

DOI: 10.52363/2414-5866-2026-1-40

УДК 614.8:504.054:004.94

Шахов Станіслав, PhD, доцент, доцент кафедри, Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси
ORCID: 0000-0002-9161-1696

Мельниченко Андрій, PhD, доцент, доцент кафедри, Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси
ORCID: 0000-0002-7229-6926

Савельєв Дмитро, к.т.н, доцент, доцент кафедри, Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси
ORCID: 0000-0002-4310-0437

Shakhov Stanislav, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department, National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy.
ORCID: 0000-0002-9161-1696

Melnychenko Andrii, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department, National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy.
ORCID: 0000-0002-7229-6926

Saveliev Dmytro, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department, National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy.
ORCID: 0000-0002-4310-0437

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ У СФЕРІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ЩОДО ПРОГНОЗУВАННЯ ПОШИРЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН В УМОВАХ СИСТЕМНОЇ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ

IMPROVEMENT OF PUBLIC ADMINISTRATION MECHANISMS IN THE FIELD OF CIVIL PROTECTION FOR PREDICTING THE SPREAD OF HAZARDOUS CHEMICAL SUBSTANCES IN INTEGRATED URBAN DEVELOPMENT

Метою статті є обґрунтування напрямів удосконалення механізмів публічного управління у сфері цивільного захисту в частині

прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на транспорті в умовах сучасної системної міської забудови. Актуальність дослідження зумовлена потребою підвищення обґрунтованості управлінських рішень органів публічної влади та якості нормативно-правового забезпечення інженерно-технічних заходів цивільного захисту під час проектування об'єктів будівництва, розташованих поблизу маршрутів перевезення небезпечних вантажів. Методологічною основою роботи є аналіз чинної нормативно-правової бази України у сфері цивільного захисту, узагальнення наукових досліджень щодо державного регулювання техногенної безпеки та моделювання поширення токсичних речовин у забудованому середовищі, а також порівняння інструментів чинної державної методики прогнозування із сучасними CFD-підходами. Установлено, що чинний механізм публічного управління спирається на методіку прогнозування, яка має суттєві обмеження щодо застосування в умовах системної міської забудови та не забезпечує органи публічної влади й суб'єктів містобудування достатньо достовірною інформацією для прийняття управлінських рішень. Обґрунтовано, що інтеграція сучасного інструментарію (програмний комплекс Fire Dynamics Simulator із графічним інтерфейсом PyroSIM) у систему публічного управління цивільним захистом підвищує обґрунтованість рішень щодо визначення зон можливого ураження, часу підходу забрудненої хмари до об'єкта будівництва та заходів захисту населення. Зроблено висновок про доцільність оновлення національних методик і відповідних нормативно-правових актів як інструментів державної політики у сфері захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: *публічне управління, державна політика у сфері цивільного захисту, механізми публічного управління, нормативно-правове забезпечення, державне регулювання техногенної безпеки, захист населення і територій, прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій, управлінські рішення.*

The purpose of the article is to substantiate the directions for improving public administration mechanisms in the field of civil protection regarding the prediction of the consequences of the spillage (release) of hazardous chemical substances during transport accidents in conditions of modern integrated urban development. The relevance of the study is determined by the need to increase the validity of managerial decisions of public authorities and the quality of the regulatory and legal framework for engineering and technical civil protection

measures when designing construction facilities located near hazardous-cargo transportation routes. The methodological basis of the work is an analysis of the current regulatory and legal framework of Ukraine in the field of civil protection, a generalization of scientific research on the state regulation of technogenic safety and on modelling the spread of toxic substances in a built-up environment, as well as a comparison of the instruments of the current state forecasting methodology with modern CFD approaches. It has been established that the current public administration mechanism relies on a forecasting methodology that has significant limitations in conditions of integrated urban development and does not provide public authorities and urban-development actors with sufficiently reliable information for managerial decision-making. It is substantiated that integrating a modern toolkit (the Fire Dynamics Simulator software package with the PyroSIM graphical interface) into the system of public administration of civil protection increases the validity of decisions on determining potential impact zones, the arrival time of the contaminated cloud at a construction facility, and population-protection measures. A conclusion is drawn on the expediency of updating national methodologies and the relevant regulatory and legal acts as instruments of state policy in the field of protecting the population and territories from emergencies.

Keywords: *public administration, state policy in the field of civil protection, public administration mechanisms, regulatory and legal framework, state regulation of technogenic safety, protection of population and territories, emergency consequence prediction, managerial decisions.*

Постановка проблеми. Постановою Кабінету Міністрів України №6 від 9 січня 2014 року затверджено перелік об'єктів будівництва, проектна документація на будівництво яких повинна включати розділ інженерно-технічних заходів цивільного захисту. Із початком повномасштабного вторгнення, зазначений розділ набув значної актуальності, оскільки на підставі Кодексу Цивільного захисту України повинен охоплювати рішення, спрямовані на забезпечення захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій та небезпеки, що може виникнути під час воєнних (бойових) дій або внаслідок таких дій. Тому перелік об'єктів будівництва у постанові кабінету міністрів України №6 від 9 січня 2014 був значно розширений після 24 лютого 2022 року.

Склад та зміст розділу інженерно-технічних заходів цивільного захисту визначено Державним стандартом України 8773:2018 «Склад та зміст розділу інженерно-технічних заходів цивільного захисту в складі проектної документації на будівництво об'єктів. Основні положення». У

змістовній частині розділу згідно із Державним стандартом України 8773:2018 в обов'язковому порядку передбачається розроблення проектних рішень, спрямованих на мінімізацію наслідків надзвичайних ситуацій, в тому числі внаслідок аварій на транспорті.

Небезпекою під час аварії на транспорті, який рухається поблизу об'єкту будівництва є викид небезпечних хімічних речовин, що можуть загрожувати життю та здоров'ю людей, які знаходяться на об'єкті будівництва. Одним з проектних рішень, яке дозволить мінімізувати подібні наслідки є забезпечення людей, що перебувають на об'єкті засобами індивідуального захисту. Обґрунтоване рішення, щодо необхідності забезпечення засобами індивідуального захисту, може бути отримано за рахунок прогнозування наслідків такої надзвичайної ситуації. Сьогодні на території України для цього передбачено «методику прогнозування наслідків виліву (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій, в тому числі на транспорті, що затверджена наказом Міністерства внутрішніх справ України №1000 від 29.11.2019»

Небезпечні хімічні речовини можуть перевозитись за допомогою автомобільного чи залізнодорожного транспорту по місцевості із різними умовами. Наприклад від місцевості із різною густиною рослинності до щільною міської забудови. Це в свою чергу впливає на глибину поширення небезпечних хімічних речовин.

Методика, затверджена наказом Міністерства внутрішніх справ України України №1000 від 29.11.2019, згідно із додатком 6 охоплює наступні типи місцевості для прогнозування глибини поширення небезпечних хімічних речовин: лісиста із типом лісу хвойним або змішаним; лісисто-стєпова із типом лісу хвойним або листяним; стєпова; напівпустинна. Щодо населених пунктів, методика передбачає, прогнозування глибини небезпечних хімічних речовин лише для безсистемною забудови. До таких населених пунктів відноситься приватний сектор, дачні кооперативи, а також райони міської забудови з низькою щільністю будівель, де відсутня чітка квартальна структура або лінійна мережа вулиць.

Сучасні густонаселені міста на території нашої країни переважно мають системну забудову, до якої відносять житлові мікрорайони з чітким розташуванням багатоповерхівок та впорядкованими внутрішньо квартальними проїздами, центральні ділянки міст із регулярною геометричною сіткою вулиць та однаковою висотністю будівель, промислові зони з паралельно розташованими цехами та логістичними коридорами, тощо.

Але при цьому у методиці відсутні критерії, які б дозволили спрогнозувати розповсюдження небезпечних хімічних речовин в умовах сучасної системної міської забудови. Сьогодні таке прогнозування є вкрай важливим, враховуючи перелік об'єктів будівництва, що затверджений Постановою Кабінету Міністрів України №6 від 9 січня 2014.

Отже, в умовах сьогодення, удосконалення зазначеної методики, у частині можливості прогнозування наслідків викиду небезпечних хімічних речовин в умовах густонаселених міст із системною забудовою не викликає сумнівів та є актуальною науково-практичною задачею.

Аналіз досліджень. Для удосконалення методики прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій, в тому числі на транспорті, що затверджена наказом Міністерства внутрішніх справ України У №1000 від 29.11.2019 пропонується використання програмного забезпечення Fire Dynamics Simulator. Хоча зазначений програмний комплекс насамперед призначений для вирішення завдань, пов'язаних із моделюванням горіння, у роботі [1] підкреслюється можливість його застосування для прогнозування наслідків викиду небезпечних хімічних речовин, зокрема хлору.

У роботі [2] наведено результати застосування Fire Dynamics Simulator для аналізу наслідків аварійних ситуацій із викидом небезпечних продуктів горіння та токсичних домішок у складних виробничих умовах. Авторами встановлено, що використання CFD-моделювання дозволяє враховувати вплив просторової конфігурації об'єктів, метеорологічних факторів та особливостей джерела викиду, що істотно підвищує точність оцінки ризиків порівняно зі спрощеними інженерними методиками.

Дослідження [3] присвячене моделюванню поширення небезпечних речовин навколо окремої будівлі методом Large Eddy Simulation. Отримані результати підтвердили, що наявність забудови суттєво змінює структуру повітряних потоків, формує вихрові зони та локальні області підвищених концентрацій забруднювачів. Це свідчить про необхідність урахування геометрії міського середовища під час прогнозування хімічного зараження.

У роботі [4] розглянуто наслідки аварійного викиду небезпечних речовин у складній міській забудові. Авторами доведено, що щільне розташування будівель, вузькі проїзди та замкнені дворові простори здатні спричиняти накопичення токсичних домішок і збільшувати тривалість небезпечного впливу на населення.

У дослідженні [5] запропоновано поєднання CFD-моделювання поширення токсичних газів із моделями евакуації людей. Встановлено, що

просторово-часова оцінка концентрацій небезпечних речовин дозволяє підвищити обґрунтованість рішень щодо захисту населення та організації евакуаційних заходів.

Разом із тим аналіз наукових джерел свідчить, що питання застосування Fire Dynamics Simulator для прогнозування наслідків викиду небезпечних хімічних речовин саме під час аварій на транспорті поблизу об'єктів будівництва в умовах сучасної системної міської забудови досліджене недостатньо. Це обумовлює необхідність подальших досліджень у зазначеному напрямі.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні доцільності використання програмного комплексу Fire Dynamics Simulator (PyroSIM) для прогнозування наслідків викиду небезпечних хімічних речовин під час аварій на транспорті в умовах сучасної системної міської забудови, а також у визначенні його переваг порівняно з чинною методикою прогнозування.

Виклад матеріалу. Отже Fire Dynamics Simulator є безкоштовним продуктом, що розповсюджується та підтримується National Institute of Standards and Technology), США. Для більш зручного використання компанією Thunderhead Engineering розроблено графічний інтерфейс PyroSIM, який робить роботу з Fire Dynamics Simulator більш зручною та зрозумілою.

Розглянемо PyroSIM на предмет можливості прогнозувати розповсюдження небезпечних хімічних речовин в умовах сучасної системної міської забудови.

На відміну від методики [6], де місцевість розглядаються як плоска поверхня з певним коефіцієнтом шорсткості, PyroSIM дає змогу врахувати реальний рельєф та архітектурні об'єкти як повноцінні твердотільні перешкоди.

Перехід від спрощених розрахунків за методикою [6] до тривимірного моделювання в PyroSIM означає фундаментальну зміну парадигми: ми переходимо від плоского моделювання «плями» зараження до дослідження динамічного обтікання об'єктів міської забудови. У традиційних методиках вплив забудови нівелюється використанням усередненого коефіцієнта шорсткості, який просто сповільнює швидкість переднього фронту хмари, але не змінює її траєкторію. У реальних умовах системної міської забудови будівлі не просто «гальмують» газ – вони перенаправляють його, створюючи зони екстремально високих та аномально низьких концентрацій.

Наприклад при зіткненні хмари важкого газу (хлору) з фасадом будівлі відбувається розщеплення потоку. Частина газу піднімається вгору

вздовж навітряної стіни (ефект підпору), а основна маса обтікає будівлю з боків, прискорюючись у вузьких проходах між сусідніми спорудами. На відміну від методики [2], яка прогнозує рівномірне заповнення простору газом, моделювання в Fire Dynamics Simulator демонструє формування складної структури вихорів за кожною будівлею. У цих зонах виникає розрідження повітря, яке буквально «затягує» небезпечну речовину у внутрішні двори. Це пояснює явище, коли концентрація газу з тильного боку будинку може виявитися вищою, ніж з фасаду, зверненого до місця аварії.

За допомогою PyroSim можна моделювати не лише зовнішнє обтікання, а й проникнення газу всередину будівлі через дверні, віконні прорізи або вентиляцію. Це дає можливість розрахувати динаміку накопичення небезпечних хімічних речовин безпосередньо у приміщеннях, де перебувають люди.

Процес підготовки моделі розповсюдження небезпечних хімічних речовин у системній забудові із використанням PyroSIM включає декілька ключових етапів.

Першим кроком є процес створення цифрової місцевості із будівлями. Кожна будівля задається не просто як візуальний блок, а як об'єкт із певними фізичними властивостями поверхні. Є можливість враховувати матеріал стін (бетон, цегла, скло), що дозволяє моделювати теплообмін між газовою хмарою та будівлею. Це важливо при тривалих викидах, коли температура газу суттєво відрізняється від температури навколишнього середовища, що впливає на плавучість хмари. Окрім теплообміну, архітектурна побудова об'єктів у PyroSim дозволяє враховувати геометричну складність фасадів, що безпосередньо впливає на аеродинамічну шорсткість міського середовища. Кожен конструктивний елемент - від балконів та еркерів до ніш та виступів — виступає як мікро-перешкода, що створює локальні турбулентні вихори. У масштабах системної забудови тисячі таких елементів сумарно гальмують приземний шар повітря, що призводить до накопичення небезпечних хімічних речовин біля підніжжя будівель. Більше того, детальна побудова будівель дозволяє моделювати ефект «аеродинамічної тіні». У системній забудові будівлі першої лінії, що розташовані безпосередньо біля транспортних магістралей, виконують роль фізичного екрана. Програмний комплекс дає змогу кількісно оцінити, як саме конфігурація та висотність цих об'єктів перерозподіляють потоки газу: частина хмари під тиском вітру огинає будівлі з боків, створюючи зони екстремальної концентрації у вузьких міжбудинкових проїздах (ефект Вентурі), тоді як у внутрішніх

дворах формуються застійні зони. Без точного відтворення об'ємної геометрії кожної споруди неможливо спрогнозувати ці локальні «пастки», де концентрація небезпечних хімічних речовин може залишатися смертельною протягом тривалого часу. Окрему роль у створенні цифрової місцевості відіграє моделювання пористості забудови та наявності технологічних прорізів. Окрім вікон та дверей, у PyroSim доцільно відтворювати вентиляційні шахти, в'їзди у підземні паркінги та комунікаційні канали. Оскільки сучасні НХР мають різну здатність до дифузії та змішування з повітрям, наявність таких «шляхів проникнення» визначає швидкість забруднення внутрішнього об'єму будівлі. Це дозволяє перейти від загального аналізу території до конкретного розрахунку часу безпечного перебування людей усередині проектного об'єкта. Увагу слід приділити інтеграції цифрової моделі рельєфу. В умовах системної міської забудови мікрорельєф діє у синергії з фундаментами будівель, створюючи складну систему «каналів» та «пасток» для небезпечних хімічних речовин. Побудова цифрової моделі дозволяє врахувати, що фундаменти будівель фактично стають продовженням рельєфу, змінюючи його природні характеристики. Густина небезпечних хімічних речовин відрізняється від густини повітря, і навіть незначні перепади висот у поєднанні з лінійною забудовою можуть кардинально змінити вектор розповсюдження. Проектування стилізованих частин будівель, пандусів та під'їзних шляхів створює штучні поглиблення. Важкі гази мають тенденцію до гравітаційного стікання та накопичення саме в таких зонах. PyroSim дозволяє змодельовати, як хімічна речовина, рухаючись вздовж фундаменту, заповнює приямки та входи до цокольних поверхів, створюючи зони екстремально високої концентрації, які не вивітрюються протягом тривалого часу навіть за умови посилення вітру. Високі цоколи та підпірні стінки, що зводяться на ділянках зі складним рельєфом, працюють як дамби для хімічної хмари. У разі аварії на транспорті, що рухається нижче за рівнем відносно об'єкта будівництва, такі конструктивні елементи можуть слугувати природним захистом, відбиваючи основний фронт хмари. Для небезпечних хімічних речовин, що є легшими за повітря, поєднання рельєфу та забудови створює ефект «аеродинамічного підйому». Будинки, розташовані на пагорбах, можуть опинитися в зоні інтенсивного впливу газу, який піднімається схилом. У цьому випадку фундаменти та стилізованих частин будівель виступають як нахилні площини, що концентрують потік газу в певних точках фасадів, де розташовані повітрязбірні пристрої.

Другим етапом є побудова розрахункової сітки (Mesh), яка визначає точність та межі обчислень. У зонах безпосереднього прилягання до об'єкта будівництва та вздовж транспортних магістралей, де можлива аварія, доцільно застосовувати сітки із комірками невеликими розмірами. Це дозволяє детально відстежити турбулентні потоки, що виникають навколо кутів будівель та у вузьких проїздах, де концентрація газу може різко змінюватися.

Третім етапом є завдання властивостей хімічної речовини. Хоча основна база даних FDS орієнтована на продукти згоряння, інструментарій дозволяє створювати власні види газів (Species) із заданими молекулярними масами, в'язкістю та коефіцієнтами дифузії. Для хлору, густина якого значно перевищує густину повітря, програма розраховує ефект «розтікання» низом, що є найбільш небезпечним для міської забудови, оскільки газ накопичується в підвальних приміщеннях, підземних переходах та на перших поверхах будівель.

Висновки. Проведений аналіз засвідчив, що чинний механізм публічного управління у сфері цивільного захисту в частині прогнозування наслідків виліву (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на транспорті спирається на методіку, можливості якої обмежені в умовах сучасної системної міської забудови. Це знижує обґрунтованість управлінських рішень органів публічної влади та суб'єктів містобудівної діяльності, оскільки просторове розташування будівель, транспортної інфраструктури та особливості рельєфу істотно впливають на характер поширення забрудненого повітря, але не враховуються чинним нормативно визначеним інструментарієм.

Установлено, що інтеграція програмного комплексу Fire Dynamics Simulator із графічним інтерфейсом PyroSIM у систему інформаційно-аналітичного забезпечення публічного управління дозволяє перейти від спрощених площинних розрахунків до тривимірного моделювання процесів перенесення небезпечних хімічних речовин з урахуванням геометрії забудови, аеродинамічних перешкод, локальних турбулентних потоків, метеорологічних умов та фізико-хімічних властивостей речовин. Це підвищує достовірність вихідних даних, на підставі яких приймаються управлінські рішення щодо визначення зон можливого ураження, часу підходу хмари до об'єкта будівництва та потенційних шляхів впливу на населення.

Обґрунтовано доцільність застосування зазначеного інструментарію як складової механізму публічного управління під час розроблення розділу інженерно-технічних заходів цивільного захисту у складі проєктної

документації на будівництво об'єктів, розташованих поблизу транспортних магістралей перевезення небезпечних хімічних речовин, що сприятиме підвищенню ефективності реалізації державної політики захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення організаційно-правових механізмів інтеграції результатів CFD-моделювання до національної методики прогнозування та відповідних нормативно-правових актів, а також на формування практичних рекомендацій для органів публічної влади щодо використання сучасних засобів моделювання у процесі прийняття управлінських рішень у сфері цивільного захисту.

Список використаних джерел:

1. Mouilleau Y., Champassith A. CFD simulations of atmospheric gas dispersion using the Fire Dynamics Simulator (FDS) // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2009. Vol. 22, Iss. 3. P. 316–323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2008.11.009> .
2. Ryder N. L., Sutula J. A., Schemel C. F., Van Brunt V. Consequence modeling using the fire dynamics simulator // Journal of Hazardous Materials. 2004. Vol. 115, Iss. 1–3. P. 149–154. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.06.018> .
3. Vasilopoulos K., Mentzos M., Sarris I. E., Tsoutsanis P. Large eddy simulation of dispersion of hazardous materials released from a fire accident around a cubical building // Environmental Science and Pollution Research. 2021. Vol. 28. P. 50363–50377. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13604-3> .
4. Vasilopoulos K., Mentzos M., Sarris I. E. Computational assessment of the hazardous release dispersion from a diesel pool fire in a complex building's area // Computation. 2018. Vol. 6, Iss. 4. P. 65. DOI: <https://doi.org/10.3390/computation6040065> .
5. Wang J., Zhang J., Zhong W., Lu S. A dynamic approach for evaluating the consequences of toxic gas dispersion in the chemical plants using *CFD and evacuation modelling // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2020. Vol. 66. P. 104156. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104156>
6. Про затвердження Методики прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті : наказ МВС України від 29.11.2019 №

1000. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0440-20#Text> (дата звернення: 10.04.2026).

References:

1. Mouilleau, Y., & Champassith, A. (2009). CFD simulations of atmospheric gas dispersion using the Fire Dynamics Simulator (FDS). *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(3), 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.jlpr.2008.11.009>
2. Ryder, N. L., Sutula, J. A., Schemel, C. F., & Van Brunt, V. (2004). Consequence modeling using the fire dynamics simulator. *Journal of Hazardous Materials*, 115(1–3), 149–154. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.06.018>
3. Vasilopoulos, K., Mentzos, M., Sarris, I. E., & Tsoutsanis, P. (2021). Large eddy simulation of dispersion of hazardous materials released from a fire accident around a cubical building. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 50363–50377. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13604-3>
4. Vasilopoulos, K., Mentzos, M., & Sarris, I. E. (2018). Computational assessment of the hazardous release dispersion from a diesel pool fire in a complex building's area. *Computation*, 6(4), Article 65. <https://doi.org/10.3390/computation6040065>
5. Wang, J., Zhang, J., Zhong, W., & Lu, S. (2020). A dynamic approach for evaluating the consequences of toxic gas dispersion in the chemical plants using CFD and evacuation modelling. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 66, Article 104156. <https://doi.org/10.1016/j.jlpr.2020.104156>
6. Міністерство внутрішніх справ України. (2019). Про затвердження Методики прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті (Наказ № 1000). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0440-20#Text>

Фінансування. Це дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.
Використання ШІ. При підготовці цієї статті штучний інтелект не використовувався. Автор несе повну відповідальність за зміст статті.
Подяки. Автор не має подяки.

Отримано: 23.04.2026

Прийнято: 28.05.2026

Опубліковано: 22.06.2026