

χ^2 , підтвердив перевагу гібридного імітаційно-марковського підходу. Порівняльний економічний аналіз показав, що регулярне технічне обслуговування з інтервалом 5000 годин знижує загальні витрати більш ніж у 4,5 рази порівняно з реактивними стратегіями ремонту. Практична цінність методу полягає в можливості його застосування у цифрових двійниках та інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень. Подальші розробки передбачають розширення компонентної бази моделі, інтеграцію з потоками даних у реальному часі із суднових систем моніторингу та застосування методів машинного навчання для автоматичного налаштування параметрів.

Ключові слова: предиктивна діагностика; цифровий двійник; залишковий ресурс; інтервально-орієнтоване обслуговування; марковська модель; імітаційне прогнозування; економічна оцінка відмов.

УДК 004.896:519.8:614.8

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-538-2-19>

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО АНАЛІЗУ НЕСТІЙКОСТІ АВТОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЙ ДО ТИПОВИХ АВАРІЙНИХ ПОДІЙ

Ph.D. O. Іванов¹[0000-0002-8620-974X], Ph.D. D. Jones²[0000-0002-9101-746X],
Dr.Sci. O. Арсірій¹[0000-0001-8130-9613], Ph.D. A. Labib³[0000-0002-5481-5833],
Ph.D. C. Смик¹[0000-0001-7020-1826]

¹Національний університет «Одеська політехніка», Україна,

²Lion Gate Building, University of Portsmouth, Portsmouth, United Kingdom,

³Faculty of Business and Law, University of Portsmouth, Portsmouth, United Kingdom

EMAIL: lesha.ivanoff@gmail.com, dylan.jones@port.ac.uk, e.arsiriy@gmail.com,
ashraf.labib@port.ac.uk, smyk@op.edu.ua

Анотація. Це дослідження присвячене проектуванню та впровадженню інтелектуальної інформаційної технології (ІТ), спрямованої на багатофакторне оцінювання нестійкості автозаправних станцій (АЗС) до типових небезпечних подій. Пропонована інтелектуальна ІТ структурована у 10 дискретних послідовних етапів. Початкові етапи процесу розробки включали точне визначення домінантних типів загроз, релевантних для АЗС, та ґрунтовний аналіз нестійкості АЗС, розглянутий крізь призму потенційних негативних наслідків. З цією метою експертами в предметній області було ретельно встановлено 41 метрику (критерії). Для уточнення цього набору даних застосовується метод аналізу ієрархії для аналізу експертних думок, що дозволяє вивести редукований критеріальний простір нестійкості з виключенням метрик, пов'язаних із летальними випадками. На основі цього

уточненого набору критеріїв було систематично зібрано відповідні експлуатаційні дані, що стосуються мережі АЗС, та надалі запропоновано деталізовану процедуру їхньої попередньої обробки й кодування. Фактичне оцінювання нестійкості кожної АЗС проводиться з використанням розробленої узагальненої моделі. Для полегшення розуміння та інтерпретації результатів оцінювання запропоновано застосування теорії нечітких множин, зокрема використання трапецієподібних функцій належності. Ця інтелектуальна ІТ для оцінювання нестійкості АЗС зрештою реалізована у формі системи підтримки прийняття рішень (СППР). Кінцевий користувач (особа, що приймає рішення), після введення об'єктно-специфічних даних відповідно до критеріїв нестійкості конкретної АЗС, отримує попередній показник нестійкості разом із чітким поясненням методології його виведення. Ключовим елементом СППР є ретельно сформована база знань, що містить попередньо оцінені дані АЗС, яка має функціонал для динамічного редагування та розширення. Впровадження запропонованої інтелектуальної ІТ багатофакторного оцінювання нестійкості АЗС та побудованої на її основі СППР забезпечує надійну можливість для прийняття науково обґрунтованих рішень щодо оцінки потенційно вразливих об'єктів та ефективного запобігання ризикам (або управління ризиками).

Ключові слова. Автозаправна станція, інтелектуальна інформаційна технологія, система підтримки прийняття рішень, багатофакторний аналіз рішень, небезпечні події, нечітка логіка, метод аналізу ієрархій.

1. Вступ і постановка проблеми

Ця наукова праця розглядає забезпечення екологічної безпеки територій від потенційних аварій на потенційно небезпечних об'єктах (таких як великі промислові підприємства чи склади зберігання небезпечних речовин, магістральні трубопроводи, посудини під тиском тощо) як одну із суспільно важливих функцій держави. Цей процес набуває особливого значення в умовах військових дій у країні, коли такі об'єкти можуть стати мішенню, спричиняючи техногенну катастрофу, порівнянну за масштабом із невеликим землетрусом чи цунамі (наприклад, руйнування Каховської ГЕС в Україні у 2023 році).

Під час першого етапу спільного українсько-британського дослідницького проєкту *UUT14* «Багатокритеріальна методологія на основі нечіткої логіки для картографування ризиків автозаправних станцій та подальшої оптимізації рішень» між Національним університетом «Одеська політехніка» та Університетом Портсмута (Велика Британія) у рамках ініціативи *UK-Ukraine Twinning Initiative* [1], автозаправні станції (АЗС) були обрані як приклад складної технологічної системи, що може зазнати негативного впливу. Було сформовано чотири групи критеріїв для оцінки нестійкості АЗС до основних типів аварій, загалом 41 критерій. З метою редукції первинного простору критеріїв нестійкості АЗС було застосовано метод багатофакторного аналізу рішень, а саме метод аналізу ієрархій (MAI), із використанням веб-

опитування експертів. Також була залучена інформаційна технологія (ІТ), що дозволила отримати оцінки важливості критеріїв у кожній групі [2].

На другому етапі проекту, після обґрунтованого скорочення первинного критеріального простору, запропоновано розробити ІТ, яка дасть змогу, спираючись на зібрані дані щодо мережі АЗС у місті за всіма критеріями, здійснити попереднє оцінювання нестійкості АЗС, надаючи рекомендації для оцінюваних об'єктів із застосуванням методів нечіткої логіки (НЛ), що й розглядається в цій публікації. Початкова оцінка нестійкості АЗС за допомогою ІТ є невід'ємною складовою оцінювання та управління ризиками, що дозволяє державним установам приймати зважені рішення та вживати запобіжних заходів для мінімізації масштабів негативного впливу можливої аварії, сприяючи таким чином покращенню соціально-економічного благополуччя країни та екологічної безпеки території.

2. Огляд літературних джерел

МАІ є одним із найбільш популярних методів для структурування та аналізу складних процесів прийняття рішень. Його розробив у 1970-х роках Томас Сааті [3]. Розглянемо приклади застосування *МАІ стосовно автозаправних станцій* у нещодавніх наукових публікаціях. У дослідженні [4] МАІ було використано для оцінки переваг зацікавлених сторін щодо критеріїв вибору місцезнаходження АЗС. Метою проекту є встановлення оптимального місця розташування АЗС шляхом інтеграції уподобань різних суб'єктів та аналізу сейсмічної зони. П'ятірка найважливіших критеріїв включає: наявність землекористування (вплив 31,2 %), наявність служб оперативного реагування (23,6 %), захист навколишньої території від пожежі та вибуху (18,3 %), захист системи водопостачання від витоків із підземних резервуарів (14,2 %) та легкість доступу до об'єкта для проведення будь-яких супутніх робіт (12,7 %). У роботі [5] автори запропонували комплексний підхід, що поєднує МАІ та багатокритеріальне цільове програмування для ефективного вибору локацій АЗС. На першому рівні структури МАІ метою є вибір місця розташування АЗС. Другий рівень охоплює критерії інтенсивності транспортного потоку, навколишнього середовища та будівельних характеристик. Третій рівень містить підкритерії, як-от: середня кількість автомобілів, мотоциклів та час очікування для критерію трафіку; середнє споживання палива, кількість конкурентів, середня швидкість оплати та сприйняття місцевими мешканцями для критерію навколишнього середовища; а також кількість заправних острівців, кількість колонок та розмір ділянки для критерію будівельних характеристик. Для подальшого вдосконалення методу рекомендовано спростити процес та забезпечити зручні інструменти для осіб, що приймають рішення. Для аналізу ризиків, з якими стикаються АЗС у Пакистані, та визначення їхніх пріоритетів у дослідженні [6] використовувалися МАІ та інтервальний попарний аналіз. Результати засвідчили, що п'ять факторів ризику, які мають найбільший вплив на діяльність АЗС, є такими: транспортування та розвантаження цистерн; розподіл палива; зберігання

палива на об'єкті; ремонт, технічне обслуговування та модифікація; а також інші фактори ризику. Попри комплексний характер дослідження, воно має два основні обмеження. По-перше, зібрані дані походять лише з трьох округів провінції Пенджаб у Пакистані, що може обмежувати узагальнення результатів на ширшу територію. По-друге, використані у цьому дослідженні статистичні методи, як-от нечіткий ієрархічний аналіз та інтервальний попарний порівняльний аналіз, також мають власні ліміти та недоліки. Крім того, багатокритеріальний МАІ застосовується для оцінки ризиків будівництва газокompресорних станцій та пріоритизації небезпечних чинників у роботі [7]. Зважаючи на те, що будівельні майданчики є одним із найпоширеніших місць виникнення інцидентів, проведення оцінки ризику безпеки проєкту є важливою складовою ефективного управління будівельними проєктами. Цей проєкт більшою мірою пов'язаний із безпекою під час спорудження АЗС, ніж з оцінкою їхньої нестійкості, та включає 23 види діяльності з відповідними ризиками, що з них випливають.

Методи НЛ для оцінювання АЗС із різних аспектів активно застосовуються у сучасних дослідженнях. У [8] автори розглядають нову методологію на основі НЛ для визначення оптимального вибору АЗС. Ця праця спрямована на вибір найбільш прийнятної АЗС під час пандемії COVID-19 відповідно до визначених критеріїв. Слід зазначити, що дослідження, проведене авторами, виходить за межі традиційних підходів завдяки використанню нового методу *АНР-VIKOR*, що ґрунтується на НЛ. Важливим обмеженням була складність збору експертних висновків під час пандемії COVID-19, що могло вплинути на ефективність отримання даних та досягнення консенсусу. Наприклад, пандемія ускладнила отримання експертних оцінок щодо деяких аспектів вибору місця розташування АЗС. Крім того, не було враховано важливість місця проживання споживачів, що може бути суттєвим фактором при визначенні найбільш відповідної АЗС. У статті [9] розглядається просторове розміщення АЗС з використанням нечіткої моделі в рамках географічної інформаційної системи (ГІС) на конкретному прикладі. Це дослідження представляє модель для осіб, що приймають рішення, для встановлення оптимального місця розташування АЗС за допомогою комбінації нечіткої логіки та ГІС. У роботі [10] була розроблена методика, що базується на контролері нечіткої логіки з використанням *Google Maps*, для знаходження найближчої АЗС. Для нечіткого моделювання було взято п'ять лінгвістичних вхідних змінних, включно з відстанню, наявністю палива, показником завантаженості доріг, кількістю палива та кількістю світлофорів, щоб отримати один вихідний показник – час, необхідний для досягнення АЗС. Система дозволяє водію визначати місцезнаходження АЗС із більшою точністю, що вимагає менших часових витрат.

Комбіноване застосування багатокритеріального аналізу рішень та ГІС також використовується для комплексного оцінювання АЗС, зокрема у таких дослідженнях. Інтегроване використання оцінки впливу на навколишнє середовище та МАІ з подальшою візуалізацією даних у ГІС для визначення

придатності земельної ділянки під АЗС обговорюється в [11]. Дослідження зосереджується виключно на аналізі місцезположення АЗС заради максимального збереження природного довкілля. Іншими словами, дослідження не розглядає питання з різних точок зору і не визначає «стійкість» АЗС як таку.

У дослідженні [12] вивчається застосування MAI та ГІС (ArcGIS) для оцінки відповідності місць розташування АЗС. У цій роботі для збору первинних даних використовується ручний GPS-навігатор. Вторинні дані включають топографічні та ґрунтові карти, з яких були вилучені типи ґрунтів, дорожня мережа, водні об'єкти, особливості схилу рельєфу та землекористування на території.

Стаття [13] проводить оцінку та покращення просторового розподілу за допомогою ГІС для запобігання екологічним ризикам та забезпечення безпеки АЗС. Дослідження має на меті підвищення безпеки шляхом оптимізації розташування АЗС та зниження потенційних ризиків. Використовуючи методи багатокритеріального аналізу рішень та ГІС, були досліджені ризики АЗС і запропоновано краще місце розташування для них. У роботі [14] аналізується локалізація роздрібних АЗС на основі ГІС. Атрибутивна інформація, така як вік АЗС, кількість колонок, реалізовані нафтопродукти, функціональний стан кожної АЗС та відстань АЗС до інших об'єктів інфраструктури, була оцінена шляхом польового обстеження та розповсюдження анкет серед власників і співробітників кожної станції.

3. Постановка мети і завдань дослідження

Мета дослідження, що розглядається у цій науковій публікації, полягає у розробці інтелектуальної ІТ для багатокритеріального оцінювання нестійкості автозаправних станцій до виникнення основних типів аварій, впровадження якої забезпечить можливість більш оперативного попереднього обстеження техногенної безпеки АЗС.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі основні завдання:

- проєктування ключових етапів інтелектуальної ІТ для багатокритеріального оцінювання нестійкості АЗС щодо основних типів аварій, спираючись на попередні результати досліджень [2];
- детальна розробка основних кроків запропонованої інтелектуальної ІТ, зокрема: побудова схеми кодування даних про АЗС; визначення вагових коефіцієнтів критеріїв нестійкості АЗС; створення узагальненої моделі для отримання числової оцінки нестійкості АЗС, а також її інтерпретація на основі методів НЛІ;
- впровадження запропонованої інтелектуальної ІТ у вигляді системи підтримки прийняття рішень (СППР) та її апробація на базі даних мережі АЗС певного населеного пункту.

У дослідженні застосовуються такі методичні підходи: метод багатокритеріального аналізу рішень для оцінки нестійкості АЗС (MAI),

методика інтелектуальної обробки та кодування вхідних даних за критеріями нестійкості АЗС, метод нечіткої логіки для категоріального оцінювання нестійкості АЗС, а також метод градієнтної шкали та координатної нормалізації для візуалізації результатів.

4. Інтелектуальна інформаційна технологія багатокритеріального оцінювання нестійкості АЗС до основних типів аварій

Розробка інтелектуальної ІТ, що дозволить визначати нестійкість АЗС до основних типів аварій [2], вимагає залучення фахівців у галузі екологічної безпеки та розробників у сфері *Data Science*. Для створення інтелектуальної ІТ, що буде реалізована як СППР для оцінки нестійкості АЗС до основних типів аварій, може бути запропонований наступний перелік із 10 послідовних етапів із зазначенням суб'єктів, що виконують відповідний етап (у дужках):

- 1) ідентифікація головних видів аварій (Експерт (Е));
- 2) розробка первинного простору економічних, екологічних та соціальних критеріїв (ЕЕСК) для оцінювання нестійкості АЗС до основних типів аварій (Е, фахівець із *Data Science* (ФД));
- 3) отримання вектора вагових коефіцієнтів ЕЕСК на основі МАІ (ФД);
- 4) формування вторинного простору ЕЕСК для оцінювання нестійкості АЗС (ФД);
- 5) отримання оцінок значень ЕЕСК вторинного простору для кожної АЗС на основі публічних даних (Е, ФД);
- 6) попередня обробка та кодування отриманих публічних даних у вторинному просторі (ФД);
- 7) отримання вектора вагових коефіцієнтів ЕЕСК на основі МАІ у вторинному просторі (ФД);
- 8) удосконалення узагальненої моделі для оцінювання нестійкості АЗС із урахуванням етапів 1–7 (ФД);
- 9) визначення та інтерпретація оцінки нестійкості АЗС із застосуванням НЛ (ФД);
- 10) побудова бази знань для оцінювання нестійкості АЗС до основних типів аварій (ФД).

Зважаючи на вищезазначені етапи, на рис. 1 представлено схему розробленої інтелектуальної ІТ оцінки нестійкості АЗС до основних типів аварій у вигляді СППР.

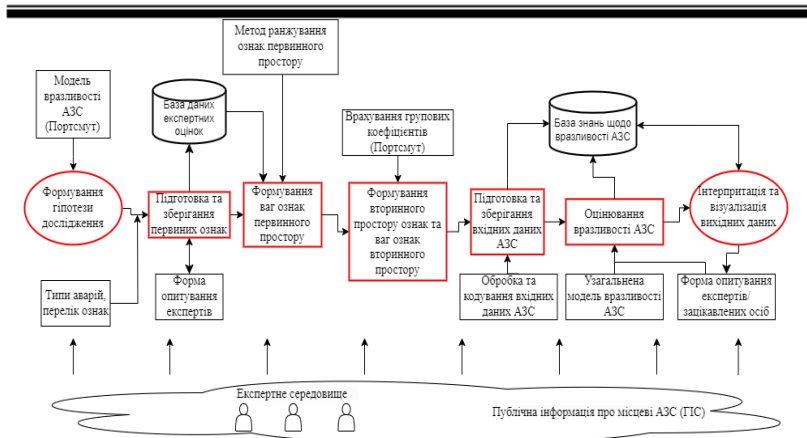


Рисунок 1. Концептуальна схема інтелектуальної ІТ оцінки нестійкості АЗС до основних типів аварій у форматі СППР [17]

5. Розширений огляд головних етапів запропонованої ІТ

На *першому етапі* вищеописаного переліку, під час розробки інтелектуальної ІТ для оцінки нестійкості АЗС, у [2] були встановлені основні типи аварій: вибух пароповітряної суміші нафтопродуктів із утворенням ударної хвилі, пожежа розливу нафтопродуктів та «вогняна куля».

На *другому етапі*, для розробки первинного простору критеріїв оцінювання нестійкості АЗС, було запропоновано обрати 3 групи критеріїв стосовно можливих наслідків аварій: економічні, соціальні та екологічні, а також окрему групу «втрачені життя», яку не слід безпосередньо порівнювати з іншими критеріями. Ці групи критеріїв формують первинний простір критеріїв Sp_{pf} , детально описаний у [2]:

$$Sp_{pf} = \langle LL, E, S, A \rangle, \quad (1)$$

де втрачені життя $LL = \{LL_1, LL_2, LL_3, LL_4, LL_5, LL_6, LL_7, LL_8, LL_9\}$;

економічні $E = \{E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7, E_8, E_9, E_{10}\}$;

соціальні $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}\}$;

екологічні $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11}\}$.

На *третьому етапі* було здійснено оцінювання критеріїв за допомогою MAI, реалізованого через веб-опитування експертів, а також розробленого алгоритму, що трансформував експертні оцінки у матрицю попарних порівнянь для подальшого виконання оцінки критеріїв у кожній групі відповідно до процедури MAI [2].

На *четвертому етапі* сформовано вторинний простір критеріїв шляхом редукції первинного простору. Відбір критеріїв, які переходять із первинного простору до вторинного для кожного типу аварії j , здійснювався з використанням порогової обробки відповідних значень вагових коефіцієнтів

критеріїв $w_{ji}^{''}$ у відповідній групі:

$$\begin{aligned} w_{eji}^{''} &= \{ \forall w_{eij} \geq \lambda_E \}; i = \overline{1, N_E}; j = \overline{1, 3} \\ w_{sji}^{''} &= \{ \forall w_{sij} \geq \lambda_S \}; i = \overline{1, N_S}; j = \overline{1, 3} \\ w_{aji}^{''} &= \{ \forall w_{ajj} \geq \lambda_A \}; i = \overline{1, N_A}; j = \overline{1, 3} \end{aligned} \quad (2)$$

Як порогові значення автори прийняли $\lambda_E = \lambda_S = \lambda_A = 0,1$ для кожної групи критеріїв k . При цьому група критеріїв, що визначає можливі втрачені життя внаслідок аварії, не підлягає редукції згідно з принципами проєкту [2].

Тоді вторинний простір критеріїв оцінювання нестійкості АЗС матиме вигляд:

$$Sp_{sf} = \left\langle \{ \langle LL_{ji} \rangle \}, \{ \langle w_{eji}^{''}; E_{ji}^* \rangle \}, \{ \langle w_{sji}^{''}; S_{ji}^* \rangle \}, \{ \langle w_{aji}^{''}; A_{ji}^* \rangle \} \right\rangle, \quad (3)$$

де $w_{eji}^{''}$, $w_{sji}^{''}$, $w_{aji}^{''}$ – це вагові коефіцієнти відповідних критеріїв в економічній E_{ji}^* , соціальній S_{ji}^* та екологічній групі A_{ji}^* відповідно.

Відповідно, групи критеріїв у вторинному просторі після завершення четвертого етапу методу набувають такої форми:

- втрачені життя $LL = \{ LL_1, LL_2, LL_3, LL_4, LL_5, LL_6, LL_7, LL_8, LL_9 \};$
- економічні $E^* = \{ E_1^*, E_2^*, E_3^*, E_4^*, E_5^*, E_6^* \};$
- соціальні $S^* = \{ S_1^*, S_2^*, S_3^*, S_4^*, S_5^* \};$
- екологічні $A^* = \{ A_1^*, A_2^*, A_3^*, A_4^*, A_5^*, A_6^* \}.$

INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES. ADVANCES AND APPLICATIONS

На *п'ятому етапі* автори здійснили збір даних на основі сформованого вторинного простору критеріїв для мережі АЗС певного населеного пункту з публічних джерел. Фрагменти отриманих «сірих» даних частково представлені в табл. 1, і з міркувань безпеки координатне прив'язування до конкретної АЗС не здійснюється. На цьому етапі дані щодо критеріїв втрачених життів не збиралися.

Таблиця 1

Фрагмент значень «сірих» даних про АЗС, отриманих із публічних джерел [17]

АЗС номер		4	5	6	7
E_2^*	число паливо-роздавальних колонок	1	6	4	2
E_3^*	додаткові підприємства	немає	магазин	немає	немає
S_2^*	тип зони	промислова	промислова, рекреаційна	промислова, рекреаційна	промислова
A_1^*	тип палива, стандарт	газ	5 + газ	3	4
A_3^*	відстань до лісової зони	300 м	25 м	10 м	немає

При отриманні таких «сірих» даних виникає низка проблем, що ускладнюють їх збір, обробку та аналіз для подальшого оцінювання нестійкості АЗС:

- різноманітність необхідних даних: дані, потрібні для оцінки значень ЕЕСК, є дуже різноманітними, що унеможливило знаходження всіх відомостей в одному джерелі; деякі дані вимагають знання особливостей АЗС, кваліфікації персоналу тощо;
- необхідність ручного збору даних: переважно потрібен пошук та аналіз даних зацікавленою особою, що може призвести до пошуку великого обсягу, іноді надлишкової інформації, та спотворення даних;
- неструктурованість даних: відомості, отримані під час пошуку та аналізу, здебільшого є дуже неструктурованими та деталізованими, що ускладнює їх аналіз та обробку.

На *шостому етапі* отримані «сірі» дані про АЗС, фрагменти яких були показані в табл. 1, обробляються та кодуються відповідно до потреб побудови подальшої СППР для оцінки нестійкості АЗС до основних типів аварій. Згідно з визначеними значеннями критерію, даним надається кодове значення в діапазоні від 0 до 1, де 0 відповідає найменш несприятливому значенню критерію, а 1 – найбільш небезпечному. Фрагмент таблиці кодування даних для деяких критеріїв представлений у табл. 2, повну таблицю кодування для всіх критеріїв вторинного простору, окрім втрачених життів, можна знайти в [15].

Таблиця 2

Фрагмент схеми кодування «сірої» бази даних про АЗС [15]

Критерій	E_1^* – тип конструкції АЗС			
Значення	з підземними резервуарами		з наземними резервуарами	
Код	0.5		1.0	
Критерій	S_1^* – густина населення в районі поблизу АЗС			
Значення	висока	середня	низька	дуже низька
Код	1.0	0.6	0.2	0
Критерій	A_1^* – тип палива, що використовується, стандарт			
Значення	кількість типів палива $GS_{fueltype}$ + газ ($GS_{gasfuel}$ наявний чи ні – 0 або 1)			
Код	$a_{f1} = \begin{cases} \frac{GS_{fueltype}}{6}, GS_{fueltype} \leq 6 & + 0.3 \cdot GS_{gasfuel} \\ 0.7, GS_{fueltype} > 6 \end{cases}$			

На *сьомому етапі*, для отримання вектора вагових коефіцієнтів відповідних груп ЕЕСК за допомогою МАІ, автори виходили з таких міркувань. Оскільки вторинний критеріальний простір містив 17 компонентів, для спрощення реалізації МАІ були використані дані, отримані британськими колегами в рамках проєкту, а саме: за допомогою класичного МАІ вони порівнювали відповідні групи критеріїв між собою, таким чином отримавши вагові коефіцієнти для групи [16]. Результати цього порівняння та відповідні вагові коефіцієнти наведено в табл. 3. Перерахунок вагових коефіцієнтів критеріїв, отриманих на четвертому етапі, відбувається шляхом множення ваги відповідного критерію на значення відповідного вагового коефіцієнта групи (табл. 3), що відображено як *InitialWeight* у наступних формулах:

$$\begin{aligned} w_{eji}'' &= w_{eij}' \cdot \text{EconomicInitialWeight}; \quad w_{sji}'' = w_{sij}' \cdot \text{SocialInitialWeight}; \\ w_{aji}'' &= w_{ajj}' \cdot \text{EnvironmentalInitialWeight} \end{aligned} \quad (4)$$

Таблиця 3

Результати попарного порівняння груп критеріїв нестійкості АЗС згідно з МАІ[16]

<i>Матриця попарного порівняння груп критеріїв</i>			
	Економічні	Екологічні	Соціальні
Економічні	–	1,5	3
Екологічні	0,667	–	1,667
Соціальні	0,333	0,6	–
<i>Значення вагових коефіцієнтів груп критеріїв згідно з МАІ, що були отримані з матриці попарних порівнянь</i>			
Вимір нестійкості	Початкова вага		
Економічні	0,505		
Екологічні	0,317		
Соціальні	0,179		

**INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT
TECHNOLOGIES.
ADVANCES AND APPLICATIONS**

Далі ми підсумовуємо отримані вагові коефіцієнти для кожного типу аварії j щоб отримати значення W_j для подальшої нормалізації ваг критеріїв, яка дозволить отримати вектор вагових коефіцієнтів для кожного типу аварії із загальною сумою 1:

$$W_j = \sum_{i=1}^{N_E^*} w_{eji}^* + \sum_{i=1}^{N_S^*} w_{sji}^* + \sum_{i=1}^{N_A^*} w_{aji}^*, j = \overline{1,3} \quad ; \quad (5)$$

$$w_{eji}^* = \frac{w_{eji}^*}{W_j}, w_{sji}^* = \frac{w_{sji}^*}{W_j}, w_{aji}^* = \frac{w_{aji}^*}{W_j} \quad . \quad (6)$$

Значення векторів вагових коефіцієнтів критеріїв, отримані на сьомому етапі для кожного типу аварії, наведені в табл. 4.

На восьмому етапі, з урахуванням попередніх етапів 1–7, ми пропонуємо наступну узагальнену модель для оцінювання нестійкості АЗС:

$$V_f = \frac{\sum_{j=1}^{N_{ac}} \left(\sum_{i=1}^{N_E^*} w_{eji}^* \cdot e_{fi} + \sum_{i=1}^{N_S^*} w_{sji}^* \cdot s_{fi} + \sum_{i=1}^{N_A^*} w_{aji}^* \cdot a_{fi} \right)}{N_{ac}} \quad , \quad (7)$$

де V_f – оцінка нестійкості АЗС з ідентифікатором f ;

N_{ac} – загальна кількість основних типів аварій (у дослідженні $j = 3$);

N_E^*, N_S^*, N_A^* – загальна кількість ЕЕСК відповідно;

$w_{eji}^*, w_{sji}^*, w_{aji}^*$ – вага ЕЕСК i для j -го сценарію аварії відповідно (табл. 4);

e_{fi}, s_{fi}, a_{fi} – оцінка i -го ЕЕСК для f -мої АЗС за шкалою від 0 до 1 відповідно (табл. 2 [15]).

Таблиця 4

Вектори вагових коефіцієнтів вторинного простору ознак [17]

Економічні критерії	w_{ej}^*	Соціальні критерії	w_{sz}^*	Екологічні критерії	w_{aj}^*
<i>Вибух з утворенням ударної хвилі</i>					
E_1^*	0,073	S_1^*	0,056	A_1^*	0,061
E_2^*	0,122	S_2^*	0,024	A_2^*	0
E_3^*	0,069	S_3^*	0,048	A_3^*	0,058
E_4^*	0,069	S_4^*	0,029	A_4^*	0
E_5^*	0,116	S_5^*	0,027	A_5^*	0,07
E_6^*	0,106	—	—	A_6^*	0,073
<i>Пожежа розливу нафтопродуктів</i>					
E_1^*	0,098	S_1^*	0,042	A_1^*	0,058
E_2^*	0,125	S_2^*	0,038	A_2^*	0,058
E_3^*	0	S_3^*	0,052	A_3^*	0,094
E_4^*	0	S_4^*	0,038	A_4^*	0,055
E_5^*	0,138	S_5^*	0,042	A_5^*	0,058
E_6^*	0,103	—	—	A_6^*	0
<i>«Воснята куля»</i>					
E_1^*	0,082	S_1^*	0,053	A_1^*	0,062
E_2^*	0,153	S_2^*	0,03	A_2^*	0,056
E_3^*	0	S_3^*	0,055	A_3^*	0,092
E_4^*	0,074	S_4^*	0,032	A_4^*	0
E_5^*	0,109	S_5^*	0,032	A_5^*	0
E_6^*	0,105	—	—	A_6^*	0,065

Оскільки значення оцінки нестійкості АЗС, отримане за формулою (7), виражається десятковим числом у діапазоні [0; 1], необхідно інтерпретувати отримане значення V_f у формі, зрозумілій користувачеві (особі, що приймає рішення). Враховуючи, що чітке визначення приналежності АЗС до однієї з категорій оцінки нестійкості є нетривіальним завданням, ми можемо використати НЛ та визначити цю приналежність за допомогою лінгвістичної змінної.

На дев'ятому етапі оцінка нестійкості АЗС визначається як лінгвістична змінна GV , що являє собою кортеж:

$$\langle GV, T, V \rangle, \quad (8)$$

де: GV – назва лінгвістичної змінної;

$T = \{\text{«низька нестійкість»}, \text{«середня нестійкість»}, \text{«висока нестійкість»}\}$ – базова терм-множина лінгвістичної змінної, кожне значення якої представляє

нечітку змінну α_i . У якості першого наближення при виборі базової терм-множини пропонується використовувати три терми, хоча надалі ця кількість нечітких змінних може бути збільшена;

$V = [0; 1]$ – область визначення нечітких змінних, що входять до визначення лінгвістичної змінної.

Нечіткі змінні з терм-множини T також визначаються як кортежі вигляду:

$$T = \langle \alpha_i, V_i, A_i \rangle, i = \overline{1, 3}, \quad (9)$$

де: α_i – назва нечіткої змінної (α_1 – «низька нестійкість», α_2 – «середня нестійкість»; α_3 – «висока нестійкість» відповідно);

V_i – область визначення, для всіх 3 змінних $V = [0; 1]$;

$A_i = \{V_f, \mu_{A_i}(V_f)\}$ – нечітка множина на V , що описує можливі значення, які може нечітка змінна α_i набувати ($\mu_{A_i}(V_f)$ – ступінь приналежності значення V_f до заданої нечіткої змінної α_i у діапазоні $[0; 1]$).

Нечіткі множини A_1 , A_2 і A_3 запропоновано подати у вигляді трапецієподібних функцій належності f_{T_i} як перше наближення через їхню простоту, частоту використання в наукових дослідженнях, а також через відсутність досліджень щодо розподілу (гаусового та інших) оцінок АЗС через малий обсяг досліджуваної сукупності об'єктів. Визначимо трапецієподібні функції належності f_{T_i} для нечітких змінних α_i із такими параметрами:

- $f_{T_1}(V_f; 0; 0; 0; 3; 0; 4)$ – для α_1 «низька нестійкість»;
- $f_{T_2}(V_f; 0; 3; 0; 4; 0; 6; 0; 7)$ – для α_2 «середня нестійкість»;
- $f_{T_3}(V_f; 0; 6; 0; 7; 1; 1)$ – для α_3 «висока нестійкість».

Відповідні функції належності f_{T_i} можуть бути графічно відображені на рис. 2. Нечітка змінна «низька нестійкість» показана чорним кольором, «середня нестійкість» – синім, а «висока нестійкість» – зеленим.

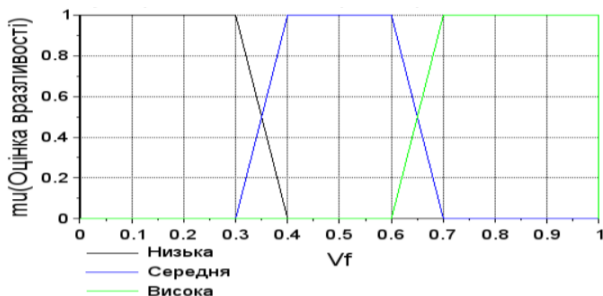


Рисунок 2. Графік трапецієподібних функцій належності нечітких змінних оцінки нестійкості АЗС [17]

Після підстановки значення V_f можна обчислити ступінь приналежності оцінки нестійкості до однієї з трьох нечітких змінних (відповідно $\mu_A(V_f)$). Перехідні значення від «низької» до «середньої» нестійкості в діапазоні [0,3; 0,4] та від «середньої» до «високої» нестійкості в діапазоні [0,6; 0,7] встановлюють ступінь нечіткості у визначенні приналежності оцінки АЗС до відповідних змінних.

Відповідно до вищезазначених міркувань, на *десятому етапі* формується база знань для оцінювання нестійкості АЗС до виникнення аварій основних типів, яка, своєю чергою, складається із заповненої бази даних про мережу АЗС, що надалі поповнюватиметься відповідно до етапів 5–6, а також міститиме базу правил для виведення інтерпретованого результату оцінки нестійкості АЗС. Згідно з вищезазначеним, можемо запропонувати таку базу правил для виведення інтерпретованого результату (з урахуванням кількості запропонованих термів, вона може бути розширена в майбутньому):

- П₁: якщо $f_{T_i} > 0$ – вивести повідомлення: «Оцінювана АЗС зі ступенем f_{T_i} % належить до категорії «назва i -ї нечіткої змінної»;
- П₂: if $f_{T_i} = 0$ – не виводити повідомлення;
- П₃: if $N(f_{T_i} > 0) > 1$ – вивести повідомлення: «Оцінювана АЗС зі ступенем $f_{T_{i1}}$ % належить до категорії «назва першої i -ї нечіткої змінної» і зі ступенем $f_{T_{i2}}$ % належить до категорії «назва другої i -ї нечіткої змінної».

INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES.

ADVANCES AND APPLICATIONS

Після виведення інтерпретованого результату оцінки нестійкості АЗС до основних типів аварій можуть бути сформовані такі повідомлення, що характеризують нечіткі змінні нестійкості АЗС і можуть слугувати підґрунтям для прийняття рішень зацікавленими сторонами:

- «низька нестійкість» означає, що у випадку ймовірної аварії на оцінюваній АЗС масштаб несприятливих наслідків (економічних, соціальних та екологічних) може бути низьким і відповідати певному прийнятному рівню;
- «середня нестійкість» означає, що у випадку ймовірної аварії на оцінюваній АЗС масштаб несприятливих наслідків (економічних, соціальних та екологічних) може бути вищим за середній рівень і може слугувати підставою для проведення обстеження оцінюваної АЗС контролюючими органами на предмет дотримання всіх необхідних нормативів та вжиття необхідних заходів;
- «висока нестійкість» означає, що у випадку ймовірної аварії на оцінюваній АЗС масштаб несприятливих наслідків (економічних, соціальних та екологічних) може бути значним, тобто таким, що може спричинити істотний вплив, і в цьому випадку рекомендується інспектування оцінюваної АЗС контролюючими органами на предмет дотримання всіх необхідних нормативів для вжиття заходів щодо зменшення загроз або закриття АЗС.

Приклад екранної форми виведення інтерпретації нестійкості АЗС, де оцінка нестійкості АЗС належить одразу до двох нечітких змінних і, отже, підпадає під правило ПЗ виведення інтерпретованого результату, показано на рис. 3.

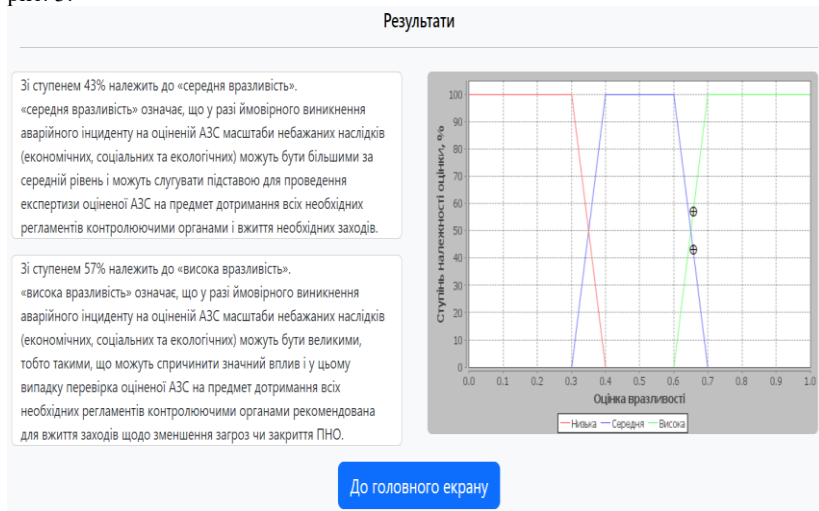


Рисунок 3. Екранна форма інтерпретації оцінки нестійкості АЗС [17]

6. Реалізація пропонованої інтелектуальної ІТ у формі СППР та її апробація на даних мережі АЗС

У межах впровадження проєкту було зібрано дані з відкритих джерел про 17 АЗС у певному населеному пункті. Надалі отримані відомості були закодовані відповідно до таблиці кодування, представленої в [15]. Результат кодованих значень критеріїв нестійкості АЗС, отриманий за допомогою інтелектуальної ІТ, наведено в табл. 5 (повний варіант – у [15]). Після кодування даних АЗС, представлених у табл. 5, за допомогою моделі (7) були розраховані оцінки нестійкості АЗС до основних типів аварій, значення яких відображено в останньому стовпці табл. 5 (V).

Таблиця 5

Вигляд значень атрибутів кодованих даних про АЗС [15]

№АЗС	E1	E2	E6	S1	S2	S5	A1	A6	V
1	0,5	0,6	0	0,3	0	0,3	0,4	0	0,403
2	0,5	0,4	0,7	0,7	1	0,3	0,4	0,3	0,551
3	0,5	0,8	1	0,3	1	0,3	0,5	0,3	0,630
4	0,5	0,1	0	0,3	0,7	0,3	0,3	0	0,196
5	0,5	0,6	0,3	1	1	0,3	0,8	1	0,716
6	0,5	0,4	1	0,7	1	0,3	0,3	1	0,654
7	1	0,2	1	0,3	0,7	0,3	0,4	0	0,531
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
17	1	0,4	0,3	0	0,7	0,3	0,4	0	0,496

Базуючись на результатах оцінок нестійкості АЗС, на рис. 4 побудовано графік розподілу оціночних параметрів залежно від їхнього просторового розташування. Параметр x є нормалізованим значенням широти (відповідно у – довготи), на якій розташована АЗС. АЗС розміщені на графіку відповідно до координат і мають колір, що відповідає параметру оцінки їхньої нестійкості до основних типів аварій.

З рис. 4 можна виділити такі класи АЗС при їхньому порівнянні між собою:

- темно-синій і світло-синій (4 об'єкти) – мають найменшу нестійкість;
- зелений (3 об'єкти) – мають нестійкість нижче середнього рівня;
- жовтий (3 об'єкти) – мають середню нестійкість;
- помаранчевий (4 об'єкти) – мають нестійкість вище середнього рівня;
- червоний і коричневий (3 об'єкти) – мають високу нестійкість.

Розглянемо інтерпретацію оцінки АЗС, поділивши її на категорії за допомогою нечітких змінних, описаних на рис. 2. Отримані значення для 17 досліджуваних АЗС відобразимо на рис. 5 у вигляді точкових значень на відповідних графіках функцій належності.

З рис. 5 ми бачимо, що досліджені АЗС мають наступний розподіл за нечіткими змінними оцінки нестійкості АЗС: 1 АЗС має низьку нестійкість, 13 АЗС мають середню нестійкість, 2 АЗС мають середню та високу нестійкість із різним ступенем, 1 АЗС має високу нестійкість.

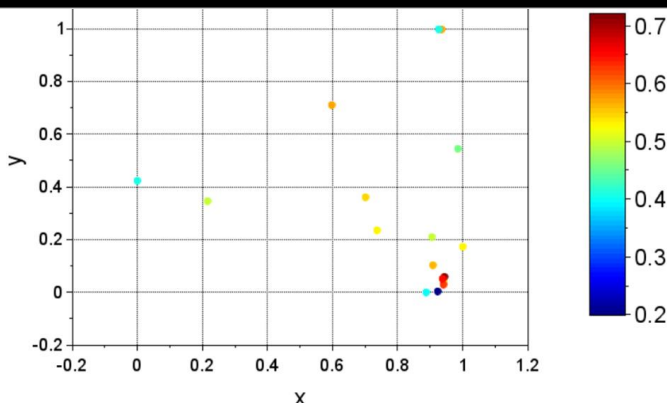


Рисунок 4. Графік оцінок нестійкості АЗС відповідно до просторових координат [17]

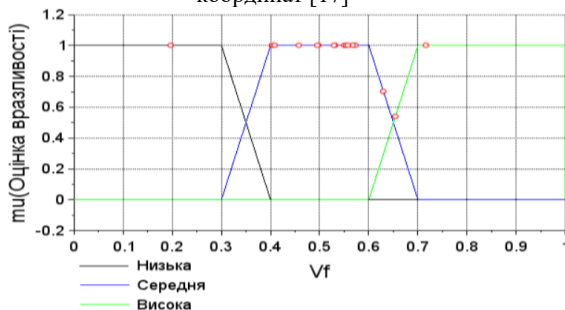


Рисунок 5. Графік оцінки нестійкості досліджуваної мережі АЗС за нечіткими змінними [17]

7 Висновки і перспективи дослідження

У результаті проведеного дослідження була розроблена інтелектуальна ІТ для багатокритеріального оцінювання нестійкості АЗС до основних типів аварій. Для її побудови було запропоновано та описано 10 послідовних етапів, що дозволяє створити СППР. Ця система здатна трансформувати числові оцінки нестійкості АЗС, отримані на основі зібраних даних, у категоріальні за допомогою нечіткої логіки для подальшої інтерпретації особами, що приймають рішення.

Серед переваг використання запропонованої інтелектуальної ІТ слід відзначити підвищення ефективності попереднього аналізу нестійкості АЗС, оскільки розроблена ІТ не лише збільшує швидкість аналізу та збору даних, але й надає обґрунтовані оцінки нестійкості АЗС, що містять рекомендації для стейкхолдерів. Варто також підкреслити, що запропонований підхід, за умови

подальшого розвитку та практичного впровадження, може слугувати методологічною основою для оцінювання нестійкості більш складних потенційно небезпечних об'єктів, особливо при їхній комбінації.

Як недолік зазначеного підходу слід відзначити його часткову неуніверсальність, оскільки аварії на потенційно небезпечних об'єктах та їхні комбінації можуть мати відмінну природу; потенційну складність формування початкової моделі нестійкості технологічного об'єкта, що може вимагати залучення досвідчених вузькоспеціалізованих фахівців, що є часо- та матеріаломістким завданням; а також суб'єктивність у прийнятті рішень, особливо коли вони ґрунтуються на експертних оцінках, що може спричинити упередженість та вплинути на об'єктивність результатів. Крім того, через обмеженість термінів реалізації та фінансові можливості проєкту, із розгляду моделі нестійкості АЗС була виключена група критеріїв «втрачені життя» у можливій аварії, проте це може стати фундаментом для подальших досліджень та вдосконалення розглянутої моделі.

Загалом, розроблена інтелектуальна ІТ може слугувати базою для попереднього огляду існуючих АЗС та початкової оцінки їхньої нестійкості до основних типів аварій, що може стати підставою для прийняття рішень щодо проведення розширеного оцінювання та обмеження їхньої діяльності або закриття АЗС. Це дослідження може становити інтерес для широкого кола зацікавлених сторін, включаючи регуляторні органи, населення, громадські організації тощо.

8. Подяки

Цей проєкт став можливим завдяки схемі грантів *UK-Ukraine twinning grants scheme*, що фінансується *Research England* за підтримки *Universities UK International* та *UK Research and Innovation*.

Література

1. Odesa Polytechnic, University of Portsmouth. (2023). *Multiple criteria fuzzy logic based methodology for risk mapping of gas filling stations and consequent decision optimization*. Odesa Polytechnic National University URL: <https://op.edu.ua/en/international/projects/uk-ukraine-twinning-initiative-14>.
2. Labib, A., Jones, D., Arsirii, O., Smyk, S., & Ivanov, O. (2023). Analysis of petrol station vulnerability factors regarding accidents using analytic hierarchy process and ranking. In A. Pakštas, Y. Kondratenko, V. Vychuzhanin, H. Yin, & N. Rudnichenko (Eds.), *Proceedings of the 11th International Conference Information Control Systems & Technologies (ICST 2023)* (Vol. 3513, pp. 330–341). CEUR. <https://ceur-ws.org/Vol-3513/paper27.pdf>.
3. Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process – What it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8).

4. Aulia, B. U., Utama, W., & Ariastita, P. G. (2016). Location analysis for petrol filling station based on stakeholders' preference and seismic microzonation. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 227, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.051>.
5. Wang, S.-P., Lee, H.-C., & Hsieh, Y.-K. (2016). A multicriteria approach for the optimal location of gasoline stations being transformed as self-service in Taiwan. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2016/8341617>.
6. Mohsin, M., Zhan-ao, W., Shijun, Z., Hengbin, Y., & Weilun, H. (2022). Risk prioritization and management in gas stations by using fuzzy AHP and IPA analysis. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 80(12), 1107–1116. <https://doi.org/10.56042/jsir.v80i12.49210>.
7. Koulinas, G. K., Demesouka, O. E., Bougelis, G. G., & Koulouriotis, D. E. (2022). Risk prioritization in a natural gas compressor station construction project using the analytical hierarchy process. *Sustainability*, 14(20), 13172. <https://doi.org/10.3390/su142013172>.
8. Ayyildiz, E., & Taskin, A. (2022). A novel spherical fuzzy AHP-VIKOR methodology to determine serving petrol station selection during COVID-19 lockdown: A pilot study for İstanbul. *Socio-Economic Planning Sciences*, 83, 101345. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101345>.
9. Akbari, D., & Saati, M. (2023). Location of fuel stations using fuzzy model in geospatial information system (Case study: 7th district, Tehran city). *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X-4/W1-2022, 31–36. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-31-2023>.
10. Jafar, M. N., Saqlain, M., Mansoob, A., & Riffat, A. (2020). The best way to access gas stations using fuzzy logic controller in a neutrosophic environment. *Scientific Inquiry and Review*, 4(1), 30–45. <https://doi.org/10.32350/sir.41.03>.
11. Ajman, N. N., Zainun, N. Y., Sulaiman, N., Khahro, S. H., Ghazali, F. E. M., & Ahmad, M. H. (2021). Environmental impact assessment (EIA) using geographical information system (GIS): An integrated land suitability analysis of filling stations. *Sustainability*, 13(17), 9859. <https://doi.org/10.3390/su13179859>.
12. Peprah, M. S., Boye, C. B., Larbi, E. K., & Opoku Appau, P. (2018). Suitability analysis for siting oil and gas filling stations using multi-criteria decision analysis and GIS approach – A case study in Tarkwa and its environs. *Journal of Geomatics*, 12(2), 158–166. https://isgindia.org/wp-content/uploads/2018/11/Pap_9_Volume_2_Oct_2018.pdf.
13. Bedewy, B. A. H., & Abdulameer, M. H. (2023). Evaluating and improving the spatial distribution using GIS to avoid environmental risks and achieve safety for petrol stations in the Nile district center in Mahaweel / Iraq. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 13(3), 433–444. <https://doi.org/10.18280/ijsse.130306>.
14. Odipe, O. E., Lawal, A., Adio, Z., Karani, G., & Sawyerr, O. H. (2018). GIS-based location analyses of retail petrol stations in Ilorin, Kwara State, Nigeria.

International Journal of Scientific & Engineering Research, 9(12), 790–794.
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3312528.

15. Arsirii, O., Ivanov, O., Smyk, S., Oliinyk, V., & Bieliaiev, K. (2024). *Data for IT of Gas Stations Vulnerability Assessment*.
https://drive.google.com/drive/folders/1MVzBfflx6uB4NyKm6ocLE-eHmeJ6_8K6S?usp=sharing.

16. Jones, D., Ivanov, O., Arsirii, O., Crook, P., Kanada, L., Labib, A., Teeuw, R., & Smyk, S. (2025). Multiple sustainability criteria mapping of gas station incident consequences and subsequent decision optimisation. *European Journal of Operational Research*, 326(2), 299–310. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2025.04.026>.

17. Arsirii, O., Ivanov, O., Smyk, S., Oliinyk, V., & Bieliaiev, K. (2024). Intelligent information technology for multi-criteria vulnerability assessment of gas stations to the main types of accidents. In A. Pakštas, Y. Kondratenko, V. Vychuzhanin, H. Yin, & N. Rudnichenko (Eds.), *Proceedings of the 12th International Conference Information Control Systems & Technologies (ICST 2024)* (Vol. 3790, pp. 458–470). CEUR. <https://ceur-ws.org/Vol-3790/paper40.pdf>.

DESIGN OF AN INFORMATION TECHNOLOGY FOR MULTI- FACTOR ASSESSMENT OF PETROL STATION SUSCEPTIBILITY TO COMMON HAZARD EVENTS

Ph.D. O. Ivanov^{1[0000-0002-8620-974X]}, **Ph.D. D. Jones**^{2 [0000-0002-9101-746X]},
Dr.Sci. O. Arsirii^{1[0000-0001-8130-9613]}, **Ph.D. A. Labib**^{3[0000-0002-5481-5833]},
Ph.D. S. Smyk^{1[0000-0001-7020-1826]}

¹ National University “Odesa Polytechnic”, Ukraine,

² Lion Gate Building, University of Portsmouth, Portsmouth, United Kingdom,

³ Faculty of Business and Law, University of Portsmouth, Portsmouth, United Kingdom

EMAIL: lesa.ivanoff@gmail.com, dylan.jones@port.ac.uk,
e.arsirii@gmail.com, ashraf.labib@port.ac.uk, smyk@op.edu.ua

Abstract. This work addresses the design and implementation of an intelligent information technology (IT) aimed at the multi-factor susceptibility assessment of petrol stations (PSs) to typical hazardous occurrences. The proposed IS is structured into 10 discrete sequential phases. The initial phases of the development process involved the precise identification of the dominant hazard types relevant to PSs and a thorough examination of PS susceptibility viewed through the lens of potential detrimental repercussions. For this purpose, 41 metrics (criteria) were meticulously established by domain experts. To refine this dataset, the analytical hierarchy process (AHP) is employed for the expert data analysis to derive a reduced criterion space of susceptibility, deliberately excluding the metrics related to fatalities. Based on this refined set of criteria, relevant operational data

pertaining to the PS network was systematically gathered, and a detailed procedure for data pre-processing and encoding was subsequently put forward. The actual susceptibility rating for each PS is then conducted utilising a developed generalised model. To facilitate the comprehension and interpretation of the assessment outcomes, the application of fuzzy set theory, specifically using trapezoidal membership functions, is proposed. This intelligent IT for PS susceptibility rating is ultimately realised as a decision support system (DSS). The end-user (decision-maker), upon entering site-specific data corresponding to the susceptibility criteria of a given PS, obtains a preliminary susceptibility score along with a clear explanation of the derivation methodology. A core element of the DSS is a meticulously curated knowledge base containing pre-evaluated PS data, which possesses the functionality for dynamic editing and expansion. The deployment of the suggested intelligent IT for multi-factor PS susceptibility assessment, and the resultant DSS, provides a robust capability for evidence-based decision-making concerning the evaluation of potentially vulnerable facilities and effective risk mitigation.

Keywords. Petrol station, intelligent information technology, decision support system, multi-factor decision-making analysis, hazard events, fuzzy logic, analytic hierarchy process.

UDC 004.89:519.8:681.518

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-538-2-20>

УДОСКОНАЛЕННЯ ПОШУКУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-ФУНКЦІЇ

Д. Кошутіна¹[0009-0004-1326-8775], Dr.Sci. С.Антошук¹[0000-0002-9346-145X],

Dr.Sci. Г.Щербакова³[0000-0003-0475-3854]

Національний університет «Одеська політехніка», Ukraine

EMAIL:¹d.v.koshutina@op.edu.ua, ²asg@op.edu.ua,

³galina.sherbakova@op.edu.ua

Анотація. Досліджено та розроблено методи оптимізації для мультимодальної зашумленої цільової функції в задачах автоматизації технічної та медичної діагностики. Використовуючи можливості вейвлет-перетворення, цей метод дозволяє визначити координату екстремуму зашумленої або мультиекстремальної цільової функції. Така властивість може бути необхідною в широкому спектрі застосувань, наприклад, при моніторингу якості обладнання критичних застосувань, при моніторингу електрокардіограми. При розробці автоматизованих систем (АС) та їх процедур на основі обробки зображень часто виникає необхідність