



Н. М. Кічата¹, О. В. Третьяков¹, Б. Д. Халмуратов¹, М. С. Пуха²

¹Національний авіаційний університет, Київ, Україна

²Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6991-3970> – Н. М. Кічата

<https://orcid.org/0000-0002-0457-9553> – О. В. Третьяков

<https://orcid.org/0000-0003-2225-6528> – Б. Д. Халмуратов

<https://orcid.org/0009-0009-4794-9436> – М. С. Пуха

✉ naturly@ukr.net

МЕТОДИКА АНАЛІЗУ ЗАГРОЗ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ОБ'ЄКТАХ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРУ (НА ПРИКЛАДІ АВТОЗАПРАВНОЇ СТАНЦІЇ)

Проблема. Україна перебуває в кризовому стані розвитку транспортної галузі. Основними причинами цього є воєнні дії в Україні, системне недофінансування, недостатнє технічне обслуговування інфраструктури та транспорту. Це не лише ускладнює виконання соціально-економічних функцій, але й загрожує національній безпеці України. В зв'язку з цим виникає потреба у розробці методики оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій для об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ).

Мета. Розроблення методики оцінювання ризиків небезпечних подій на АЗС «Укрнафта», які впливають на безпеку і стійкість об'єкта критичної інфраструктури.

Результати дослідження. Розроблено методику оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій для об'єктів критичної інфраструктури та проведено її валідацію на прикладі автозаправної станції (АЗС). Методика аналізу загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури включає комплексний підхід до оцінки ризиків та управління загрозами. Мета цієї методики – визначити потенційні загрози, оцінити ймовірність їх виникнення, а також розробити стратегії для мінімізації наслідків. Запропоновано і впроваджено підхід до визначення та оцінки ризиків критичної інфраструктури транспортного сектору, що виявляє потенційні вразливі місця об'єкта перед різними загрозами, з урахуванням можливих каскадних ефектів. Це дозволяє отримати ймовірнісні оцінки розвитку подій за певними сценаріями для об'єктів критичної інфраструктури та раціонально підходити до розробки і реалізації першочергових заходів.

Висновки. На основі розробленої методики досліджено загрози на АЗС «Укрнафта», проведено кількісну оцінку ймовірності їх появи, проаналізовано можливі наслідки, визначено пріоритети загроз. Завдяки цьому підходу можна оцінити ефективність заходів реагування в різних сценаріях розвитку подій, що суттєво знижує загальний рівень ймовірності небезпечних подій.

Ключові слова: критична інфраструктура, ризики, загроза; надзвичайна ситуація, АЗС.

N. M. Kichata¹, O. V. Tretyakov¹, B. D. Khalmuradov¹, M. S. Pukha²

¹National aviation university, Kyiv, Ukraine,

²State Service of Special Communications and Information Protection of Ukraine

METHODOLOGY FOR ANALYZING THREATS OF EMERGENCY SITUATIONS AT CRITICAL INFRASTRUCTURE OBJECTS IN THE TRANSPORT SECTOR (BASED ON THE EXAMPLE OF A GAS STATION)

Introduction. Ukraine is in a state of crisis in the development of the transport industry. The main reasons for this are military operations in Ukraine, systemic underfunding, insufficient maintenance of infrastructure and transport. This not only complicates the performance of socio-economic functions, but also threatens the national security of Ukraine. In this regard, there is a need to develop a methodology for assessing the risks of emergency situations for critical infrastructure facilities (CRI).

Purpose. Development of a methodology for assessing the risks of dangerous events at the Ukrnafta gas station that affect the safety and stability of the critical infrastructure facility.

Results. In this paper, a methodology for assessing the risks of emergency situations for critical infrastructure facilities was developed and its validation was carried out using the example of a gas station. The methodology for analyzing threats of emergency situations at critical infrastructure facilities includes a comprehensive approach to risk assessment and threat management. The purpose of this technique is to identify potential threats, assess the probability of their occurrence, and also develop strategies to minimize the consequences. An approach to the identification and assessment of risks of the critical infrastructure of the transport sector is proposed and implemented, which reveals potential vulnerabilities of the object to various threats, taking into account possible cascading effects. This makes it possible to obtain probabilistic assessments of the development of events under certain scenarios for critical infrastructure objects and rationally approach the development and implementation of priority measures.

Conclusions. On the basis of the developed methodology, threats at the Ukrnafta gas station were investigated, a quantitative assessment of the probability of their occurrence was carried out, possible consequences were analyzed, and threats were prioritized. Thanks to this approach, it is possible to evaluate the effectiveness of response measures in various scenarios of the development of events, which significantly reduces the overall level of probability of dangerous events.

Keywords: critical infrastructure, risks, threat; emergency situation, gas station

Вступ. Під час війни транспортна галузь України зазнає значних викликів та змін, адаптуючись до умов військових дій і виконуючи критично важливі завдання для забезпечення безперервного функціонування країни.

Для транспортних підприємств факторами, що створюють ризики є:

1. стихійні лиха, які ускладнюють рух вантажного транспорту;
2. пожежі на транспорті через перевезення небезпечних вантажів;
3. проблеми митного контролю (непроходження митного огляду);
4. порушення умов договору (з боку перевізника або клієнта);
5. кібератаки;
6. воєнні дії.

Для визначення ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій на об'єкті та поблизу нього враховуються: характер і тривалість надзвичайної ситуації; можливі втрати серед персоналу; прогноз можливих збитків для виробництва, устаткування, споруд і будівель; загальний вплив надзвичайної ситуації на функціонування об'єкта [1].

Останнім часом складно точно визначити втрати, яких можуть зазнати об'єкти критичної інфраструктури внаслідок певної події, оскільки кількість потенційних загроз і ризиків є дуже різноманітною. Збитки включають не лише матеріальні втрати, які можна оцінити в грошовому еквіваленті, але й нематеріальні чинники, що робить точну оцінку ще складнішою. Крім того, важко визначити точну ймовірність виникнення небезпечної ситуації, тому замість точних даних використовуються лише приблизні оцінки. Для отримання надійних результатів необхідно правильно визначити параметри та вихідні дані для проведення моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вразливими місцями транспортної інфраструктури є: об'єкти критичної інфраструктури (мости, тунелі, вокзали), системи

управління (диспетчерські центри, системи сигналізації) та транспортні засоби (поїзди, літаки, судна). Для кожної ідентифікованої загрози необхідно оцінити ймовірність її виникнення. Потенційні наслідки таких загроз для транспортної інфраструктури та суспільства можуть включати матеріальні втрати, людські жертви, екологічні наслідки, переривання транспортних послуг та економічні втрати [2].

Дослідження, що розглядають загрози вибухів і пожеж на АЗС через техногенні причини або людський фактор, висвітлені у публікаціях, які зосереджуються на вразливостях системи постачання палива і впливі технічних несправностей [3, 4].

Аналіз підходів до оцінювання ризиків в транспортному секторі, представлених у публікаціях [5, 6], виділяє ряд недоліків, зокрема:

- обмежений набір показників, що не забезпечує достатньої об'єктивності в оцінці загроз;
- відсутність можливостей для врахування значущості різних критеріїв;
- суб'єктивність у визначенні шляхів мінімізації загроз;
- недостатнє врахування вагомості окремих компонентів критеріїв у загальному показнику оцінки загроз.

У дослідженнях Мурасова Р.К., Нікітіна А.А. представлена структура ризиків та загроз для об'єктів критичної інфраструктури із використанням математичних моделей. Це включає сценарне моделювання розвитку подій, що дає змогу оцінити ризики втрат населення та критичних систем у разі руйнування [7].

Вплив каскадних подій, викликаних руйнуванням інфраструктури, детально описаний в роботах, які аналізують удари по об'єктах транспортної мережі (мости, залізничні вузли), а також електромережах. Висновки цих досліджень вказують на необхідність інтеграції сучасних інформаційних технологій в аналіз ризиків [8].

Основна увага у низці досліджень робиться на створенні стратегічних планів відновлення

після надзвичайних ситуацій та оптимізації розподілу ресурсів. Це підходи, що базуються на економічній оцінці втрат та ефективності відновлювальних заходів [9]. Незважаючи на розглянуті питання стосовно методики оцінювання загроз і ризиків для об'єктів критичної інфраструктури важливо доповнювати стратегії відновлення комплексним підходом, який враховує каскадні ефекти, кібератаки, екологічні та соціальні аспекти для покращення загальної стійкості критичної інфраструктури.

На сьогодні проблематика оцінки ризиків для критичної інфраструктури є надзвичайно актуальною через воєнні дії. Роботи, зосереджені на транспортному секторі, пропонують адаптовані методики, які враховують обмежені ресурси та специфіку загроз, таких як атаки на автозаправні станції та інші об'єкти [10, 11].

Відомо, що ключовими заходами, які можуть допомогти транспортній інфраструктурі вистояти під час війни є: забезпечення фізичного захисту критично важливих об'єктів шляхом їх укріплення, розміщення головних елементів інфраструктури в різних місцях для зменшення ризику їх одночасного знищення, створення резервних маршрутів, постійний моніторинг стану інфраструктури та виявлення пошкоджень у реальному часі, координація з урядовими органами та залучення допомоги від міжнародних організацій, забезпечення фінансування для ремонтів та модернізації транспортної інфраструктури [12].

Забезпечення стійкості транспортної інфраструктури під час війни є критично важливою задачею для безперебійного функціонування держави та підтримки військових і гуманітарних операцій. Стійкість об'єкта транспортної інфраструктури під час надзвичайних ситуацій залежить від комбінації факторів, таких як стійкість інфраструктури, захист від вторинних пошкоджень, надійність ланцюга поставок, управління ресурсами, заходи безпеки та дотримання нормативних вимог [13].

Оцінка ризиків для АЗС у контексті критичної інфраструктури включає ідентифікацію та аналіз загроз, вразливостей, ймовірностей виникнення та потенційних наслідків. Аналіз сучасних методологічних підходів до захисту об'єктів інфраструктури [14, 15] виявив, що через недостатню точність та неповноту інформації, необхідної для оцінки загроз і ризиків для критичної інфраструктури, а також необхідність врахування численних взаємозв'язків між об'єктами, універсальний підхід до оцінки критичності можна забезпечити шляхом застосування статистичних методів і кількісних показників.

Метою роботи є розробка методики оцінювання ризиків небезпечних подій на АЗС

«Укрнафта», які впливають на безпеку і стійкість об'єкта критичної інфраструктури.

Методи дослідження. В роботі застосовано методи системного аналізу та статистичний метод досліджень.

Результати дослідження

Ймовірність потенційної загрози для АЗС «Укрнафта» (м. Одеса) та її наслідки оцінювались за допомогою кількісного методу оцінки ризиків. Цей метод надає точні показники, що знижує рівень суб'єктивності та підвищує чіткість аналізу. Він також дає можливість визначити та впорядкувати ризики за рівнем важливості та можливого впливу, що сприяє концентрації зусиль на найбільш критичних загрозах.

Джерела поставок нафтопродуктів надходять з Дрогобицького НПЗ та Надвірнянського НПЗ. Сталеві резервуари з паливом розміщені під землею на глибині до одного метра від поверхні землі.

Для прийому, зберігання та відпуску нафтопродуктів резервуари для світлих нафтопродуктів оснащені зливними, вимірювальними пристроями, прийомними та дихальними клапанами. Щорічно резервуари очищуються від смол та залишків нафтопродуктів, які накопичилися всередині, також перевіряється технічна справність резервуарів [16].

До складу АЗС «Укрнафта» входять:

- підземні резервуари – 2 шт.;
- паливороздавальні колонки (ПРК) – 2 шт. (двосторонні);
- навіс над ПРК;
- операторська;
- місця для зливу нафтопродуктів з автоцистерни та заправки автотранспорту;
- технологічні трубопроводи;
- майданчик для протипожежного інвентарю.

АЗС «Укрнафта» розрахована на заправку трьома марками бензину – А-92, А-95, А-95 (Energy) та дизельним паливом – ДП (Energy). Транспортуються пальне автомобільним транспортом. Прийом пального з автоцистерни в резервуар автоматизований і відбувається через спеціальний герметичний зливний механізм (муфта, фільтр) шляхом гравітації. Прийом нафтопродуктів у резервуар здійснюється через зливний фільтр самопливом або за допомогою насосів. Увесь процес зливу відбувається під наглядом оператора АЗС, який контролює герметичність зливного обладнання.

Автозаправні станції класифікуються як об'єкти, які представляють підвищений ризик з виробничої та екологічної точок зору. Це пов'язане з використанням легкозаймистих матеріалів, таких як пальне для автомобілів, а також з можливістю виникнення аварійних ситуацій на них. Також через свою

інфраструктуру і значення в постачанні пального для транспорту, АЗС можуть бути мішенями для терористичних актів або інших злочинних дій, що підвищує рівень загрози для громадської безпеки. Кіберзагрози, включаючи кібератаки можуть порушити роботу систем автоматизації на АЗС, що в свою чергу, збільшує ризик аварій.

Основні фактори, що можуть призвести до виникнення та розвитку аварій на АЗС, пов'язані з небезпекою речовин, які використовуються в технологічних процесах (під час виробничих операцій).

Аварійні ситуації на АЗС можуть статися за таких обставин:

- при переповненні резервуарів під час зливу нафтопродуктів з автоцистерн;
- при переповненні паливних баків автомобілів;
- при роз'єднанні трубопроводів між резервуаром та автоцистерною;
- при пошкодженні ПРК;
- через корозійний знос обладнання (трубопроводів, резервуарів).

Першочергово здійснюється збір та систематизація статистичних даних про всі попередні небезпечні події, що відбулися на АЗС «Укрнафта» (м. Одеса) (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристики небезпечних подій на АЗС «Укрнафта»

№ подій	Опис відповідної події
1	Природні фактори (природні катаклізми)
1.1	Грозові розряди, блискавка
1.1.1	перенапруга в електричних системах
1.1.2	пошкодження електронного обладнання
1.1.3	при прямому ударі блискавки – пожежа, вибух
1.2	Повінь (Чорне море на відстані 3 км від АЗС, підйом води на 2 м)
1.2.1	потрапляння води у резервуари з паливом
1.2.2	пошкодження насосів та систем управління
1.2.3	зупинка технологічного процесу
1.3	Ураган, буря
1.3.1	механічне пошкодження обладнання (механічного клапана, мережі електропостачання)
1.3.2	збої в роботі насосів, систем автоматизації
1.3.3	витік пального через пошкодження трубопроводів
2	Техногенні фактори
2.1	Переповнення резервуарів нафтопродуктами при наливі та розлив нафтопродуктів
2.1.1	утворення вибухонебезпечної пароповітряної суміші всередині резервуарів
2.1.2	виникнення несправності дихальних клапанів через швидке зниження та підвищення рівня нафтопродуктів
2.1.3	вибух пароповітряної суміші всередині резервуарів
2.2	Порушення герметичності резервуарів (механічний або корозійний знос)
2.2.1	витік пального з резервуарів
2.2.2	зупинка технологічних процесів на АЗС
2.3	Перегрів насосів (компресорів)
2.3.1	вихід з ладу насосів (компресорів)
2.3.2	утворення джерела займання при перегріванні
2.3.3	пожежа на АЗС
2.3.4	вибух на АЗС
3	Соціальні фактори
3.1	Помилки персоналу
3.1.1	порушення техніки безпеки при виконанні ремонтних робіт
3.1.2	перевантаження електромережі
3.1.3	зупинка роботи АЗС
3.2	Перебої в ланцюгах постачання пального
3.2.1	фінансові ризики (підвищення цін, втрата доходів)
3.2.2	порушення графіку роботи АЗС
4	Кібератаки
4.1	Хакерська атака на засоби автоматизації АЗС
4.1.1	збої у системах автоматизації та управління

№ подій	Опис відповідної події
4.1.2	порушення роботи обладнання (систем сигналізації)
4.1.3	відмова системи автоматичного відключення (несправність датчиків)
5	Терористичні акти
5.1	Теракт на АЗС
5.1.1	пошкодження резервуара для зберігання нафтопродуктів
5.1.2	зупинка роботи насосів через відключення систем електропостачання
5.1.3	перешкоджання автоматичній роботі обладнання
5.2	Вибух
5.2.1	руйнування паливороздавальної колонки
5.2.2	пожежа на території АЗС
5.2.3	каскадні руйнування близькорозташованих об'єктів (АЗС «ОККО» на відстані 30 м, СТО – 60 м)
6	Атака безпілотними літальними апаратами (БПЛА)
6.1	Атака БПЛА Shahed 136
6.1.1	пошкодження обладнання АЗС
6.1.2	спалах цистерни із паливом із перекиданням полум'я на всю АЗС
6.1.3	вибух газоповітряної суміші на АЗС

Аналіз подій у сценарії розвитку ситуації включає оцінку різних компонентів, що можуть вплинути на реалізацію загрози. Позначимо сукупність таких компонентів:

$$I = \{1, 2, \dots, n\}.$$

На основі цих подій встановлюються множини можливих станів ситуацій на АЗС, де S_i – фактор виникнення небезпечної події, а $S_{j,k}$ – індекси, що відображають стани безпеки або загрози для об'єкта критичної інфраструктури в рамках конкретної події.

Кожен сценарій враховує можливість поширення аварійної ситуації, залучаючи до неї сусідні об'єкти такого ж типу (другий резервуар або цистерну). Основними факторами, що визначають величину завданої шкоди, є забруднення ґрунту, водних ресурсів та повітря, ударна хвиля вибуху і тепловий вплив пожежі. Ці фактори мають руйнівний вплив на людей, споруди не лише на території АЗС, але й за її межами. Через це сусідні промислові об'єкти, розташовані поблизу АЗС в радіусі 70 м (у цьому випадку СТО, АЗС «ОККО», комерційне підприємство), можуть стати вторинними джерелами забруднення навколишнього

середовища, особливо якщо їхня діяльність пов'язана з небезпечними речовинами.

На наступному етапі створюється структурно-логічна модель розвитку кризової ситуації з урахуванням можливих сценаріїв для об'єкта. Цю модель можна представити у вигляді графа, де вузли символізують різні стани системи, а ребра – переходи між ними (рис.1).

На рис. 1 показано множину загальних загроз $S = \{S_i\}$, яка включає різноманітні фактори, де i вказує на кількість елементів цих факторів (S_1 – природні загрози, S_2 – техногенні загрози, S_3 – соціальні фактори, S_4 – кібератаки, S_5 – терористичні акти, S_6 – атаки БПЛА). Множина $J = \{j_n\}$ представляє загрози для кожного фактора, де n визначає кількість елементів фактора (грозіві розряди, повені, урагани, бурі, пожежі, вибухи, збої обладнання, помилки персоналу, терористичні акти, атаки БПЛА). Множина $K = \{k_n\}$ відображає небажані події на різних ділянках АЗС.

Після побудови моделі розвитку кризової ситуації на АЗС «Укрнафта», структурно-логічну модель представляють у вигляді орієнтованого графа, який демонструє послідовність подій і їх взаємозв'язки, що поступово переходять одна в одну.

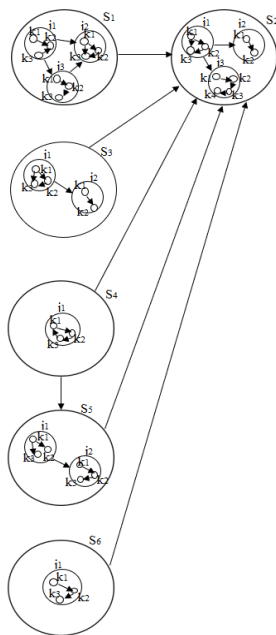


Рисунок 1 – Орграф розвитку кризової ситуації на АЗС «Укрнафта» внаслідок впливу небезпек

На рис. 2 події зображені у вигляді вузлів, з'єднаних відповідними ребрами (e_1, e_2, e_n). Кожне ребро e_n представляє можливий шлях або перехід між певними станами системи, демонструючи послідовний рух від одного стану до іншого відповідно до розвитку подій у сценарії.

У сценаріях визначається послідовність подій і їхні переходи, що сприяє глибшому розумінню потенційних загроз. Результати, подані у вигляді графів ризику, дають можливість наочно оцінити ймовірність та наслідки кожної події на об'єкті критичної інфраструктури.

Знаходження ймовірності реалізації ризиків для АЗС «Укрнафта» відбувалось на основі

статистичних даних. Відбувся аналіз стану ОКІ за певний період часу (за останні 3 роки), де враховувалися частота виникнення аварійних ситуацій, кількість зафіксованих інцидентів за певний період, технічний стан обладнання, людський фактор. Ці дані дали можливість визначити найбільш вірогідні сценарії розвитку подій та оцінити ймовірності реалізації кожного з них (представлено у вигляді матриці).

Застосовуючи теорему повної ймовірності, визначаємо ймовірність реалізації сценаріїв загроз на АЗС «Укрнафта» за допомогою кількісної оцінки ризику.

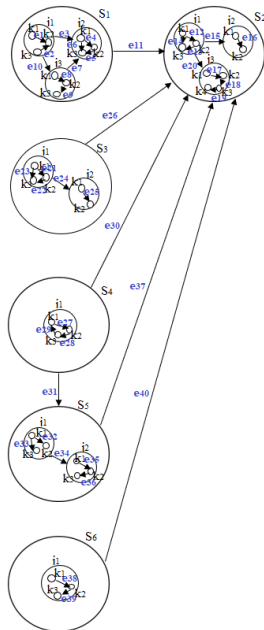


Рисунок 2 – Орграф можливих сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій на АЗС «Укрнафта» з визначенням ймовірностей переходів подій

Цей підхід дає змогу обчислити ймовірність настання конкретної події на основі відомих ймовірностей її виникнення за різних умов або подій, які складають повну групу.

Ймовірність реалізації небезпечної сценарію Ак на ОКІ залежить від низки факторів, пов'язаних із кількома незалежними подіями, що можуть відбуватися на об'єкті, та їх ймовірностей (P_{ijk}).

$$P_{\text{сценарію}} = 1 - \prod(1 - P_{ijk}), \quad (1)$$

де $P_{\text{сценарію}}$ – ймовірність реалізації повного сценарію;

P_{ijk} – ймовірність виникнення окремої події i, j, k , яка є частиною цього сценарію;

\prod – добуток для всіх можливих варіантів комбінацій подій.

Теорема повної ймовірності застосовується, якщо події є незалежними, тобто кілька

взаємовиключних подій впливають на ймовірність основної події, при цьому відомі ймовірності кожної з цих подій.

Якщо події послідовні та залежні використовуємо формулу Байєса [8].

$$P_{\text{сценарію}} = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)}, \quad (2)$$

де $P(B|A)$ – ймовірність події B за умови, що подія A вже відбулася;

$P(A)$ – ймовірність настання події A;

$P(B)$ – ймовірність настання події B.

У матриці ризиків (табл. 2) наочно відображаються оцінки ймовірності виникнення небезпечних подій на АЗС, що дає змогу візуалізувати загальні ризики і визначити пріоритети для захисту об'єкта критичної інфраструктури.

Таблиця 2

Матриця характеристики небезпечних подій

$P_{s_1j_1k_1k_2}(e_1)$	$P_{s_1j_1k_3k_2}(e_2)$	$P_{s_1j_1j_2}(e_3)$	$P_{s_1j_2k_1k_2}(e_4)$	$P_{s_1j_2k_2k_3}(e_5)$	$P_{s_1j_2k_1k_3}(e_6)$	$P_{s_1j_3j_2}(e_7)$
0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3
$P_{s_1j_3k_1k_2}(e_8)$	$P_{s_1j_3k_2k_3}(e_9)$	$P_{s_1j_1j_3}(e_{10})$	$P_{s_1s_2}(e_{11})$	$P_{s_2j_1k_1k_2}(e_{12})$	$P_{s_2j_1k_2k_3}(e_{13})$	$P_{s_2j_1k_1k_3}(e_{14})$
0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4
$P_{s_2j_1j_2}(e_{15})$	$P_{s_2j_2k_1k_2}(e_{16})$	$P_{s_2j_3k_1k_2}(e_{17})$	$P_{s_2j_3k_2k_3}(e_{18})$	$P_{s_2k_3k_4}(e_{19})$	$P_{s_2j_1j_3}(e_{20})$	
0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	
$P_{s_3j_3k_1k_2}(e_{21})$	$P_{s_3j_3k_2k_3}(e_{22})$	$P_{s_3j_1k_1k_3}(e_{23})$	$P_{s_3j_1j_2}(e_{24})$	$P_{s_3j_2k_1k_2}(e_{25})$	$P_{s_3s_2}(e_{26})$	
0,4	0,4	0,4	0,1	0,2	0,2	
$P_{s_4j_1k_1k_2}(e_{27})$	$P_{s_4j_1k_2k_3}(e_{28})$	$P_{s_4j_1k_3k_1}(e_{29})$	$P_{s_4s_2}(e_{30})$	$P_{s_4s_5}(e_{31})$	$P_{s_5j_1k_1k_2}(e_{32})$	$P_{s_5j_1k_1k_3}(e_{33})$
0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,4
$P_{s_5j_1j_2}(e_{34})$	$P_{s_5j_2k_1k_2}(e_{35})$	$P_{s_5j_2k_2k_3}(e_{36})$	$P_{s_5s_2}(e_{37})$			
0,4	0,4	0,4	0,4			
$P_{s_6j_1k_1k_2}(e_{38})$	$P_{s_6j_1k_2k_3}(e_{39})$	$P_{s_6s_2}(e_{40})$				
0,6	0,6	0,6				

На основі даних з таблиці 2 та застосовуючи сценаріїв загроз для АЗС «Укрнафта». Результати формули, було оцінено ймовірність реалізації наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати розрахунків оцінювання сценаріїв

Сценарії загроз	Ймовірність виникнення
	$S_1 \rightarrow S_2$
P_1	0,14
P_2	0,0179
P_3	0,0899
	$S_4 \rightarrow S_2$
P_4	0,04
	$S_5 \rightarrow S_2$
P_5	0,0168
	$S_6 \rightarrow S_2$
P_6	0,537
	$S_3 \rightarrow S_2$
P_7	0,998064
	$S_4 \rightarrow S_5 \rightarrow S_2$
P_8	0,99980

На основі отриманих даних щодо АЗС можна визначити найбільш критичний сценарій загроз для АЗС «Укрнафта» та виділити ключові події, які можуть спричинити каскадні ефекти. Найбільш критичний сценарій загроз на АЗС відбувається у випадку аварії, яка починається на одній установці, ланцюгова реакція може призвести до руйнування кількох близько розташованих об'єктів. Потенційні загрози каскадних ефектів означають, що одна подія може запустити ланцюгову реакцію, яка підсилює її вплив та наслідки для об'єкта критичної інфраструктури. Всі сценарії передбачають високу ймовірність масштабних руйнувань, значну кількість постраждалих, пожеж, вибухів.

На АЗС «Укрнафта» було виявлено найбільший ризик від сценаріїв: кібератака – терористичні акти – техногенні фактори; соціально-техногенні фактори; атаки БПЛА. Для зниження ризику можна запровадити такі заходи:

1. Встановлення фізичних захисних конструкцій над резервуарами для зберігання нафтопродуктів.

2. Встановлення біля АЗС систем виявлення БПЛА, таких як оптичні камери та інфрачервоні сенсори, для раннього виявлення та відстеження потенційної загрози.

3. Встановлення автоматичних систем пожежогасіння, які активуються у разі займання.

4. Встановлення систем відеоспостереження для моніторингу ситуації на території АЗС.

5. Проведення регулярних перевірок всіх систем.

Висновки

В роботі проведена валідація методологічного підходу, заснованого на реальних сценаріях АЗС «Укрнафта» (м. Одеса), що підтверджує можливість застосування цієї методики до інших об'єктів критичної інфраструктури. Було враховано ризики природного фактора (природні катаклізми), техногенного характеру, такі як витік пального, пожежі або вибухи, а також зовнішні загрози, включаючи кібератаки, терористичні акти та атаки БПЛА. Ймовірність виникнення цих загроз і особливості небезпечних подій значною мірою залежать від специфіки регіону розташування АЗС, зокрема природних умов, рівня техногенних ризиків і безпекових факторів. При цьому запропонований підхід забезпечує уніфіковану оцінку ризиків, використовуючи однакові базові етапи для оцінки загроз, незалежно від характеристик конкретного об'єкта чи регіону.

Методика дає змогу не лише виявити потенційні загрози, а й провести кількісну оцінку ймовірності їхнього виникнення на АЗС «Укрнафта». Крім того, було здійснено аналіз

можливих наслідків, визначено пріоритети реагування, а також оцінено ефективність впроваджених заходів реагування в різних сценаріях, таких як аварія під час заправки або витік пального з резервуарів.

Отримані результати показали, що впровадження розробленого підходу дозволяє суттєво знизити загальний рівень ймовірності небезпечних подій, забезпечуючи підвищення безпеки та стійкості АЗС «Укрнафта» до надзвичайних ситуацій.

Список літератури:

1. Левчук К.О. Романюк Р.Я. Методика планування заходів цивільного захисту на потенційно небезпечних об'єктах. Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки), 2019. Вип. 1 (34). С.146-150. DOI: 10.31319/2519-2884.34.2019.28

2. Чугай А.В. Оцінка впливу експлуатації автозаправних станцій на навколишнє природне середовище. Вісник ХНАДУ. 2015. Вип. 71. С. 97 – 101.

3. Prochazkova D., Prochazka J. Affiliation of Optimum Risk Engineering Tools to Technical Facility Management Main Targets Achievement International Journal of Economics and Management Systems Volume 5, 2020. 233-244. URL: <http://www.iaras.org/iaras/journals/ijems> (дата звернення: 04.06.2024).

4. Bondarenko I. V., Anischenko L. Ya., Rudyk Yu. I. Substantiation for enhancement of environmental safety of waste management systems through forecasting efficiency of specialized equipment. Вісник ЛДУБЖД. 2017. 16. С. 119–128.

5. Aven T. How to define and interpret a probability in a risk and safety setting. Safety Sci 2013; 51. P. 223 – 231.

6. Bondarenko I. V., Kutnyashenko O. I., Rudyk Yu. I., Solyonyj S. V. Modeling the efficiency of waste management. News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. 2019. Vol. 2, № 434. P. 120 – 130.

7. Мурасов Р.К., Нікітін А.А., Мещеряков І.С., Підгородецький М.М., Поплавець С.І. Методика оцінювання загроз і ризиків для об'єктів критичної інфраструктури за сценаріями розвитку надзвичайних ситуацій. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Київ, Том 48, №3 (2023). С.35 – 43.

8. Франчук В. І., Пригунов П. Я., Мельник С. І. Безпека об'єктів критичної інфраструктури в Україні: організаційно-нормативні проблеми та підходи. Соціально-правові студії. 2021. Випуск 3 (13). С. 142–148. DOI: 10.32518/2617-4162-2021-3-142-148.

9. Mardirossian G., Rangelov B., Getsov P., Zabunov S. Two Innovations for Critical Infrastructure Protection from Natural Disasters. Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences. 2023. Vol. 76. № 10. P. 1554 – 1561. DOI:10.7546/CRABS.2023.10.09.

10. Natchaphon Leungbootnak, Kevin Heaslip. Responding to cyber-attacks in transportation: adapting risk assessment methods for a new age. Transportation research board. September 10, 2024. DOI: 10.1177/03611981241264276

11. Завгородня Г.А., Завгородній В.В. Метод кількісної оцінки ризику технічних систем. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». Вип. 32 – 33. Київ: ДУІТ, 2018. С. 87 – 95.

12. Про затвердження Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту / Наказ № 102 від 30.03.98 Міністерства Транспорту України
URL:<https://ips.ligazakon.net/document/REG2708>
(дата звернення: 04.06.2024)

13. Сприяння колективній обороні НАТО: Безпека та стійкість критичної інфраструктури. Посібник НАТО COE-DAT/ К. Андерсон, М. Бейкер, Р. Бірс та ін. 2022. 469 р.

14. Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection. Part II: A new approach. Luxembourg: Joint Research Centre of Institute for the Protection and Security of the Citizen, 2015. 28 р.

15. Бобро Д.Г. Визначення критеріїв оцінки та загрози критичній інфраструктурі. Стратегічні пріоритети. Серія «Економіка». № 4 (37), 2015. С. 83 – 93.

16. Михайлюк О.П., Кравців С.Я. Проблеми забезпечення пожежовибухобезпеки автозаправних станцій. Проблеми пожежної безпеки. [Електронний ресурс]. 2012. Вип. 32. С. 149 – 154. URL:
<http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2150>
(дата звернення: 04.06.2024).

17. Сачанюк-Кавецька Н.В. Елементи теорії ймовірностей та математичної статистики. Ч. 1. Навчальний посібник /Н.В. Сачанюк-Кавецька, Л.І. Педорченко, Н.Б. Дубова. Вінниця: ВНТУ, 2008. 108 с.

References:

1. Levchuk K.O., Romaniuk R. Ia. (2019). Metodyka planuvannya zakhodiv tsyvilnoho zakhystu na potentsiino nebezpechnykh ob'ektyakh [Methodology for planning civil protection measures at potentially dangerous objects]. Zbirnyk naukovykh prats Dniprovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu (tekhnichni nauky) [Collection of

scientific works of the Dnipro State Technical University (technical sciences)]. Vol. 1 (34), 146-150. DOI: 10.31319/2519-2884.34.2019.28.

2. Chuhai A.V. (2015). Otsinka vplyvu ekspluatatsii avtozapravnykh stantsii na navkolyshnie pryrodne seredovyshe [Assessment of the impact of gas station operation on the natural environment]. Vestnyk KhNADU, Vol 71, 97 – 101.

3. Prochazkova D., Prochazka J. (2020). Affiliation of Optimum Risk Engineering Tools to Technical Facility Management Main Targets Achievement International Journal of Economics and Management Systems Vol. 5, 233-244. URL: <http://www.iaras.org/iaras/journals/ijems>.

4. Bondarenko I. V., Anischenko L. Ya. & Rudyk Yu. I. (2017). Substantiation for enhancement of environmental safety of waste management systems through forecasting efficiency of specialized equipment. Vestnyk LDUBZhD. №16, 119–128.

5. Aven T. (2013). How to define and interpret a probability in a risk and safety setting. Safety Sci. № 51, 223 – 231.

6. Bondarenko I. V., Kutnyashenko O. I., Rudyk Yu. I. & Solyonyj S. V. (2019). Modeling the efficiency of waste management. News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. Vol. 2, № 434, 120 – 130.

7. Murasov R.K., Nikitin A.A., Meshcheriakov I.S., Pidhorodetskyi M.M. & Poplavets S.I. (2023). Metodyka otsiniuvannya zahroz i ryzykiv dlia ob'ektiv krytychnoi infrastruktury za stsenariiamy rozvytku nadzvychainykh sytuatsii [Methodology for assessing threats and risks for critical infrastructure facilities based on emergency scenarios]. Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony [Modern information technologies in the field of security and defense], Kyiv, Tom 48, №3, 35 – 43.

8. Franchuk V. I., Pryhunov P. Ya., Melnyk S. I. (2021). Bezpeka ob'ektiv krytychnoi infrastruktury v Ukraini: orhanizatsiino-normatyvni problemy ta pidkhody [Security of critical infrastructure facilities in Ukraine: organizational and regulatory problems and approaches]. Sotsialno-pravovi studii [Social and legal studies], 3 (13), 142 – 148. doi: 10.32518/2617-4162-2021-3-142-148.

9. Mardirossian G., Rangelov B., Getsov P. & Zabunov S. (2023). Two Innovations for Critical Infrastructure Protection from Natural Disasters. Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences. Vol. 76. № 10, 1554 – 1561. DOI:10.7546/CRABS.2023.10.09.

10. Natchaphon Leungbootnak, Kevin Heaslip (2024). Responding to cyber-attacks in transportation: adapting risk assessment methods for a new age. Transportation research board. September 10, 2024. DOI: 10.1177/03611981241264276.

11. Zavhorodnia H.A., Zavhorodnii V.V. (2018). Metod kilkisnoi otsinky ryzyku tekhnichnykh system [Method for quantitative risk assessment of technical systems]. *Transportni systemy i tekhnolohii* [Transportation systems and technologies]. Vyp. 32 – 33. Kyiv, DUIT, 87 – 95.

12. MTU (1998), Pro zatverdzhennia Polozhennia pro tekhnichne obsluhovuvannia i remont dorozhnikh transportnykh zasobiv avtomobilnoho transport [On the approval of the Regulation on maintenance and repair of road vehicles of road transport], The order of the Ministerstvo Transportu Ukrainy, dated 30.03.1998 № 102. URL:

<https://ips.ligazakon.net/document/REG2708>

13. NATO (2022). Spriannia kolektyvnoi oboroni NATO: Bezpeka ta stiikist krytychnoi infrastruktury [Contributing to NATO's collective defense: Security and resilience of critical infrastructure]. Posibnyk NATO COE-DAT/ K. Anderson, M. Beiker, R. Birs ta in. 2022. 469.

14. Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection. Part II: A new approach. Luxembourg: Joint Research Centre of Institute for the Protection and Security of the Citizen. 2015. 28.

15. Bobro D. H. (2015). Vyznachennia kryteriiv otsinky ta zahrozy krytychnii infrastrukturi. Stratehichni priorytety [Determination of assessment criteria and threats to critical infrastructure. Strategic priorities], *Ekonomika* [Economy]. 2015, № 4 (37), 83 – 93.

16. Mykhailiuk O.P., Kravtsiv S.Ya. (2012). Problemy zabezpechennia pozhezhovybukhobezpeky avtozapravnykh stantsii [Problems of ensuring fire and explosion safety of gas stations]. *Problemy pozhezhnoi bezpeky*. [Problems of fire safety], Vol. 32, 149 –154. URL: repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2150

17. Sachaniuk-Kavetska N. V. (2008). Elementy teorii ymovirnostei ta matematychnoi statystyky [Elements of probability theory and mathematical statistics]. *Navchalnyi posibnyk* [Study guide] Vinnytsia: VNTU, part 1, 108.

© Н. М. Кичата, О. В. Третьяков,
Б. Д. Халмурадов, М. С. Пуха, 2024.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 30.09.2024.

Прийнято до публікації 18.12.2024.