

Оцінка взаємозв'язку класів речовин категорії небезпек “Р” за критерієм теплоти згорання

Assessment of the Relationship Between Classes of Substances of Hazard Category “P” Using the Criterion of Heat of Combustion

Юрій Ключка^A

Corresponding author: доктор технічних наук, с.н.с., e-mail: klyuchka.yuriy@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1066-4217

Костянтин Афанасенко^B

кандидат технічних наук, доцент, e-mail: armfree0@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1877-1551

Yuriy Klyuchka^A

Corresponding author: Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: klyuchka.yuriy@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1066-4217

Kostiantyn Afanasenko^B

Candidate of Technical Science, Associate Professor, e-mail: armfree0@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1877-1551

^A Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, Україна

^B Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна

^A O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkov, Ukraine

^B National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

Received: October 11, 2025 | Revised: October 26, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.13>

Мета роботи. Оцінити взаємозв'язок між класами небезпечних речовин категорії “Р” (фізичні загрози) та їх пороговими масами для 1, 2 та 3 класів об'єкта підвищеної небезпеки в Україні, використовуючи критерій теплоти згорання (енергетичного потенціалу), та перевірити наявність системного підходу у встановленні цих мас.

Метод дослідження. Аналіз нормативно-правової бази України (Постанова КМУ №1030); збір та узагальнення даних про теплоту згорання/розкладання для представників кожного класу речовин категорії “Р”; розрахунок сумарного енергетичного потенціалу порогових мас небезпечних речовин для 1, 2 та 3 класів об'єкта підвищеної небезпеки; статистичний аналіз отриманих енергетичних показників (розрахунок середнього значення, стандартного відхилення, відносних співвідношень) для виявлення кореляцій між класами небезпеки та енергетичним потенціалом.

Теоретична цінність дослідження. Дослідження демонструє значну варіативність та відсутність прямої кореляції між встановленими в Україні пороговими масами для класів речовин категорії “Р” та їхньою теплотою згорання. Це ставить під сумнів теоретичну обґрунтованість (з точки зору єдиного енергетичного критерію) чинної системи класифікації об'єкта підвищеної небезпеки, вказуючи на можливий вплив інших, неенергетичних факторів.

Практична цінність дослідження. Виявлена невідповідність між пороговими масами та енергетичним потенціалом може вказувати на потенційні складнощі при послідовному застосуванні ризик-орієнтованого підходу до управління безпекою об'єкта підвищеної небезпеки в Україні. Результати обґрунтовують необхідність подальших наукових досліджень та потенційного перегляду чи уточнення критеріїв у нормативній базі (Постанова №1030) для забезпечення більш послідовної та науково обґрунтованої класифікації об'єкта підвищеної небезпеки, що сприятиме адекватнішій оцінці та порівнянню ризиків.

Тип статті. Теоретичний, практичний.

Purpose. To assess the relationship between the classes of hazardous substances in category “P” (physical hazards) and their threshold masses for high-hazard object classes 1, 2, and 3 in Ukraine, using the criterion of heat of combustion (energy potential), and to verify the presence of a systematic approach in establishing these masses.

Method. Analysis of the Ukrainian regulatory framework (CMU Resolution No. 1030); collection and generalization of data on the heat of combustion/decomposition for representatives of each substance class in category “P”; calculation of the total energy potential of threshold masses of hazardous substances for high-hazard object classes 1, 2, and 3; statistical analysis of the obtained energy indicators (calculation of mean value, standard deviation, relative ratios) to identify correlations between hazard classes and energy potential.

Theoretical implications. The study demonstrates significant variability and a lack of direct correlation between the threshold masses established in Ukraine for substance classes in category “P” and their heat of combustion. This questions the theoretical justification (from the perspective of a unified energy criterion) of the current high-hazard object classification system, indicating the possible influence of other, non-energetic factors.

Practical implications. The identified discrepancy between threshold masses and energy potential may indicate potential difficulties in the consistent application of a risk-oriented approach to HHO safety management in Ukraine. The results justify the need for further scientific research and potential review or clarification of criteria in the regulatory framework (Resolution No. 1030) to ensure a more consistent and scientifically based classification of high-hazard object's, which will contribute to more adequate risk assessment and comparison.

Paper type. Theoretical, practical.

Ключові слова: об'єкт підвищеної небезпеки, клас об'єкту, маса речовин, порогова маса.

Key words: high-hazard object (HHO), object class, mass of substances, threshold mass.

Вступ

Промислова діяльність, пов'язана з використанням небезпечних речовин, є невід'ємною частиною сучасної економіки, проте вона несе в собі значні ризики великих аварій. Катастрофічні події, такі як аварія в Севезо, підкреслили необхідність розробки та впровадження суворих міжнародних стандартів для управління цими ризиками. У відповідь Європейський Союз розробив Директиви Seveso, остання з яких, Директива 2012/18/ЄС (Seveso III), встановлює рамкові вимоги до запобігання великим аваріям та обмеження їхніх наслідків для людини і довкілля [1].

Для України, яка інтегрується в європейський простір, гармонізація національного законодавства з Директивою Seveso III є критично важливим завданням. Ключовим етапом у цьому процесі стало прийняття Постанови Кабінету Міністрів України від 13.09.2022 р. № 1030 “Деякі питання ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки”. Цей документ запроваджує в Україні систему класифікації об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН), що базується на порогових масах небезпечних речовин [2].

Водночас, ефективність будь-якої системи класифікації ризиків залежить від її внутрішньої узгодженості та наукової обґрунтованості критеріїв. Попередні дослідження вказують на потенційні розбіжності між класом небезпеки ОПН, визначеним за формальними пороговими масами, та фактичним рівнем ризику, що створюється об'єктом. Зокрема, виникає питання, наскільки встановлені порогові маси для різних класів речовин категорії “Р” (фізичні загрози) корелюють з їхнім реальним енергетичним потенціалом, ключовим показником якого є теплота згоряння. Відповідь на це питання є важливою для впровадження послідовного ризик-орієнтованого підходу в управлінні промисловою безпекою [3, 4].

Теоретичні основи дослідження

В [5] розглядається відхід від суто детерміністичних чи імовірнісних методів на користь інтегрованого підходу в оцінці ризиків. В основі методології лежить комплексний індекс ризику, що складається з трьох незалежних параметрів: індексу серйозності наслідків (Severity Index S), індексу ефективності управління безпекою (Management Index M) та індексу вразливості середовища (Vulnerability Index V). Розрахунок індексу серйозності наслідків (S) безпосередньо залежить від фізичних характеристик небезпечних явищ, таких як площа ураження, кінетика процесу та потенціал до ескалації. У цьому контексті оцінка енергії згоряння стає ключовим інструментом, оскільки вона дозволяє кількісно визначити вихідну енергію для моделювання цих явищ (пожеж, вибухів) і, відповідно, є необхідною умовою для об'єктивного розрахунку індексу S.

В роботі [6] показано зв'язок між технічним аналізом та адміністративними рішеннями щодо зонування територій. У ньому розглядаються два основні підходи: “заснований на наслідках” (consequence-based), що фокусується на аналізі “найгірших вірогідних сценаріїв”, та “заснований на ризику” (risk-based), що враховує імовірність. Для першого підходу, який є поширеним у багатьох країнах ЄС, розрахунок зон ураження від теплового випромінювання та надлишкового тиску є обов'язковим етапом. Оскільки ці зони є прямою функцією вивільненої енергії, оцінка енергії згоряння є необхідною вихідною точкою для визначення безпечних відстаней та обґрунтування рішень щодо розміщення житлових, соціальних та інших чутливих об'єктів.

В роботі [7] досліджується соціальний аспект управління промисловими ризиками. Автор доводить, що прозоре та об'єктивне інформування населення про потенційні загрози не лише виконує моральний та юридичний обов'язок, а й сприяє підвищенню довіри до промисловості та регуляторних органів, запобігаючи панічним настроям. Науково обґрунтована оцінка енергії згоряння та змодельовані на її основі наслідки (зони ураження,

час розвитку аварії) є тією об'єктивною базою, на якій повинна будуватися ефективна комунікація. Це дозволяє чітко пояснити громадськості суть загроз та логіку превентивних заходів, таких як плани евакуації та вимоги до забудови.

Робота [8] присвячена аналізу каскадних аварій. У роботі вводиться поняття “ескалаційного вектора” (escalation vector) – фізичного явища, що передає руйнівну дію від одного об'єкта до іншого. Основними такими векторами є теплове випромінювання від пожеж та ударна хвиля від вибухів. Інтенсивність цих векторів безпосередньо визначається кількістю вивільненої енергії. Таким чином, оцінка енергії згорання є першим і необхідним кроком для моделювання “ефекту доміно”, дозволяючи визначити, чи буде енергія первинної аварії достатньою для руйнування сусіднього обладнання та ініціювання вторинних, більш масштабних аварій.

В роботі [9] автор розширює традиційне уявлення про причини промислових аварій, фокусуючись на технологічних катастрофах, ініційованих природними явищами (Natech). Такі події, як землетруси, повені чи урагани, можуть спричинити руйнування обладнання та втрату герметичності, що призводить до витoku небезпечних речовин. У цьому контексті оцінка енергії згорання дозволяє визначити масштаб вторинних наслідків (пожеж, вибухів) після того, як природний чинник виступив ініціатором аварії. Інтеграція енергетичних розрахунків у моделі Natech-ризиків є необхідною для створення більш стійких та захищених промислових систем.

В звіті [10] представлено методологію, що розглядає планування землекористування як багатокритерійну задачу (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA). При прийнятті рішень необхідно збалансовувати такі критерії, як економічна вигода, соціальні аспекти та рівень безпеки. Результати оцінки енергії згорання слугують джерелом об'єктивних кількісних даних для критерію безпеки. Показники, розраховані на основі енергетичного потенціалу, такі як потенційна кількість жертв (Potential Loss of Life, PLL) або економічні збитки, можуть бути використані в MCDA-моделях для порівняння різних варіантів розвитку територій та вибору збалансованого рішення.

Для даної роботи значення має класифікація речовин за фізичними загрозами, оскільки вона визначає об'єкти, для яких оцінка енергетичного потенціалу є першочерговою задачею. В [1] прийнято 3 основних небезпеки: небезпечні речовини для здоров'я людини, об'єкти інфраструктури (фізична небезпека) та навколишнє природне середовище. До категорії небезпек, що становлять фізичні загрози на об'єктах підвищеної небезпеки відноситься 8 класів речовин:

1. *Вибухові речовини та вироби.* До цієї категорії належать речовини, здатні до надзвичайно швидкого екзотермічного перетворення (детонації), що супроводжується утворенням ударної хвилі та виділенням значної кількості енергії. Їхня головна небезпека полягає у практично миттєвому руйнівному впливі на обладнання та споруди, що робить превентивні заходи та конструкційну стійкість критично важливими.

2. *Горючі гази.* Ця категорія охоплює гази, які утворюють з повітрям займисті суміші в певному діапазоні концентрацій. Їхня небезпека зумовлена високою леткістю та здатністю швидко заповнювати значні об'єми, формуючи вибухонебезпечні парогазові хмари. При ініціюванні, залежно від умов (ступеня загромодження простору, потужності джерела запалювання), може реалізуватися або спалах-пожежа з інтенсивним, але короточасним тепловим випромінюванням, або вибух парогазової хмари, що генерує руйнівний надлишковий тиск. Енергія згорання є визначальним параметром для обох сценаріїв.

3. *Горючі аерозолі.* Аерозолі в герметичній упаковці, що містять горючі компоненти. Їхня небезпека полягає в тому, що при нагріванні ємність може вибухнути, утворюючи вогняну кулю та розкидаючи палаючі фрагменти. Це створює як теплову, так і механічну загрозу, а також може стати ініціатором більш масштабних пожеж.

4. *Окиснювальні речовини.* Тверді речовини або рідини, які, хоча самі по собі не обов'язково є горючими, здатні підтримувати або значно інтенсифікувати горіння інших матеріалів, зазвичай шляхом виділення кисню. Їхня присутність різко підвищує швидкість вигорання та температуру полум'я, а суміші з горючими речовинами можуть набувати вибухових властивостей. Це ускладнює процес пожежогасіння і вимагає специфічних підходів.

5. *Горючі рідини.* Одна з найпоширеніших категорій на промислових об'єктах. Небезпека визначається температурою спалаху рідини, тобто її здатністю утворювати займисту концентрацію парів над поверхнею. Основний аварійний сценарій — пожежа проливу, що характеризується тривалим та потужним тепловим випромінюванням, яке є головним фактором ескалації аварії (“ефекту доміно”). Оцінка енергії згорання є прямою характеристикою інтенсивності такого теплового потоку.

6. *Самореактивні речовини та органічні пероксиди.* Термічно нестійкі речовини, здатні до інтенсивного екзотермічного розкладання навіть без доступу кисню. Їхня небезпека є внутрішньою, оскільки молекулярна структура містить як окиснювальні, так і відновні групи. Реакція розкладання може бути ініційована нагріванням, ударом або домішками і призвести до вибуху.

7. *Пірофорні речовини.* Рідини та тверді речовини, які самозаймаються на повітрі за нормальних умов без зовнішнього джерела ініціювання. Їхня головна особливість — надзвичайно висока ймовірність займання при будь-якому витоку, що робить пожежу практично неминучим наслідком втрати герметичності.

8. *Речовини, що виділяють горючі гази при контакті з водою.* Речовини, які при взаємодії з водою (включаючи вологу з повітря) вступають у хімічну реакцію з утворенням горючих газів (наприклад, водню, ацетилену). Це створює вторинну небезпеку, оскільки спроба загасити первинне загоряння водою може призвести до утворення вибухонебезпечної хмари та значно ускладнити аварійну ситуацію.

В табл. 1 наведені порогові маси небезпечних речовин за класами небезпечних речовин для трьох класів ОПН, а також проведено оцінку співвідношення мас в кожному класі небезпек.

Таблиця 1 – Порогові маси небезпечних речовин за класами небезпечних речовин та категоріями небезпеки

Секція “Р” Фізичні загрози для об'єктів інфраструктури				Співвідношення мас в кожному класі небезпек	
				Q_2/Q_1	Q_3/Q_1
	1 клас	2 клас	3 клас	2 клас	3 клас
P1a ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ	50	10	2	0,2	0,04
P1b ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ	200	50	12,5	0,25	0,0625
P2 ЗАЙМИСТІ ГАЗИ	50	10	2	0,2	0,04
P3a ЗАЙМИСТІ АЕРОЗОЛІ	500 (маса нетто)	150 (маса нетто)	45 (маса нетто)	0,3	0,09
P3b ЗАЙМИСТІ АЕРОЗОЛІ	50 000 (маса нетто)	5000 (маса нетто)	500 (маса нетто)	0,1	0,01
P4 ОКИСНЮВАЛЬНІ ГАЗИ	200	50	12,5	0,25	0,0625
P5a ЗАЙМИСТІ РІДИНИ	50	10	2	0,2	0,04
P5b ЗАЙМИСТІ РІДИНИ	200	50	12,5	0,25	0,0625

Секція "Р" Фізичні загрози для об'єктів інфраструктури				Співвідношення мас в кожному класі небезпек	
				Q_2/Q_1	Q_3/Q_1
P5c ЗАЙМИСТІ РІДИНИ	50 000	5000	500	0,1	0,01
P6a САМОРЕАКТИВНІ РЕЧОВИНИ ТА СУМІШІ, А ТАКОЖ ОРГАНІЧНІ ПЕРЕКИСИ	50	10	2	0,2	0,04
P6b САМОРЕАКТИВНІ РЕЧОВИНИ ТА СУМІШІ, А ТАКОЖ ОРГАНІЧНІ ПЕРЕКИСИ	200	50	12,5	0,25	0,0625
P7 ПІРОФОРНІ РІДИНИ ТА ТВЕРДІ РЕЧОВИНИ	200	50	12,5	0,25	0,0625
P8 ОКИСНЮВАЛЬНІ РІДИНИ ТА ТВЕРДІ РЕЧОВИНИ	200	50	12,5	0,25	0,0625

На рис. 1 відповідно до табл. 1 наведено співвідношення мас в кожному класі небезпек відповідно до наступних залежностей:

$$\delta_{2i} = \frac{Q_{2i}}{Q_{1i}}, \quad (1)$$

$$\delta_{3i} = \frac{Q_{3i}}{Q_{1i}}, \quad (2)$$

де Q_{1i}, Q_{2i}, Q_{3i} , – табличне значення порогових мас і-го класу для 1,2 та 3 класу ОПН.

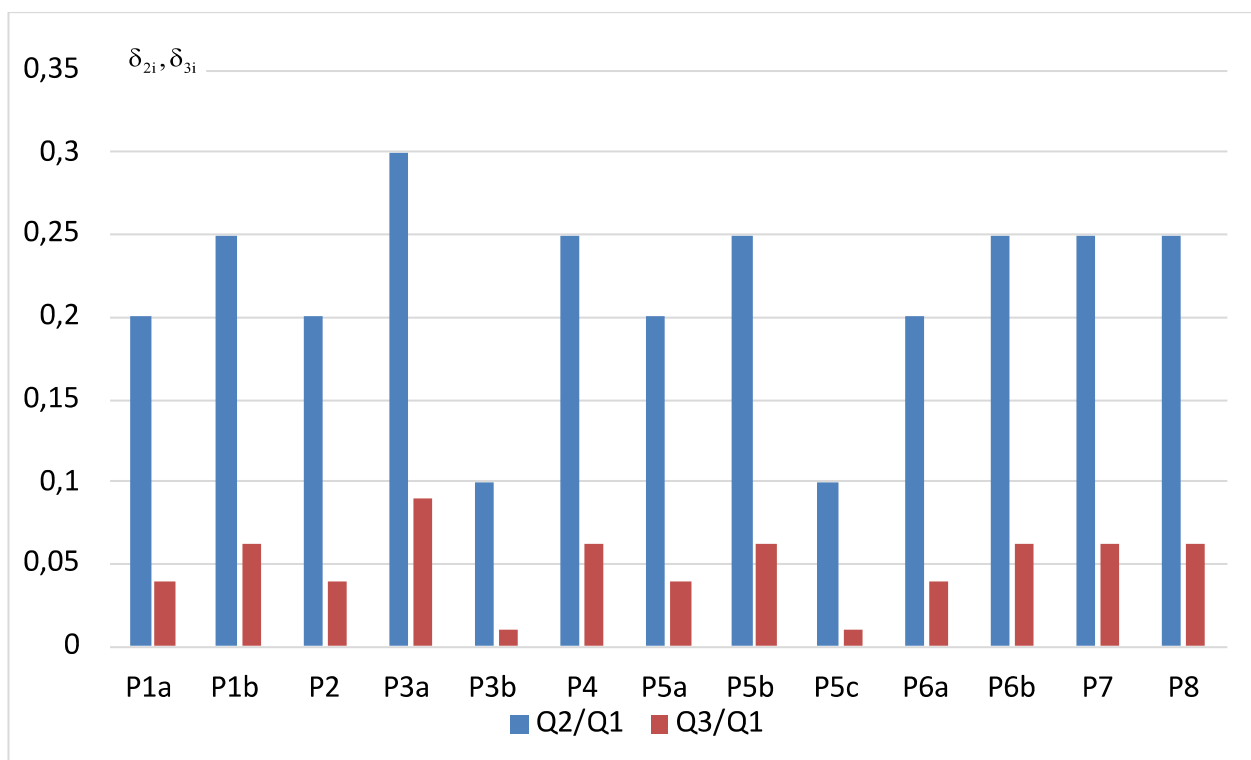


Рисунок 1 – Співвідношення мас небезпечних речовин в класі небезпек

Аналіз рисунку показує нерівномірність співвідношення мас небезпечних речовин в класах. Так δ_{2i} змінюється в інтервалі від 0,1 до 0,3, а δ_{3i} 0,01 до 0,0625. Таким чином δ_{2i} можуть відрізнятись на 200%, δ_{3i} більш ніж на 500%.

Дані результати підтверджують відсутність чіткої системи в визначенні порогових мас для класів.

Постановка проблеми

Оцінка ризику від функціонування об'єкту підвищеної небезпеки та відсутність чіткої системи в визначенні порогових мас для класів небезпечних речовин є актуальною проблемою при запровадженні ризик-орієнтованого підходу. Ця проблематика потребує проведення подальших наукових досліджень та розробки відповідних пропозицій до законодавчої бази.

Метою даної статті є оцінка взаємозв'язку класів речовин категорії небезпек "Р" (Фізичні загрози для об'єктів інфраструктури) за критерієм теплоти згорання.

Аналіз включатиме орієнтовну оцінку теплоти згорання порогової маси небезпечних речовин для 8 класів речовин та трьох класів ОПН. Окрім того за допомогою статистичного аналізу планується виявити або ж спростувати наявність зв'язку між класами небезпечних речовин за критерієм кількості енергії, що може бути виділена в результаті участі в аварійній ситуації всієї порогової маси небезпечних речовин.

Методологія дослідження

В основу дослідження покладено аналіз нормативної бази, статистичний аналіз показників небезпечних речовин, що можуть приймати участь в аварії.

Результати

З метою визначення взаємозв'язку класів речовин категорії небезпек "Р" (Фізичні загрози для об'єктів інфраструктури) за критерієм теплоти згорання було проведено оцінку в кожному класі. Звісно, що властивості речовин в кожному класі відрізняються за своїми показниками, тож для цього було використано найбільш поширені речовини з кожного класу. В таблиці 2 наведені приклади речовин та їх енергія згорання. При цьому для такого класу, як окислювальні речовини враховувалася не теплота згорання а потенційна кількість енергії яка може бути виділена при участі 1 кг окисника. При оцінці самореактивних речовин враховувалася енергія розкладання та подальше згорання отриманих горючих речовин. При оцінці вибухових речовин враховувалася не енергія вибуху, а саме згорання. При оцінці речовин, що реагують з водою проводилося врахування енергії, що виділяється при реакції з водою та подальшого горіння отриманих речовин.

Таблиця 2 – Залежність енергії згорання (участі в згорянні, розкладання та згорання) небезпечних речовин

Клас небезпечних речовин	Підгрупа	Приклади речовин	* Питома теплота згорання (Q), кДж/кг
Р1 Вибухові речовини	Р1а	Нітрогліцерин Тринітротолуол	*6,535 МДж/кг *4,19 МДж/кг
	Р1b	Чорний порох	*3,8 МДж/кг
Р2 Горючі гази		Метан, пропан	39,8 МДж/кг 48,4 МДж/кг
Р3 Горючі аерозолі	Р3а	Аерозолі на основі бутану	45,8 МДж/кг
	Р3b	Аерозолі на основі диметилового ефіру	28,9 МДж/кг
Р4 Окиснювальні речовини		Нітратна кислота Гідроген пероксид	*7-10 МДж/кг *6,8-9 МДж/кг
	Р5а	Гептан	44,5 МДж/кг

Клас небезпечних речовин	Підгрупа	Приклади речовин	* Питома теплота згорання (Q), кДж/кг
P5 Горючі рідини	P5b	Бензин	44 МДж/кг
	P5c	Бензин, ДП	42 МДж/кг
P6 Самореактивні речовини	P6a	Етил азид Триацетон трипероксид	3,5 МДж/кг – розпад *23 МДж/кг 3,1 МДж/кг – розпад *24,7 МДж/кг
	P6b	Метил етил кетон пероксид	2 МДж/кг – розпад, 12,4 МДж/кг
P7 Пірофорні речовини		Бутиллітій Білий фосфор	47,3 МДж/кг 24,1 МДж/кг
P8 Речовини, що реагують з водою		Натрій Калій Натрію гідрид	реакції з водою: 8.0 МДж/кг *сумарно 13,3 МДж/кг реакції з водою: 3.0 МДж/кг *сумарно 8,1 МДж/кг реакції з водою: 5.3 МДж/кг *сумарно 15,4 МДж/кг

На основі отриманих даних було побудовано графік залежності енергії згорання (участі в згоранні, розкладання та згорання, тощо) порогових мас небезпечних речовин відповідно до табл.2 для трьох класів ОПН.

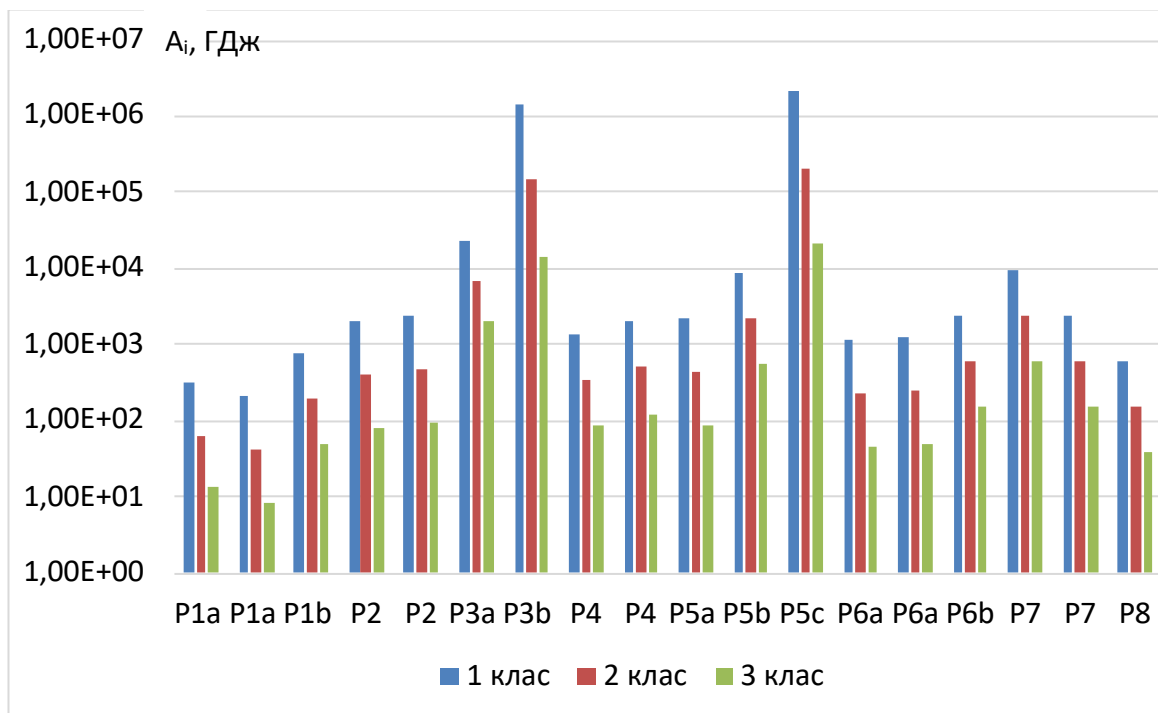


Рисунок 2 – Залежність енергії згорання (участі в згоранні, розкладання та згорання) порогових мас небезпечних речовин відповідно до табл.2.

Аналіз рисунку показує, що загальна енергія в залежності від класу може відрізнятися в сотні та тисячі разів, що говорить про відсутність взаємозв'язку за даним показником. Більш того, в деяких випадках енергія згорання від небезпечних речовин на ОПН третього класу може перевищувати енергію згорання ОПН першого класу.

Оскільки в деяких класах та підгрупах було розглянуто декілька варіантів речовин, то було проведено усереднення енергії згорання (табл. 3).

Таблиця 3 – Усереднена залежність енергії згорання A_i (участі в згорянні, розкладання та згорання) порогових мас небезпечних речовин

Клас небезпечних речовин / Підгрупа	Енергія згорання (участі в згорянні, розкладання та згорання) порогових мас небезпечних речовин, ГДж		
	1 клас	2 клас	3 клас
P1a	268	53,6	10,72
P1b	760	190	47,5
P2	2205	441	88,2
P3a	22900	6870	2061
P3b	1445000	144500	14450
P4	1700	425	106,25
P5a	2225	445	89
P5b	8800	2200	550
P5c	2100000	210000	21000
P6a	1192,5	238,5	47,7
P6b	2480	620	155
P7	5970	1492,5	373,125
P8	1840	460	115

На основі даних з табл. 3 та статистичного аналізу було отримано стандартне відхилення для вибірки

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n-1}}, \quad (3)$$

де $\bar{A}$ – математичне сподівання;
 A_i – i -й елемент вибірки;
 $n=13$.

Зведені дані для 1, 2 та 3 класу наведено в таблиці 4.

Таблиця 4– Залежність математичного сподівання та стандартного відхилення для трьох класів

	1 клас	2 клас	3 клас
Математичне сподівання ($\bar{A}$)	276564,7	28302,74	3007,192
Стандартне відхилення (S)	677270,4	67467,4	6689,539

Аналіз таблиці свідчить про високу варіативність, що вказує на те, що багато значень суттєво відрізняються від середнього. Дослідження величини A_i відносно середнього значення підтверджує високу варіативність. На рис. 3 наведено відношення $A_i/\bar{A}$ для 8 класів небезпечних речовин та їх підгруп.

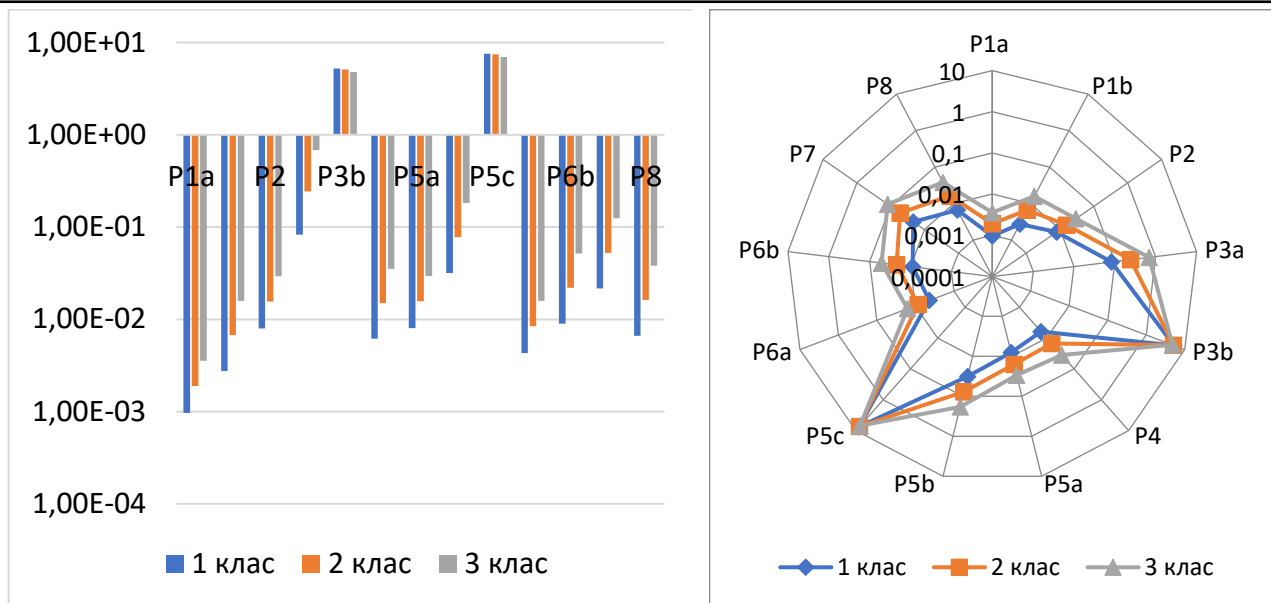


Рисунок 3 – Відношення A_i/A для 8 класів небезпечних речовин та їх підгруп.

Аналіз рисунку показує, що відношення A_i/A для 8 класів небезпечних речовин та їх підгруп може відрізнятися в 1000 разів. Даний факт може суттєво впливати на потенційні ризики, особливо коли причини виникнення НС можуть мати терористичний характер [11].

Обговорення

Результати проведеного дослідження вказують на відсутність прямої та послідовної залежності між встановленими в Україні пороговими масами небезпечних речовин категорії “Р” для різних класів ОПН та їхнім енергетичним потенціалом, вираженим через теплоту згоряння. Розрахована сумарна енергія для порогових мас демонструє надзвичайно високу варіативність, що сягає кількох порядків, між різними класами речовин в межах одного класу ОПН.

Слід визнати й обмеження даного дослідження: аналіз фокусувався переважно на теплоті згоряння (або аналогічних енергетичних показниках розкладу/реакції), використовувалися дані для репрезентативних речовин, а розрахунки для складних процесів (P4, P6, P8) містили певні спрощення.

Тим не менш, виявлена варіативність має важливі практичні та теоретичні наслідки. З практичної точки зору, це ускладнює пряме порівняння рівня ризику об'єктів різних класів лише на основі їхньої формальної класифікації, що може впливати на пріоритети інспектування, вимоги до планування землекористування та комунікацію ризиків. З теоретичної точки зору, результати вказують на необхідність розробки більш диференційованих підходів до оцінки ризику, які б глибше враховували специфіку кожної категорії речовин та сценаріїв аварій, можливо, шляхом введення додаткових коригуючих коефіцієнтів або розробки альтернативних показників безпеки. Результати також можуть слугувати підґрунтям для подальшого аналізу та потенційного вдосконалення нормативної бази України.

Висновки

1. Проведене дослідження взаємозв'язку між класами небезпечних речовин категорії “Р” (фізичні загрози) та їхніми пороговими масами, встановленими Постановою КМУ № 1030, показало відсутність чіткої кореляції за критерієм теплоти згорання (енергетичного

потенціалу). Аналіз співвідношень порогових мас для 1, 2 та 3 класів ОПН виявив значну нерівномірність між різними категоріями речовин, що свідчить про відсутність єдиного пропорційного підходу при їх встановленні.

2. Розрахунок сумарного енергетичного потенціалу порогових мас для представників кожної категорії речовин “Р” продемонстрував високу варіативність цього показника як між різними категоріями речовин в межах одного класу ОПН, так і між самими класами. Енергетичний потенціал для різних категорій може відрізнятися в сотні та тисячі разів у межах одного й того ж класу ОПН.

3. Виявлено аномальну ситуацію: для деяких категорій небезпечних речовин (наприклад, Р3b, Р5с) розрахований енергетичний потенціал порогової маси для ОПН 3-го класу виявився вищим, ніж для деяких категорій речовин (наприклад, Р1а, Р6а) на ОПН 1-го класу. Це ставить під сумнів логічну послідовність системи класифікації, якщо її розглядати виключно з точки зору енергетичного критерію.

4. Отримані результати обґрунтовують необхідність подальших досліджень для уточнення критеріїв класифікації ОПН та/або розробки диференційованих підходів до оцінки ризику, які б враховували не лише масу речовини, а й її специфічний енергетичний потенціал та ймовірні сценарії аварій. Це є важливим кроком для забезпечення послідовного впровадження ризик-орієнтованого підходу в Україні.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Directorate for Civil Protection. (2018). *Directive 2012/18/EU (Seveso-III-Directive) — Questions & Answers* (version 2018). URL : <https://www.dsb.no/contentassets/b7f3a384ca0b4c318e6d05579d3a2952/questions--answers-seveso-iii-directive-version-2018.pdf>
2. Кабінет Міністрів України. Постанова від 13.09.2022 № 1030 “Деякі питання ідентифікації об’єктів підвищеної небезпеки” // Офіц. вісник України. — 2022. — № 75. — ст. 4554. — URL : <https://zakon.rada.gov.ua/go/1030-2022-%D0%BF> (дата звернення: 2025-10-27).
3. Ключка, Ю. (2025). Кореляція класу об’єкта підвищеної небезпеки, маси небезпечних речовин та його ризику. *Social Development and Security*, 15(3), 149-162. <https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.3.15>.
4. Григоренко О. М. Класифікація об’єктів підвищеної небезпеки з урахуванням імплементації директиви Севезо 3 на території України / О. М. Григоренко, Ю. П. Ключка, С. В. Гарбуз // Проблеми надзвичайних ситуацій. — 2017. — Вип. 25. — С. 14-21. — URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pns_2017_25_5.
5. Salvi, O., Kirchsteiger, C., Delvosalle, C., Duijm, N. J., Casal, J., Goossens, L., Mazzarotta, B., Lebecki, K., Wybo, J.-L., Dusserre, G., & Londiche, H. (2002, лютий). ARAMIS: Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the framework of SEVESO II directive. Colloque Urbanisation et Prévention des Accidents Majeurs, Lille, France.
6. Christou, M. D., Struckl, M., & Biermann, T. (Ред.). (2006). Land Use Planning Guidelines in the context of Article 12 of the Seveso II Directive 96/82/EC as amended by Directive 105/2003/EC (№ EUR 22634 EN). European Commission, Joint Research Centre.

7. Renn, O. (1989). Risk communication at the community level: European lessons from the Seveso directive. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 39(10), 1301–1308. <https://doi.org/10.1080/08940630.1989.10466628>
8. Chen, C., Reniers, G., & Yang, M. (2022). Safety and security of domino effects in the process industry: The state of the art. Y.C. Chen, G. Reniers, & M. Yang, Integrating safety and security management to protect chemical industrial areas from domino effects (c. 1–48). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88911-1_1
9. Krausmann, E. Natech risk assessment and management. European Commission, Joint Research Centre. URL : https://unece.org/sites/default/files/2025-07/ENG_2_Natech_risk_assessment_and_management_Ms._Elisabeth_Krausmann_TechRisk_JRC.pdf.
10. Grønberg, C. D. (Ред.). (2000). Land use planning and chemical sites: Summary report (№ Risø-R-1234(EN)). Risø National Laboratory.
11. Klyuchka Y. (2019). Analysis of consequences of terrorist attacks at hazardous industrial facilities according to directive on prevention of severe accidents. Critical infrastructure protection (NATO Science for Peace and Security Series - D: Information and Communication Security, Vol. 52, pp. 13–20). IOS Press. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-964-5-13>

References

1. Directorate for Civil Protection. (2018). *Directive 2012/18/EU (Seveso-III-Directive) — Questions & Answers* (version 2018). <https://www.dsb.no/contentassets/b7f3a384ca0b4c318e6d05579d3a2952/questions--answers-seveso-iii-directive-version-2018.pdf>
2. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022, September 13). Resolution No. 1030 “Certain issues of identification of high-risk facilities.” *Official Bulletin of Ukraine*, (75), Article 4554. <https://zakon.rada.gov.ua/go/1030-2022-%D0%BF>
3. Klyuchka, Y. (2025). Correlation Between the Class of a High-Hazard Object, the Mass of Hazardous Substances, and its Risk. *Social Development and Security*, 15(3), 149-162. <https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.3.15>.
4. Hryhorenko, O. M., Klyuchka, Y. P., & Harbuz, S. V. (2017). Classification of high-risk facilities considering the implementation of the Seveso III Directive in Ukraine. *Problems of Emergency Situations*, (25), 14–21. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pns_2017_25_5.
5. Salvi, O., Kirchsteiger, C., Delvosalle, C., Duijm, N. J., Casal, J., Goossens, L., Mazzarotta, B., Lebecki, K., Wybo, J.-L., Dusserre, G., & Londiche, H. (2002, лютий). ARAMIS: Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the framework of SEVESO II directive. Colloque Urbanisation et Prévention des Accidents Majeurs, Lille, France.
6. Christou, M. D., Struckl, M., & Biermann, T. (Ред.). (2006). Land Use Planning Guidelines in the context of Article 12 of the Seveso II Directive 96/82/EC as amended by Directive 105/2003/EC (№ EUR 22634 EN). European Commission, Joint Research Centre.
7. Renn, O. (1989). Risk communication at the community level: European lessons from the Seveso directive. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 39(10), 1301–1308. <https://doi.org/10.1080/08940630.1989.10466628>
8. Chen, C., Reniers, G., & Yang, M. (2022). Safety and security of domino effects in the process industry: The state of the art. Y.C. Chen, G. Reniers, & M. Yang, Integrating safety and security management to protect chemical industrial areas from domino effects (c. 1–48). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88911-1_1
9. Krausmann, E. Natech risk assessment and management. European Commission, Joint Research Centre. https://unece.org/sites/default/files/2025-07/ENG_2_Natech_risk_assessment_and_management_Ms._Elisabeth_Krausmann_TechRisk_JRC.pdf.

[07/ENG 2 Natech risk assessment and management Ms. Elisabeth Krausmann TechRisk_JRC.pdf.](#)

10. Grønberg, C. D. (Ред.). (2000). Land use planning and chemical sites: Summary report (№ Risø-R-1234(EN)). Risø National Laboratory.
11. Klyuchka Y. (2019). Analysis of consequences of terrorist attacks at hazardous industrial facilities according to directive on prevention of severe accidents. Critical infrastructure protection (NATO Science for Peace and Security Series - D: Information and Communication Security, Vol. 52, pp. 13–20). IOS Press. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-964-5-13>