

ОЦІНКА ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ НА АЗС:
МОДЕЛЮВАННЯ, АНАЛІЗ, ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Постановка проблеми. Сучасні урбаністичні умови господарювання вимагають збільшення темпів будівництва автозаправних станцій (АЗС) та комплексів (АЗК), на території яких об'єднані автозаправна станція і підприємства сервісного обслуговування водіїв, пасажирів та їх транспортних засобів. При цьому АЗС та АЗК є об'єктами підвищеної пожежовибухонебезпеки, обумовленої великими обсягами зберігання автомобільного палива, особливостями технологічних процесів, пов'язаних з прийомом, зберіганням і видачею палива. А враховуючи, що значна частина таких об'єктів розташована на території населених пунктів, то можливі аварії становлять серйозну небезпеку для населення, інфраструктури та навколишнього середовища, а також супроводжуються великими економічними збитками для самих автозаправних об'єктів. У таких умовах особливої актуальності набуває своєчасна кількісна оцінка пожежного ризику з метою розробки заходів щодо зниження рівня пожежної небезпеки на АЗС та АЗК.

Аналіз останніх досліджень. Враховуючи специфіку та нормативну регламентованість підходів до оцінки пожежного ризику на АЗС, в українській науковій літературі досить обмежено представлені альтернативні підходи до оцінки та моделювання пожежного ризику. Наразі базовими документами при визначенні рівня відповідності АЗС вимогам пожежної безпеки є НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [1] та НПБ П1-98* «Автозаправні станції». Вимоги пожежної безпеки [2]. Альтернативні підходи до аналізу небезпеки та рівня ризику автозаправних станцій представлено українськими авторами В.О. Маховським та О.А. Крюковською в роботі [3], особливості моделювання ризику аварій на небезпечних виробничих об'єктах, у тому числі на АЗС, описано А.Д. Галеєвим та С.І. Понікаровим [4].

Фактори, які необхідно враховувати при оцінці пожежного ризику, були виділені Національною агенцією з протипожежного захисту (NFPA) [5]. Стверджується, що при виборі методу оцінки пожежного ризику необхідно враховувати наступні фактори: цілі зацікавлених осіб і критерії допустимості; зміст оцінки пожежного ризику; цільову аудиторію; нормативні та/або судові питання; прецеденти подібного застосування; наявні ресурси і дані; обмеження за часом і витратами; кваліфікацію персоналу і потенційну необхідність врахування невизначеностей. При цьому характер невизначеності зумовлює вибір методів зниження пожежного ризику. Наприклад, В.Ф. Стоєцький, Л.В. Дранишников та А.Д. Єсипенко виділяють три основні групи таких методів [6]:

– методи, які знижують ймовірність виникнення пожежонебезпечних ситуацій;

– методи, що обмежують наслідки аварії та знижують ймовірність її розвитку за найбільш несприятливим сценарієм;

– методи, які знижують ймовірність ураження людей небезпечними факторами пожеж і вибухів.

Водночас на практиці в основному застосовується класична методика визначення певних розрахункових величин пожежного ризику на виробничих об'єктах [7, 8]. Тому подальші дослідження щодо формування альтернативних підходів до оцінки (моделювання) пожежного ризику є актуальними.

Метою статті є розробка методичних підходів до оцінки пожежного ризику на автозаправних станціях для своєчасного виявлення можливої загрози та реалізації ефективних заходів щодо зниження рівня ризику.

Виклад основного матеріалу дослідження. Базовою основою методики оцінки пожежного ризику на автозаправних станціях, що пропонується авторами даної статті, є методика визначення розрахункових величин пожежного ризику на виробничих об'єктах [8], згідно якої індивідуальний пожежний ризик відповідає необхідному рівню, якщо:

$$Q_B \leq Q_B^H, \quad (1)$$

де Q_B^H – нормативне значення індивідуального пожежного ризику, $Q_B^H = 10^{-6}$ рік⁻¹; Q_B – розрахункова величина індивідуального пожежного ризику.

Розрахункова величина пожежного ризику визначається як максимальне значення пожежного ризику з розглянутих сценаріїв пожежі (варіантів розвитку пожежі з урахуванням місця виникнення і характеру розвитку), розглядаються сценарії пожежі, при яких реалізуються найгірші умови для забезпечення безпеки людей:

$$Q_{\max} = \max\{Q_{B,1}, \dots, Q_{B,i}, \dots, Q_{B,N}\}, \quad (2)$$

де $Q_{B,i}$ – це розрахункова величина пожежного ризику для i -го сценарію пожежі; N – кількість розглянутих сценаріїв пожежі.

Розрахункова величина індивідуального пожежного ризику для i -го сценарію пожежі Q_B розраховується за формулою:

$$Q_B = Q_{Pi} \cdot (1 - K_{A_{Pi}}) \cdot P_{P_{Pi}} \cdot (1 - P_{Ei}) \cdot (1 - K_{P_{3,i}}) \cdot K_P, \quad (3)$$

де Q_{Pi} – частота виникнення пожежі в будівлі протягом року; K_P – коефіцієнт, що характеризує інтенсивність розвитку пожежі; $K_{A_{Pi}}$ – коефіцієнт, що враховує відповідність установок автоматичного пожежогасіння (далі – АУП) вимогам нормативних документів з пожежної безпеки; $P_{P_{Pi}}$ – ймовірність присутності людей в будівлі, яка визначається з співвідношення:

$$P_{P_{Pi}} = \frac{t_{\text{функ}}}{24}, \quad (4)$$

де $t_{\text{функ}}$ – час знаходження людей в будівлі; $P_{P_{Pi}}$ – ймовірність евакуації людей; $K_{P_{3,i}}$ – коефіцієнт, що вра-

ховує відповідність системи протипожежного захисту вимогам нормативних документів з пожежної безпеки, розраховується за формулою:

$$K_{п.з.і} = 1 - (1 - K_{обн.і} \cdot K_{COVEi}) \cdot (1 - K_{обн.і} \cdot K_{плз.і}), \quad (5)$$

де $K_{обн.і}$ – коефіцієнт, що враховує відповідність системи пожежної сигналізації вимогам нормативних документів з пожежної безпеки; K_{COVEi} – коефіцієнт, що враховує відповідність системи оповіщення людей про пожежу та управління евакуацією людей вимогам нормативних документів з пожежної безпеки; $K_{плз.і}$ – коефіцієнт, що враховує відповідність системи протидимового захисту вимогам нормативних документів з пожежної безпеки.

Імовірність евакуації P_{Ei} розраховується за формулою:

$$P_{Ei} = \begin{cases} 0,8 \cdot t_{\text{обл}}, & \text{якщо } t_p < 0,8 \cdot t_{\text{обл}} < t_p + t_{\text{не}} \text{ ма } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ хв} \\ t_p, & \\ 0,999, & \text{якщо } t_p + t_{\text{не}} \leq 0,8 \cdot t_{\text{обл}} \text{ ма } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ хв} \\ 0,000, & \text{якщо } t_p \geq 0,8 \cdot t_{\text{обл}} \text{ або } t_{\text{ск}} > 6 \text{ хв} \end{cases}, \quad (6)$$

де $t_{\text{не}}$ – час початку евакуації, хв.; t_p – розрахунковий час евакуації людей, хв.; $t_{\text{обл}}$ – час блокування шляхів евакуації, хв.; $t_{\text{ск}}$ – час існування скупчень людей на ділянках шляху (щільність людського потоку на шляхах евакуації перевищує значення 0,5).

Для врахування невизначеності характеру та умов розвитку пожежі пропонується вважати величини $t_{\text{не}}, t_p, t_{\text{обл}}, t_{\text{ск}}$ випадковими. Важливо для прогнозування найбільш песимістичних сценаріїв евакуації використовувати різні закони розподілу для будівель різних класів функціональної пожежної небезпеки. Однак враховуючі дослідження, проведені А. Самошиним [9], найбільш адаптованими законами вважаємо рівномірний та нормальний закони розподілу випадкової величини.

Для формування сценаріїв розвитку пожежі важливо визначити фактори внутрішнього та зовнішнього середовища, що безпосередньо впливають на тенденцію (масштаб) розвитку пожежі. Серед таких факторів визначимо такі:

- місце виникнення пожежі (табл. 1);

Таблиця 1

Можливі місця виникнення пожежі
[авторська розробка]

№ з/п	Можливий варіант	Експертна оцінка, бал
1	Поруч з паливо роздавальними колонками	3
2	Поблизу з приміщенням для персоналу АЗС	1
3	На майданчику для автотранспорту	1
4	Поруч з резервуарами для зберігання палива	5

- закономірності розповсюдження пожежі (табл. 2);
- початкова область пожежі (табл. 3);
- параметри навколишнього середовища (табл. 4);
- початкові параметри приміщення (табл. 5).

Таблиця 2

Закономірності розповсюдження пожежі
[авторська розробка]

№ з/п	Можливий варіант	Експертна оцінка, бал
1	Низька ймовірність горизонтального розповсюдження (охоплення пожежею нових областей)	1
2	Середня ймовірність розповсюдження (охоплення пожежею нових областей)	3
3	Висока ймовірність розповсюдження (охоплення пожежею нових областей)	5

Таблиця 3

Початкова область пожежі
[авторська розробка]

№ з/п	Можливий варіант	Експертна оцінка, бал
1	Від 0 до 0,5 м ²	1
2	Від 0,5 до 1 м ²	3
3	Більше 1 м ²	5

Таблиця 4

Параметри навколишнього середовища
[авторська розробка]

№ з/п	Можливий варіант	Експертна оцінка, бал
1	Агресивне середовище	5
2	Нейтральне середовище	3
3	Сприятливе середовище	1

Таблиця 5

Початкові параметри приміщення
[авторська розробка]

№ з/п	Можливий варіант	Експертна оцінка, бал
1	Велика кількість сходинок	1
2	Недостатня ширина дверного отвору	1
3	Недостатня кількість виходів	3
4	Наявність предметів, перешкоджаючих вільний вихід	3

Тоді коефіцієнт, що характеризує інтенсивність розвитку пожежі, K_p буде розраховуватися за формулою:

$$K_p = \frac{1}{\sum_{i=1}^n R_i}, \quad (7)$$

де R_i – експертна оцінка в балах за i -м фактором; n – кількість факторів (дорівнює 5).

У разі, якщо розрахована величина індивідуального пожежного ризику перевищує допустиме значення, то слід розробити додаткові протипожежні заходи щодо зниження пожежного ризику (табл. 6), до яких можна віднести:

- побудову додаткових евакуаційних шляхів і виходів (профілактичний захід №1);

– встановлення систем автоматичного пожежога-
сіння (профілактичний захід №2);
– вдосконалення систем оповіщення людей про
пожежу та управління евакуацією людей підвищеного
типу (профілактичний захід №3);

– скорочення часу перебування людей на терито-
рії АЗС (профілактичний захід №4);
– захист обладнання від пожежі і механічного по-
шкодження (підземне розташування, теплоізоляція,
водяне зрошення і т.п.) (профілактичний захід №5).

Таблиця 6

Заходи щодо зниження пожежного ризику та їх ефективність в залежності від величини
фінансових вкладень [авторська розробка]

Фінансові вкладення, тис. грн	Ефективність заходу – коефіцієнт зниження пожежного ризику				
	профілактичний захід №1	профілактичний захід №2	профілактичний захід №3	профілактичний захід №4	профілактичний захід №5
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25	0,010	0,018	0,012	0,015	0,010
50	0,015	0,020	0,017	0,016	0,017
75	0,020	0,024	0,018	0,021	0,018
100	0,025	0,026	0,021	0,030	0,021
125	0,030	0,029	0,030	0,032	0,028
150	0,035	0,040	0,034	0,035	0,041

Виходячи з того, що кожен захід потребує фінан-
сових вкладень, для розподілу наявної у організації
суми між наведеними діями пропонується викорис-
тати метод динамічного програмування, в основі якого
лежить розв'язок рівняння Беллмана:

$$F_{n-k}(x_k) = \max[W_{k+1}(x_k, U_{k+1}) + F_{n-k-1}(x_{k+1})], (k = \overline{0, n}), (8)$$

де стан системи (сума фінансових вкладень) S на
 k -му кроці ($k = 1..n$) визначається сукупністю чисел
(альтернативних варіантів розподілу коштів)
 $x_k^i = x_k^1, x_k^2, \dots, x_k^m$, отриманих в результаті реалізації
управління U_k , яке забезпечує перехід системи зі стану
 x_{k-1} у стан x_k . Результатом реалізації k -го кроку є отри-
мання певного виграшу, який в свою чергу
залежить від первинного стану системи x_{k-1} та обраного
управління U_k і дорівнює $W_k(x_{k-1}, U_k)$. Загаль-
ний виграш (найбільше значення коефіцієнту зни-
ження пожежного ризику) за n кроків складе

$$F = \sum_{k=1}^n W_k(x_{k-1}, U_k).$$

При умові, що кількість заходів дорівнює 5, ці-
льові функції матимуть вигляд:

$$F_5(x) = \max_{0 \leq x_5 \leq x} \{f_5(x_5)\};$$

$$F_4(x) = \max_{0 \leq x_4 \leq x} \{(f_4(x_4) + F_5(x - x_5))\};$$

$$F_3(x) = \max_{0 \leq x_3 \leq x} \{(f_3(x_3) + F_4(x - x_3))\};$$

$$F_2(x) = \max_{0 \leq x_2 \leq x} \{(f_2(x_2) + F_3(x - x_2))\};$$

$$F_1(x) = \max_{0 \leq x_1 \leq x} \{(f_1(x_1) + F_2(x - x_1))\}.$$

Ефективність заходів може бути визначена екс-
пертним шляхом в залежності від суми фінансових
вкладень (табл. 6).

З урахуванням ефективності нових заходів щодо
зниження пожежного ризику здійснюється повторний
розрахунок величини індивідуального пожежного ри-
зику: знаходиться добуток отриманого значення ко-
ефіцієнту зниження пожежного ризику Z та оцінки
пожежного ризику Q , отриманої до впровадження до-
даткових заходів. Якщо отримане значення пожежного
ризика не влаштовує управління, то розробляються

додаткові профілактичні заходи, оцінюється їх еф-
ективність та знов повторюється вся наведена вище про-
цедура.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Пожежний ризик характеризує можливість реалізації
пожежної небезпеки у вигляді пожежі та у вигляді його
можливих наслідків (а також обставин, що сприяють
розвитку пожежі). Для оцінки ризику необхідно знати
частотні характеристики виникнення пожежі та перед-
бачувані розміри можливих наслідків. Запропонована
методика оцінки індивідуального пожежного ризику
як і класична методика базується на зіставленні роз-
рахункової величини пожежного ризику з нормати-
вом. Однак для врахування невизначеності умов роз-
витку пожеж на відміну від класичного підходу запро-
понована авторами методика передбачає проведення
імітаційного моделювання часових характеристик (ге-
нерація сценаріїв розвитку пожежі в залежності від
умов зовнішнього та внутрішнього середовища) та
врахування ефективності профілактичних заходів. На-
ведена методика дозволить значно скоротити потен-
ційні витрати на ліквідацію наслідків пожеж на авто-
заправних станціях та комплексах за рахунок підви-
щення рівня передбачуваності настання пожежонебез-
печних ситуацій.

Список використаних джерел

1. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної без-
пеки в Україні. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15>.
2. НПБ П1-98* Автозаправні станції. Вимоги по-
жежної безпеки. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15>.
3. Маховський В.О., Крюковська О.А. Аналіз не-
безпеки та рівня ризику автозаправних станцій. *Збір-
ник наукових праць Дніпродзержинського державного
технічного університету. Технічні науки*. 2013. Вип. 1.
С. 197-207.
4. Галеев А. Д., Поникаров С. И. Анализ риска
аварий на опасных производственных объектах : уче-
бное пособие / Минобрнауки России, Казан. нац.
исслед. технол. ун-т. Казань: Изд-во КНИТУ, 2017.
152 с.
5. Руководство по анализу оценки пожарного ри-
ска / Национальная организация по противопожарной

защите (NFPA). Куинси, штат Массачусетс, США, 2010. 33 с.

6. Стоецкий В.Ф., Дранишников Л.В., Есипенко А.Д. *Управление техногенной безопасностью объектов повышенной опасности*. Тернополь: Изд-во «Астон», 2006. 424 с.

7. НАПБ В.03.002-2007 Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою: Наказ МНС від 03.12.2007 р. № 833. URL: <http://zakon.sop.com.ua/regulations/10637/478653/>.

8. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: Приказ МЧС России от 10.07.2009 г. № 404 / Официальный сайт МЧС России. URL: http://www.mchs.gov.ru/law/index.phpID=8431&sphrose_id=1369844.

9. Самошин Д.А. Законы распределения случайной величины времени начала эвакуации людей при пожарах / Академия ДПС МЧС России // *Технологии техносферной безопасности (интернет-журнал)*. 2016. Вып. №2 (66). URL: <http://www.fireevacuation.ru/files/papers/distribution%20law.pdf>.

10. Івченкова О.Ю., Лях А.О. Аналіз моделей і методів розподілу трудових ресурсів в управлінні реалізацією портфеля ІТ-проектів. *Вісник економічної науки України*. 2016. №2 (31). С. 87–90.

References

1. NAPB A.01.001-2014 Pravyla pozhezhnoyi bezpeky v Ukrayini Normatyvnyy akt z pozhezhnoyi bezpeky [Legislative fire safety act A.01.001-2014 Fire safety regulations in Ukraine]. Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15> [in Ukrainian].

2. NPB P1-98* Avtozapravni stantsiyi. Vymohy pozhezhnoyi bezpeky [Fire Safety Norms P1-98 * Filling stations. Requirements of fire safety]. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15> [in Ukrainian].

3. Makhovskiy V.O., Kriukovska O.A. (2013). Analiz nebezpeky ta rivnia ryzyku avtozapravnykh stantsii [Analysis of hazard and level of risk of gas stations]. *Zbirnyk naukovykh prats Dniprodzerzhynskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnichni nauky – Collection of scientific works of Dneprodzerzhynsky State Technical University. Technical sciences*, Issue 1, pp. 197-207 [in Ukrainian].

4. Galejev A. D., Ponikarov S. I. (2017). Analiz riska avariya na opasnykh proizvodstvennykh ob'yektakh [Accident risk analysis at hazardous production facilities: study guide]. Kazan': KNRTU [in Russian].

5. Rukovodstvo po analizu otsenki pozharnogo riska [Fire Risk Assessment Analysis Guide] (2010). National Fire Protection Organization (NFPO). Quincy, Massachusetts, USA.

6. Stoyetskiy V.F., Dranishnikov L.V., Yesipenko A.D. et al. (2006). Upravleniye tekhnogennoy bezopasnost'yu ob'yektov povyshennoy opasnosti [Managing the man-made safety of high-risk facilities]. Ternopil, Publishing House Aston [in Russian].

7. NAPB В.03.002-2007 Normy vyznachennya katehoriy prymishchen', budynkiv ta zovnishnikh ustanovok za vybukhopozhezhnoyu ta pozhezhnoyu nebezpekoyu: Nakaz MNS vid 03.12.2007 r. № 833 [Legislative fire safety act В.03.002-2007 The rules for determining the categories of premises, buildings and external installations for explosion and fire hazard: The Ministry of Emergency Measures Order of 03.12.2007 number 833]. Retrieved from <http://zakon.sop.com.ua/regulations/10637/478653/> [in Ukrainian].

8. Metodika opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob'yektakh: Prikaz MCHS Rossii ot 10.07.2009 g. № 404 [Methods for determining the calculated values of fire risk at production facilities: Order of the Emercom of Russia of 10.07.2009, № 404]. *Emergencies Ministry of Russia*. Retrieved from http://www.mchs.gov.ru/law/index.phpID=8431&sphrose_id=1369844 [in Russian].

9. Samoshin D.A. (2016). Zakony raspredeleniya sluchaynoy velichiny vremeni nachala evakuatsii lyudey pri pozharakh [The laws of the distribution of the random variable of the time of the beginning of the evacuation of people during fires]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti – Technologies of Technosphere Safety*, 2 (66). Retrieved from <http://www.fireevacuation.ru/files/papers/distribution%20law.pdf> [in Russian].

10. Ivchenkova O.Yu., Liakh A.O. (2016). Analiz modelei i metodiv rozpodilu trudovykh resursiv v upravlinni realizatsiieiu portfelia IT-proektiv [Analysis of Models and Methods of Distribution of Labour Resources in the Management of the Implementation of the Portfolio of IT Projects]. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy – Bulletin of Economic Science of Ukraine*, 2 (31), pp. 87–90 [in Ukrainian].