймалася рівною 3,9 м згідно з ДБН В.2.2-25:2009, та кратність обміну повітря – рівною 2 згідно з ДБН В.2.2-28:2010) авторами встановлено, що потенціал скидної низькопотенційної вентиляційної теплоти великих магазинів за опалювальний період становитиме 3010,7 тис Гкал на рік, а доступна середня тепла потужність 235,5 МВт. Авторами також визначено, що потенціал скидної низькопотенційної вентиляційної теплоти торгово-розважальних комплексів становить 181,4 тис Гкал, а доступна середня тепла потужність 14,0 МВт.

Більшість супермаркетів та торгово-розважальних центрів України мають власні системи опалення та постачання гарячої води, які уже спроектовані з використанням теплоти вторинних енергетичних ресурсів, Тож в цих закладах уже встановлені теплові утилізатори, які інтегровані в їх системи обігріву та постачання гарячої води. Залишковий потенціал ДНТ цих закладів, скоріше за все, буде використаний для власних потреб, а не для централізованого теплопостачання.

Скидна теплота димових газів котелень та ТЕЦ. Під час вироблення теплової енергії частина її втрачається з димовими газами (газоподібними

продуктами згорання палива) з високим температурним потенціалом (від +45°C до +55°C) навіть у разі застосування високотемпературних теплових утилізаторів конденсаційного типу. Це ДНТ розташовано у безпосередній близькості від джерела тепlopостачання СЦТ. За припущення, що середній ККД водогрійних котлів котельень становить 90%, а парових котлів ТЕЦ – 95%. Тоді втрати теплової енергії з димовими газами в котельнях будуть 10%, а ТЕЦ – 5% [27, 28]. Для розрахунків визначимо середньозважені втрати теплової енергії з димовими газами. У 2020 р. теплогенеруючими підприємствами для цілей обігріву, на постачання гарячої води та на комунально-побутові потреби було відпущено 88954 тис. Гкал теплової енергії, частка ТЕЦ становила 25 517 тис. Гкал (28,6%) [29]. Тоді середньозважені втрати теплової енергії з димовими газами будуть становити 8,6% загальної теплової енергії, отриманої внаслідок згорання палива. Доступний потенціал теплової енергії димових газів від котельень та ТЕЦ було визначено по областях України, як пропорційне їх покриттям СЦТ та становить 2460 тис Гкал на рік із доступною потужністю ТНУ до 725 МВт.

До рідинних ДНТ природного походження відносять відкриті водойми (ріки, озера, моря та водосховища) та підземні води, а до ДНТ антропогенного походження – каналізаційні, дренажні та промислові стоки, вода циркуляційних систем охолодження технологічного обладнання тощо [30]. Від підземних вод, відкритих водойм, стічних та промислових вод низькопотенційна теплота відбирається безпосередньо у випарниках ТН або з проміжним теплоносієм.

Відкриті водойми є надійними ДНТ. У разі їх використання необхідно враховувати сезонну мінливість обсягів, чистоту й температурні режими водних ресурсів. Теплоенергетичний потенціал річок України залежить від температури води та її витрат, які протягом року практично незмінні (окрім коротких періодів весняних повеней та літньої межени [31]).

Температурний режим річок в Україні має ярко виражений сезонний характер. Із квітня по вересень температура води в річках коливається в діапазоні від 15 до 23°C, що припадає на неопалювальний період. Із вересня по березень (в опалювальний період року) температура води в річках змінюється в діапазоні від 2 до 8°C. Саме ця обставина визначає особливості використання низькопотенційної теплоти води річок із застосуванням ТНУ для тепlopостачання, зважаючи на різницю між температурою ДНТ та температурою теплоносія в тепловій мережі. В опалювальний період ця різниця може досягати до 65–75°C, що обумовлює низький COP (не більше 2,5). В неопалювальний період у разі гарячого водопостачання ця різниця не перевищує 40°C, що забезпечує достатньо високий COP (понад 3,5).

Проведені авторами розрахунки показали, що теплоенергетичний потенціал води основних річок України для СЦТ становить 1619,1 млн.

ГДж/рік (55,28 млн. т у.п./рік або 386,6 млн. Гкал/рік), а середнє значення потужності теплових потоків – 2053,4 МВт.

Використання води з артезіанських свердловин, як ДНТ, є досить затратним заходом через необхідність буріння свердловин та прокладки труб, проблему корозійних процесів металу й мінеральних відкладень на поверхні теплообмінників [32]. Підземні води мають відносно незмінний тепловий потенціал, що залежить від глибини, відстані від поверхневих водотоків тощо. Наприклад, температура підземних вод на глибині 10-15 м варіюється в діапазоні 6...11°C, на глибині 100 м – вище 10°C [18].

В українських містах стічні води утворюються у величезній кількості. Так, наприклад, кожної доби в м. Київ утворюється понад 1,4 млн. м³, в м. Одеса – 400 тис. м³, у м. Вінниця – 110 тис. м³. Загалом по Україні – понад 10 млн. м³ за добу [33]. Загальний енергетичний потенціал стічних вод України був досконало досліджений та оцінений (теоретичний, технічний, економічно доцільний) для кожної області України [34]. Стічні промислові та каналізаційні води є перспективним ДНТ за температурним потенціалом (від 5°C до 20°C), але мало використовуються через їх біологічну та корозійну агресивність і нерівномірне надходження в каналізаційну мережу. Зважаючи на ці обставини, доцільно використовувати попередньо очищені промислові та каналізаційні стоки [32]. Оцінений авторами доступний потенціал для СЦТ становить 4545,1 тис Гкал/рік.

Привабливим ДНТ є вода циркуляційних систем охолодження технологічних процесів із високим температурним потенціалом (від 5°C до 35°C), сумарний річний тепловий потенціал яких дорівнює 7 660,8 тис Гкал, а тепла потужність ТНУ 213,6 МВт (обчислено авторами для підприємств чорної та кольорової металургії та нафтопереробної і нафтохімічної промисловості).

До ґрунтових (твердих) ДНТ природного походження відносять верхній шар ґрунту (зазвичай, глибиною до 200 м), а до антропогенного походження – нагрітий ґрунт навколо підземних споруд, наприклад, метрополітену. Температурний потенціал ґрунтових ДНТ характеризується певною стабільністю та змінюється в діапазоні (від 0°C до +20°C). В Україні потенціал використання теплоти верхніх шарів Землі становить 187,8 млн. Гкал (26,8 млн. т у.п.) [35]

Верхній шар ґрунту землі завжди має стабільну температуру. Залежно від глибини, пори року та інших геологічних умов вона може коливатися від +4°C до +15°C. Для здійснення відбору теплоти між теплоносієм, який циркулює в ґрунті, і самим ґрунтом має бути різниця температури. Ця умова дещо знижує температуру теплоносія, який реально може надходити до ТН. Також слід враховувати, що робота ТН позначається на температурі ґрунту, і в кінці опалювального сезону середня температура геотермального поля

може суттєво зменшитися. Існує два види колекторів для збирання теплоти ґрунту – горизонтальні та вертикальні. Горизонтальний колектор знаходиться на глибині порядку 1,5 м (в зоні великої річної мінливості температури ґрунту), що обумовлює великі сезонні коливання продуктивності ТНУ. У разі збільшення глибини розташування колектору збільшуються інвестиційні витрати на його будівництво.

У разі будівництва вертикальних колекторів використовуються менші земельні ділянки [17]. Свердловини бурять на глибину порядку 50-200 м, за відстані між ними 5-6 м [18].

Низькопотенційна теплота ґрунту навколо підземних споруд є штучним ДНТ. У підземних тунелях метрополітену накопичується теплота, яка виділяється поїздами, пасажирями та електротехнічним обладнанням, причому температура повітря в тунелях може досягати більше 35°C, а температура ґрунту – від 20°C до 30°C [36]. У роботі [37] проаналізовано потенціал утилізації теплоти із залізничних тунелів та розглянуто відповідні технології, впроваджені у ряді міст Європи, зокрема вбудовані абсорбційні труби в сегментах тунелів, геотермальні ТН біля тунелів, теплообмінники у вентиляційних шахтах тощо. У Федеральній політехнічній школі Лозанни (Швейцарія) розробили геотермальну систему рекуперації тепла, яка містить вбудовані в стінки тунелю пластикові труби, по яких проходить теплоносії, наприклад, звичайна вода, нагрівається теплом тунелю і надходить на поверхню, потрапляючи в систему опалення будинків поблизу метро. 60 тис. м² тунелів виділяють енергію, достатню для обігріву 1500 квартир площею 80 м² кожна. Такі системи можна використовувати як для обігріву, так і для охолодження, вони відносно дешеві, легко встановлюються і можуть служити до 100 років, якщо кожні 25 років змінювати ТН [38]. В роботі [36] обґрунтовано доцільність застосування ТН для використання теплоти метрополітенів для обігріву та охолодження будівель, наведено відповідні математичні моделі та схеми утилізації теплоти з тунелів, платформ та ґрунту, що оточує тунелі.

На кінець 2017 р. 178 міст у 56 країнах світу мали системи метрополітену, які перевозили в середньому 168 млн. пасажирів на добу [39], а сьогодні загальна кількість таких міст досягла 205 у 61 країні [40], у 2019 р. кількість пасажирів становила 190 млн. на добу і тенденція такого зростання зберігатиметься у майбутньому [41]. Тож теплоенергетичний потенціал ДНТ систем метрополітену досить значний.

Сонячна енергія є загальнодоступним ДНТ. Її використання в СЦТ обмежується двома основними бар'єрами. Перший є суто технологічний, він обумовлений значним розсіянням енергії (низька щільність опромінення), що вимагає значних площ сонячних колекторів. Другий – добова та сезонна змінність сонячного випромінювання, що обумовлює необхідність

застосування акумуляторів теплоти. Тобто, використання сонячної енергії в СЦТ можливо тільки із застосуванням гібридних систем (ТН, сонячні колектори, теплові акумулятори), що значно збільшує вартість впровадження та потребує значних земельних площ. Ця обставина в умовах щільної забудови міст є проблематичною.

Проведене аналітичне дослідження дозволило систематизувати ДНТ для ТНУ та визначити їх теплоенергетичний потенціал, доступний для СЦТ. Результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. **Потенціал джерел низькопотенційної теплоти, які доступні для ТНУ СЦТ України**

Потенціал/ ДНТ	Вентиляційні викиди теплоти будівель	Стічні води	Теплота ґрунтів та ґрунтових вод	Теплота повітря	Скидна теплота котельні та ТЕЦ	Теплота річок	Разом
Тепловий потенціал, тис. Гкал/рік	25654,9	4545,1	2628,4	9734,9	2459,2	3211,6	48234,1
Середня потужність, МВт	1870,6	337,7	87,2	904,7	724,3	298,5	4223,0

Обговорення результатів. У результаті дослідження було оцінено можливості використання ДНТ природного та штучного походження в потужних ТНУ для СЦТ.

Використання ґрунту та ґрунтових вод як ДНТ потребує значних площ земельних ділянок, що в умовах щільної міської забудови є основним обмеженням. Крім того, дослідження роботи ТНУ з вертикальним колектором [42-44], виявили, що охолодження ґрунту навколо свердловин відбувається дуже швидко. Через рік безперервної експлуатації ТНУ температура земельного шару біля свердловин знизиться з 10°C до 1,5°C [33]. За період експлуатації ТНУ охолоджені ділянки ґрунту зімкнуться в одну велику пляму, що змінить екологічну рівновагу та спричинить дискомфорт для мешканців, флори та фауни. Необхідно зазначити, що охолоджені площі ґрунту будуть більшими ніж площі, які займають самі колектори. Під час використання реверсивного режиму ТНУ в літній період для охолодження приміщень ефект замороження земельних ділянок в зоні колекторів дещо зменшується, але не зникає повністю.

ТНУ, які використовують теплоту природних водойм, мають найбільший COP. Однак експлуатація таких ТНУ може збільшити рівень замерзання річок та озер. Екологічні наслідки цього процесу не вивчені.

Теплоту навколишнього повітря доцільно використовувати для ТНУ, які знаходяться у кліматичних зонах з температурою не менше як $+5^{\circ}\text{C}$ та стабільними погодними умовами. Використання потужних ТНУ може створити високий рівень шуму та зміни мікроклімату в житловій зоні.

У роботі [12] зазначається, що у разі використання низькотемпературних теплових ресурсів у геокліматичних умовах різних регіонів України необхідно враховувати, що інтенсивна експлуатація може призвести до зниження температури ґрунтового масиву та їх швидкого теплового виснаження. Необхідно підтримувати такий рівень використання енергії довкілля, який дозволив би експлуатувати джерело енергетичних ресурсів без шкоди для навколишнього середовища.

Аналіз результатів показав, що в умовах великих міст із СЦТ доцільно насамперед використовувати ДНТ антропогенного походження: каналізаційні та промислові водянні скиди, воду систем охолодження технологічного обладнання, повітря систем вентиляції та кондиціонування приміщень будівель та споруд.

Висновки.

1. Проведені дослідження показали, що в країнах Європи для теплонасосних установок використовують джерела низькопотенційної теплоти як природного, так і антропогенного походження.

2. Встановлено, що в умовах великих міст для теплонасосних установок систем централізованого теплопостачання України найбільш доцільно використовувати теплоту антропогенного походження: вентиляційних викидів будівель, приєднаних до цих систем, стічних вод, димових газів котелень та ТЕЦ, технологічних вод, викидів та скидів промислових підприємств. Утилізація скидної низькопотенційної теплоти антропогенного походження в містах на сьогодні є перспективним напрямом зниження негативного впливу на довкілля та збільшення енергоефективності.

3. Сумарний тепловий потенціал джерел низькопотенційної теплоти, який доступний для систем централізованого теплопостачання в Україні, становить близько 48,2 млн. Гкал/рік.

4. Використання низькопотенційної теплоти теплонасосними установками систем централізованого теплопостачання: зовнішнього повітря знайде своє застосування в південних районах України з більш теплим кліматом; природних водойм буде помірним через обмежену доступність до них; ґрунтів та ґрунтових вод не знайде широкого застосування через щільність міських забудов.

5. У найближчому майбутньому скидна вентиляційна теплота супермаркетів, торгово-розважальних центрів та метрополітенів буде використана не для систем централізованого тепlopостачання, а для власних потреб цих організацій.

Використані інформаційні джерела:

1. Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector. International Energy Agency. May 2021. 223 p. URL: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

2. Heating. Tracking report. IEA. November 2021. URL: <https://www.iea.org/reports/heating>

3. Innovation landscape brief: Renewable power-to-heat. IRENA. Abu Dhabi. 2019. 24 p. URL: www.irena.org/publications

4. Powering a climate-neutral economy: An EU Strategy for Energy System Integration. Brussels, 8.7.2020. COM(2020) 299 final. 22 p.

5. Schlosser F., Jesper M., Vogelsang J. , Walmsley T.G., Arpagaus C., Hesselbach J., 2020. Large-scale heat pumps: Applications, performance, economic feasibility and industrial integration, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, vol. 133(C). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110219>

6. Large-scale heat pumps in Europe. 2-nd edition. URL: <http://dry-f.eu/News-Events/News/ArtMID/422/ArticleID/57/Large-scale-heat-pumps-in-Europe-2nd-edition>

7. Проект розпорядження Кабінету Міністрів України «Про Національний план дій з розвитку відновлюваної енергетики на період до 2030 року». Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. **20.01.2022**. URL: <https://sae.gov.ua/uk/content/elektronni-consultatsii>

8. Heat Pumps: Integrating technologies to decarbonize heating and cooling. European Cooper Institute. 2018. 86 p. URL: <https://www.ehpa.org/media/studies-reports/> (дата звернення: 15.02.2022).

9. Strategic research and innovation agenda for heat pumps: Making the technology ready for mass deployment. European Technology and Innovation Platform on Renewable Heating and Cooling. 2021. 38 p. URL: <https://www.rhc-platform.org> (дата звернення: 15.02.2022).

10. David A., Mathiesen B.V., Averfalk H., Werner S., Lund H. Heat Roadmap Europe: Large-Scale Electric Heat Pumps in District Heating Systems. Energies 2017, 10, 578; doi:10.3390/en10040578. URL: www.mdpi.com/journal/energies (дата звернення: 15.02.2022).

11. Gaur A.S., Fitiwia D.Z., Curtisa J. Heat Pumps and Their Role in Decarbonizing Heating Sector: A Comprehensive Review. Working Paper No. 627 June 2019. URL: http://aei.pitt.edu/102238/1/WP627_0.pdf (дата звернення: 16.02.2022).

12. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Підручник. К. : НТУУ «КПІ», 2012. 492 с.

13. Стоянов П. Ф. Анализ характеристик теплонасосных установок. Холодильная техника та технологія. 2015. №2 (51), С.53–58. DOI:10.15673/0453-8307.2/2015.39292

14. Снежкін Ю. Ф. Энергоефективні теплонасосні технології: стан та перспективи їх впровадження в Україні. Промышленная теплотехника. 2017. Т. 39, №2. С. 18–24.

15. Мацевитый Ю. М., Чиркин Н. Б., Клепанда А. С. Об использовании тепловых насосов в мире и что тормозит их широкомасштабное внедрение в Украине. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. Харьков, 2014. №2. С. 2–17.

16. Горшков В. Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор. Справочник промышленного оборудования. 2004. №2. С. 47–80.

17. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы ; пер. с англ. М. : Энергоиздат. 1982. 224 с.

18. Морозов Ю. П., Чалаев Д. М., Ніколаєвська Н. В., Добровольський М. П. Оцінка ефективності використання теплового потенціалу доквілля та верхніх шарів землі України. Відновлювана енергетика. 2020. №4. С. 80–88. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.4\(63\).80-88](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.4(63).80-88)

19. Закон України «Про альтернативні джерела енергії». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>

20. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32018L2001>

21. Mateu-Royo C., Sawalhab S., Mota-Babilonia A., Navarro-Esbría J., 2020. High temperature heat pump integration into district heating network. Energy Conversion and Management, Elsevier, vol. 210, 15 April 2020, 112719. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112719>

22. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. Информационно-методическое издание. М. : Издательство «Перо», 2016. С. 61.

23. Кудря С. О. Потенціал розвитку нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії. Підвищення енергоефективності та стимулювання використання відновлюваної енергії в агро- харчових та інших малих та середніх підприємствах (МСП) України. Агентство ООН з питань промислового розвитку. Київ. 2015. 48 с.

24. Dimplex L.A. 17 TU air to water heat pump. Wolseley. URL: <https://www.wolseley.co.uk/product/dimplex-la-17-tu-air-to-water-heat-pump/>

25. Про необхідність впровадження енергоефективних заходів. URL: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/pro-neobhidnist-vprovadzheniya-energoefektyvnyh-zahodiv-rozuyasnennya-minregionu/> (дата звернення: 04.02.2022).

26. Житловий фонд України. Статистичний збірник. Київ. 2018. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2018/zb/07/zb_jf_2017.pdf. (дата звернення: 26.02.2022).

27. Білодід В. Д. Оцінка можливостей підвищення енергетичної ефективності ТЕЦ шляхом використання теплонасосних установок. Проблеми загальної енергетики. 2015. Вип. 2 (41). С.48–56. DOI: <https://doi.org/10.15407/pge2015.02.048>

28. Kulyk M. M, Bilodid V.D. Operational conditions of combined heat-and-power plants with heat pumps and the attainable utilization capacities of heat pumps at such plants in the Integrated Power System of Ukraine. *The Problems of General Energy*. 2014. Issue 1 (36). P. 33–38.

29. Державна служба статистики. Постачання та використання енергії у 2020 р. – URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

30. Уланов Н.М., Уланов М. М. Использование низкопотенциального тепла вод различного происхождения для теплоснабжения в ЖКХ и других отраслях экономики Украины. URL: http://www.journal.esco.co.ua/2012_8/art190.htm (дата звернення: 05.02.2022).

31. Жидович И. С. Применение тепловых насосов в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения многоквартирного жилого фонда на принципах энергосбережения. Минск, 2014. 32 с. URL: <https://heatpumpjournal.com.ua/wp-content/uploads/2018/04/primenenie-tn-v-sisteme-teplosnabzhenija.pdf> (дата звернення: 15.02.2022).

³². Кожушко О. Д., Кізеєв М. Д. Утилізація теплової енергії стічних вод та питної води в системах водопостачання і каналізації населених пунктів. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2017. №7. С. 96–100.

33. Уланов Н. М., Уланов М. М., Соломко В. Д. Использование низкопотенциального тепла вод различного происхождения для теплоснабжения в ЖКХ и других отраслях экономики Украины. URL: http://www.journal.esco.co.ua/2012_8/art190.htm.

34. Енергоефективність та відновлювальні джерела енергії/ під заг. ред. А. К. Шидловського. Київ : Українські енциклопедичні знання. 2007. 560 с.

35. Морозов Ю. П., Величко В. В., Кушнір І. О. Оцінка теплового потенціалу верхніх шарів Землі на території України. Відновлювана енергетика. 2018. №4 (55). С. 84–92.

URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vien_2018_4_11 (дата звернення: 16.02.2022).

36. Revesz A., Chaer I., Thompson J., Mavroulidou M., Gunn M., Maidment G. Ground source heat pumps and their interactions with underground railway tunnels in an urban environment – a review.

URL:<https://core.ac.uk/download/pdf/227104882.pdf> (дата звернення: 23.02.2022).

37. Lagoeiro H., Revesz A., Davies G., Maidment G., Curry D., Faulks G., Murawa M. Opportunities for Integrating Underground Railways into Low Carbon Urban Energy Networks: A Review. Applied Sciences, 2019, 9, 3332. URL: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> (дата звернення: 04.02.2022).

38. Мешкаєте поблизу метро? Ваш будинок можна опалювати з-під землі. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-48990139> (дата звернення: 04.02.2022).

39. International Association of Public Transport (UITP). World Metro Figures 2018. 2018. URL: <https://www.uitp.org/world-metro-figures-2018> (дата звернення: 05.02.2022).

40. List of metro systems. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_metro_systems (дата звернення: 10.06.2022).

41. UITP releases its global metro statistics for 2021. URL: <https://www.intelligenttransport.com/transport-news/136302/uitp-releases-its-global-metro-statistics-for-2021/> (дата звернення: 10.06.2022).

42. Трушевский С. Н. Вариативность мощности термоскважин ТНУ при отрицательных температурах грунта. URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/termoskvazhiny-dlya-teplonasosov-ekologicheskij-aspekt>.

43. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре URL: <https://docplayer.ru/47616998-Тепловыe-насосы-в-современной-промышленности-и-коммунальной-инфраструктуре-информационно-методическое-издание.html>

44. Трушевский С. Н. Термоскважины для теплонасосов: экологический аспект. URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/termoskvazhiny-dlya-teplonasosov-ekologicheskij-aspekt>

**ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОЛІЗНИХ
УСТАНОВОК ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕКОЛОГІЧНО-ЧИСТОГО
ВОДНЮ БЛЯ
ІСНУЮЧИХ БЛОКІВ АЕС В УКРАЇНІ**

**DETERMINING THE REQUIRED CAPACITY OF ELECTROLYSIS
PLANTS FOT THE PRODUCTION OF ENVIRONMENTALLY
FRIENDLY HYDROGEN
NEAR EXISTING NPPs IN UKRAINE**

Уланов М. М., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна

Ulanov M. N., Ph.D., senior researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Ukraine

Анотація. В результаті проведеного аналізу стану атомної генерації електричної енергії в Україні і за результатами моніторингу диспетчерської інформації роботи блоків атомних станцій за 2018-2020 рр. (25000 показників за рік) визначено середньорічний коефіцієнт використання встановленої потужності енергоблоків АЕС. Коефіцієнт сягає рівня від 69,6% у 2018 р до 62,7% у 2020 р., тобто величина вільної електричної енергії на існуючих блоках АЕС коливається від 4201 МВт·год до 5156 МВт·год. Ця вільна енергія може бути використана для виробництва екологічно-чистого водню за допомогою електролізних установок, що у кількісному обсязі становить від 668 тис. т до 820 тис. т водню на рік (або від 7,4 млрд. м³ до 9,1 млрд. м³ на рік).

Abstract. As a result of the analysis of the state of nuclear power generation in Ukraine and the results of monitoring the dispatch information of nuclear power units for 2018-2020 (25,000 indicators per year), the average annual utilization factor of the installed capacity of nuclear power units. The coefficient reaches the level from 69.6% in 2018 to 62.7% in 2020, ie the amount of free electricity at existing NPP units ranges from 4201 MWh to 5156 MWh. This free energy can be used for the production of environmentally friendly hydrogen using electrolysis plants, which in quantity is from 668 thousand tons to 820 thousand tons of hydrogen per year (or from 7.4 billion m³ to 9.1 billion. m³ per year).

Два роки тому Європа оголосила про свої плани до 2050 року зробити наш континент кліматично нейтральним завдяки низці глобальних енергетичних програм. У найближчі кілька років Європа має намір прискореними темпами створити нову глобальну структуру економіки, яка базуватиметься на відновлюваних джерелах енергії, зокрема водневій енергетиці.

На жаль, водень практично не зустрічається на планеті Земля в чистому вигляді, тому його потрібно синтезувати з інших речовин за допомогою складних хімічних реакцій. Найбільш перспективний напрямок отримання водню є електроліз води, яка під дією електричного струму розкладається на водень та кисень.

На нинішньому етапі технологічного розвитку людства цей процес є дуже енергоємним. Потрібні великі потужності, що виробляють нешкідливу для екології електричну енергію, тобто з відновлюваних джерел – сонця та вітру, біомаси. Можна також використовувати електричну енергію, вироблену атомними станціями.

Єврокомісія вважає нашу країну пріоритетним партнером у розвитку водневої енергетики з огляду на природні ресурси України, виробничі можливості, розгалужену національну мережу трубопровідного транспорту, що з'єднана з європейською мережею та інфраструктуру для зберігання. У нашій країні також є потужна атомна енергетика.

Мета дослідження за допомогою аналітичних, теплофізичних та технологічних методів аналізу визначити необхідної потужності електролізних установок для виробництва екологічно-чистого водню біля існуючих блоків АЕС в Україні.

Науково-дослідницькими завданнями дослідження є розрахунок коефіцієнта використання встановлених потужностей діючих блоків АЕС України на базі зібраних статистичних даних щодо ефективності роботи існуючих блоків АЕС по роках. На базі отриманих коефіцієнтів та технологічних параметрів роботи електролізних установок визначити необхідну оптимальну потужність установок для виробництва екологічно-чистого водню.

У водневій стратегії Європейського союзу («Воднева стратегія для кліматично-нейтральної Європи») йдеться про план, згідно з яким ЄС до 2030 року знадобиться 40 ГВт електролізерів на території блоку та 40 ГВт у сусідніх країнах для експорту водню до Євросоюзу [1]. При цьому на території ЄС буде вироблятися до 10 млн. т водню. Технологічна позиція Європи на світовому ринку водню оцінюється як лідируюча, і очікується, що у водневому секторі Європи, по всьому ланцюжку, може бути створено близько 1 млн робочих місць.

Водень використовується у різних промислових процесах, починаючи від виробництва синтетичного палива та нафтохімії, до виготовлення напівпровідників та електромобілів на водневих паливних елементах.

Сьогодні більша частина (~95-97%) водню виробляється шляхом парового риформінгу природного газу або газифікації вугілля з викидами двоокису вуглецю (CO₂). На щорічне виробництво водню витрачається близько 205 млрд. м³ природного газу (6% світового споживання природного газу) та 107 млн т вугілля (2% світового використання вугілля).

Це неприйнятно у світлі глобального переходу до екологічно чистої енергії, особливо з огляду на те, що попит вже досить високий і продовжує зростати. За даними Міжнародного енергетичного агентства, з 1975 року попит на водень збільшився більш ніж утричі.

Щоб зменшити шкідливий вплив на навколишнє середовище через виробництво 70 млн тон водню на рік, деякі країни звертаються до ядерної енергетики. Переведення лише 4% поточного виробництва водню на електроенергію, що виробляється на АЕС, дозволив би зменшити викиди вуглекислого газу на 60 млн. тонн на рік, а якби весь водень вироблявся з використанням ядерної енергії, то можна було б говорити про скорочення викидів вуглекислого газу на більше, ніж 500 млн. тонн на рік.

Нині кілька країн впроваджують виробництво водню з використанням АЕС або вивчають таку можливість із метою сприяння декарбонізації свого енергетичного, промислового та транспортного секторів. Це дозволяє також збільшити віддачу від АЕС, що сприятиме підвищенню її рентабельності.

Особливість ядерної енергетики – це робота при дуже високих коефіцієнтах використання встановленої потужності, що дозволяє виробляти водень із нульовим викидом вуглецю в досить великому обсязі як енергоносії, що розвивається, з широким спектром застосувань.

Водень, отриманий за допомогою ядерної енергії, є економічно доцільним порівняно з іншими джерелами енергії за деякими важливими показниками:

- по-перше, це більш якісний процес виробництва, оскільки тільки ядерна енергетика має найвищу ефективність отримання енергії без викидів парникових газів;
- по-друге, є можливість створення великомасштабного виробництва водню;
- по-третє, експлуатаційні витрати станцій менш схильні до волатильності цін на паливо, ніж електростанції, що працюють на викопному паливі. Так, підвищення вартості палива на 50% призводить лише до ~5% збільшення загальної вартості виробництва ядерної електроенергії, тобто ядерна економіка виробництва водню стабільніша.

У сукупності ядерна енергетика допомагає зміцнити енергетичну безпеку. Таким чином, водень, який отримується на АЕС – це відносно дешевий чистий продукт у великих обсягах. Водночас водень є акумулятором енергії, і збільшення обсягів виробництва водню збільшує і потужність ядерної енергії, тобто вирішуються деякі проблеми атомної енергетики, зокрема підвищує її рентабельність.

У рамках запущеної на початку 2020 року Міністерством енергетики Сполучених Штатів ініціативи «H2@Scale» проводиться дослідження доцільності розробки ядерно-енергетичних систем, що водночас вироблятимуть водень і низьковуглецеву електроенергію [2]. Серед десятків проєктів, які фінансуються за допомогою цієї ініціативи, один буде реалізовано трьома комерційними електроенергетичними компаніями США у співпраці з Айдакською національною лабораторією Міністерства енергетики. До проєкту увійдуть технічні та економічні оцінки, а також експериментальні демонстрації виробництва водню на кількох АЕС що розташовані на території США.

Одна з компаній, яка бере участь у проєкті це електроенергетична компанія «Exelon», яка є найбільшим виробником низьковуглецевої електроенергії в США, в даний час робить кроки зі встановлення на одній зі своїх АЕС електролізера з полімерною електролітичною мембраною потужністю один мегават із відповідною інфраструктурою. За допомогою цієї системи, яка може бути введена в експлуатацію до 2023 року, можна буде наочно побачити економічну доцільність виробництва водню при використанні електролітичних установок для задоволення потреб систем, пов'язаних із виробництвом електроенергії на місці, а також можливість масштабування у майбутньому.

У Великобританії також відбуваються роботи з проведення оцінок. У рамках некомерційної ініціативи «Energy Systems Catapult» створено модель цілої енергетичної системи, і тепер до неї включено можливість використання передових ядерних технологій для виробництва водню [3]. Таким чином, можна подивитися на потенційно найбільш економічну структуру енерговиробництва, яка до 2050 року зможе забезпечити нульові викиди парникових газів у чистому вираженні, а результати покажуть, що вдосконалені ядерні реактори можуть бути задіяні у виробництві водню поряд з іншими технологіями.

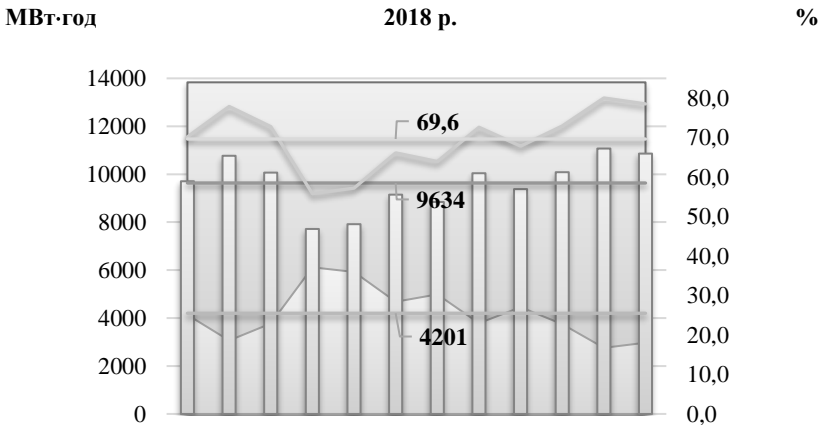
Французька державна компанія «EDF» із метою підвищення рентабельності двох атомних електростанцій, що будуються у Великобританії, має намір використовувати частину енергії другого енергоблоку електростанції Sizewell C для електролізу [4]. Модульний характер електролізерів означає, що їх також можна використовувати на другій АЕС – Hinkley Point C. «EDF» має намір використовувати надмірну

потужність своїх АЕС у періоди надвиробництва, щоб за допомогою електролізу виробляти водень.

Доповідь МЕА «Майбутнє водню» за 2019 рік показує, що нормована вартість водню (LCOH) залежить від кількості годин, протягом яких працює електролізер. Якщо електролізер працює 500 годин на рік, то можна виробити водень із LCOH близько 4 доларів за кілограм. Однак, якщо він працює протягом 8000 годин на рік, вартість падає до 0,50 долара за кілограм [5]. Французька компанія має намір встановити експериментальний електролізер потужністю 2 МВт, який вироблятиме водень обсягом 800 кілограмів на добу. До 2035 року потужність може збільшитися до 550 МВт при добовому виробленні 220 тон EDF очікує, що LCOH складе близько 2,44 євро за кілограм протягом 20-річного проектного циклу з урахуванням ціни на електроенергію та витрат на технології.

Україна належить до держав, які мають розвинену галузь ядерної енергетики. За часткою генерації АЕС у сукупному виробництві електроенергії Україна посідає четверте місце у світі після Франції, Словаччини та Угорщини. В Україні експлуатується 15 енергоблоків загальною потужністю 13,835 ГВт на чотирьох АЕС: 6 – на Запорізькій, 4 – на Рівненській, 3 – на Південно-Українській та 2 – на Хмельницькій.

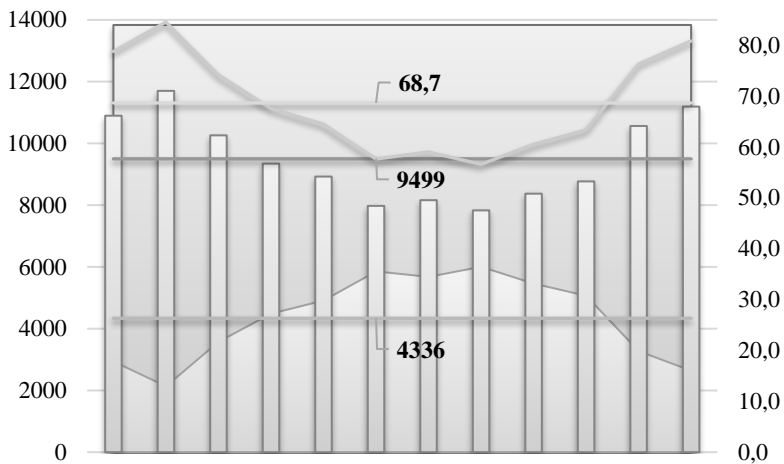
Для визначення необхідної потужності електролітичних установок для виробництва екологічно-чистого водню біля існуючих блоків АЕС було зібрано статистичні дані, щодо роботи всіх атомних блоків на протязі 2018-2020 рр. (25000 показників за рік). За результатами отриманих даних зроблено розрахунок середньомісячного коефіцієнта використання встановлених потужностей енергоблоків АЕС України за роками.



МВт·год

2019 г.

%



МВт·год

2020 г.

%

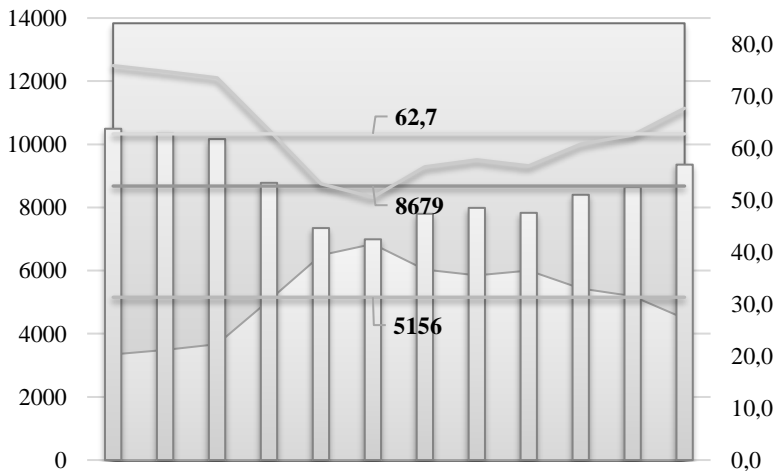


Рис. 1. Розрахунок середньорічних коефіцієнтів використання встановлених потужностей енергоблоків АЕС України за роками

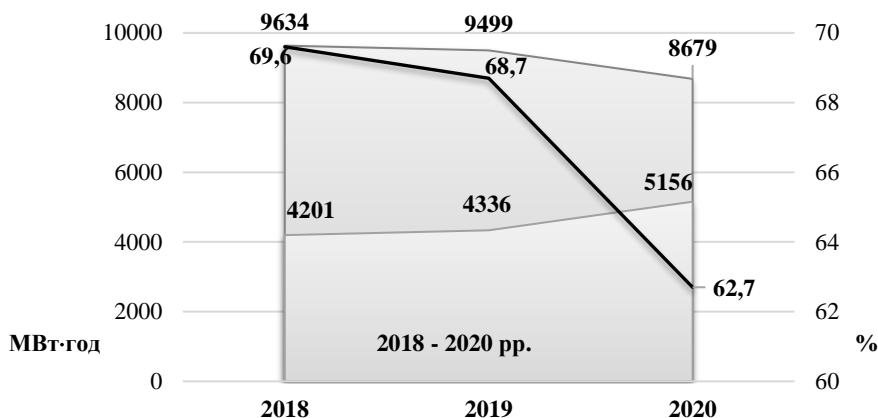


Рис. 2. Зведені дані за результатами розрахунку середньорічних коефіцієнтів використання встановлених потужностей енергоблоків АЕС України за 2018-2020 рр.

Так як в Україні на чотирьох існуючих атомних станціях встановлено 15 енергоблоків, 13 із яких є ВВЕР 1000 які мають встановлену потужність 1000 МВт·год, то доцільно встановлювати електролізні установки електричною потужністю 1 ГВт. Враховуючи технологічні параметри такої установки а саме, споживання електричної енергії на виробництво 1 кг водню на рівні 52 кВт·год та споживання живильної води у кількості 22 л, отримаємо загальну продуктивність екологічно-чистого водню у кількості 17417 кг на годину або 148 тис. тонн на рік. При цьому загальне споживання електричної енергії для одного блока типу ВВЕР 1000 буде складати 932 МВт·год.

Таким чином, виходячи з розрахункових середньорічних коефіцієнтів використання встановленої потужності існуючих енергоблоків АЕС в Україні можна встановити від 4 до 5 електролізних установок електричною потужністю 1 ГВт для виробництва екологічно-чистого водню, що відповідно до «Green Hydrogen Initiative 2x40 GWt» на Україну виділено Європейським союзом створення 10 ГВт нових потужностей із виробництва водню [6], ½ потужностей із яких може забезпечити вільна електрична енергія отримана на існуючих блоках АЕС України.

Висновки. За результатами моніторингу диспетчерської інформації роботи існуючих блоків атомних станцій в Україні за 2018-2020 рр. розраховано середньорічний коефіцієнт використання встановленої потужності енергоблоків АЕС, який складає від 69,6% у 2018 р до 62,7% у 2020 р., тобто величина вільної електричної енергії, що не використовується в Енергоринку України на існуючих блоках АЕС, сягає величини від 4201 МВт-год до 5156 МВт-год і може бути використана для виробництва екологічно-чистого водню за допомогою електролізних установок, що у кількісному обсязі становить від 668 тис тон до 820 тис. тонн водню на рік (або від 7,4 млрд. м³ до 9,1 млрд. м³ на рік).

Використані інформаційні джерела:

1. Brussels, 8.7.2020, COM(2020) 301 – Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions / A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>
2. URL: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/h2scale>
3. URL: <https://www.iea.org/articles/energy-systems-catapult-living-lab>
4. Written Evidence Submitted by Sizewell C (HNZ0062) URL: <https://committees.parliament.uk/writtenevidence/19865/pdf/>
5. IEA: The Future of Hydrogen URL: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
6. 2×40 GW Green Hydrogen Initiative URL: <https://www.atenaweb.com/2x40-gw-green-hydrogen-initiative/>

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ

Бордун І. М., Мальований М. С., Назурський Н. О. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗМІНИ ПОРИСТОЇ СТРУКТУРИ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ З ВІДХОДІВ БІОСИРОВИНИ.....	6
Голік Ю. С., Чепурко Ю. В., Смоляр Н. О. ПОКАЗНИКИ ЛІСИСТОСТІ ТА ЗАПОВІДНОСТІ ТЕРИТОРІЙ ЯК ОДНІ З БАЗОВИХ ІНДИКАТОРІВ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.....	21
Зав'ялова Л.В., Протопопова В.В., Панченко С.М., Смаголь В.О., Коломійчук В.П., Кучер О.О., Шевера М.В. СИНАНТРОПІЗАЦІЯ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ УКРАЇНИ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ.....	31
Каменева І. П., Артемчук В. О., Попов О. О., Яцишин А. В., Кириленко Ю. О. КОГНІТИВНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ТА ОЦІНЮВАННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ РИЗИКІВ В УМОВАХ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ.....	53
Клок С. В., Корнус А. О., Корнус О. Г., Данильченко О. С. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙНИХ ЗМІН МІНІМАЛЬНОЇ ДОБОВОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ НА ФОНІ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ.....	67
Кремньов В. О., Тимощенко А. В., Беляєв Г. В., Беляєва І. П., Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г. НАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ НЕСТАЧІ БІОДОБРІВ У РОСЛИННИЦТВІ, НАКОПИЧЕННЯ ОСАДІВ НА КОМУНАЛЬНИХ ОЧИСНИХ СПОРУДАХ, ЇХ ПРИЧИНИ І КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО УТИЛІЗАЦІЇ ВОЛОГОЇ БІОМАСИ.....	77
Некос А. Н., Головка М. П., Головка Т. М., Васюха О. ПРОБЛЕМИ ПРОДОВОЛЬЧОЇ КРИЗИ ТА ЕКОБЕЗПЕКА У СИСТЕМІ «FARM TO FORK».....	87
Паньків Н. Є. ЗЛОЧИНИ ПРОТИ ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ ВІЙНИ В УКРАЇНІ.....	99
Сідашова С. О., Роман Л. Г., Улизько С. І., Попова І. М., Ясько В. М. МОДЕЛЬ ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНОГО СКРИНІНГУ КОРМОВОЇ БАЗИ ДЕМОНСТРАЦІЙНОЇ ПАСІКИ.....	114

<i>Тищенко В. О., Пруський А. В., Єременко С. А., Сидоренко В. Л., Скоробазатко Т. М.</i>	
ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ТОРФ'ЯНИХ ПОЖЕЖ ТА МЕТОДИ ЇХ ЛІКВІДАЦІЇ В УКРАЇНІ У 2020 РОЦІ.....	129
<i>Трохименко Г. Г., Недорода В. М., Степова О. В.</i>	
ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ <i>BACILLUS SUBTILIS</i> ПРИ БІОРЕМЕДІАЦІЇ НАФТОЗАБРУДЕНИХ ҐРУНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БІОТЕСТУВАННЯ.....	133

РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНА ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА ТЕРИТОРІЙ

<i>Radomska M. M., Burlo Y. V.</i>	
DISTRIBUTED ENERGY SYSTEMS IN URBAN CONDITION – CASE STUDY OF CHERKASY.....	147
<i>Аблєєва І. Ю.</i>	
МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПЕКИ СИСТЕМИ ПРОЦЕСУ ВИДОБУВАННЯ НАФТИ ДЛЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	156
<i>Артемчук В. О., Кириленко Ю. О., Каменева І. П., Попов О. О., Ковач В. О., Яцишин А. В.</i>	
ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ РАДІАЦІЙНИХ АВАРІЙ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ.....	168
<i>Барун М., Кот А.</i>	
РОЗВИТОК БІОГАЗОВОГО ВИРОБНИЦТВА ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ВІДХОДІВ СВИНОКОМПЛЕКСУ.....	179
<i>Бєлоконь К. В., Гордієнко Д. Р.</i>	
ОЦІНКА РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. ЗАПОРІЖЖЯ ВИКИДАМИ ЗВАЖЕНИХ ЧАСТОК ПИЛУ ВІД СТАЦІОНАРНИХ ДЖЕРЕЛ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	194
<i>Бредун В. І.</i>	
МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОЇ СТРУКТУРИ РЕГІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ.....	208
<i>Ващенко В. М., Скалозубов В. І., Комаров Ю. О., Кордуба І. Б., Гриб В. Ю.</i>	
МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНОЇ АВАРІЇ З ТРИВАЛИМ ЗНЕСТРУМЛЕННЯМ НА ЕНЕРГОУСТАНОВКАХ ІЗ ВВЕР.....	218
<i>Ганошенко О. М.</i>	
АНАЛІЗ СТАНУ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ТА ДИНАМІКИ ЗАХВОРЮВАНОСТІ.....	231

<i>Гапонич Л. С., Топал О. І., Голенко І. Л., Кобзар С. Г.</i> ВИЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ВИРОБНИЦТВА RDF ДЛЯ ЗАМІЩЕННЯ ВИКОПНИХ ПАЛИВ В ЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ.....	244
<i>Гріньов В. Г., Хорольський А. О., Косенко А. В.</i> ПОТЕНЦІАЛ РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОЛОГООРІЄНТОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ.....	260
<i>Данченко Ю. М., Андронов В. А.</i> КОАГУЛЯЦІЙНЕ Й ЕЛЕКТРОКОАГУЛЯЦІЙНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД МОЛОКОЗАВОДІВ: ЕКОЛОГІЧНІ ТА ХІМІКО- ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ.....	275
<i>Данишина С. Ю.</i> МОНІТОРИНГ СМІТТЄЗВАЛИЩ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ: ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ.....	289
<i>Калінкевич О. В., Калінкевич О. М., Скляр А. М., Коченко О. В., Чіванов В. Д., Кулик О. М., Гудаков О. О., Маркіна Т. Ю.</i> СОРБЕНТИ НА ОСНОВІ ХІТИНОВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ДОВКІЛЛЯ.....	304
<i>Козій І. С., Пляцук Л. Д.</i> РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО АЛГОРИТМУ ВИБОРУ ПРИРОДОЗАХИСНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	313
<i>Кремньов В. О., Тимощенко А. В., Беляєв Г. В., Беляєва І. П., Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г.</i> СИСТЕМНА ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛО- І БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ РЕСУРСОЦІННИХ ВІДХОДІВ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ НА ТЕРИТОРІЇ ОБ'ЄДНАНИХ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД.....	326
<i>Ляшенко А. В.</i> ЕКОЛОГІЧНА ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА ТЕРИТОРІЙ.....	340
<i>Манілевич Ф. Д., Пірський Ю. К., Куций А. В.</i> РОЗРОБКА СИСТЕМИ ГЕНЕРУВАННЯ ВОДНЮ ДЛЯ ПОРТАТИВНИХ ЗАРЯДНИХ ПРИСТРОЇВ НА ОСНОВІ ПАЛИВНИХ КОМІРОК.....	350
<i>Медвежинська О. В., Кулешов С. В., Омельчук А. О., Новоселова І. А.</i> ЕЛЕКТРОХІМІЧНИЙ МЕТОД СИНТЕЗУ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ВОЛЬФРАМУ.....	361

<i>Мельник Н. В.</i>	
ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА В ЦИРКУЛЯРНІЙ БІОЕКОНОМІЦІ...	370
<i>Мітрясова О. П., Погребенник В. Д., Шибанова А. М., Джумеля Е. А.</i>	
ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ВОДНОГО ОБ'ЄКТУ ЯК УМОВА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ.....	383
<i>Назаревич Л. Є., Назаревич А. В.</i>	
СЕЙСМІЧНА АКТИВНІСТЬ РАЙОНУ ДНІСТРОВСЬКОГО ГІДРОВУЗЛА І СЕЙСМІЧНА НЕБЕЗПЕКА.....	394
<i>Новоселова І. А., Омельчук А. П.</i>	
КОНВЕРСІЯ КАРБОНОВМІСНИХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ ДОВКІЛЛЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМИ МЕТОДАМИ У РОЗПЛАВЛЕНИХ СОЛЯХ.....	416
<i>Орфанова М. М., Яцишин Т. М.</i>	
УТИЛІЗАЦІЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ВІДХОДІВ МЕТОДОМ МЕХАНОАКТИВАЦІЇ РЕЧОВИН.....	431
<i>Петрушка І. М., Петрушка К. І.</i>	
ВИРОБНИЦТВО БІОПАЛИВА ЯК ОДИН ІЗ ЧИННИКІВ СТІЙКОГО РОЗВИТКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ.....	441
<i>Піріков О. В.</i>	
РАДІОЕКОЛОГІЯ ВУГЛЕДОБУВНОЇ ТА ВУГІЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ.....	458
<i>Пічугін С. Ф., Оксененко К. О.</i>	
СТАЛЕВІ СПІРАЛЬНО-ФАЛЬЦЕВІ КОНСТРУКЦІЇ У СКЛАДІ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ	470
<i>Соловійов В. В., Довженко О. О., Погрібний В. В., Усенко Д. В.</i>	
ВІДНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ КАМ'ЯНОЇ КЛАДКИ, ПОШКОДЖЕНОЇ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ.....	485
<i>Соловійов В. В., Кузнецова Т. Ю., Ілляш О. Е., Соловійова Н. В., Іванченко А. В., Ярмола Т. І.</i>	
АНТИОКСИДАНТНА АКТИВНІСТЬ МЕЛАТОНІНУ ПРИ ПОДОЛАННІ ЕНДОЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ПРИ ЛІКУВАННІ ВІРУСНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ ЛЮДИНИ, ЗОКРЕМА ПРИ COVID-19.....	497
<i>Трегубов Д. Г., Чиркіна М. А., Слєпужніков Є. Д., Пономаренко Р. В.</i>	
РЕЖИМИ ЗНЕШКОДЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД МІКРОДУГОВИМ РОЗРЯДОМ У СИСТЕМІ З ОБ'ЄМНИМ ЕЛЕКТРОДОМ.....	509
<i>Федонюк В. В., Іванціє О. В., Іванціє В. В., Федонюк М. А.</i>	
ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ПЕРСПЕКТИВ БІОІНДИКАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ АТМОСФЕРИ У МІСТАХ (НА ПРИКЛАДІ ЛУЦЬКА).....	519

Чугай А. В., Глод А. В.

ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА
ПОВЕРХНЕВІ ВОДИ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....534

Ярошук О. С, Харитонова Н. М., Вирожемський В. К.

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЗРУЙНОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ
ПРИ БУДІВНИЦТВІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ.....549

РОЗДІЛ 3. ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА

Denisov V., Chuprina L., Pidruchna A.

PROBLEMS of USING RENEWABLE ENERGY SOURCES
IN UKRAINE.....559

Голік Ю. С., Степова О. В., Ілляш О. Е.

СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ «ВІДНОВЛЮВАНА ТЕПЛОЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА,
АЛЬТЕРНАТИВНІ ВИДИ ПАЛИВА ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ»:
ВИМОГИ ЧАСУ.....574

Коліснюк А. Г.

ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ ПРИ
ВИКОРИСТАННІ ВОДНЮ.....585

Кутний Б. А.

РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИНТЕЗУ
ГАЗОВИХ ГІДРАТІВ.....601

Лежнева О. І.

ІНТЕГРУВАННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ У
ШУМОЗАХИСНІ ЕКРАНИ.....614

Майстренко Н. Ю.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ
З УРАХУВАННЯМ ЕКОЛОГІЧНИХ, ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА
СТРУКТУРНИХ ФАКТОРІВ В ЕКОНОМІЦІ
НА ІСРАРХІЧНИХ РІВНЯХ.....623

Тесленко О. І., Дерій В. О., Соколовська І. С.

ДЖЕРЕЛА НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ТЕПЛОТИ ДЛЯ
ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК.....636

Уланов М. М.

ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОЛІЗНИХ
УСТАНОВОК ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕКОЛОГІЧНО-ЧИСТОГО
ВОДНЮ БІЛЯ ІСНУЮЧИХ БЛОКІВ АЕС В УКРАЇНІ.....651

Наукове видання

**ПОДОЛАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ТА ЗАГРОЗ ДЛЯ
ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ – 2022**

Колективна монографія

Рекомендовано до друку вченими радами Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» та
Національного університету «Львівська політехніка»

Технічне редагування – Н.О. Смоляр

Видавець «ФОП Середняк Т.К.», 49000, Дніпро, 18, а/с 1212
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК №
4379 від 02.08.2012.

Ідентифікатор видавця в системі ISBN 8111
49000, Дніпро, 18, а/с 1212
тел. (096)-308-00-38, (056)-798-04-00
E-mail: 7980400@gmail.com

