

УДК 658.382.3:355.01:004.8

DOI: 10.31471/2304-7399-2025-21(79)-427-438

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ І ВОЄННИХ РИЗИКІВ В СИСТЕМІ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ НА ОБ'ЄКТАХ НАФТОГАЗОВОЇ ГАЛУЗІ

В. Г. Погребняк¹ , О. Р. Кондрат¹ , І. В. Перкун¹ ,
А. В. Погребняк² 

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;

e-mail: VGPogrebnyak@gmail.com;

²Університет митної справи та фінансів; 49000, м. Дніпро,
вул. Вернадського, 2/4; e-mail: pogrebnyak.av1985@gmail.com

Підприємства нафтогазового комплексу України функціонують в умовах безпрецедентного поєднання виробничих небезпек та прямих воєнних загроз. Існуючі моделі управління ризиками не враховують синергетичний ефект від умисних зовнішніх впливів, що створює нагальну проблему для стійкості критичної інфраструктури. Метою роботи є розробка науково-методичного підходу до інтегральної оцінки ризиків, який враховує синергію виробничих, техногенних, організаційних, людського та воєнних факторів. Підхід базується на системному аналізі, стандарті ISO 31000 та кількісному аналізі. Запропоновано класифікацію ризиків та модель розрахунку інтегрального показника як зваженої суми ризиків по кожній групі, що оцінюються експертним шляхом за ймовірністю та тяжкістю наслідків. Апробація моделі на прикладі компресорної станції показала, що найбільший внесок у загальний рівень небезпеки вносять фактори прямого воєнного ураження та людський фактор, посилений психологічним стресом. Запропонований підхід є інструментом для модернізації систем промислової безпеки та цивільного захисту, дозволяючи обґрунтовувати пріоритетність інвестицій у фізичний захист об'єктів та психологічну підтримку персоналу в умовах війни.

Ключові слова: ризик-орієнтований підхід; зовнішній вплив; оцінка ризиків; людський фактор в умовах стресу; інтегральний показник ризику; синергія виробничих та воєнних загроз; стійкість критичної інфраструктури.

Вступ

За даними Міжнародної організації праці, щорічно у світі стається понад 340 мільйонів нещасних випадків на виробництві, а близько 2,3 мільйона людей гинуть внаслідок професійних захворювань та травм [1]. Значна частка цих інцидентів припадає на галузі з високим рівнем

небезпеки, серед яких нафтогазовий комплекс посідає одне з провідних місць. Ця галузь є не лише ключовим елементом світової енергетичної системи, але й стратегічним сектором для забезпечення енергетичної незалежності України [2, 3].

Специфіка підприємств нафтогазової сфери полягає у нерозривному зв'язку виробничих процесів з роботою в екстремальних умовах: високий тиск, значні температури, наявність вибухонебезпечних, легкозаймистих і токсичних речовин. Статистика свідчить, що рівень смертельного травматизму в секторі видобутку нафти та газу може у 5–7 разів перевищувати середній показник для всіх галузей промисловості. Кожен інцидент несе в собі не лише пряму загрозу життю та здоров'ю персоналу, але й ризик масштабної техногенної аварії з катастрофічними екологічними та економічними наслідками [4].

Повномасштабне військове вторгнення російської федерації додало до цих традиційних ризиків новий, екзистенційний вимір. Підприємства нафтогазового комплексу України перетворилися на цілі для прямих та цілеспрямованих ракетних і дронів атак, а також зазнають ризиків диверсій. Зовнішній умисний вплив може стати первинним ініціюючим фактором для каскадного розвитку техногенної катастрофи. Окрім того, постійна загроза, психологічний тиск та підвищена втомлюваність персоналу суттєво збільшують ймовірність людської помилки навіть при виконанні рутинних операцій [5]. В таких умовах стабільне функціонування галузі перетворилося з економічної задачі на критично важливий фактор національної безпеки та стійкості держави.

В цих умовах, ускладнених прямою військовою агресією, традиційні, реактивні підходи до управління безпекою праці є критично недостатніми. Вони не були розроблені для протидії зовнішнім умисним впливам і не дозволяють повною мірою врахувати унікальну синергію виробничих ризиків із воєнними загрозами [6–8]. Це формує нагальну науково-практичну проблему, що полягає у необхідності розробки комплексних моделей оцінки ризиків, здатних інтегрувати як внутрішні, технологічні, організаційні, так і зовнішні, воєнні фактори.

Відтак, завдання з ідентифікації, оцінки та моделювання професійних і воєнних ризиків на підприємствах нафтогазового комплексу набуває особливої актуальності, оскільки його вирішення безпосередньо впливає на підвищення рівня промислової безпеки, стійкості критичної інфраструктури та ефективності заходів цивільного захисту в умовах війни.

Постановка задачі дослідження

Проблематика моделювання та управління ризиками в промисловості має потужне наукове підґрунтя. Фундаментальні основи теорії безпеки та ризику закладені у працях провідних вітчизняних вчених. Так, у роботах [9, 10] сформульовано базові принципи безпеки праці та життєдіяльності, що стали основою для формування наукових шкіл у провід-

них технічних університетах України. Дослідженнями в галузі управління безпекою праці, оцінки умов праці та надійності людського фактора відомі наукові школи, сформовані навколо праць [9–13]. Ці роботи заклали методологічну базу для ідентифікації та класифікації небезпечних і шкідливих виробничих факторів у різних галузях промисловості.

На міжнародному рівні широко відомі та застосовуються якісні та кількісні методи аналізу ризиків, такі як метод аналізу небезпеки та працездатності HAZOP [14], аналіз видів і наслідків відмов FMEA [15], аналіз «дерева відмов» FTA [16] та «дерева подій» ETA [17]. Ці підходи, що детально описані у світовій науковій літературі, стали основою для розробки міжнародних стандартів, зокрема ISO 31000 «Менеджмент ризиків» [18] та ISO 45001 «Системи менеджменту охорони здоров'я та безпеки праці» [19], які є орієнтиром для побудови корпоративних систем безпеки.

У контексті нафтогазової галузі дослідження сфокусовані на моделюванні специфічних сценаріїв аварій, пов'язаних із розгерметизацією обладнання, витокami та розповсюдженням токсичних і вибухонебезпечних речовин. Особлива увага приділяється аналізу надійності критично важливого обладнання та ролі людського фактору, для чого застосовуються спеціалізовані методики, як аналіз надійності людини HRA [20]. Ключовими орієнтирами в галузі є стандарти Американського інституту нафти API, що детально регламентують вимоги до безпеки на всіх етапах життєвого циклу об'єктів [21, 22].

Окремим напрямом досліджень, що набув особливої ваги, є питання безпеки в надзвичайних ситуаціях. Вагомий внесок у розробку теорії та практики цивільного захисту та дій в умовах надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру зроблено у наукових працях К.Н. Ткачука [23] та його послідовників [24, 25]. У цих роботах розглядаються алгоритми реагування та мінімізації наслідків аварій, однак в контексті мирного часу.

Отже, проведений аналіз сучасного стану питань промислової безпеки, надійності обладнання та цивільного захисту, виявив суттєву наукову прогалину. Переважна більшість існуючих моделей та методик розглядає ризики, що виникають внаслідок внутрішніх причин технічних відмов, помилок персоналу чи організаційних недоліків. Практично відсутні комплексні моделі, що дозволяють оцінити синергетичний ефект від одночасної дії виробничих несправностей та зовнішніх умисних впливів, зокрема цілеспрямованих військових атак. Існуючі підходи не призначені для аналізу ризику, де ініціюючою подією є не випадкова відмова, а акт воєнної агресії.

Таким чином, наявна науково-методична база потребує суттєвої адаптації та доповнення для адекватного реагування на виклики, що постали перед промисловістю України. Необхідність розробки нового

підходу до моделювання ризиків, який би інтегрував воєнну складову, є очевидною та науково обґрунтованою.

Метою статті є розробка науково-методичного підходу до моделювання та інтегральної оцінки ризиками на підприємствах нафтогазового комплексу, який, на відміну від існуючих, враховує синергетичний вплив традиційних виробничих факторів техногенних, організаційних, людського фактору та прямих воєнних загроз.

Розробка такого підходу дозволить науково обґрунтовувати пріоритетні превентивні заходи, спрямовані на підвищення стійкості та захищеності об'єктів критичної інфраструктури в умовах повномасштабної війни.

Виклад основного матеріалу дослідження

Вступ до методології: перехід до ризик-орієнтованої стійкості. В основі запропонованого у статті науково-методичного підходу лежить синтез принципів системного аналізу, положень міжнародного стандарту з управління ризиками ISO 31000, елементів кількісного аналізу ризиків Quantitative Risk Assessment, QRA та інженерії безпеки. Цей підхід знаменує собою концептуальний перехід від традиційної, переважно реактивної моделі управління охороною праці – парадигма «Safety-I», що фокусується на аналізі відмов та інцидентів, до проактивної, ризик-орієнтованої системи – парадигма «Safety-II», що націлена на посилення стійкості системи та здатності успішно функціонувати в умовах мінливих загроз [26]. В умовах повномасштабної війни, коли загрози є динамічними та часто непередбачуваними, саме здатність системи до стійкого функціонування resilience, а не лише запобігання відомим відмовам, стає ключовим критерієм безпеки. Виникає необхідність створення динамічного інструменту, здатного не лише фіксувати поточний стан безпеки, але й прогнозувати його зміни під впливом комплексу різномірних факторів.

Об'єкт, інформаційна база та комплексна класифікація ризиків. Як об'єкт дослідження розглядаються ключові елементи нафтогазової інфраструктури, такі як бурова установка, установка комплексної підготовки нафти і газу УКПН, компресорна станція магістрального газопроводу, що функціонують в умовах підвищеної небезпеки, зумовленої воєнним станом.

Інформаційною базою для аналізу є багаторівневий масив даних, що включає внутрішню документацію підприємства, ретроспективні дані зі звітів про інциденти, аварії та нештатні ситуації near-misses, журнали технічного обслуговування та ремонтів критичного обладнання, дані систем промислового контролю та газового аналізу, журнали нарядів-допусків.

Результати структурованих інтерв'ю та анкетування провідних фахівців підприємства, головних інженерів, технологів, начальників служб охорони праці та цивільного захисту, що дозволяють оцінити ймовірнісні характеристики подій, для яких відсутня достатня статистична вибірка.

Аналітичні зведення та звіти державних органів влади, військових адміністрацій та міжнародних спостережних місій щодо характеру, інтенсивності та типів воєнних загроз у конкретному регіоні.

Ключовим етапом, що визначає адекватність усієї моделі, є ідентифікація та структурована класифікація факторів ризику. Пропонується комплексна класифікація, що поділяє фактори на дві фундаментально різні групи: внутрішні виробничі, що відображають операційну діяльність (табл. 1), та зовнішні воєнні (табл. 2), що характеризують унікальні умови сьогодення. Важливо підкреслити їхню взаємозалежність: зовнішній фактор наприклад, пошкодження ЛЕП може стати тригером для реалізації внутрішнього техногенного ризику відмова систем автоматики.

Таблиця 1. Класифікація внутрішніх виробничих ризиків

Підгрупа	Код фактора	Назва та опис фактора
Техногенні фактори ТФ	ТФ ₁	Відмова або некоректна робота противикидного обладнання превенторів
	ТФ ₂	Розгерметизація трубопроводів, запірної арматури чи ємностей під тиском
	ТФ ₃	Порушення в роботі систем енергопостачання, автоматики та контролю АСУ ТП
	ТФ ₄	Критичний знос бурового та іншого технологічного обладнання, втомі металу
Організаційні фактори ОФ	ОФ ₁	Порушення в системі нарядів-допусків на виконання робіт підвищеної небезпеки
	ОФ ₂	Недостатній рівень кваліфікації та практичної підготовки персоналу
	ОФ ₃	Недотримання графіків планово-попереджувальних ремонтів та ТО
	ОФ ₄	Недосконалість планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій ПЛАС
Людський фактор ЛФ	ЛФ ₁	Пряме порушення інструкцій з охорони праці та технологічних регламентів
	ЛФ ₂	Помилки при керуванні обладнанням, спричинені втомою або психологічним стресом
	ЛФ ₃	Неправильна комунікація та координація дій між членами робочої бригади

Методика кількісної оцінки квантифікації факторів ризику. Кількісна оцінка є ядром методики. Показник ризику для кожного окремого фактора R_{factor} визначається за класичною формулою: $R_{\text{factor}} = P \times S$, де P – ймовірність реалізації фактора (табл. 3), а S – тяжкість потенційних наслідків (табл. 4).

Процес визначення Р та S є процедурою експертної оцінки, що вимагає чіткої організації для мінімізації суб'єктивізму. Формується експертна група з 5–7 фахівців різного профілю. Для досягнення консенсусу може застосовуватися метод Дельфі [27, 28], багатотурове анонімне анкетування з наданням узагальнених результатів попереднього туру. Це дозволяє нівелювати вплив когнітивних упереджень наприклад, надмірного оптимізму або «ефекту якоря».

Особливої уваги потребує оцінка воєнних ризиків. Ймовірність Р для них визначається не виробничою статистикою, а аналізом оперативної обстановки, віддаленість від лінії фронту, стратегічна важливість об'єкта, інтенсивність атак у регіоні. Тяжкість наслідків S для воєнних ризиків майже завжди є високою 4–5 балів.

Таблиця 2. Класифікація зовнішніх воєнних ризиків

Підгрупа	Код фактора	Назва та опис фактора
Фактори прямого ураження ВП	ВП ₁	Ракетний удар по об'єкту (крилаті, балістичні ракети)
	ВП ₂	Атака безпілотним літальним апаратом (БПЛА камікадзе)
	ВП ₃	Артилерійський обстріл або удар з реактивних систем залпового вогню (РСЗВ)
Фактори опосередкованого впливу ВО	ВО ₁	Пошкодження критичної інфраструктури лінії електропередач, під'їзні шляхи, зв'язок
	ВО ₂	Кібератака на корпоративні мережі та системи управління АСУ ТП / SCADA
	ВО ₃	Вплив вибухової хвилі та уламків від ураження об'єктів у безпосередній близькості
	ВО ₄	Ризики, пов'язані з діяльністю диверсійно-розвідувальних груп ДРГ

Таблиця 3. Шкала для оцінки ймовірності Р

Бал	Рівень ймовірності	Пояснення
1	Майже неможливо	Подія може статися лише за унікального збігу обставин: не фіксувалася в галузі
2	Малоймовірно	Подія трапляється рідко: рідше 1 разу на 5 років, але відомі випадки в галузі
3	Можливо	Подія може статися: фіксувалася на підприємстві, ймовірність реалізації 1 раз на 1–5 років
4	Ймовірно	Подія скоріш за все станеться за наявних умов: трапляється періодично, частіше 1 разу на рік
5	Майже неминуче	Подія точно станеться в найближчій перспективі, якщо не вжити термінових превентивних заходів

Таблиця 4. Шкала для оцінки тяжкості наслідків S

Бал	Рівень наслідків	Деталізований опис. Персонал, обладнання, довкілля.
1	Незначні	Інцидент без травм: незначне пошкодження, що усувається на місці; без зупинки виробництва
2	Малі	Травма, що потребує надання першої допомоги; пошкодження обладнання, що потребує ремонту; короткочасна зупинка
3	Середні	Травма з тимчасовою втратою працездатності; значне пошкодження вузла обладнання; часткова зупинка об'єкта
4	Великі	Смертельний випадок або тяжка травма інвалідність; руйнування великої одиниці обладнання; локальне забруднення довкілля
5	Катастрофічні	Груповий смертельний випадок; повне руйнування об'єкта, що призводить до припинення його функціонування; масштабна екологічна катастрофа

Побудова інтегральної моделі ризику. Інтегральний показник ризику R_{int} є фінальним індикатором, що комплексно характеризує рівень небезпеки об'єкта. Його розрахунок базується на принципі зваженої суми, що дозволяє врахувати різну стратегічну важливість кожної групи ризиків через вагові коефіцієнти K_i . Формула має вигляд:

$$R_{\text{int}} = (K_{\text{ТФ}} \cdot R_{\text{avg ТФ}}) + (K_{\text{ОФ}} \cdot R_{\text{avg ОФ}}) + (K_{\text{ЛФ}} \cdot R_{\text{avg ЛФ}}) + (K_{\text{ВП}} \cdot R_{\text{avg ВП}}) + (K_{\text{ВО}} \cdot R_{\text{avg ВО}})$$

де R_{avg} – середнє арифметичне значення показників ризику у відповідній групі, а $\sum K_i = 1$.

Апробація моделі на умовному прикладі кейс-стаді. Розглянемо кейс для об'єкта «Компресорна станція», що знаходиться за 40 км від зони активних бойових дій (табл. 5).

Крок 1: Визначення вагових коефіцієнтів.

Керівництвом визначено $K_{\text{ВП}}=0,4$; $K_{\text{ВО}}=0,2$; $K_{\text{ТФ}}=0,2$; $K_{\text{ЛФ}}=0,1$; $K_{\text{ОФ}}=0,1$.

Крок 2 Експертна оцінка факторів.

Фрагмент протоколу експертної групи.

Крок 3: Розрахунок інтегрального ризику.

Припустимо, середні значення по групах склали: $R_{\text{ТФ}}=9,5$; $R_{\text{ОФ}}=8,0$; $R_{\text{ЛФ}}=12,5$; $R_{\text{ВП}}=18,0$; $R_{\text{ВО}}=9,0$.

$$R_{\text{int}} = (0.2 \cdot 9.5) + (0.1 \cdot 8.0) + (0.1 \cdot 12.5) + (0.4 \cdot 18.0) + (0.2 \cdot 9.0) = 1.9 + 0.8 + 1.25 + 7.2 + 1.8 = 12.95 \approx 13$$

Крок 4: Інтерпретація та управлінські рішення.

Таблиця 5. Фрагмент розрахунку показників ризику R_{factor}

Код фактора	Назва фактора	Обґрунтування оцінки P, S	P	S	R_{factor}
ТФ ₁	Відмова компресора	Обладнання відносно нове, але є проблеми з постачанням імпортованих запчастин: P=2. Наслідки відмови – каскадна аварія: S=5.	2	5	10
ОФ ₂	Недостатня кваліфікація	Частина досвідченого персоналу мобілізована, залучені нові кадри: P=3. Помилки можуть призвести до середніх за тяжкістю аварій: S=3.	3	3	9
ЛФ ₂	Помилка через стрес	Робота в умовах частих повітряних тривог, високий рівень стресу: P=4. Наслідки помилки оператора в критичний момент – значні: S=4.	4	4	16
ВП ₂	Атака БПЛА	Регулярні атаки на енергетичні об'єкти в регіоні: P=4. Пряме влучання в машинний зал – катастрофа: S=5.	4	5	20
ВО ₁	Пошкодження ЛЕП	ЛЕП є протяжним і вразливим об'єктом, удари по енергосистемі часті: P=3. Наслідки – аварійна зупинка станції: S=3.	3	3	9

Значення $R_{\text{int}} \approx 13$ потрапляє у зону «Неприйнятний ризик». Це вимагає негайної розробки плану коригувальних дій. Аналіз показує, що найбільший внесок у загальну суму роблять групи ВП – 7,2 та ЛФ – 1,25. Отже, першочергові заходи мають включати:

За напрямом ВП воєнні загрози.

Термінові – посилення фізичного захисту зведення габіонів, обвалування, встановлення систем пасивного захисту від БПЛА – сітки, маскування.

Стратегічні – розробка плану розосередження критично важливих запчастин та матеріалів.

За напрямом ЛФ людський фактор.

Термінові – впровадження програм психологічної підтримки персоналу, оптимізація графіків роботи для уникнення перевтоми.

Стратегічні – проведення додаткових протиаварійних тренувань, що імітують дії в умовах комбінованих загроз напр., ліквідація витoku газу під час повітряної тривоги.

Модель передбачає динамічний моніторинг показник R_{int} , який має перераховуватись щоквартально, а також негайно після будь-якої суттєвої зміни оперативної обстановки, наближення фронту або виробничої обстановки, встановлення нового обладнання.

Висновки

1. На основі проведеного дослідження розроблено новий науково-методичний підхід до оцінки рівня безпеки на підприємствах нафтогазового комплексу. Його відмінною рисою є комплексна інтеграція двох принципово різних груп загроз: внутрішніх виробничих та зовнішніх воєнних, що дозволяє отримати більш адекватну та реалістичну картину ризиків в умовах повномасштабної війни. В основі підходу лежить кількісна модель, що базується на експертній оцінці ймовірності та тяжкості наслідків з використанням вагових коефіцієнтів, яка є гнучким інструментом для об'єктивізації оцінки. Розрахунок інтегрального показника ризику R_{int} дозволяє перейти від якісних описів до конкретного числового індикатора, що є основою для обґрунтованого прийняття управлінських рішень.

2. Апробація запропонованої моделі на умовному прикладі продемонструвала її практичну придатність, показавши, що в поточних умовах найбільший внесок у загальний рівень ризику часто роблять не класичні техногенні відмови, а фактори прямого воєнного ураження та людський фактор, посилений психологічним стресом.

3. Запропонований підхід може слугувати основою для розробки та модернізації корпоративних систем управління промисловою безпекою та цивільним захистом, надаючи керівництву інструмент для обґрунтування інвестицій у фізичний захист об'єктів та психологічну підтримку персоналу.

Література

1. *Safety and Health at Work* [Electronic resource] / International Labour Organization. 2024. <https://www.ilo.org/media/67566/download>
2. Закон України № 1882-IX "Про критичну інфраструктуру". 2021. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20>
3. Закон України № 2469-VIII "Про національну безпеку України". 2018. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text>
4. Mason K. L. et al. Occupational Fatalities During the Oil and Gas Boom – United States, 2003–2013. *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*. 2015. Vol. 64, No. 20. P. 551–554. <https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6420a4.htm>
5. An J., Kang E., Choi Y. J., Lim H., Lee H., Park E. Association of exposure to missile and bomb attacks with mental health symptoms among Ukrainian adults during the 2022 Russian invasion. *JAMA Network Open*. 2025. Vol. 8, no. 6. Art. e2830228. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2025.30228>
6. Закон України № 2694-XII. *Про охорону праці* [On Labor Protection] (Law of Ukraine No. 2694-XII). 1992. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
7. Закон України № 5403-VI. *Кодекс цивільного захисту України*. 2012. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>

8. Указ Президента України № 56/2022 "Стратегія забезпечення державної безпеки". 2022. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/56/2022#Text>
9. Ткачук К. Н., Васийчук В. О. Управління ризиками в системі охорони праці на підприємстві. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2021. № 4. С. 115–121.
10. Желібо Є. П., Заверуха Н. М., Зацарний В. В. Безпека життєдіяльності: підручник. Київ: Каравела, 2017. 320 с.
11. Радецький І. І., Горобинський С. В., Костанян В. Р. і ін. Удосконалення системи управління безпеки виробництва підприємств нафтогазового комплексу [Improving the safety management system of oil and gas complex enterprises]. *Нафтова і газова промисловість*, 2012. № 6. С. 16–20.
12. Левченко О. Г., Бахрушин В. Е., Соколов М. М. *Охорона праці та цивільний захист: підручник* [Labor protection and civil defense: A textbook]. КПІ ім. І. Сікорського. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/26895/1/OP_ta_TsZ_pidruchnyk.pdf
13. State Standard of Ukraine. (1993). *Безпечність промислових підприємств. Терміни та визначення* [Safety of industrial enterprises. Terms and definitions] (ДСТУ 2156-93).
14. ДСТУ EN ІЕС 61882:2019 Дослідження небезпеки та працездатності (дослідження HAZOP). Настанова щодо застосування (EN ІЕС 61882:2016, IDT; ІЕС 61882:2016, IDT). [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 101 с.
15. ДСТУ ІЕС 60812:2015 Методи аналізу надійності. Метод аналізу видів і наслідків відмов (FMEA) (ІЕС 60812:2006, IDT). [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 49 с.
16. ДСТУ ІЕС 61025:2008 Аналіз дерева відмов (FTA) (ІЕС 61025:2006, IDT). [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2011. 41 с.
17. ДСТУ EN 62502:2015 Методи аналізу надійності. Аналіз дерева подій (ETA) (EN 62502:2010, IDT). [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 27 с.
18. ДСТУ ISO 31000:2018 Менеджмент ризиків. Принципи та настанови (ISO 31000:2018, IDT). [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 21 с.
19. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи менеджменту охорони здоров'я та безпеки праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). [Чинний від 2021-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. 41 с.
20. ДСТУ ІЕС 62508:2016 Настанови щодо аспектів надійності, пов'язаних з людиною (ІЕС 62508:2010, IDT). [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 119 с.
21. *American Petroleum Institute* [Electronic resource]. <https://www.api.org>

22. Lees F. P. *Lees' Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control*. 4th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2012. 3864 p.
23. Ткачук К. Н., Скоробогатов В. В. Аналіз ризиків в системі цивільного захисту: інтеграція техногенних та природних загроз. *Техногенно-екологічна безпека*. 2022. № 12(2). С. 44–51.
24. Єременко, С. А., & Камишин, В. В. (за заг. ред. О. П. Яшкіна). *Управління ризиками у сфері цивільного захисту*: Навчальний посібник. ІДУЦЗ НУЦЗУ. 2019.
25. Яшкін О. П., Тютюнник В. В. Модель прийняття рішень при загрозі виникнення надзвичайних ситуацій на потенційно небезпечних об'єктах. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2018. № 28. С. 135–145.
26. Hollnagel E. *Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management*. Boca Raton: CRC Press, 2014. 169 p.
27. Dalkey N. C., Helmer O. *The Delphi Method: An Experimental Study of Group Opinion*. Santa Monica: RAND Corporation, 1963. 82 p.
28. *The Delphi Method: Techniques and Applications* / ed. by H. A. Linstone, M. Turoff. Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub. Co., 1975. 620 p.
- Стаття надійшла до редакційної колегії 03.09.2025 р.*
Прийнято до друку 04.09.2025 р.

MODELING OCCUPATIONAL AND MILITARY RISKS FOR SAFETY AND CIVIL DEFENSE IN THE OIL AND GAS SECTOR

V. G. Pogrebnyak¹ , O. R. Kondrat¹ , I. V. Perkun¹ ,
A. V. Pogrebnyak² 

¹Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;
76019, 15 Karpatska Str., Ivano-Frankivsk;
e-mail: VGPogrebnyak@gmail.com;

²University of Customs and Finance; 49000, 2/4 Vernadskoho Str., Dnipro,
Ukraine; e-mail: pogrebnyak.av1985@gmail.com

The operation of Ukraine's oil and gas enterprises is occurring under an unprecedented combination of traditional industrial hazards and direct military threats. The full-scale aggression has turned the industry's facilities into targets for missile and drone attacks, which can initiate the cascading development of technological disasters. Existing risk management models are critically insufficient as they were not designed to counter deliberate external impacts and do not account for the synergistic effect of combining production failures with military threats. This creates an urgent scientific and practical problem that requires immediate resolution to ensure the resilience of critical infrastructure. To develop a scientific and methodological approach for the integrated risk assessment at oil and gas enterprises which,

unlike existing ones, considers the synergistic impact of traditional production factors technogenic, organizational, human and direct military threats. The development of such an approach will allow for the scientific substantiation of priority preventive measures aimed at increasing the resilience and protection of facilities in wartime conditions. The approach is based on a synthesis of systems analysis, the provisions of the ISO 31000 standard, and elements of quantitative risk assessment. A comprehensive classification of internal production and external military risks is proposed. Each individual risk factor is quantitatively assessed using a classic formula that considers the probability of its occurrence and the severity of potential consequences, determined through organized expert evaluation. A model has been developed that allows for the calculation of an integral risk indicator as a weighted sum of the average risks for each group, taking into account their strategic importance determined by weighting coefficients. Testing the model on a case study of a compressor station demonstrated its practical applicability and showed that, in current conditions, the greatest contribution to the overall danger level comes from factors of direct military impact and the human factor, intensified by psychological stress. The proposed approach serves as a tool for modernizing corporate industrial safety and civil protection management systems. It enables the justification of investment priorities in the physical protection of facilities, psychological support for personnel, and the adaptation of safety strategies to dynamic wartime conditions. The model can be scaled for other critical infrastructure sectors in Ukraine.

Keywords: *risk-based approach; external impact; risk assessment; human factor under stress; integrated risk index; synergy; resilience of critical infrastructure.*