

УДК 519.8: 629.039.58

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2025-2-7>

### **Лариса КОРЯШКІНА**

доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу і управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0000-0001-6423-092X

Scopus-Author ID: 55844269100

### **Андрій МАЛІЄНКО**

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу і управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0000-0002-3165-9233

Scopus-Author ID: 56447019800

### **Ольга СТАНІНА**

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу і управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0000-0001-6754-0317

Scopus-Author ID: 57203935767

### **Юлія ШЕВЧЕНКО**

асистент кафедри системного аналізу і управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0000-0002-3895-3937

Scopus-Author ID: 59312616400

### **Яна КОДОЛА**

студентка кафедри системного аналізу і управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0009-0007-8833-5890

**Бібліографічний опис статті:** Коряшкіна, Л., Малієнко, А., Станіна, О., Шевченко, Ю., Кодола, Я. (2025). Системний аналіз та оптимальний вибір комплексу заходів для підвищення безпеки на підприємстві. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 72–80, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2025-2-7>

## **СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА ОПТИМАЛЬНИЙ ВИБІР КОМПЛЕКСУ ЗАХОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ НА ПІДПРИЄМСТВІ**

**Мета роботи** – зниження ризику виникнення нещасних випадків та забезпечення раціонального використання фінансових ресурсів на виробництві шляхом вибору профілактичних заходів за критерієм мінімізації сумарних витрат або максимізації ефективності вкладання коштів.

**Методологія** – всебічний аналіз та оптимальний відбір запобіжних заходів і операцій, спрямованих на зниження виробничих ризиків.

**Наукова новизна.** Запропоновано новий підхід щодо раціонального вибору профілактичних заходів на підприємстві, за допомогою якого досягається одночасно зниження ризику небезпечних подій до прийняттого рівня та мінімізація фінансових витрат або максимізація їх ефективності. Такий підхід є надзвичайно актуальним для сталого розвитку України та її інтеграції до європейського ринку. Розроблено математичну модель управління ризиками виробничого травматизму через раціональний вибір сукупності запобіжних дій. Проведено низку обчислювальних експериментів з дослідження програмної реалізації моделі на конкретному прикладі з різними вхідними параметрами.

**Висновки.** Показано, що використання розробленого математичного і програмного забезпечення на виробничих підприємствах забезпечує раціональний з точки зору витрат вибір заходів щодо запобігання нещасних випадків і підвищення рівня безпеки праці в цілому на підприємстві.

**Ключові слова:** генетичний алгоритм, небезпечний чинник, оптимізація, профілактичні заходи, раціональний вибір, ризик.

### **Larysa KORASHKINA**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of System Analysis and Control, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, koriashkina.l.s@nmu.one

**ORCID:** 0000-0001-6423-092X

**Scopus-Author ID:** 55844269100

### **Andrii MALIENKO**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of System Analysis and Control, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, maliienko.a.v@nmu.one

**ORCID:** 0000-0002-3165-9233

**Scopus-Author ID:** 56447019800

### **Oliha STANINA**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of System Analysis and Control, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, stanina.o.d@nmu.one

**ORCID:** 0000-0001-6754-0317

**Scopus-Author ID:** 57203935767

### **Yuliya Shevchenko**

Assistant at the Department of System Analysis and Control, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, shevchenko.yu.o@nmu.one

**ORCID:** 0000-0002-3895-3937

**Scopus-Author ID:** 59312616400

### **Yana KODOLA**

Student at the Department of System Analysis and Control, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, Kodola.Y.O@nmu.one

**ORCID:** 0009-0007-8833-5890

**To cite this article:** Koriashkina, L., Maliienko, A., Stanina, O., Shevchenko, Yu., Kodola, Ya. (2025). Systemnyi analiz ta optymalnyi vybir kompleksu zakhodiv dlia pidvyshchennia bezpeky na pidpriemstvi [System Analysis and Optimal Selection of a Set of Measures to Improve Workplace Safety at an Enterprise]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 72–80, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2025-2-7>

## **SYSTEM ANALYSIS AND OPTIMAL SELECTION OF A SET OF MEASURES TO IMPROVE WORKPLACE SAFETY AT AN ENTERPRISE**

**The purpose of the work** is to reduce the risk of accidents at work and rational use of financial resources due to the analysis and optimization of the choice of preventive measures.

**The methodology** consists in a comprehensive analysis and optimization of the choice of preventive measures to reduce the risk of accidents at work.

**The scientific novelty.** An approach has been proposed that combines reducing the risks of hazardous events to an acceptable level and minimizing financial costs or maximizing their efficiency, which is especially relevant for Ukraine's sustainable development and integration into the European market. A mathematical model for risk management of accidents has been developed by rationally selecting a set of preventive measures. Experimental studies of the software implementation of the model on a specific example with different input data have been conducted.

**Conclusions.** *Using the proposed approach in manufacturing enterprises ensures a cost-effective selection of measures to prevent accidents and improve overall occupational safety at the enterprise.*

**Key words:** *genetic algorithm, dangerous factor, optimization, preventive measures, rational choice, risk.*

**Вступ.** Безпека праці є однією з ключових складових стабільного функціонування будь-якого сучасного підприємства, де зростає складність технологічних процесів, виникає потреба в ефективному управлінні ризиками та системному підході до профілактики нещасних випадків. Надзвичайно важливою є реалізація дій та заходів, спрямованих на зниження рівня небезпек, що сприяє збереженню здоров'я працівників. Актуальність порушеної проблематики зростає в умовах інтеграції України до європейського економічного простору, де дотримання високих стандартів безпеки праці є обов'язковою умовою функціонування бізнесу.

**Мета дослідження** полягає у зниженні ризику виникнення нещасних випадків на виробництві та забезпеченні раціонального використання фінансових ресурсів шляхом системного аналізу та оптимізації вибору комплексу профілактичних заходів.

Об'єкт дослідження – процес управління ризиками виробничих нещасних випадків. Предмет дослідження – математичні моделі та методи оптимального формування комплексу заходів, спрямованих на запобігання реалізації небезпечних подій.

**Постановка проблеми.** Питання, пов'язані з ризиками та забезпеченням безпеки праці на підприємстві, дослідимо за наступною схемою.

1. Аналіз потенційних джерел небезпеки, визначення можливих запобіжних заходів та оцінювання їх ефективності у контексті зниження ризику або зменшення ймовірності реалізації небезпечної події.

2. Оцінювання витрат, пов'язаних із реалізацією кожного з передбачених заходів.

3. На основі даних про рівень ризику, ймовірність реалізації небезпеки, ефективність запропонованих заходів і пов'язані з ними витрати – пошук оптимального комплексу профілактичних дій, що дозволить знизити ризик нещасного випадку до прийняттого рівня за мінімальних фінансових витратах або максимальної ефективності використання ресурсів. При цьому під ефективністю вкладених коштів будемо розуміти величину, на яку знижується професійний ризик, розраховану на одну грошову одиницю.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналізу та управлінню ризиками нещасних випадків приділяється багато уваги в літературних джерелах. Питанням систематизації видів і груп ризиків, а також формуванню

універсальної класифікації виробничих ризиків для потреб ефективного управління, присвячено роботи (Семенова, 2020; Романюк, 2022). Види ризиків, методи їх оцінки та заходи подолання в діяльності промислових підприємств розглянуто у статті (Швець, 2018).

У роботі (Ateeq, 2024) зазначено, що ефективне управління випадками виробничого травматизму на підприємстві передбачає постійний моніторинг та ідентифікацію потенційно небезпечних факторів, всебічну оцінку ризиків та прогнозування можливих наслідків їх реалізації. Важливим компонентом системи безпеки є своєчасне впровадження профілактичних заходів, до яких належать регулярні технічні огляди та інспекції виробничих об'єктів, організація навчальних програм, модернізація технологічного обладнання тощо. Аспекти впровадження системи безпеки на підприємствах детально розглянуто у праці Amirah (2024), де за результатами анкетування понад трьохсот працівників, встановлено суттєвий вплив формування безпечного виробничого середовища на розвиток культури безпеки та зменшення рівня виробничих ризиків.

Питанням розробки запобіжних заходів під час надзвичайних ситуацій техногенного або природного характеру присвячені, зокрема, роботи (Koriashkina, 2024; Dziuba et al., 2023). Дослідження (Benson, 2024) спрямоване на оцінку впливу запобіжних заходів на здоров'я, безпеку та навколишнє середовище у виробничій промисловості. Для вирішення проблем, пов'язаних із пожежею, вибухами, витокami продукції, небезпекою на виробництві, використовуються різноманітні стратегії – інженерний або адміністративний контроль, засоби індивідуального захисту тощо. Авторами показано, що поєднання кількох типів заходів є найефективнішим підходом.

Роль безпеки для зниження виробничих витрат та підвищення ефективності виробництва вивчено у роботі (Falcone, 2022), де запропоновано новий метод – Total Efficient Risk Priority Number (TERPN), здатний класифікувати ризики та визначити коригувальні дії, щоб досягти найбільшого зниження ризику з найменшими витратами. У статті (Shafeenejad, 2023) розглянуто управління ризиками в аерокосмічній галузі. Запропоновані методи оцінки ризиків, стратегії пом'якшення ризиків, практики інформування про них. Дослідження

(Abedsoltan, 2024) оцінює роль промислового Інтернету речей, штучного інтелекту та машинного навчання у вдосконаленні протоколів безпеки. У статті розглядається прогнозна аналітика, досягнення сенсорних технологій і внесок їх у підвищення рівня безпеки. Обговорюються майбутні перспективи підходів до управління ризиками, а саме проактивні системи управління безпекою, методи кількісної оцінки ризиків та аналіз надійності людини.

Огляд літератури у статті (Adattil, 2024) здійснено для вивчення впливу впровадження цифрових і розумних технологій на психосоціальний стан працівників. Авторами запропоновано теоретичну основу для оцінки психосоціальних наслідків (ризиків) впровадження технологій Індустрії 4.0 в систему «Оператор 4.0».

У контексті виробничої безпеки ризик – це кількісна оцінка ймовірності виникнення нещасного випадку, ситуацій, що можуть призвести до шкоди здоров'ю, життю людини, пошкодження обладнання або інфраструктури, інших наслідків. Основними компонентами ризику є ймовірність небезпеки та кількісна оцінка її наслідків.

Як зазначено в статті (Chen, 2022), процес управління ризиками є систематичним і логічним процесом, який повинен включати ідентифікацію, аналіз, вимірювання та роботу з ризиками, враховуючи засоби, умови та контекст організації. Відповідний рівень технічного забезпечення в аналізі небезпек у галузях є важливим кроком у визначенні ефективних заходів щодо зниження аварійності. Це дослідження спрямоване на використання найбільш підходящих доступних методів для виявлення небезпек і оцінки ризику з метою підвищення безпеки, зменшення аварій, витрат та економії часу. Аби ідентифікувати, оцінити та ранжувати ризики безпеки будівельних проєктів, автори використовують нечіткий підхід та метод TOPSIS.

**Матеріали та методи.** Задачу оптимізації вибору сформулюємо так: з усіх можливих заходів знайти ті, що забезпечать зниження ризику небезпечної події до прийнятного рівня за умов мінімізації сумарних фінансових витрат.

Математичний опис задачі представимо з використанням наступних позначень:  $N$  і  $A$  – число небезпечних чинників і профілактичних заходів;  $R_{\max}$  і  $C_{\max}$  – максимально допустимі величини ризику та витрат відповідно. Для кожного  $n$ -го небезпечного чинника:  $P_{\text{поч}_n}$  і  $P_{\text{кін}_n}$  – початкова і кінцева ймовірність небезпеки;  $K_{\text{поч}_n}$  і  $K_{\text{кін}_n}$  – початкова і кінцева ступінь тяжкості ( $K_{\text{поч}_n}$  визначається за експертною шкалою від 1 до 10);  $R_{\text{поч}_n}$  – початкове значення можливих ризиків, яке обчислюється за

формулою  $R_{\text{поч}_n} = P_{\text{поч}_n} \cdot K_{\text{поч}_n}$ ;  $R_{\text{доп}_n}$  і  $R_{\text{кін}_n}$  – допустимий і кінцевий рівні ризику небезпеки;  $C_n$  – витрати на реалізацію заходу;  $L_n$  – ефективність фінансових витрат (зниження ризику, розраховане на одну ум. грош. од.):  $L_n = \frac{R_{\text{поч}_n} - R_{\text{кін}_n}}{C_n}$ .

$a$ -й профілактичний захід для зниження ризику від  $n$ -го небезпечного чинника, характеризується такими параметрами:  $C_{an}$  – витрати на його проведення;  $P_{an}$  і  $T_{an}$  – оцінка, на скільки знижується відповідно ймовірність появи чинника і тяжкість його наслідків після реалізації заходу;  $R_{an}$  – кінцевий рівень ризику після реалізації заходу.

Введемо до розгляду шукані змінні  $x_{an}$ ,  $a = \overline{1, A_n}$ ,  $n = \overline{1, N}$  за правилом:

$$x_{an} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } a\text{-й профілактичний захід} \\ & \text{проводиться,} \\ 0, & \text{якщо } a\text{-й профілактичний захід} \\ & \text{НЕ проводиться.} \end{cases}$$

Відтак, потрібно знайти такі  $x_{an}$ ,  $a = \overline{1, A_n}$ ,  $n = \overline{1, N}$ , за яких функція

$$Z = \sum_{n=1}^N \sum_{a=1}^{A_n} C_{an} \cdot x_{an}, \quad (1)$$

набуває мінімального значення і для усіх  $n$ , таких що  $R_{\text{кін}_n} \geq R_{\text{доп}_n}$ , виконуються наступні умови:

$$P_{\text{кін}_n} = \max \left\{ 0, P_{\text{поч}_n} \cdot \left( 1 - \sum_{a=1}^{A_n} P_{an} x_{an} \right) \right\}, \quad (2)$$

$$K_{\text{кін}_n} = \max \left\{ 1, K_{\text{поч}_n} \cdot \left( 1 - (K_{\text{поч}_n} - 1) \sum_{a=1}^j T_{an} x_{an} \right) \right\}, \quad (3)$$

$$R_{\text{кін}_n} = P_{\text{кін}_n} \cdot K_{\text{кін}_n} \quad \forall n, \quad (4)$$

$$R_{\text{кін}_n} \leq R_{\text{доп}_n} \quad \forall n, \quad (5)$$

$$\sum_{n=1}^N R_{\text{кін}_n} \leq R_{\max}, \quad (6)$$

$$x_{an} \in \{0; 1\} \quad \forall n, a. \quad (7)$$

Слід зауважити, що задля задоволення умов (2–7) для  $n = \overline{1, N}$ , таких що  $R_{\text{кін}_n} \geq R_{\text{доп}_n}$ , можна заздалегідь визначити:

$$\text{якщо } R_{\text{кін}_n} \leq R_{\text{доп}_n}, \text{ то } x_{an} = 0 \text{ для усіх } a = \overline{1, A_n}. \quad (8)$$

**Зауваження.** Можна також розглянути інші критерії оптимізації, приміром: 1) максимізувати в цілому ефективність вкладених коштів, або 2) мінімізувати кількість заходів, які за умови обмежених фінансових ресурсів, дозволять знизити професійні ризики до прийнятних норм.

У першому випадку цільова функція набуває вигляду



$$Effect = \sum_{n=1}^N L_n = \sum_{n=1}^N \frac{R_{поч_n} - R_{кін_n}}{C_n}. \quad (9)$$

А у другому критерій якості вибору запишеться так:

$$TotalMeasure^j = \sum_{n=1}^N \sum_{a=1}^{A_n} x_{an} \quad (10)$$

за додаткових умов використання бюджету

$$\sum_{n=1}^N \sum_{a=1}^{A_n} C_{an} \cdot x_{an} \leq Budget. \quad (11)$$

Побудовану модель (1–7) реалізовано мовою програмування Python в інтегрованому середовищі PyCharm. Використано бібліотеки:

*customtkinter* – яка базується на *tkinter* і надає можливість використання сучасних віджетів; *numpy* – для роботи з масивами та математичними функціями; *mealpy* – для використання метаевристичних алгоритмів оптимізації.

Виконавчий файл для запуску програми «Оптимізація ризиків» та її головна сторінка представлені на рис. 1 і рис. 2 відповідно, а форма для завантаження файлу з вхідними даними – рис. 3.

Наведемо аналіз результатів обчислювальних експериментів з розв’язання задачі 1, сформульованої з метою зниження ризику отримання травми робітником на автомобільному заводі. Дані про можливі профілактичні заходи,

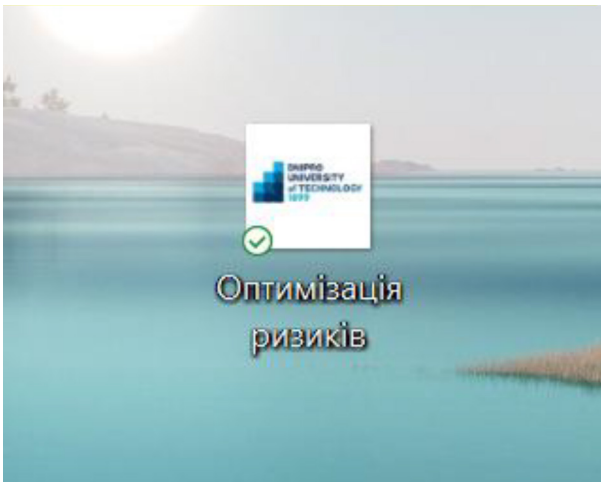


Рис. 1. Запуск програми

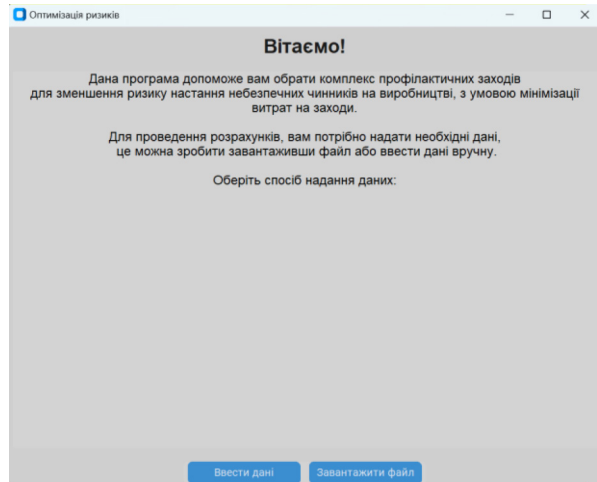


Рис. 2. Головна сторінка програми

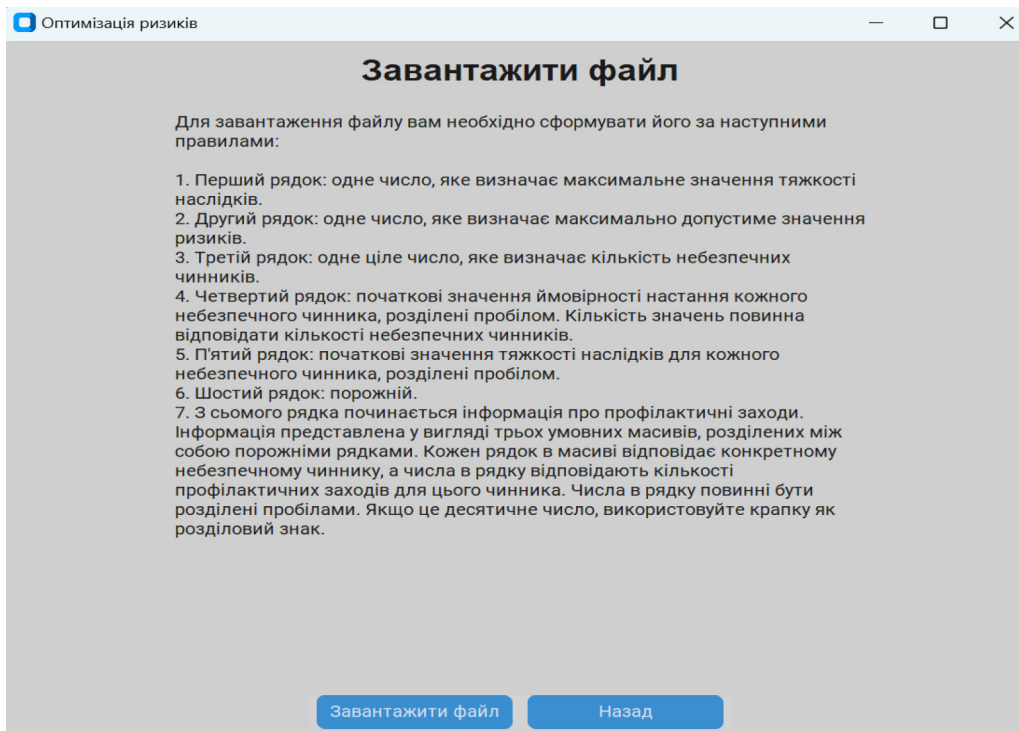


Рис. 3. Форма для завантаження файлу

Таблиця 1

Інформація про запобіжні заходи

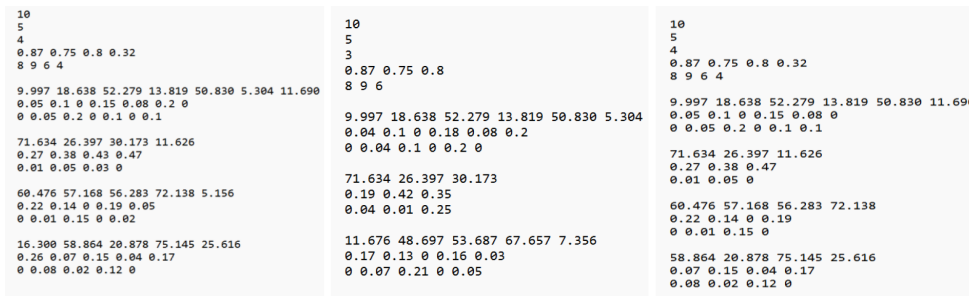
Небезпечний чинник	Захід	ID заходу	Вартість проведення заходу	Зниження ймовірності появи небезпеки	Зниження тяжкості наслідків небезпеки
Несправність обладнання  ймовірність – 0,87 тяжкість – 8	Оновлення устаткування	1.1	10	0,05	0
	Регулярний технічний сервіс	1.2	18,64	0,1	0,05
	Захисні бар'єри	1.3	52,3	0	0,2
	Використання датчиків несправності	1.4	13,8	0,15	0
	Автоматизація процесів	1.5	50,8	0,1	0,1
	Належне освітлення	1.6	5,30	0,2	0
	Закупівля спеціальних пристроїв	1.7	11,7	0	0,1
2. Падіння важких деталей  ймовірність – 0,75 тяжкість – 9	Використання підйомників, кранів	2.1	71,6	0,3	0,01
	Моніторинг підйомного устаткування	2.2	26,4	0,4	0,05
	Тренінги	2.3	30,2	0,4	0,03
	Страховальні системи	2.4	11,6	0,5	0
3. Електричний удар  ймовірність – 0,8 тяжкість – 6	Регулярна перевірка електричного обладнання	3.1	60,5	0,22	0
	Встановлення захисних пристроїв	3.2	57,2	0,14	0,01
	Навчання правилам безпеки	3.3	56,3	0	0,15
	Встановлення захисних бар'єрів	3.4	72,1	0,19	0
	Закупівля спеціальних інструментів	3.5	5,2	0,05	0,02
4. Порушення правил безпеки  ймовірність – 0,32 тяжкість – 4	Тренінги з техніки безпеки	4.1	16,3	0,26	0
	Упровадження системи управління безпекою праці	4.2	59	0,07	0,08
	Контроль за дотриманням правил безпеки	4.3	21	0,15	0,02
	Закупівля і контроль за використанням засобів індивідуального захисту	4.4	75,1	0,04	0,12
	Контрольні інспекції	4.5	25,6	0,17	0

їх ефективність щодо усунення конкретних небезпечних чинників та кошторис, отримано у ході збору інформації, спілкування, консультацій і наведено в табл. 1.

*Експеримент 1:* аналізуються всі небезпечні чинники та запобіжні заходи. *Експеримент 2:* взято до уваги лише НЧ 1, 2, 3 та профілактичні заходи: 1.1–1.6; 2.1, 2.2, 2.3,2.4; 3.1–3.5. *Експеримент 3:* вхідні дані організовано так, що досягти прийняттого рівня ризику за рахунок проведення усіх профілактичних заходів неможливо. Вхідні

дані про небезпечні чинники та профілактичні заходи, що розглядаються, наведено на рис. 4.

*Результати експерименту 1.* Рекомендовано реалізувати (рис. 5): заходи 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7 (ризик чинника № 1 знижується з 6,96 до 1,77); заходи 2.2, 2.3, 2.4 для запобігання або пом'якшення наслідків (ризик чинника № 2 знижується з 6,75 до 0,25); заходи 3.1, 3.2, 3.4, 3.5 – для чинника 3 (ризик знижується з 4,80 до 1,87); захід 4.1 – для чинника № 4 (ризик 1,28 знижується до 0,95).



а) експеримент 1

б) експеримент 2

в) експеримент 3

Рис. 4. Вхідні дані

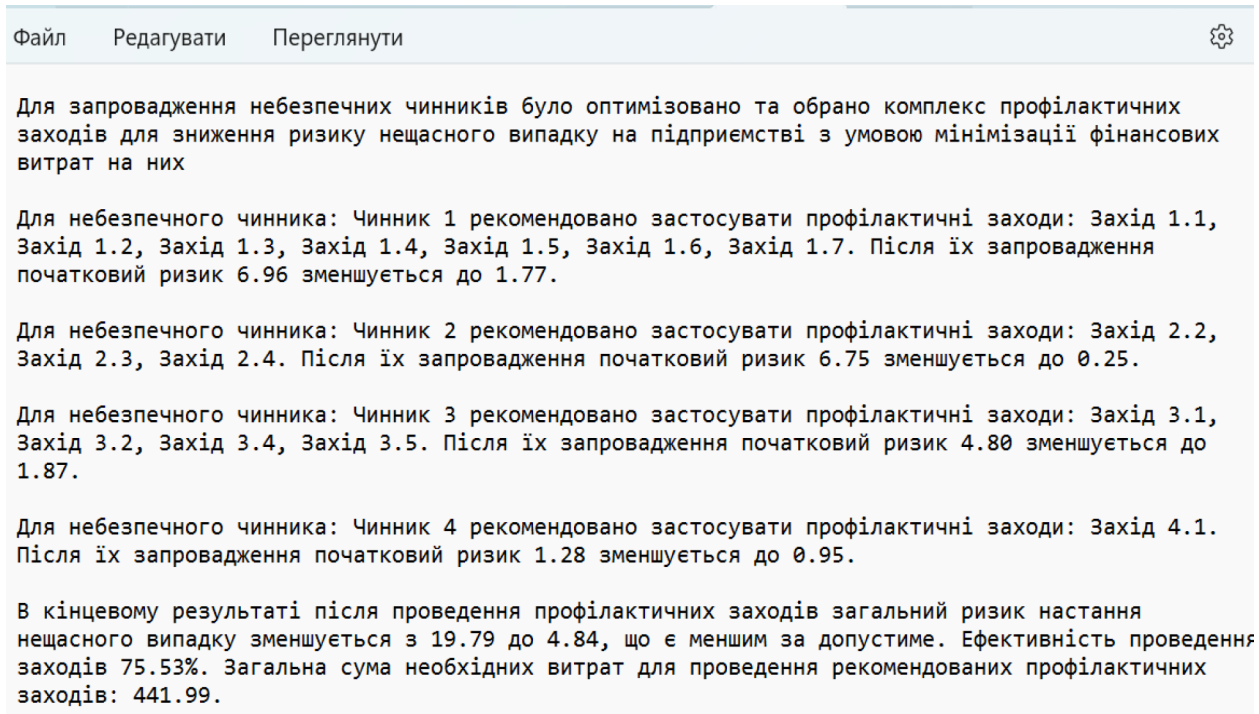


Рис. 5. Звіт експерименту 1

Відтак, обрані профілактичні заходи дозволяють зменшити сумарний ризик настання нещасного випадку з 19,8 до 4,8, що є навіть, нижче допустимого рівня. Загальна сума необхідних витрат для їх проведення становила 442 ум. од., а ефективність їх проведення майже 76 %. Звіти, сформовані за результатами експериментів 2, 3, наведені на рис. 6, 7.

**Висновки.** На основі комплексного підходу проаналізовано та здійснено оптимізацію вибору превентивних заходів для зниження ризику

небезпек на виробництві. Запропоновано підхід, що поєднує зниження ризиків виникнення небезпечних подій до прийняттого рівня з мінімізацією фінансових вкладень на реалізацію запобіжних дій та заходів. Запропоновано математичний опис процесу оптимального вибору таких заходів. Програмну реалізацію виконано з використанням штучного інтелекту. Експериментальні дослідження, проведені за різних наборів вхідних даних, дозволили зробити висновок про доцільність впровадження запропонованого підходу

Рекомендований комплекс профілактичних заходів

Загальна вартість проведення профілактичних заходів: 338.21

Ризик настання нещасного випадку: 4.95

Ефективність проведення обраних заходів: 73.26%

Небезпечний чинник	Нове значення ймовірності	Нове значення тяжкості	Нове значення ризику	Рекомендовані профілактичні заходи
Чинник 1	0.38	6.32	2.42	Захід 1.2, Захід 1.4, Захід 1.5, Захід 1.6
Чинник 2	0.03	6.60	0.20	Захід 2.1, Захід 2.2, Захід 2.3
Чинник 3	0.54	4.35	2.33	Захід 3.1, Захід 3.2, Захід 3.3, Захід 3.5

Рис. 6. Результати експерименту 2

Рекомендований комплекс профілактичних заходів

Загальна вартість проведення профілактичних заходів: 693.48

Ризик настання нещасного випадку: 5.35

Ефективність проведення обраних заходів: 72.95%

Увага! Найдане рішення перевищує можливе допустиме значення ризиків. Наданих й запланованих профілактичних заходів недостатньо для виконання умов!

Небезпечний чинник	Нове значення ймовірності	Нове значення тяжкості	Нове значення ризику	Рекомендовані профілактичні заходи
Чинник 1	0.54	4.85	2.62	Захід 1.1, Захід 1.2, Захід 1.3, Захід 1.4, Захід 1.5
Чинник 2	0.03	6.52	0.26	Захід 2.1, Захід 2.2, Захід 2.3
Чинник 3	0.36	5.20	1.87	Захід 3.1, Захід 3.2, Захід 3.3, Захід 3.4
Чинник 4	0.18	3.34	0.61	Захід 4.1, Захід 4.2, Захід 4.3, Захід 4.4

Рис. 7. Результати експерименту 3

на виробничих підприємствах, оскільки останній забезпечує одночасно підвищення рівня безпеки праці та раціональне використання фінансових ресурсів. Програмний продукт розроблено як інструмент підтримки прийняття рішень у сфері управління ризиками.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Семенова С. М. Класифікація ризиків: систематизований підхід з метою управління. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2020. № 4, Т. 2. С. 42–51. DOI: 10.31891/2307-5740-2020-284-4(2)-8
2. Романюк Н. Класифікація факторів ризику, які впливають на результати господарювання бізнес-структур. *Економічний простір*, 2022. № 181. С. 132–137. DOI: 10.32782/2224-6282/181-23
3. Швець Ю. О. Ризики в діяльності промислових підприємств: види, методи оцінки та заходи подолання ризику. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство*. 2018. № 17. Ч. 2. С. 131–135.
4. Ateeq A., Al-refaei AAA, Alzoraiki M., Milhem M., Al-Tahitah AN, Ibrahim A. Sustaining Organizational Outcomes in Manufacturing Firms: The Role of HRM and Occupational Health and Safety. *Sustainability*. 2024. Vol 16. № 3: 1035. DOI: 10.3390/su16031035
5. Amirah N. A., Him, NFN., Rashid, A., Rasheed, R., Zaliha, T. N., Afthanorhan A. Fostering a safety culture in manufacturing through safety behavior: A structural equation modelling approach. *Journal of Safety and Sustainability*. 2024. DOI: 10.1016/j.jsasus.2024.03.001
6. Koriashkina, L., Us, S., Odovol, M., Stanina, O., Dziuba, S. Two-stage problems of optimal location and distribution of the humanitarian logistics system's structural subdivisions, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024. № 1, С.130–139. DOI: 10.33271/nvngu/2024-1/130
7. Benson Ch., Obasi I. Ch., Akinwande DV., Ile Ch. The impact of interventions on health, safety and environment in the process industry. *Heliyon*, 2024. Vol. 10, № 1, e23604. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e23604
8. Dziuba, Serhii and Bulat, Anatolii and Koriashkina, Larysa and Blyuss, Borys, Discrete-Continuous Model of the Optimal Location Problem for the Emergency Logistics System. 27 Mar 2023, URL: <https://ssrn.com/abstract=4401341> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4401341>
9. Falcone D., Di Bona G., Forcina. A new method for risk assessment in industrial processes. *IFAC-PapersOnLine*. 2022 Vol. 55, № 19, P. 1–6. DOI: 10.1016/j.ifacol.2022.09.175
10. Shafieenejad I., Nourianpour M., Banitalebi Dehkordi M., Ansari K. A Comprehensive Review of Safety and Risk Management Strategies in Aerospace Operations for Human Casualty Mitigation. *International Journal of Reliability, Risk and Safety: Theory and Application*. 2023. Vol. 6, № 1, P. 111–130. DOI: 10.22034/IJRRS.2023.6.1.12
11. Abedsoltan H., Abedsoltan A., Zoghi Z. Future of process safety: Insights, approaches, and potential developments. *Process Safety and Environmental Protection*. 2024. Vol. 185, P. 684–707. DOI: 10.1016/j.psep.2024.03.034
12. Adattil R., Thorvald P., Romero D. Assessing the Psychosocial Impacts of Industry 4.0 Technologies Adoption in the Operator 4.0: Literature Review & Theoretical Framework. *International Journal of Industrial Engineering and Management*. 2024. Vol. 15. № 1. P. 59–80. DOI: 10.24867/IJIE-2024-1-348
13. Chen T.-C., Zahar M., Voronkova O. Y., Khoruzhy V. I., Morozov I. V., Javad Esfahani M. Providing a Framework Based on Decision-Making Methods To Assess Safety Risk in Construction Projects. *International Journal of Industrial Engineering and Management*. 2022. Vol. 13. № 1. 8–17. DOI: 10.24867/IJIE-2022-1-297
14. Перелік заходів та засобів з охорони праці, витрати на здійснення та придбання яких включаються до валових витрат – Урядовий портал – Єдиний веб-портал органів виконавчої влади України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/1316161> (дата звернення: 11.09.2024)

#### REFERENCES:

1. Semenova, S. (2020). Klasyfikatsiya ryzykiv: systematyzovanyy pidkhid z metoyu upravlinnya [Risk classification: a systematized management approach]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, 4 (2), 42–51. Retrieved from: [https://www.doi.org/10.31891/2307-5740-2020-284-4\(2\)](https://www.doi.org/10.31891/2307-5740-2020-284-4(2)) [in Ukrainian].
2. Romaniuk, N. (2022). Klasyfikatsiya faktoriv ryzyku, yaki vplyvayut na rezultaty hospodaryuvannya biznes-struktur [Classification of risk factors affecting the results of business structure]. *Ekonomichnyy prostir*, 181, 132–137. Retrieved from: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/181-23> [in Ukrainian].
3. Shvets, Yu. O. (2018). Ryzyky v diyalnosti promyslovykh pidpryyemstv: vydy, metody otsinky ta zakhody podolannya ryzyku [Risks in activities of industrial enterprises: types, evaluation methods and measures to overcome risk]. *Naukovyy visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove hospodarstvo*, 17, part. 2, 131–135 [in Ukrainian].



4. Ateeq, A., Al-refaei, AAA, Alzoraiki, M., Milhem, M., Al-Tahitah, AN, & Ibrahim, A. (2024). Sustaining Organizational Outcomes in Manufacturing Firms: The Role of HRM and Occupational Health and Safety. *Sustainability*, 16 (3), 1035. <https://doi.org/10.3390/su16031035>
5. Amirah, NA, Him, NFN, Rashid, A., Rasheed, R., Zaliha, TN, & Afthanorhan, A. (2024). Fostering a safety culture in manufacturing through safety behavior: A structural equation modelling approach. *Journal of Safety and Sustainability*. <https://doi.org/10.1016/j.jsasus.2024.03.001>
5. Koriashkina, L., Us, S., Odnovol, M., Stanina, O., Dziuba, S. (2024). Two-stage problems of optimal location and distribution of the humanitarian logistics system's structural subdivisions, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 130–139. Retrieved from: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-1/130>
6. Benson, Ch., Obasi, I. Ch., Akinwande, DV., & Ile, Ch. (2024). The impact of interventions on health, safety and environment in the process industry. *Heliyon*, 10(1), e23604. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23604>
7. Dziuba, Serhii and Bulat, Anatolii and Koriashkina, Larysa and Blyuss, Borys, Discrete-Continuous Model of the Optimal Location Problem for the Emergency Logistics System. 27 Mar 2023, Retrieved from: <https://ssrn.com/abstract=4401341> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4401341>
8. D. Falcone, G. Di Bona, Forcina, (2022). A new method for risk assessment in industrial processes. *IFAC-PapersOnLine*, 55 (19), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.175>
9. Shafieenejad, I., Nourianpour, M., Banitalebi Dehkordi, M., & Ansari, K. (2023). A Comprehensive Review of Safety and Risk Management Strategies in Aerospace Operations for Human Casualty Mitigation. *International Journal of Reliability, Risk and Safety: Theory and Application*, 6(1), 111–130. <https://doi.org/10.22034/IJRRS.2023.6.1.12>
10. Abedsoltan, H., Abedsoltan, A., & Zoghi, Z. (2024). Future of process safety: Insights, approaches, and potential developments. *Process Safety and Environmental Protection*, 185, 684–707. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.03.034>
11. Adattil, R., Thorvald, P., & Romero, D. (2024). Assessing the Psychosocial Impacts of Industry 4.0 Technologies Adoption in the Operator 4.0: Literature Review & Theoretical Framework. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 15(1), 59–80. <https://doi.org/10.24867/IJIEM-2024-1-348>
12. Chen, T.-C., Zahar, M., Voronkova, O. Y., Khoruzhy, V. I., Morozov, I. V., & Javad Esfahani, M. (2022). Providing a Framework Based on Decision-Making Methods To Assess Safety Risk in Construction Projects. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 13(1), 8–17. <https://doi.org/10.24867/IJIEM-2022-1-297>
13. Perelik zakhodiv ta zasobiv z okhorony pratsi, vytraty na zdiysnennya ta prydbannya yakykh vklyuchayutsya do valovykh vytrat Uryadovyy portal. Yedynyy veb-portal orhaniv vykonavchoyi vlady Ukrayiny [List of measures and means for labor protection, the costs of implementation of which are included in gross costs. Government portal. Official website]. Retrieved from: <https://www.kmu.gov.ua/npas/1316161> [in Ukrainian].