DOI: https://doi.org/10.15276/ict.01.2024.05
УДК (043)004.94:004.8

Розробка інформаційної технології багатокритеріальної оцінки уразливості автозаправних станцій до аварійних ситуацій

Іванов Олексій Володимирович[1)]
Доктор філософії, старший викладач кафедри Інформаційних систем
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8620-974X; lesha.ivanoff@gmail.com. Scopus Author ID: 59135127100
Арсірій Олена Олександрівна[1)]
Д-р техніч. наук, професор, завідувач кафедри Інформаційних систем
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8130-9613; e.arsiriy@gmail.com. Scopus Author ID: 54419480900
Смик Сергій Юрійович[1)]
Канд. техніч. наук, доцент кафедри Інформаційних систем
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7020-1826; smyk@op.edu.ua. Scopus Author ID: 56996011100
Олійник Вадим Миколайович[1)]
Магістр кафедри Інформаційних систем
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-5527-7750; vadimol081@gmail.com
Бєляєв Кирило Олександрович[1)]
Магістр кафедри Інформаційних систем
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-7135-3562; kirillbelyaev2921@gmail.com
[1)] Національний університет «Одеська політехніка», пр. Шевченка, 1. Одеса, 65044, Україна

АНОТАЦІЯ

У тезах розглядається розробка інтелектуальної інформаційної технології (ІТ) для багатокритеріальної оцінки вразливості автозаправних станцій (АЗС) до основних аварій. На основі попередніх досліджень авторів питання методології оцінки аварійних ситуацій та ризиків на АЗС було запропоновано розробити ІТ оцінки уразливості АЗС, що включатиме методи багатокритеріального аналізу прийняття рішень, інтелектуального аналізу даних, а також нечіткої логіки. Запропонований метод побудови ІТ складається із 10 послідовних етапів. Виконання перших етапів пов'язано з визначенням основних типів аварій на АЗС та розгляду уразливості АЗС з точки зору можливих несприятливих наслідків, для чого залученими експертами створено 41 критерій первинного простору для оцінки уразливості АЗС, включаючи економічні, соціальні, екологічні критерії, а також втрачені життя. Для розв'язку такої багатокритеріальної задачі запропоновано застосувати метод аналізу ієрархій для аналізу експертних даних для отримання вторинного простору критеріїв уразливості, без врахування втрачених життів. На основі вторинного простору критеріїв було зібрано дані про мережу із 17 АЗС та запропоновано схему їх попередньої обробки та кодування. Для оцінювання уразливості АЗС розроблена узагальнена модель на основі отриманих даних. Для інтерпретації отриманих результатів оцінки вразливості АЗС запропоновано використання лінгвістичної змінної, що включає нечіткі множини у вигляді трапецієвидних функцій належності. Інтелектуальну ІТ оцінки вразливості АЗС реалізовано у вигляді системи підтримки прийняття рішень (СППР). Особа, що приймає рішення, на основі введених даних за критеріями уразливості певної АЗС отримає попереднє значення оцінки уразливості АЗС та пояснення щодо шляху її отримання. Складовою частиною СППР є сформована база знань, що включає базу даних щодо попередньо оцінених АЗС, а також базу правил виводу інтерпретації оцінки уразливості, з можливостю її подальшого редагування та розширення. Для візуалізації результатів дані про АЗС відображено на нормалізованому координатному графіку, а також на графіку визначених функцій належності. Використання запропонованої інтелектуальної ІТ багатокритеріальної оцінки вразливості АЗС та СППР на її основі надає можливість приймати обґрунтовані рішення з оцінки потенційно уразливих об'єктів та управління ризиками, що дозволяє зменшувати потенційних негативний вплив аварій на АЗС, покращуючи економічний та соціальний добробут країни, з врахуванням екологічного впливу.

Ключові слова: автозаправна станція; аварійні ситуації; інформаційна технологія; система підтримки прийняття рішень; нечітка логіка; метод аналізу ієрархій; багатокритеріальний аналіз прийняття рішень

Актуальність. Забезпечення екологічної безпеки територій від можливих аварійних ситуацій на потенційно небезпечних об'єктах (типу складів, на яких зберігаються небезпечні речовини, установок із підвищеним тиском тощо) є однією із соціально важливих функцій держави. Особливого значення цей процес набуває, коли в країні відбуваються бойові дії і такі об'єкти можуть стати мішенню. Під час виконання І етапу спільного українсько-британського наукового проєкту співпраці між Національним університетом «Одеська політехніка» та університетом міста Портсмут (Велика Британія) UUT14 «Багатокритеріальна методика на основі нечіткої логіки картографування ризиків автозаправних станцій і відповідної оптимізації

This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.uk)

рішень» у рамках ініціативи Twinning UK-Ukraine [1] було розглянуто автозаправні станції (АЗС) як приклад складної технологічної системи, що може зазнавати ураження. Задля зменшення первинного простору факторів уразливості АЗС був застосований метод аналізу ієрархій (MAI) із використанням веб-форми для опитування експертів [2].

Огляд останніх досліджень. Розглянемо приклади використання MAI стосовно АЗС у нещодавніх публікаціях дослідників. Для аналізу ризиків, з якими стикаються АЗС в Пакистані, та їхніх пріоритетів у дослідженні [3] використовували MAI та інтервального парного аналізу. Також MAI використовується для оцінки ризиків будівництва газокомпресорних станцій та пріоритетизації небезпечних факторів у дослідженні [4]. Методи нечіткої логіки для оцінки АЗС з різних аспектів знаходять своє застосування у сучасних дослідженнях. У роботі [5] авторами розглядається новий метод на основі нечіткої логіки для визначення вибору обслуговуючої АЗС. У статті [6] розроблений метод на основі нечіткого логічного контролера з використанням Google Maps, щоб знайти найближчу АЗС. Комплексне використання оцінки впливу на навколишнє середовище і MAI із наступною візуалізацією даних у ГІС щодо визначення придатності земельної ділянки для розташування АЗС розглядається у роботі [7]. У роботі [8] проводиться оцінка та покращення просторового розподілу за допомогою ГІС для уникнення екологічних ризиків та досягнення безпеки для АЗС.

Мета дослідження полягає в розробці інтелектуальної інформаційної технології (ІТ) багатокритеріальної оцінки вразливості АЗС до основних аварійних ситуацій, впровадження якої дозволить більш оперативно проводити попередню експертизу техногенної безпеки АЗС.

Основні задачі, які необхідно виконати для досягнення мети:

1) розробка на основі попереднього дослідження [2] основних кроків інтелектуальної ІТ багатокритеріальної оцінки вразливості АЗС;

2) детальна розробка основних кроків запропонованої інтелектуальної ІТ;

3) реалізація запропонованої інтелектуальної ІТ у вигляді системи підтримки прийняття рішень (СППР) та її апробація на основі даних про мережу АЗС у населеному пункті.

Метод побудови інтелектуальної ІТ. Розробка інтелектуальної ІТ, яка дозволить визначати вразливість АЗС, потребує залучення експертів із області захисту навколишнього середовища та розробників в галузі Data Science.

Із врахуванням кваліфікації фахівців, може бути запропоновано наступний метод із 10 послідовних кроків для побудови інтелектуальної ІТ, що буде реалізована як СППР:

I) визначення основних типів аварій;

II) розробка первинного простору економічних, екологічних та соціальних критеріїв (ЕЕСК) для оцінки вразливості АЗС до основних аварійних ситуацій;

III) отримання вектору ваг ЕЕСК на основі MAI;

IV) розробка вторинного простору ЕЕСК для оцінки вразливості АЗС;

V) отримання оцінок значень ЕЕСК вторинного простору для кожної АЗС;

VI) попередня обробка та кодування отриманих публічних даних у вторинному просторі;

VII) отримання вектору ваг ЕЕСК на основі MAI у вторинному просторі;

VIII) удосконалення загальної моделі оцінки вразливості АЗС із врахуванням кроків 1-7;

IX) визначення та інтерпретація оцінки вразливості АЗС із використанням нечіткої логіки;

X) побудова бази знань оцінки вразливості АЗС до основних аварій.

На основі вище зазначених етапів на Рис. 1 зображено розроблену інтелектуальну ІТ оцінювання вразливості АЗС щодо основних типів аварій у вигляді СППР.

Детальний опис кроків розробленого методу. Перші 3 кроки методу детальніше описані у публікації за результатами І етапу виконання проекту [2]. На IV кроці методу розроблено вторинний простір ЕЕСК за допомогою скорочення первинного. В якості порогових значень для відбору критеріїв у вторинний простір авторами були прийнята величина 0,1 (10 %). На V кроці було зібрано дані на основі сформованого вторинного простору критеріїв для мережі АЗС із публічних даних. На VI кроці методу проводиться обробка та кодування отриманих «сірих» даних про АЗС. Повну таблицю кодування даних можна знайти у [9]. На VII кроці методу для

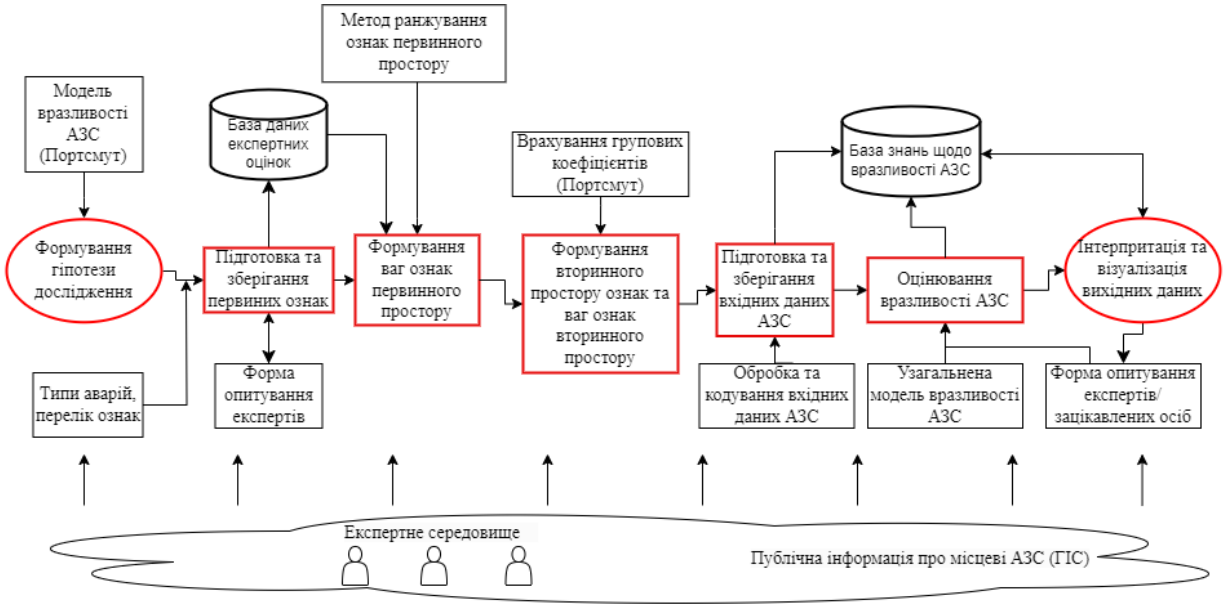

Рис. 1. **Інтелектуальна ІТ оцінювання вразливості АЗС щодо основних аварій**

отримання вектору ваг відповідних груп ЕЕСК для спрощення виконання МАІ були використані дані, що були отримані британськими колегами по проєкту, а саме за допомогою класичного МАІ вони порівняли між собою відповідні групи критеріїв, отримавши таким чином вагові коефіцієнти для груп загалом. Перерахунок ваг критеріїв відбувається шляхом перемноження ваги відповідного критерію на значення відповідного вагового коефіцієнту групи. Далі ми нормалізуємо отримані ваги.

На VIII кроці методу із врахуванням попередніх кроків запропонуємо наступну модель оцінки вразливості АЗС:

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

де V_f – оцінка вразливості АЗС із ідентифікатором f; N_{ac} – загальна кількість основних типів аварій (у дослідженні – j = 3); N_E^*, N_S^*, N_A^* – загальна кількість ЕЕСК відповідно; $w_{eji}^*, w_{sji}^*, w_{aji}^*$ – це ваги ЕЕСК i за j сценарієм аварії відповідно; e_{fi}, s_{fi}, a_{fi} – оцінки i ЕЕСК для f-ої АЗС із таблиці кодування.

На IX кроці методу за допомогою нечіткої логіки визначимо уразливість АЗС за допомогою лінгвістичної змінної *PV (Petrol station Vulnerability)*. Нечіткі множини термів уразливості представимо трапецієвидними функціями належності f_{T_i} з наступними параметрами:

$f_{T_1}(V_f; 0; 0; 0,3; 0,4)$ – для «низька вразливість»;

$f_{T_2}(V_f; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7)$ – для «середня вразливість»;

$f_{T_3}(V_f; 0,6; 0,7; 1; 1)$ – для «висока вразливість».

Відповідно до вищенаведених міркувань на X кроці методу відбувається формування бази знань оцінки вразливості АЗС, яка у свою чергу складається із заповненої бази даних про мережу АЗС.

Можна запропонувати наступну базу правил для виводу інтерпретованого результату:

П1: якщо $f_{T_i} > 0$ – вивести повідомлення – «Оцінена АЗС із ступенем до f_{T_i} % належить до категорії «назва і-тої нечіткої змінної»»;

П2: якщо $f_{T_i} = 0$ – повідомлення не виводимо;

ПЗ: якщо $N(f_{T_i} > 0) > 1$ – вивести повідомлення «Оцінена АЗС із ступенем $f_{T_{i1}}$ % належить до категорії «назва першої і-тої нечіткої змінної» та із ступенем $f_{T_{i2}}$ % належить до категорії «назва другої і-тої нечіткої змінної»».

Приклад екранної форми виведення інтерпретації вразливості АЗС, де оцінка вразливості АЗС підлягає ІІІ правилу ПЗ виводу інтерпретованого результату, зображений на Рис. 2.

Результати досліджень. У рамках виконання проєкту були зібрані дані про 17 АЗС. Результат отриманих закодованих значень критеріїв уразливості АЗС наведений у [9]. Після кодування даних з АЗС за допомогою моделі (2), було розраховано оцінки вразливості АЗС щодо основних аварій. Відобразимо значення оцінок вразливості 17 розглянутих АЗС на графіку на Рис. 3 у вигляді точкових значень на відповідних графіках функцій належності.

З рис. 3 видно, що досліджені АЗС мають наступний розподіл по нечітким змінним:

1 АЗС має низьку вразливість;

13 АЗС мають середню вразливість;

2 АЗС мають як середню, так і високу вразливість, з різним ступенем;

1 АЗС має високу вразливість.

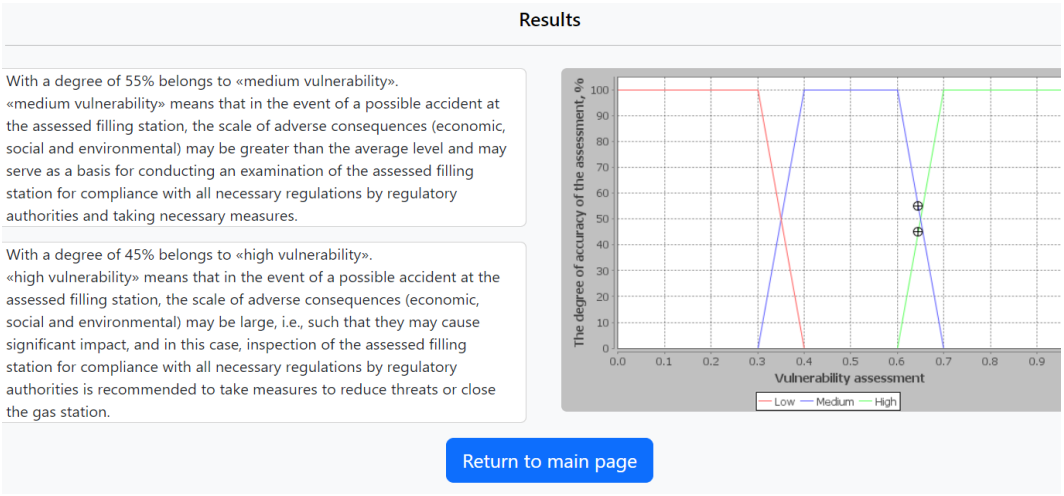

Рис. 2. **Екранна форма виведення інтерпретації оцінки вразливості АЗС у ІТ**

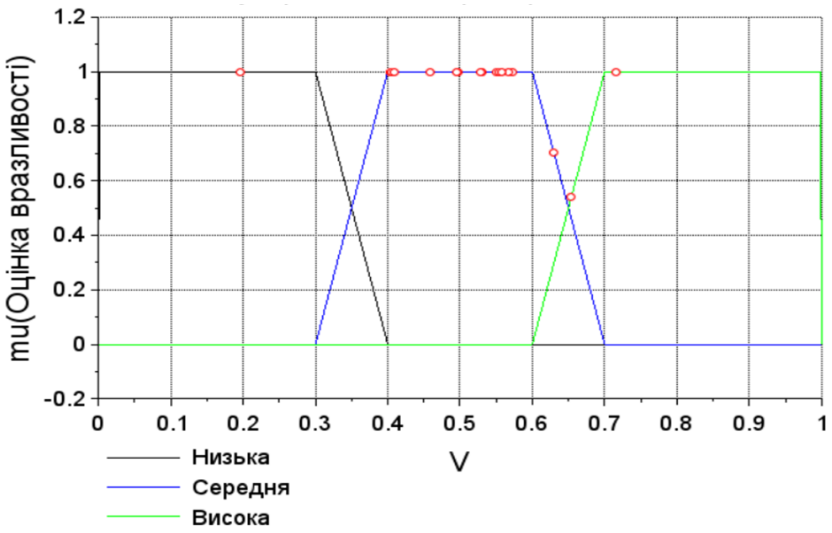

Рис. 3. **Оцінки вразливості дослідженої мережі АЗС на графіках нечітких змінних**

Висновки. У результаті дослідження було розроблено інтелектуальну ІТ для багатокритеріальної оцінки уразливості АЗС щодо аварій основних типів. Серед переваг застосування запропонованої ІТ слід зазначити підвищену оперативність попереднього аналізу вразливості АЗС. Також варто зазначити, що запропонований підхід до оцінки вразливості АЗС при подальшій розробці і впровадженні у практику може слугувати методологічною основою для оцінки вразливості більш складних потенційно небезпечних технологічних об'єктів. В якості недоліків зазначеного підходу слід відмітити його часткову неуніверсальність, потенційну складність формування початкової моделі уразливості технологічного об'єкта, що є часо- та матеріальнозатратною задачею, суб'єктивність в ухваленні рішень, коли вони базуються на експертних оцінках. Також через обмежений час і фінансові можливості проєкту із розгляду моделі уразливості АЗС була виключена група факторів втрачених життів, що може бути розглянута у подальшому. В цілому, розроблена ІТ може слугувати для попереднього розгляду існуючих АЗС та попередньої оцінки їх уразливості, що може бути підставою для прийняття рішень про розширену оцінку та обмеження їх діяльності чи закриття АЗС.

Подяки. Цей проект було здійснено за допомогою схеми грантів Twinning UK-Ukraine, що фінансується Research England за підтримки Universities UK International та UK Research and Innovation.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. "Multiple Criteria Fuzzy Logic Based Methodology for risk mapping of gas filling stations and consequent decision optimization". *Odesa Polytechnic National University*. 2023. – Available from: https://op.edu.ua/en/international/projects/uk-ukraine-twinning-initiative-14.

2. Labib A., Jones D., Arsirii O., Smyk S., Ivanov O. "Analysis of Petrol Station Vulnerability Factors Regarding Accidents Using Analytic Hierarchy Process and Ranking". *Proceedings of the 11-th International Conference "Information Control Systems & Technologies"*. Odesa, Ukraine. 2023; 3513. 330–341. – Available from: https://ceur-ws.org/Vol-3513/paper27.pdf.

3. Mohsin M., Zhan-ao W., Shijun Z., Hengbin Y., Weilun H. "Risk Prioritization and Management in Gas Stations by using Fuzzy AHP and IPA Analysis". *Journal of Scientific & Industrial Research.* 2021; 80, (12): 1107–1116. – Available from: http://op.niscpr.res.in/index.php/JSIR/article/view/49210.

4. 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. DOI: https://doi.org/10.3390/su142013172.

5. Ayyildiz E., Taskin A. "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.* 2022; 83. DOI: https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101345.

6. Jafar M. N., Saqlain M., Mansoob A., Riffat A. "The Best Way to Access Gas Stations using Fuzzy Logic Controller in a Neutrosophic Environment". *Sci Inquiry Rev.* 2020; 4 (1): 30–45. DOI: https://doi.org/10.32350/sir.41.03.

7. 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.

8. Bedewy B. A. H., Abdulameer M. H. "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.* 2023; 13 (3): 433–444. DOI: https://doi.org/10.18280/ijsse.130306.

9. Арсірій О., Іванов О., Смик С., Олійник В., Бєляєв К. «Дані для ІТ оцінки уразливості АЗС». 2024. – Достурно з: https://drive.google.com/drive/folders/1MVzBfIx6uB4NvKm6ocLE-eHmeJ6_8K6S?usp=sharing.

DOI: https://doi.org/10.15276/ict.01.2024.05
UDC (043)004.94:004.8

Development of information technology for multi-criteria assessment of petrol stations vulnerability to accidents

Oleksii V. Ivanov[1)]
PhD, Senior Lecturer, Department of Information systems department
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8620-974X ; lesha.ivanoff@gmail.com. Scopus Author ID: 59135127100
Olena O. Arsirii[1)]
Dr. Sc,, Professor, Head of Department of Information systems
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8130-9613; e.arsiriy@gmail.com. Scopus Author ID: 54419480900
Sergiy Yu. Smyk[1)]
PhD, Associate Professor, Information systems department
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7020-1826; smyk@op.edu.ua. Scopus Author ID: 56996011100
Vadym M. Oliinyk[1)]
Master, Information systems department
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-5527-7750; vadimol081@gmail.com
Kyrylo O. Bieliaiev[1)]
Master, Information systems department
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-7135-3562; kirillbelyaev2921@gmail.com
[1)] Odesa Polytechnic National University, 1, Shevchenko Ave. Odesa, 65044, Ukraine

ABSTRACT

Theses consider the development of intelligent information technology (IT) for the multi-criteria assessment of the petrol stations vulnerability to major accidents. On the basis of the authors' previous research on the methodology of assessing accidents and risks at petrol stations, it was proposed to develop IT for petrol stations vulnerability assessment, which would include methods of multi-criteria decision analysis, intelligent data analysis and fuzzy logic. The proposed IT construction method consists of 10 consecutive steps. The implementation of the first steps is related to the determination of the main types of accidents at petrol stations and consideration of the petrol stations vulnerability from the point of view of possible adverse consequences, for which the involved experts created 41 criteria of the primary space for assessing the petrol stations vulnerability, including economic, social and environmental criteria, as well as lost lives. To solve such a multi-criteria problem, it is proposed to apply the analytical hierarchy process for the analysis of expert data to obtain the secondary space of vulnerability criteria, without considering the lost lives. Based on the secondary space of criteria, data on the network of 17 petrol stations was collected and a scheme for their pre-processing and coding was proposed. A generalized model was developed based on the obtained data to assess the petrol stations vulnerability. To interpret the obtained results of the petrol stations vulnerability assessment, the use of a linguistic variable, which includes fuzzy sets in the form of trapezoidal membership functions, is proposed. Intelligent IT for petrol stations vulnerability assessment is implemented in the form of a decision support system (DSS). The decision-maker, based on the entered data according to the vulnerability criteria of a certain petrol station, will receive the preliminary value of the petrol station vulnerability assessment and an explanation of the way to obtain it. An integral part of the DSS is a formed knowledge base, which includes a database of pre-assessed petrol stations, as well as a base of rules for deriving the interpretation of the vulnerability assessment, with the possibility of its further editing and expansion. To visualize the results, petrol station data is displayed on a normalized coordinate graph, as well as on a graph of defined membership functions. The use of the proposed intelligent IT for multi-criteria assessment of the petrol stations vulnerability and DSS based on it provides an opportunity to make informed decisions on the assessment of potentially hazardous facilities and risk management, which allows to reduce the potential negative impact of accidents on petrol stations, improving the economic and social well-being of the country, considering the environmental impact.

Keywords: Petrol station; accidents; information technology; decision support system; fuzzy logic; analytical hierarchy process; multi-criteria decision analysis