

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ УРАЗЛИВОСТІ АЗС ЩОДО ОСНОВНИХ
ТИПІВ АВАРІЙ

Шифр: PS Vulnerability

ЗМІСТ

Зміст	2
Вступ.....	3
1 Огляд літературних джерел за проблематикою роботи	7
2 Побудова моделі уразливості АЗС з урахуванням можливих наслідків від основних типів аварій	10
3 Використання методу аналізу ієрархій для оцінки ваг критеріїв	15
4 Опитування експертів методом ранжування щодо уразливості АЗС за допомогою веб-форми.....	20
5 Інформаційна технологія багатокритеріальної оцінки уразливості АЗС за допомогою МАІ.....	24
6 Порівняння результатів застосування МАІ при опитуванні експертів та запропонованої ІТ	28
Висновки	32
Перелік використаних джерел	34

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Забезпечення техногенної безпеки населення від можливих аварій на потенційно небезпечних об'єктах (ПНО), на яких можуть зберігатись, вироблятись, використовуватись або транспортуватись небезпечні шкідливі речовини, є одним із пріоритетних завдань будь-якої держави, оскільки аварії на таких об'єктах можна за масштабом порівнювати залежно від масштабів ПНО із такими природними катаклізмами, як землетрус або цунамі. В останні роки у зв'язку з активними бойовими діями в Україні, коли і такі ПНО стають військовими мішенями, питання забезпечення техногенної безпеки лише посилило своє значення і превентивна оцінка ризиків та прийняття управлінських рішень щодо конкретних ПНО дозволяє зменшити ризики виникнення аварій чи значно зменшити їх масштаби наслідків.

У рамках цієї роботи пропонується створення інформаційної технології, яка за допомогою одного із методів багатокритеріального аналізу, а саме методу аналізу ієрархій (MAI), дозволить оцінити уразливість одного із типових представників ПНО – автозаправних станцій (АЗС), щодо основних типів аварій, що можуть на них статись, із врахуванням економічних, соціальних, екологічних факторів уразливості АЗС щодо можливих наслідків аварій, а також із врахуванням втрачених життів.

У рамках даної роботи буде розроблено методологію, за допомогою якої багатокритеріальний вплив однієї або групи автозаправних станцій може бути оцінений і використаний для інформування про стратегічні рішення щодо будівництва нових автозаправних станцій або тимчасового/постійного закриття існуючих, а також щодо розташування та будівництва нових об'єктів (таких як житлова забудова великої щільності або екологічно чутливі об'єкти) поблизу автозаправних станцій. Це дозволить здійснювати активний контроль ризиків і, отже, обмежити потенційний економічний та екологічний збиток і соціальні зриви, таким чином підвищуючи економічний розвиток і добробут країни. Таким чином,

розробка методу та інформаційної багатокритеріальної оцінки уразливості АЗС щодо основних типів аварій є актуальною задачею.

Мета дослідження. Метою даного дослідження є підвищення якості оцінки уразливості АЗС щодо основних типів аварій за рахунок розробки моделі, до складу якої входять економічні, екологічні та соціальні критерії вразливості АЗС щодо основних типів аварій, а також критерії стосовно втрачених життів, та метода їх стратифікації на основі методів експертних оцінок і багатокритеріального аналізу – методу аналізу ієрархій. На основі розробленої моделі та методів створено інформаційну технологію, яка дозволяє автоматизувати процес збору даних експертних оцінок факторів уразливості АЗС за допомогою веб-форми опитування, а також запропонований алгоритм переводу експертних оцінок для оцінки за методом аналізу ієрархій.

Задачі дослідження. У рамках даної роботи запропоновано наступні задачі, що дозволять досягти мети дослідження:

- розробка моделі уразливості АЗС щодо можливих наслідків за основними типами можливих аварій на АЗС, що включають економічні, соціальні, екологічні фактори, а також втрачені життя;
- використання методу аналізу ієрархій із опитуванням експерта для оцінки відносних ваг факторів уразливості АЗС у кожній із підгруп;
- розробка інформаційної технології, що включає в себе веб-форму для опитування експертів щодо факторів уразливості АЗС за допомогою методу ранжування;
- а також розробка і автоматизація алгоритму, що дозволяє переводити отримані експертні оцінки у вигляді рангів для побудови матриць попарного порівняння факторів і отримання оцінки за методом аналізу ієрархій;
- порівняння отриманих результатів за допомогою ручного МАІ із результатами, отриманими із використанням інформаційної технології і коригування факторів уразливості в розробленій моделі.

Предмет дослідження. Предметом дослідження у даній роботі є процес оцінки уразливості АЗС щодо основних типів аварій як одного із типових представників потенційно небезпечних об'єктів.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є використання методів багатокритеріального аналізу (експертних оцінок та методу аналізу ієрархій) для оцінки уразливості потенційно небезпечних об'єктів на прикладі АЗС.

Апробація результатів дослідження. Робота виконувалась у рамках міжнародного проекту у рамках Програми міжнародного співробітництва UK-Ukraine twinning grants scheme. За результатами дослідження були опубліковані 4 тези доповідей із виступом учасників проекту. Також разом із британськими партнерами була опублікована стаття за результатами проекту у матеріалах конференції, що входить до міжнародної наукометричної бази даних Scopus.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати дають змогу надалі провести оцінку уразливості АЗС з точки зору можливих наслідків типових аварій із урахуванням відібраних критеріїв за допомогою МАІ. А це, у свою чергу дозволяє перейти до вирішення багатокритеріальної проблеми на основі нечіткої логіки для вибору АЗС, що мають бути закриті/переоснащені у регіоні, з точки зору як можливих наслідків небажаного інциденту, так і виникаючих незручностей для населення при закритті АЗС. Результати проекту можуть мати цінність для широкого кола зацікавлених осіб, серед яких слід відмітити населення, органи цивільного захисту і екстрені служби, підприємці і власники АЗС, державні контролюючі органи, а також громадські організації тощо. Якісна оцінка потенційних ризиків дозволяє зменшити масштаби негативних наслідків можливих аварійних інцидентів, а отже напряду можуть впливати на економічний добробут країни і зменшення соціальної напруги.

Використані методи і технології в дослідженні. Серед загальнонаукових методів були використані системний аналіз, метод порівняння, а також рангових оцінок і метод аналізу ієрархій для оцінки ваг критеріїв уразливості АЗС. При розробці інформаційної технології були використані мова програмування Python з

фреймворком Django та СУБД PostgreSQL. За допомогою засобів HTML JavaScript було описано основні сторінки веб-форми.

Подяки. Тема розроблювалась в межах проекту, який було здійснено за допомогою схеми грантів Twinning UK-Ukraine, що фінансується Research England за підтримки Universities UK International та UK Research and Innovation.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ПРОБЛЕМАТИКОЮ РОБОТИ

Питанням визначення техногенної безпеки АЗС, а також можливих факторів виникнення і розвитку аварійних інцидентів на них присвячено багато робіт, тому у даному розділі більшу увагу буде приділено публікаціям, на яких ґрунтується дослідження [1-5], а також публікаціям дослідників, які використовують багатокритеріальний метод прийняття рішень відносно дослідження АЗС.

У дисертаційному дослідженні [1] були розглянуті методи визначення сценарію розвитку аварії на ПНО (в якості яких було обрано АЗС) за рахунок розробки моделей і методів аналізу і візуалізації зон ризику у геоінформаційних системах. У роботі були розглянуто моделювання геоданих зон ризику АЗС від 3 аварійних інцидентів (вибух пароповітряної суміші парів нафтопродуктів із утворенням ударної хвилі, пожежа проливу нафтопродуктів, «вогняна куля»), що були використані у геоінформаційній системі QGIS для візуалізації зон ризику на карті міста Одеси. У [2] було запропоновано концептуальну модель геоданих АЗС для моделювання зон засобами геоінформаційних систем (на прикладі інциденту вибух пароповітряної суміші нафтопродуктів з утворенням ударної хвилі).

Публікація [3] присвячена питанням аналізу методологічної бази з оцінки небезпеки ПНО загалом, зокрема і на АЗС також. Визначено, що на даний час через розмаїття методів аналізу небезпеки ПНО не існує єдиної чітко сформульованої та ефективної комплексної методики оцінки ризику виникнення аварій на ПНО. У цій же роботі представлено «дерево подій» аварійної ситуації для кількісного аналізу аварії на АЗС (рис. 1).

Аналіз статистичних даних у роботі [4] показує, що при викиді легкозаймистих рідин найбільш вірогідними для реалізації небезпечними ситуаціями на АЗС є згорання хмари парів нафтопродуктів із утворенням надлишкового тиску, факельне горіння проливу нафтопродуктів, а також «вогняна куля» (табл. 1).



Рисунок 1 – Аналіз розвитку НС на АЗС внаслідок руйнування ємності за допомогою «дерева подій» [3]

Таблиця 1 – Статистичні ймовірності різних сценаріїв розвитку НС на АЗС [4]

Сценарій аварії	Імовірність
Факел ($Q_{мз}$)	0,322
«Вогняна куля» ($Q_{вк}$)	0,108
Горіння проливу ($Q_{зп}$)	0,1862
Згорання хмари ($Q_{со}$)	0,1689
Згорання хмари з розвитком надлишкового тиску ($Q_{см}$)	0,0119
Без горіння (P_3)	0,203

У [5] авторами розглядається використання методу багатокритеріального прийняття рішень для розміщення медичного обладнання для діагностики ракових захворювань на півдні Сполученого Королівства. Запропоновану методіку планується використати і стосовно АЗС для прийняття рішень про їх закриття/переоснащення.

Розглянемо публікації щодо використання багатокритеріального методу (аналіз ієрархій) прийняття рішень відносно АЗС. У роботі [6] розглянуто багатокритеріальну проблему вибору місця розташування АЗС для будівництва із використанням методу аналізу ієрархій. У роботі були визначені із застосуванням

вказаного методу ваги критеріїв, що впливають на вибір особою, що приймає рішення, місця будівництва АЗС, зважаючи на фактори транспортних потоків, оточуючого середовища, соціо-економічних факторів, а також фізичних атрибутів місця розташування. До інших робіт, у яких розглядається питання вибору місця розташування АЗС за допомогою багатокритеріальних методів прийняття рішень слід віднести публікації [7-10].

Для дослідження ризиків та їх пріоритетів, з якими стикаються АЗС у Пакистані, були використані метод аналізу ієрархій та ІРА аналіз у роботі [11]. Показано, що на АЗС найбільше впливають 5 основних факторів ризику, а саме транспортування/розвантаження цистерн, видача палива, збереження палива на місці, ремонт, техобслуговування чи модифікація, а також інші фактори ризику.

Комплексне використання оцінки впливу на навколишнє середовище і методу аналізу ієрархій із наступної візуалізацією даних у ГІС щодо визначення придатності земельної ділянки для розташування АЗС розглядається у роботі [12]. Також багатокритеріальний метод аналізу ієрархій використовується для оцінки ризиків будівництва газокompресорних станцій та пріоритетизації небезпечних факторів у дослідженні [13]. Загальним питанням визначення факторів небезпеки для виникнення аварійних ситуацій на АЗС та оцінці ризику присвячена робота [14].

Використання 6 методів багатокритеріального аналізу та SWOT-аналізу для поліпшення сервісу на АЗС розглянуто у статті [15]. Оцінка і ранжування АЗС за допомогою МАІ досліджена авторами у [16].

2 ПОБУДОВА МОДЕЛІ УРАЗЛИВОСТІ АЗС З УРАХУВАННЯМ МОЖЛИВИХ НАСЛІДКІВ ВІД ОСНОВНИХ ТИПІВ АВАРІЙ

Ключовими принципами, на яких має ґрунтуватись дослідження уразливості АЗС з точки зору небажаних наслідків у разі реалізації ймовірного інциденту (основних типів аварійних ситуацій), слід вважати наступні:

1) втрачені життя через ймовірну аварію не слід прямо порівнювати з іншими критеріями (економічними, соціальними, екологічними), а скоріше приймати нижче прийнятних порогів;

2) втрачені життя однаково важливі в усіх регіонах країни незалежно від їх соціально-економічного розвитку чи політичного значення;

3) рішення про закриття або відкриття АЗС мають прийматися в межах прийняттого ризику для життя та повинні враховувати економічні, соціальні та екологічні наслідки ймовірного аварійного інциденту, а також незручності для зацікавлених сторін населення внаслідок будь-якого закриття АЗС.

Загальна оцінка вразливості V для АЗС f визначається як лексикографічний вектор:

$$V_f = [VL_f, VS_f] \left[\sum_{z=1}^Z L_{fz}, \sum_{z=1}^Z (w_{ez}E_{fz} + w_{sz}S_{fz} + w_{az}A_{fz}) \right],$$

де:

$f=1, \dots, F$ – набір існуючих або запропонованих АЗС у районі;

$z=1, \dots, Z$ – набір географічних зон, які розходяться від АЗС;

L_{fz} – оцінена втрата життя в зоні z АЗС f , якщо станеться інцидент;

E_{fz} – оцінений економічний вплив у зоні z АЗС f , якщо станеться інцидент;

S_{fz} – оцінений соціальний вплив у зоні z АЗС f , якщо станеться інцидент;

A_{fz} – розрахунковий вплив на навколишнє середовище в зоні z АЗС f , якщо станеться інцидент;

w_{ez} – вага, визначена для економічних наслідків в зоні z ;

w_{sz} – вага, визначена для соціальних наслідків у зоні z ;

w_{az} – вага, визначена для екологічних наслідків у зоні z .

На основі вищенаведених міркувань із застосуванням системного аналізу можна запропонувати наступну модель уразливості АЗС із визначенням факторів, що визначають вплив основних типів аварійних ситуацій з точки зору наслідків.

1. Фактори, що враховують втрачені життя:

ВЖ.1) кількість персоналу на АЗС – при аварійній ситуації знаходяться у високій групі ризику;

ВЖ.2) кількість паливно-роздавальних колонок – визначає максимальну кількість транспортних засобів, що можуть бути одноразово заправлені;

ВЖ.3) середня кількість транспортних засобів на годину (пропускна здатність) – на основі попереднього показника і цього дозволяє судити про наявність можливих черг;

ВЖ.4) наявність поблизу АЗС пішохідних переходів, пішохідних магістралей зі значним рухом – збільшує ймовірність перебування осіб, що можуть постраждати від аварії;

ВЖ.5) наявність поблизу АЗС світлофорів, дорожніх знаків обмеження руху – застосування обмежень на швидкість чи тимчасова зупинка автотранспорту збільшує кількість потенційних жертв;

ВЖ.6) наявність поблизу АЗС одно-, дво- чи багатосмугової дороги – впливає на збільшення автомобільного потоку через АЗС;

ВЖ.7) значення дороги, біля якої розміщено АЗС – на дорогах місцевого значення інтенсивність руху менша, ніж на державних чи міжнародних транспортних коридорах;

ВЖ.8) наявність поблизу АЗС зупинки громадського чи приватного транспорту – збільшує ймовірність перебування осіб, що можуть постраждати від аварії;

ВЖ.9) кількість робочого персоналу підприємств біля АЗС, що надають додаткові сервісні послуги автомобілістам – розташування таких додаткових сервісних підприємств збільшує привабливість району АЗС, а отже, і вірогідність перебування людей у потенційно небезпечній зоні.

2. Фактори, що враховують економічні наслідки:

Е.1) тип конструкції АЗС і використовуваного обладнання – впливає на величину матеріальних збитків самого підприємства;

Е.2) число резервуарів, їх об'єм та тип – кількість нафтопродуктів прямо впливає на величину можливої аварійної ситуації;

Е.3) наявність поряд із АЗС підприємств, що надають додаткові послуги автомобілістам: СТО, автомийок, магазинів, закладів громадського харчування – висока вірогідність пошкодження матеріальних цінностей через можливу аварійну ситуацію;

Е.4) наявність поряд із АЗС комунікацій комунального господарства: магістральні водо- і газопроводи, тепломережі, мережі зв'язку і лінії електропередач;

Е.5) наявність поблизу АЗС підприємств-об'єктів підвищеної небезпеки – зростає можливість їх пошкодження в результаті ефекту «доміно»;

Е.6) наявність поблизу інших АЗС;

Е.7) наявність поблизу АЗС житлової забудови;

Е.8) наявність невиконаних приписів від контролюючих органів – злісне невиконання обов'язків із забезпечення безпеки тягне за собою більшу матеріальну та інші види відповідальності;

Е.9) час експлуатації АЗС – знос обладнання з часом може впливати на підвищення рівня ризиків виникнення аварійної ситуації;

Е.10) належність АЗС до торговельної марки (мережі) – у мереж додаткові витрати на бренд і більш якісне обладнання, з іншої сторони, приватні малі АЗС будуть мати менші економічні збитки від аварійної ситуації.

3. Фактори, що враховують соціальні наслідки:

С.1) щільність населення в районі поблизу АЗС – більша щільність зумовлює більше число ймовірних жертв аварії, а отже, більший ефект соціального потрясіння;

С.2) характер зони, в якій перебуває АЗС: житлової забудови, промислова, сільськогосподарська, рекреаційна тощо – залежно від характеру може бути різний соціальний ефект можливої аварійної ситуації;

С.3) наявність поблизу АЗС соціально важливої інфраструктури: стадіони, школи, лікарні і т.п. – якщо можлива аварійна уразливість АЗС досить висока, це може викликати соціальне невдоволення через наявність АЗС поблизу;

С.4) середній рівень доходів жителів району, у якому розміщена АЗС – мультिवаріантний фактор, який впливає як на пряму економічно, так і соціальне невдоволення через наявність АЗС поблизу;

С.5) потенціал зростання провінції, де знаходиться АЗС – з урахуванням росту щільності населення і транспортних потоків сусідство із АЗС може виявитись небажаним;

С.6) наявність поблизу АЗС пам'яток культури;

С.7) знаходження в зоні бойових дій або близькість до цієї зони – мультिवаріантний фактор, пропорційно впливає на ризики настання аварії та небажаних наслідків;

С.8) кваліфікація персоналу – вплив людського фактору на ризики настання наслідків від аварії – вчасні кваліфіковані дії можуть зменшити масштаб наслідків і навпаки;

С.9) АЗС як криміногенний фактор – наявність «тіньових» АЗС, на яких можуть не дотримуватись всі норми безпеки, а також підвищеної криміногенної обстановки біля них може мати соціальний ефект у разі аварійної ситуації на них;

С.10) наслідки для ринку праці – аварія на АЗС може призвести до тимчасової/постійної втрати робочих місць значної кількості людей.

4. Фактори, що враховують екологічні наслідки:

Ек.1) тип використовуваного палива, стандарт – прямо впливає на кількість шкідливих речовин, важких металів, що можуть виділитись в процесі горіння нафтопродуктів;

Ек.2) погодні умови (температура, швидкість вітру, ступінь вертикальної стійкості повітря (інверсія, конвекція, ізотермія)) – впливають на характер та розсіювання забруднюючих речовин (ЗР) внаслідок горіння у атмосфері;

Ек.3) пора року – має вплив взагалі на стан і погодних умов, так і на стан всіх складових екосистеми, взимку одні АЗС можуть бути більш стійкі, ніж влітку тощо;

Ек.4) наявність поблизу АЗС відкритих водойм, що мають господарське значення – у разі аварійної ситуації висока можливість забруднення водних ресурсів і більших екологічних збитків;

Ек.5) тип та структура ґрунтів – впливає на глибину проникнення ЗР у товщу ґрунту;

Ек.6) глибина залягання ґрунтових вод, наявність поблизу колодязів, свердловин – при невисокій глибині залягання і наявних засобів відбору ґрунтових вод зростає ризик забруднення ґрунтових вод і більших екологічних збитків;

Ек.7) наявність поблизу АЗС ділянок природно-заповідного фонду – при наявності поблизу більший ризик екологічних збитків і соціального ефекту водночас;

Ек.8) наявність поблизу АЗС значних лісових масивів – за наявності більша ймовірність поширення лісових пожеж і екологічних збитків;

Ек.9) наявність поблизу АЗС земель с/г значення (орних земель, пасовищ тощо) – існує можливість вилучення земельного фонду із сільськогосподарського використання через ймовірне забруднення;

Ек.10) характер рельєфу біля АЗС – наявність нерівностей зменшує масштаби забруднення, тоді як рівний характер не перешкоджає забрудненню місцевості;

Ек.11) наявність поблизу АЗС рекреаційних зон (як великих, там і малих) – аварія на АЗС може мати негативний як екологічний ефект у разі забруднення цих зон, так і соціальний через втрату цих зон.

3 ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ВАГ КРИТЕРІЇВ

Можна скласти наступну ієрархію критеріїв оцінки уразливості АЗС для застосування МАІ для оцінки ваг економічних, соціальних та екологічних наслідків від можливого аварійного інциденту (рис. 2).

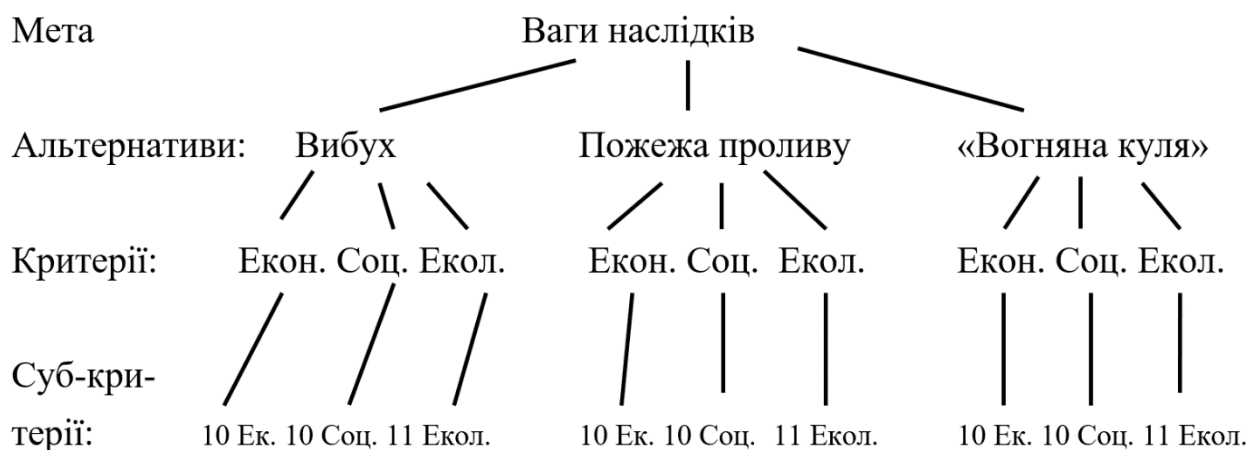


Рисунок 2 – Ієрархія критеріїв оцінки уразливості АЗС у випадку реалізації одного з 3 можливих інцидентів на АЗС

Виконання МАІ для досягнення його мети можна виконати за 3 варіантами:

1) повний аналіз всіх факторів – складаємо для кожного з 3 можливих інцидентів повну матрицю факторів для їх попарного порівняння. Кількість попарних порівнянь для експерта, що виконує МАІ: $K = ((31 * 31) - 31) / 2 = 465$ – стільки значень потрібно буде заповнити для 1 інциденту через обернену симетричність. Такий аналіз видається нашій команді громіздким, непрактичним у тому, що для порівняння всіх факторів експерту необхідно мати на увазі всі виділені 31 фактор;

2) можна розбити матрицю першого варіанту на матриці розмірністю 10 на 10, але й у цьому випадку експерту потрібно заповнити 6 матриць – проблема залишається та ж: 465 порівнянь як і для першого сценарію;

3) на першому етапі експерти заповнюють тільки 3 матриці розмірністю 10 на 10, порівнюючи фактори між собою в кожній підгрупі (економічні, соціальні, екологічні). Тоді на кожен можливий інцидент припадає 3 матриці, кількість

порівнянь: $K = ((10 \cdot 10) - 10) / 2 + ((10 \cdot 10) - 10) / 2 + ((11 \cdot 11) - 11) / 2 = 45 + 45 + 55 = 145$ на 1 інцидент (в 3,2 рази менше, ніж при порівнянні всіх 31 фактора між собою).

На підставі цієї оцінки визначаємо в кожній з підгруп найбільш значущі 3-4-5 факторів і тоді на другий етап для кожного зі сценаріїв подаємо матрицю розмірністю від $10 \cdot 10$ до $15 \cdot 15$ (залежить від першого кроку, скільки буде в кожній із підгруп вибрано найбільш важливих факторів). І тоді вже порівнюємо отриману матрицю, де вже для кожного із сценаріїв будуть і економічні, і соціальні, і екологічні фактори. У результаті ми отримаємо питомі ваги наслідків для оцінки вразливості АЗС щодо кожного із інцидентів.

Методологія виконання МАІ для нашого дослідження ґрунтується на класичних роботах Т. Сааті [17]. На першому етапі для кожного із 3 можливих інцидентів експертам буде запропоновано 3 матриці на попарне порівняння факторів між собою за наступною шкалою (табл. 2).

Таблиця 2 – Шкала відносної важливості [17]

Рівень важливості	Кількісне значення
Однаково важливі	1
Помірна перевага	3
Суттєва або сильна перевага	5
Значна перевага	7
Дуже велика перевага	9
Проміжні значення	2,4,6,8

З матриці попарних порівнянь формуються локальні пріоритети шляхом визначення основних власних векторів матриці A та нормалізації результату. Обчислення головного власного вектора $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ позитивної квадратної матриці A здійснюється на підставі визначення $Ax = \lambda_{max} x$, де λ_{max} – максимальне власне число матриці A .

Вектор пріоритетів розраховуємо як середнє геометричне рядків матриці попарних порівнянь з наступною нормалізацією:

$$x_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \left(\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \right)}$$

Далі розраховується індекс узгодженості, який дозволяє перевірити, наскільки послідовним був експерт, заповнюючи матрицю парних порівнянь:

$$I_y = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j \times \sum_{i=1}^n a_{ij}) - n}{n-1} = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1},$$

звідки оцінка:

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n (x_j \times \sum_{i=1}^n a_{ij}).$$

Обчислений індекс узгодженості I_y порівнюється зі значенням, яке виходить за умови випадкового вибору кількісних значень зі шкали 9, 8, 7, ..., 1/8, 1/9.

Відношення узгодженості (ВУ) є часткою від ділення індексу узгодженості на відповідне значення випадкової узгодженості, взяте з таблиці 3:

$$ВУ = I_y / \text{Rand}(I_y, n)$$

Таблиця 3 – Значення індексу узгодженості для випадкових матриць [17]

Розмір матриці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Випадкова узгодженість	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Якщо отримане значення *менше ніж 10%*, то рівень узгодженості вважається задовільним.

Для виконання МАІ для кожного із інцидентів експерту буде запропоновано заповнити 3 анкети, які порівнюють між собою фактори економічних, соціальних та екологічних наслідків у разі реалізації інциденту на АЗС (3 анкети на 1 інцидент).

На основі обробки даних отриманих матриць з'являється можливість виділити найважливіші фактори наслідків. Далі можна перейти до складання підсумкової матриці, де будуть найбільш значущі економічні, соціальні та екологічні фактори наслідків, які ми вже зможемо порівняти між собою і таким чином отримати ваги наслідків для кожного із інцидентів.

У таблиці 4 наводимо результати обробки попарного порівняння економічних факторів наслідків для інциденту вибух пароповітряної суміші нафтопродуктів.

Таблиця 4 – Результат виконання попарного порівняння для інциденту вибух пароповітряної суміші нафтопродуктів (економічні наслідки)

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	Сер. геом.	x_j – вектор пріорит.	%
E1	1	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	2	3	3	0,5083	0,0355	3,55
E2	5	1	2	3	3	3	2	8	8	8	3,5008	0,2442	24,42
E3	5	1/2	1	2	2	2	1	7	7	7	2,419	0,1687	16,87
E4	5	1/3	1/2	1	1	1	1/2	6	6	6	1,5683	0,1094	10,94
E5	5	1/3	1/2	1	1	1	1/2	6	6	6	1,5683	0,1094	10,94
E6	5	1/3	1/2	1	1	1	1/2	6	6	6	1,5683	0,1094	10,94
E7	5	1/2	1	2	2	2	1	6	6	6	2,3097	0,1611	16,11
E8	1/2	1/8	1/7	1/6	1/6	1/6	1/6	1	2	2	0,3500	0,0244	2,44
E9	1/3	1/8	1/7	1/6	1/6	1/6	1/6	1/2	1	1	0,273	0,0190	1,90
E10	1/3	1/8	1/7	1/6	1/6	1/6	1/6	1/2	1	1	0,273	0,0190	1,90
										Σ	14,3385	1	100
$x_j \cdot \sum_{i=1}^n a_{ij}$	1,14	0,87	1	1,17	1,2	1,2	1	1	0,9	0,88	λ_{max}	10,3577	
											I_y	0,03975	
											ВУ	2,66%	

Відношення узгодженості 2,66 %, що менше значення 10 %, а отже можна вважати результат задовільним. Як бачимо, з точки зору економічних наслідків інциденту вибух пароповітряної суміші нафтопродуктів найбільш значущими є фактори E2-E7 (виділено напівжирним).

У наступній таблиці 5 наводимо результати для інших факторів, що були отримані за МАІ для всіх 3 інцидентів.

Таблиця 5 – Результати обчислення пріоритетів факторів для 3 інцидентів за допомогою МАІ

Економ. фактори	Пріоритет, %	Соціал. фактори	Пріоритет, %	Еколог. фактори	Пріоритет, %
<i>Вибух пароповітряної суміші нафтопродуктів з утворенням ударної хвилі</i>					
E1	3,55	C1	20,00	Ек1	22,99
E2	24,42	C2	14,75	Ек2	1,42
E3	16,87	C3	22,97	Ек3	1,42
E4	10,94	C4	3,31	Ек4	4,51
E5	10,94	C5	2,60	Ек5	1,92
E6	10,94	C6	9,21	Ек6	1,92
E7	16,11	C7	9,21	Ек7	6,71
E8	2,44	C8	1,33	Ек8	6,71


Продовження таблиці 5

E9	1,90	C9	1,63	Ек9	6,71
E10	1,90	C10	15,00	Ек10	25,34
–	–	–	–	Ек11	20,34
<i>Пожежа проливу нафтопродуктів</i>					
E1	2,20	C1	11,37	Ек1	3,29
E2	24,01	C2	23,01	Ек2	6,82
E3	19,50	C3	30,52	Ек3	6,82
E4	9,85	C4	5,20	Ек4	10,58
E5	9,67	C5	1,63	Ек5	2,22
E6	9,67	C6	7,22	Ек6	2,22
E7	16,12	C7	10,45	Ек7	10,58
E8	4,50	C8	5,24	Ек8	22,66
E9	2,24	C9	2,21	Ек9	16,31
E10	2,24	C10	3,15	Ек10	2,19
–	–	–	–	Ек11	16,31
<i>«Вогняна куля»</i>					
E1	1,39	C1	21,99	Ек1	8,01
E2	27,49	C2	12,44	Ек2	13,09
E3	20,24	C3	29,16	Ек3	13,09
E4	9,53	C4	4,98	Ек4	5,14
E5	9,53	C5	1,40	Ек5	1,94
E6	9,53	C6	8,11	Ек6	1,94
E7	14,81	C7	12,44	Ек7	8,01
E8	3,19	C8	2,53	Ек8	25,75
E9	2,48	C9	2,22	Ек9	8,01
E10	1,81	C10	4,74	Ек10	1,94
–	–	–	–	Ек11	13,09

Із таблиці 5 видно, що для всіх 3 інцидентів можна виділити найбільш значущими і спільними економічними факторами E2-E7, соціальними C1-C3 та екологічним E11. Деякі відмінності в інцидентах у соціальних та екологічних факторах пов'язані з різною природою цих інцидентів.

4 ОПИТУВАННЯ ЕКСПЕРТІВ МЕТОДОМ РАНЖУВАННЯ ЩОДО УРАЗЛИВОСТІ АЗС ЗА ДОРОМОГОЮ ВЕБ-ФОРМИ

У зв'язку з трудомісткістю і великою фінансовою складовою для проведення опитування великої кількості експертів для реалізації МАІ для визначення ваги факторів уразливості АЗС, нами було запропоновано створити веб-форму для опитування експертів. Для швидкого та якісного процесу розробки веб-форми було обрано мову програмування Python з фреймворком Django та СУБД PostgreSQL. За допомогою засобів HTML JavaScript було описано основні сторінки веб-форми. Головна сторінка розробленої веб-форми відображена на рис. 3.




**UNIVERSITY OF
PORTSMOUTH**

Опитування задля картографування ризиків автозаправних станцій (АЗС) Одеського регіону

Опитування проводиться в межах виконання спільного україно-британського проекту [\(детальніше\)](#) в межах партнерства

Мета опитування: Ранжування економічних, соціальних та екологічних факторів уразливості АЗС в залежності від таких поширених сценаріїв надзвичайної ситуації як вибух з утворенням ударної хвилі, пожежа проливу нафтопродуктів і «вогняна куля».

Проект є вкрай важливим для безпеки мешканців будь-якого регіону. Після його реалізації на Ваш Email прийде посилання за яким можна буде безкоштовно завантажити ПС-додаток із картою ризиків від АЗС.



Результати візуалізації зон ризику від АЗС за вказаним сценарієм аварії вибух з утворенням ударної хвилі та масштабом для міста Одеси в підсистемі QGIS

[Продовжити](#)

Рисунок 3 – Зовнішній вигляд головної сторінки розробленої веб-форми

Після ознайомлення експерта із змістом проекту і надання згоди на обробку його даних, спочатку ним заповнюються статистичні дані про себе (стать, вік, освіта і т.ін.). На даний час було опитано 16 експертів за допомогою веб-форми.

Аналіз статистичних даних про експертів, що взяли участь в опитуванні, відображений на рис. 4.

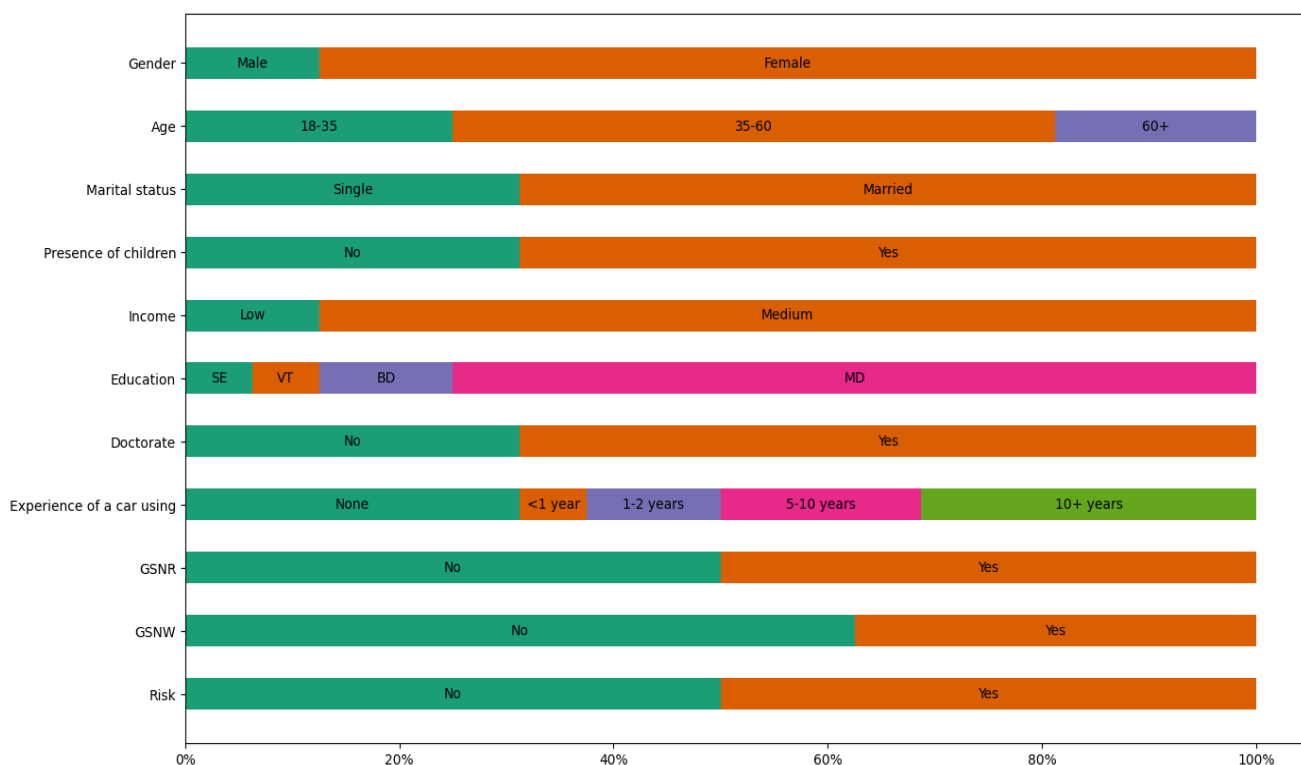


Рисунок 4 – Аналіз статистичних даних про експертів, що взяли участь в опитуванні

Критерії, що відображені на рис. 4, включають (в порядку зверху вниз): стать, вік, сімейний стан (одружений/неодружений), наявність дітей, дохід (низький/середній/високий), освіта (повна середня/професійно-технічна/бакалавр/магістр), наявність наукового ступеня, досвід керування автомобілем (в роках), чи розташовано АЗС поблизу місця житла респондента (GSNR), чи розташовано АЗС поблизу місця роботи респондента (GSNW), чи пов'язана проф. діяльність респондента з ризиком, або його оцінкою чи управлінням (Risk).

В результаті заповнення даних про себе, користувач реєструється в системі і одразу авторизується строком на 2 тижні. Впродовж 2 тижнів від моменту авторизації експерт має можливість проводити ранжування критеріїв, закривати веб-форму, повертатись пізніше та редагувати власне ранжування. Після

закінчення строку користувач перестає бути авторизованим та втрачає доступ до редагування власних відповідей. Будучи впевненим у власних оцінках експерт має можливість одразу після заповнення критеріїв відправити результати та вийти з веб-форми. Авторизований користувач на головній сторінці бачить 3 переходи для ранжування, яке задля зручного оцінювання кожного зі сценаріїв критерії було згруповано по типам наслідків:

- економічні;
- соціальні;
- екологічні.

Експерт має заповнити принаймні одну групу критеріїв та має можливість обрати групу, яку він буде заповнювати. При бажанні та можливості експерт може заповнити усі 3 групи критеріїв. Кожна сторінка для заповнення окремої групи сценаріїв має у наявності коротку інструкцію, що пояснює, як треба оцінювати фактори, та посилання на текстові описи кожного з 3 альтернативних сценаріїв аварійної ситуації.

Користувачу представляється таблиця з описом фактору, та трьома полями вводу оцінки від 1 (найменш вагомий) до 10 (найвагомий) для кожного з 3 сценаріїв відповідно. Після заповнення полів для кожного з факторів та сценаріїв експерт надсилає заповнену форму та повертається на сторінку вибору груп критеріїв, може заповнити інші групи або остаточно відправити власні відповіді.

За допомогою вбудованої ORM Django записує усі відповіді експертів у СУБД PostgreSQL, де формує 9 таблиць, кожна з яких відповідає комбінації усіх сценаріїв та наслідків, відповідним суб-критеріям. У кожній таблиці 1 запис формує собою 10 оцінок кожного фактору відповідного сценарію та наслідку. Завантажити датасет – 9 файлів (формату .csv) з оцінками можна як за допомогою сайту та його адміністративної частини, так і напряму через СУБД.

За результатами опитування і усереднення рангових оцінок, отриманих після заповнення експертами веб-форми отримані наступні результати ранжування факторів уразливості АЗС (таблиця 6).

Таблиця 6 – Результати експертних оцінок факторів уразливості АЗС після заповнення веб-форми (метод рангових оцінок)

Економ. фактори	Ранг	Соціал. фактори	Ранг	Еколог. фактори	Ранг
<i>Вибух пароповітряної суміші нафтопродуктів з утворенням ударної хвилі</i>					
E1	6,83	C1	8,18	Ек1	6,0
E2	7,75	C2	6,36	Ек2	4,42
E3	6,75	C3	7,82	Ек3	3,5
E4	6,75	C4	3,55	Ек4	4,58
E5	7,67	C5	3,36	Ек5	3,5
E6	5,75	C6	4,73	Ек6	3,5
E7	7,5	C7	6,73	Ек7	4,83
E8	5,33	C8	6,55	Ек8	5,92
E9	5,5	C9	5,73	Ек9	4,92
E10	3,83	C10	5,64	Ек10	6,25
–	–	–	–	Ек11	6,33
<i>Пожежа проливу нафтопродуктів</i>					
E1	6,67	C1	7,18	Ек1	6,67
E2	7,08	C2	7,0	Ек2	6,67
E3	6,17	C3	7,55	Ек3	4,83
E4	6,08	C4	3,36	Ек4	5,17
E5	7,25	C5	3,09	Ек5	4,67
E6	5,58	C6	4,18	Ек6	5,17
E7	6,75	C7	7,0	Ек7	5,67
E8	5,75	C8	7,18	Ек8	7,58
E9	5,58	C9	5,91	Ек9	6,58
E10	3,75	C10	4,82	Ек10	6,67
–	–	–	–	Ек11	6,33
<i>«Вогняна куля»</i>					
E1	7,0	C1	7,82	Ек1	6,25
E2	8,17	C2	6,64	Ек2	6,08
E3	6,33	C3	7,91	Ек3	4,42
E4	6,83	C4	3,45	Ек4	4,17
E5	7,5	C5	3,0	Ек5	3,75
E6	6,33	C6	4,45	Ек6	3,67
E7	7,42	C7	6,73	Ек7	5,08
E8	5,67	C8	6,73	Ек8	7,08
E9	5,67	C9	5,64	Ек9	5,67
E10	3,83	C10	5,09	Ек10	5,17
–	–	–	–	Ек11	6,33

При аналізі таблиці 6 нами було виділено як найбільш вагомі фактори для кожного інциденту такі, що мають ранг 6 і вище. З таблиці 6 видно, що серед найбільш вагомих факторів уразливості АЗС для всіх 3 інцидентів спільними є економічні E1-E5 і E7, соціальні C1-C3, C7-C8 та екологічні Ек1 і Ек11.

5 ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ УРАЗЛИВОСТІ АЗС ЗА ДОПОМОГОЮ МАІ

Метод багатокритеріальної оцінки уразливості АЗС щодо основних типів аварій за допомогою інформаційної технології (ІТ) із застосуванням МАІ включає в себе наступні кроки:

1) збір даних – проводиться збір експертних оцінок ранжування критеріїв уразливості АЗС за допомогою веб-форми (описано в розділі 4);

2) зберігання даних – за допомогою вбудованої ORM Django записує усі відповіді експертів у БД у вигляді 9 таблиць, що керується СУБД PostgreSQL;

3) обробка даних – отримані датасети відповідей експертів, що зберігаються у таблицях БД, обробляються скриптом на МП Python, де отримується значення середніх оцінок рангів, а також за допомогою запропонованого алгоритму автоматично формуються матриці попарного порівняння і проводиться класичний МАІ (описаний в розділі 2) для оцінки ваг критеріїв на основі думок експертів.

Логічне уявлення розробленої інформаційної технології представлено на рисунку 5.

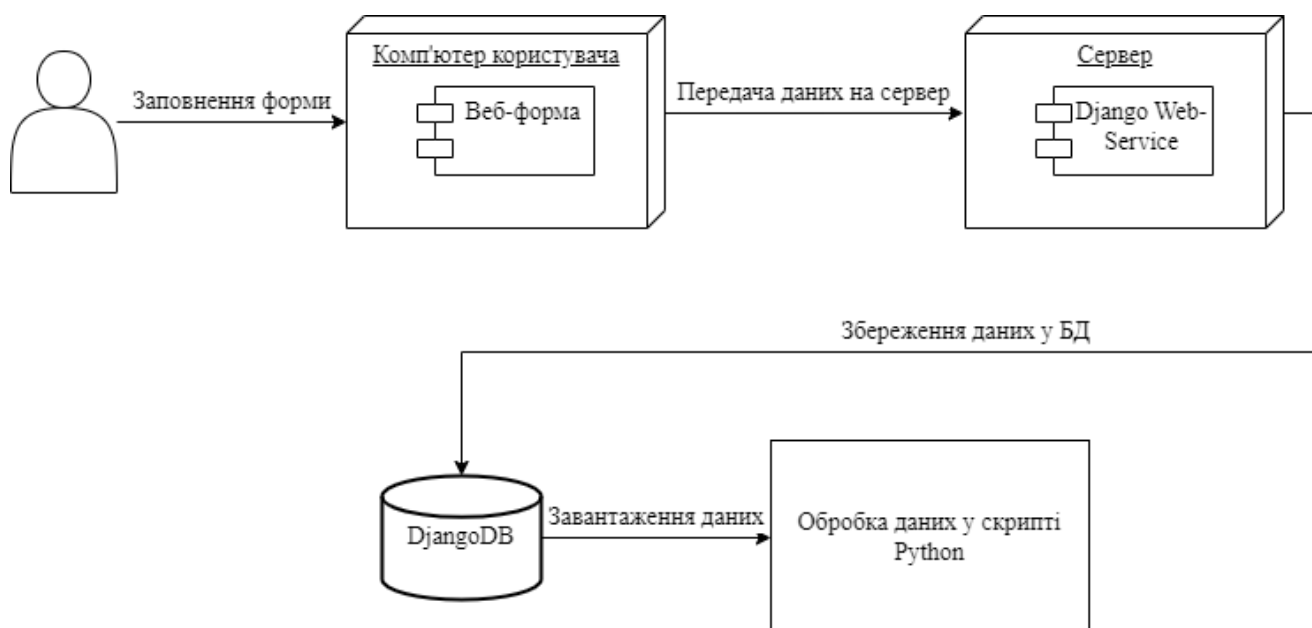


Рисунок 5 – Логічне уявлення інформаційної технології багатокритеріальної оцінки уразливості АЗС

Отримані датасети експертних оцінок було для зручності розкладено по відповідним папкам для використання у скрипті на мові Python для автоматичного отримання МАІ на основі ранжування. Запропонований алгоритм автоматичного формування матриць попарного порівняння на основі експертних оцінок складається з наступних етапів:

1) пропонується використовувати середні значення рангових оцінок b_i всіх експертів, що обчислюється за формулою:

$$b_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m b_{ij},$$

де b_i – середній ранг i -того критерію;

b_{ij} – ранг i -того критерію, яку поставив j -ий експерт;

m – кількість експертів, які поставили рангову оцінку даному критерію.

2) на другому етапі пропонується скласти наступну матрицю A попарного порівняння критеріїв для обробки далі за класичними кроками МАІ для n критеріїв:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Для визначення кожного члену матриці a_{ij} , використаємо рангові оцінки b_i , що визначаємо за наступним співвідношенням:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j \\ b_i - b_j + 1, & b_i \geq b_j \\ \frac{1}{b_i - b_j + 1}, & b_i < b_j \end{cases},$$

де a_{ij} – кількісне значення переваги i -того критерію над j -тим критерієм;

b_i – ранг i -того критерію;

b_j – ранг j -того критерію.

Після отримання матриці попарних порівнянь A знаходиться її вектор пріоритетів і виконуються всі наступні кроки за стандартними етапами МАІ (розділ 2).

Обробка датасету відбувається за допомогою МП Python. Результати видаються у вигляді МАІ-таблиці у текстовому файлі та зберігаються у

спеціальному форматі, що дозволяє використовувати результати для подальшої роботи з ними за допомогою Python.

Результати МАІ для 3 основних типів аварійних ситуацій (вогняна куля (fireball), вибух із формуванням ударної хвилі (shockwave) та пожежа проливу (fire)), отримані за допомогою запропонованої інформаційної технології на основі обробки даних експертних оцінок представлені на рис. 6.

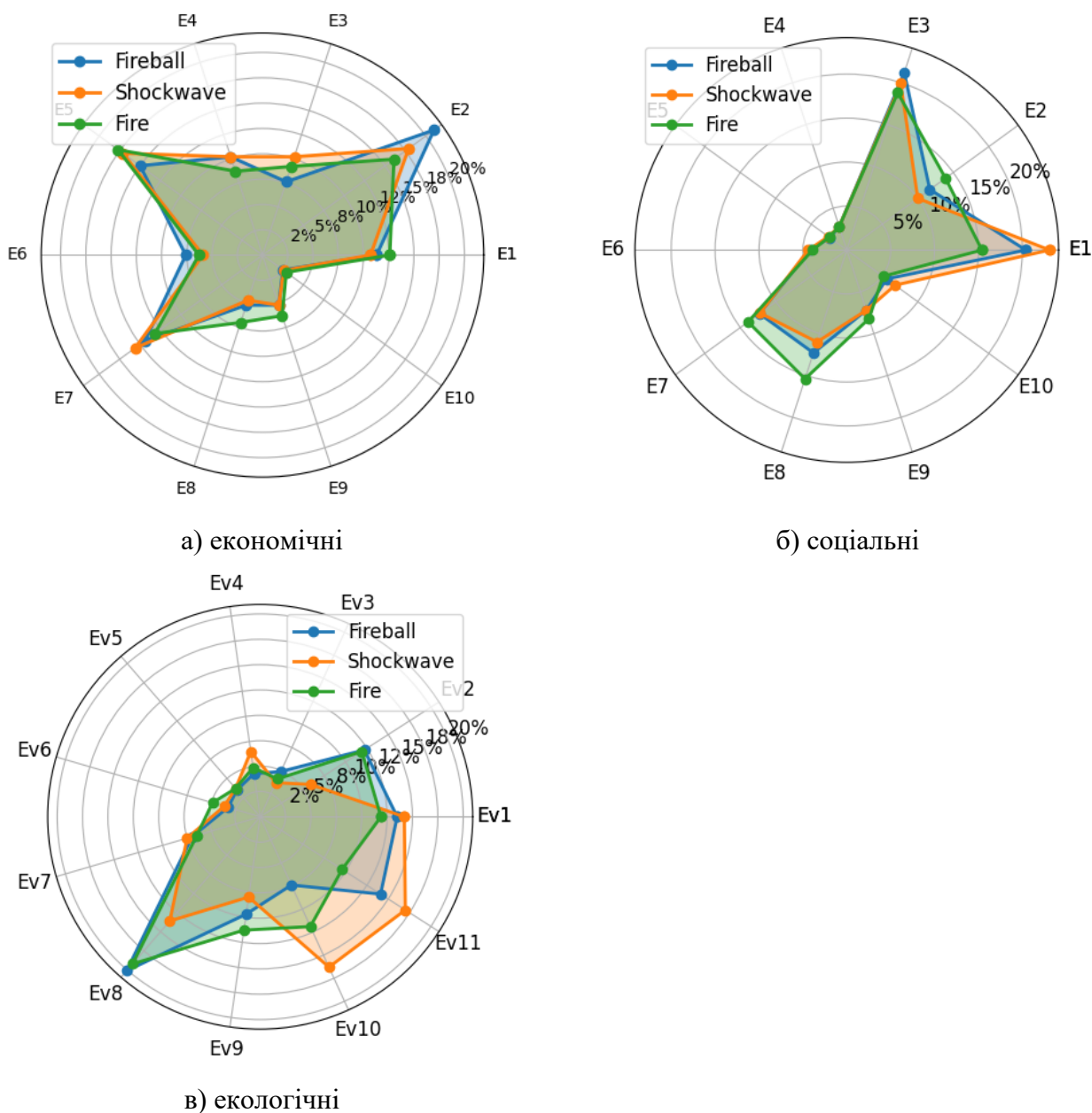


Рисунок 6 – Візуалізація результатів розрахунку векторів пріоритетів критеріїв наслідків для основних типів імовірних аварій на АЗС із використанням інформаційної технології: а) економічних; б) соціальних; в) екологічних

З рисунку 6 видно, що серед найбільш вагомих факторів уразливості АЗС для всіх 3 інцидентів, визначених за допомогою інформаційної технології, спільними є економічні 1-5 і 7, соціальні 1-3, 7-8 та екологічні 1, 8, 10-11. Але наявні і відмінності, зокрема для екологічних критеріїв, для різних сценаріїв, що пов'язано з відмінністю природи аварійних ситуацій.

6 ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЗАСТОСУВАННЯ МАІ ПРИ ОПИТУВАННІ ЕКСПЕРТІВ ТА ЗАПРОПОНОВАНОЇ ІТ

Результати обчислення векторів пріоритетів для всіх 3 основних типів аварійних ситуацій на АЗС для всіх 3 груп факторів, отриманих за допомогою опитування експерта (табл. 5), а також результатів, отриманих за допомогою запропонованої інформаційної технології (рис. 6) на основі отриманих за допомогою веб-форми експертних оцінок (табл. 6) для наочності порівняння візуалізуємо за допомогою пелюсткових діаграм, оскільки це дозволяє інтуїтивніше проводити порівняння для багатокритеріальної задачі оцінки (рис. 7).

Серед переваг застосування обраних методів (МАІ та ранжування) для оцінки ваг критеріїв уразливості АЗС слід зазначити спрощений механізм оцінки за допомогою інтуїтивно зрозумілої експерту шкали, що дає можливість розв'язувати багатокритеріальну проблему без експериментальних підтверджень оцінок. Але наявні відмінності, що видно з рис. 7, виявляються через недоліки використаних методів, серед яких треба зазначити людський фактор, можливу непослідовність експертів при формуванні оцінок та брак/недостатність досвіду у проблемі, що розглядається. Також відмінності пов'язані із різною величиною виборок для формування МАІ «ручним» способом при опитуванні експерта (1), а також експертів, що брали участь у заповненні веб-форми (16), що було пов'язано, як зазначалось вище, із фінансовою складовою проекту. Однак слід зауважити, що запропонована інформаційна технологія надала змогу опитати більшу кількість експертів із застосуванням менших фінансових ресурсів і більша вибірка дає таким чином більший консенсус в експертній оцінці, ніж проведення класичного МАІ, що є досить затратним і трудомістким методом.

Для оцінки взаємозв'язку отриманих результатів було використано кореляційний аналіз, а саме – було розраховано коефіцієнт кореляції Пірсона відповідно для кожного наслідку та сценарію МАІ при опитуванні та МАІ, прорахованого за допомогою запропонованої інформаційної технології. Коефіцієнт



Рисунок 7 – Результати порівняння ваг критеріїв, отриманих за допомогою МАІ для оцінки уразливості АЗС на основі опитування експерта (hand) та запропонованої інформаційної технології (auto): економічні для вибуху з утворенням ударної хвилі, «вогняної кулі» та пожежі проливу, соціальні для вибуху з утворенням ударної хвилі, «вогняної кулі» та пожежі проливу та екологічні для вибуху з утворенням ударної хвилі, «вогняної кулі» та пожежі проливу

кореляції Пірсона між двома змінними дорівнює коваріації двох змінних, або сумі

добутків відхилень, поділений на добуток їх стандартних відхилень. Нехай, є дві вибірки $x^m = (x_1, \dots, x_m)$, $y^m = (y_1, \dots, y_m)$. Коефіцієнт кореляції Пірсона r_{xy} розраховують за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sqrt{s_x^2 s_y^2}},$$

де \bar{x} , \bar{y} – вибіркові середні x^m і y^m ;

s_x^2 , s_y^2 – вибіркові дисперсії.

В нашому випадку вибірками є відповідні відсотки значущості факторів наслідків (вектори пріоритетів, визначені за МАІ) для кожного сценарію відповідно. У таблиці 7 наводимо результат оцінки кореляції ваг відповідних факторів уразливості АЗС на основі наслідків основних типів аварій, отриманих за допомогою МАІ на основі опитування експерта та запропонованої інформаційної технології.

Таблиця 7 – Коефіцієнти кореляції ваг факторів уразливості АЗС, отриманих за МАІ та запропованою інформаційною технологією

	Вибух із утворенням ударної хвилі	«Вогняна куля»	Пожежа
Економічні	0,77	0,70	0,54
Соціальні	0,74	0,86	0,71
Екологічні	0,90	0,81	0,55

Відповідно до коефіцієнтів кореляції, найбільш взаємозв'язаними за результатами значущості між двома реалізаціями МАІ (за усередненим ранжуванням) є фактори екологічних наслідків сценарію вибуху з утворенням ударної хвилі і соціальних та екологічних наслідків сценарію «вогняної кулі». Трохи менш взаємозв'язаними, однак достатньо високими за кореляцією є фактори економічних та соціальних наслідків вибуху із утворенням ударної хвилі, економічних наслідків сценарію «вогняної кулі» і соціальних наслідків сценарію пожежі. Найменш взаємозв'язаними є фактори економічних та екологічних наслідків сценарію пожежі. Результати цього порівняння показують середньо-

високу позитивну кореляцію між 2 проведеними реалізаціями МАІ. У загальному, можна зробити висновок, що, хоча у двох випадках схожість результатів була посередньою, у більшості комбінацій наслідків та сценаріїв (7 із 9) результати оцінки факторів одного експерта МАІ були дуже схожі з оцінкою факторів групою експертів ранжування, що було проведено за допомогою запропонованої інформаційної технології.

ВИСНОВКИ

У результаті дослідження на основі системного аналізу було запропоновано модель АЗС з точки зору уразливості з погляду на наслідки від можливих основних аварійних ситуацій для АЗС як ПНО з точки зору наслідків ймовірного аварійного інциденту (на основі попередніх досліджень аналіз проводився для 3 сценаріїв: вибуху пароповітряної суміші нафтопродуктів з утворенням ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі»), які було розділено на 4 групи: втрачені життя, а також економічні, соціальні та екологічні наслідки інциденту. Всього було визначено 40 факторів.

Оскільки оцінювання уразливості мережі АЗС для міста за всіма критеріями є досить трудомісткою задачею, було запропоновано зменшити кількість факторів, які будуть братись для аналізу і кількісної оцінки АЗС. Для виконання цієї задачі було вирішено використати метод аналізу ієрархій, а також метод експертних оцінок (ранжування) із наступним порівнянням їх результатів (ваги факторів і рангу) і прийняттям рішення, які з 31 факторів уразливості АЗС слід брати до уваги при оцінці уразливості конкретної АЗС для ймовірного інциденту (фактори, що включають втрачені життя, не порівнюємо з іншими, як було зазначено раніше в одному з ключових принципів дослідження).

В результаті виконання МАІ для досягнення цієї мети було встановлено, що для всіх 3 інцидентів можна виділити найбільш значущими і спільними економічні фактори E2-E7, соціальні C1-C3 та екологічний E11. Також наявні деякі відмінності, що представлено у таблиці 5 (найбільш вагомі фактори для наступного порівняння виділені напівжирним). Аналіз даних за допомогою методу експертних оцінок (ранжування) дав схожі результати, встановивши що найбільш значущими і спільними для 3 інцидентів є фактори економічні E1-E5 і E7, соціальні C1-C3, C7-C8 та екологічні Ek1, Ek8, Ek10-Ek11. Для порівняння результатів обчислення МАІ на основі думки експерта, а також даних, отриманих від групи експертів за допомогою розробленої інформаційної технології, було обчислено кореляцію відповідних даних (табл. 7). Запропонована інформаційна технологія дала змогу не

проводити фінансово затратний МАІ для повного опитування експертів, а використати більш спрощений метод ранжування із запропонованою веб-формою із наступним проведенням МАІ на основі запропонованого алгоритму переведення рангових оцінок критеріїв у матриці порівняння.

Серед переваг застосування обраних методів (МАІ та ранжування) для оцінки ваг критеріїв уразливості АЗС слід зазначити спрощений механізм оцінки за допомогою інтуїтивно зрозумілої експерту шкали, що дає можливість розв'язувати багатокритеріальну проблему без експериментальних підтверджень оцінок. Але і серед недоліків використаних методів можна зазначити людський фактор, можливу непослідовність експертів при формуванні оцінок та брак/недостатність досвіду у проблемі, що розглядається.

Отримані результати дають змогу надалі провести відбір та оцінку ваг обраних критеріїв у їх вкладі в уразливість АЗС з точки зору можливих наслідків небажаного інциденту і зменшити розмірність ознакового простору, який буде використовуватись для оцінки уразливості АЗС. А це, у свою чергу, після оцінки уразливості АЗС щодо основних типів аварій дозволяє перейти до вирішення багатокритеріальної проблеми на основі нечіткої логіки для вибору АЗС, що мають бути закриті/переоснащені у регіоні, з точки зору як можливих наслідків небажаного інциденту, так і виникаючих незручностей для населення при закритті АЗС. Результати проекту можуть мати цінність для широкого кола стейкхолдерів, серед яких слід відмітити населення, органи цивільного захисту і екстрені служби, підприємці і власники АЗС, державні контролюючі органи, а також громадські організації тощо. Також варто відмітити можливість застосування запропонованого методу для оцінки уразливості складних потенційно небезпечних об'єктів і систем не лише для АЗС, але і для інших об'єктів, що можуть становити загрозу техногенній та екологічній безпеці держави, а також призводити до соціальних зривів, що набуває особливої ваги в умовах воєнного стану.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванов О.В. Моделі та методи аналізу зон ризику потенційно небезпечних об'єктів в геоінформаційних системах : дис. ... доктора філософії за спец. 122 – Комп'ютерні науки. МОНУ, Україна, Одеса, 2021. 156 с.

2. Arsirii O. O., Ivanov O. V., Smyk S. Yu. Risk Zones from the Filling Stations Modelling with Application of Geoinformation Technology. Herald of Advanced Information Technology. 2021; Vol.4 No.1: 71–79. DOI: [10.15276/hait.01.2021.8](https://doi.org/10.15276/hait.01.2021.8)

3. Тарадуда Д.В., Шевченко Р.І. Аналіз існуючої методологічної бази з оцінки безпеки потенційно-небезпечних об'єктів. Національний університет цивільного захисту України. Електрон. дан. 2019. URL: http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Conferences/ProblemsOfTechnogenicAndNaturalSecurity/Taraduda_Shevchenko.pdf.

4. Цивільний захист області : підручник / Д. І. Мазоренко [та інші] ; відповід. за вип. М. М. Кириєнко ; Харківський нац. техн. ун-т сільського господарства ім. Петра Василенка, Ун-т Цивільного захисту України, Харківський нац. автомобільно-дорожній ун-т, Ін-т Державного управління у сфері Цивільного захисту, Навч.-метод. центр цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Харківської області, Регіональний ін-т НАДУ при Президентові України. Харків, 2010. 572 с.

5. D. Jones, S. Firouzy, A. Labib et al., Multiple criteria model for allocating new medical robotic devices to treatment centres, European Journal of Operational Research, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.06.003>

6. Tuzmen Semih & Sipahi Seyhan, 2011. A Multi-Criteria Factor Evaluation Model For Gas Station Site Selection, Journal of Global Management, Global Research Agency, vol. 2(1), pages 12-21, July.

7. Ertugrul Ayyildiz, Alev Taskin. 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*, Volume 83, 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101345>.

8. Shabir Hussain Khahro and Zubair Ahmed Memon. Gis Based Land Suitability Analysis for Petrol Stations, *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(10), 2017, pp. 01–06. URL: <http://www.iaeme.com/IJCIET/issues.asp?JType=IJCIET&VType=8&IType=10>.

9. Belinda Ulfa Aulia, Widya Utama, Putu Gde Ariastita. Location Analysis for Petrol Filling Station Based on Stakeholders' Preference and Seismic Microzonation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Volume 227, 2016. Pages 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.051>.

10. Sheng-Pen Wang, Hsing-Chen Lee, Yu-Kuang Hsieh. A Multicriteria Approach for the Optimal Location of Gasoline Stations Being Transformed as Self-Service in Taiwan. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016. URL: <https://doi.org/10.1155/2016/8341617>.

11. Mohsin, Muhammad ; Zhan-ao, Wang ; Shijun, Zhang ; Hengbin, Yin ; Weilun, Huang. Risk Prioritization and Management in Gas Stations by using Fuzzy AHP and IPA Analysis. *Journal of Scientific & Industrial Research*. Vol. 80, No. 12. (2021). Pp. 1107-1116. DOI: <http://op.niscpr.res.in/index.php/JSIR/article/view/49210>.

12. Ajman, N.N.; Zainun, N.Y.; Sulaiman, N.; Khahro, S.H.; Ghazali, F.E.M.; Ahmad, M.H. Environmental Impact Assessment (EIA) Using Geographical Information System (GIS): An Integrated Land Suitability Analysis of Filling Stations. *Sustainability* 2021, 13, 9859. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13179859>.

13. Koulinas, G.K.; Demesouka, O.E.; Bougelis, G.G.; Koulouriotis, D.E. Risk Prioritization in a Natural Gas Compressor Station Construction Project Using the Analytical Hierarchy Process. *Sustainability* 2022, 14, 13172. URL: <https://doi.org/10.3390/su142013172>.

14. S.R.M. Kutty, Dr Azmi Mohd Shariff, Dr. Mohd Faris Khamidi. Petrol Fuel Station safety and risk assessment framework. Conference: National Postgraduate Conference (NPC), 2011. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/NatPC.2011.6136346>.

15. Gonzalez, F., & Pradenas, L. (2018). MULTI-CRITERIA ANALYSIS TO IMPROVE THE SERVICE IN GAS STATIONS. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 11(1), 67–90. <https://doi.org/10.13033/ijahp.v11i1.601>.

16. Mohammad Reza Sheikhi & Mohammad EbrahimHasankhani. Development of a Model for Evaluating and Ranking Gas Stations Using Analytic Hierarchical Process. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(12): 1536-1543, 2011.

17. R.W. Saaty. The analytic hierarchy process – what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*. 1987. Vol. 9, No. 3-5, pp. 161-176. DOI: [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8).