

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

УДК 331.45

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-5-36>

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ДЛЯ СТРАТЕГІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ЗАХОДІВ ІЗ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ

Кружилко Олег Євгенович,

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0000-0001-8624-1515

Чеберячко Сергій Іванович,

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0000-0003-3281-7157

Володченкова Наталія Валеріївна,

кандидат технічних наук, доцент,
декан гірничо-металургійного факультету
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0000-0003-4617-7285

Репін Микола Володимирович,

кандидат технічних наук,
завідувач кафедри безпеки праці та охорони довкілля
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0000-0002-0318-8278

Майстренко Володимир Володимирович,

кандидат технічних наук,
доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0000-0001-9827-0460

У статті розглянуто актуальність та науково-методичні основи побудови математичних моделей прогнозування ризиків у сфері охорони праці на підприємствах промисловості. Відзначено, що традиційні методи контролю та аналізу стану охорони праці ґрунтуються переважно на ретроспективній статистиці, мають обмежену ефективність, водночас підвищення технічної складності виробництва, використання нових матеріалів та технологічних рішень супроводжується зростанням рівнів професійних ризиків і потенційних небезпек.

Обґрунтовано необхідність переходу від реактивного до проактивного управління безпекою праці, що передбачає, зокрема, використання регресійнокореляційного аналізу для формування достовірних прогнозів рівня професійних ризиків із використанням побудованих математичних моделей. Наведено методику розробки математичної моделі прогнозування, яка передбачає послідовне виконання етапів, які охоплюють визначення прогнозованого показника, формування масиву початкових даних, розрахунок коефіцієнтів парної кореляції, побудову множини регресійних моделей, оцінку точності прогнозу та вибір оптимальної моделі. Особливу увагу приділено проблемі достовірності статистичних даних, необхідності їх попередньої обробки, а також використанню наукових підходів у моделюванні складних виробничих процесів. У статті наведено приклад побудови моделі на основі фактичних даних підприємства мета-

лургійної галузі. Наукова новизна роботи полягає у формалізації методики побудови регресійнокореляційних моделей прогнозування, що дозволяє інтегрувати математичні методи у практику стратегічного планування заходів із безпеки праці. Практична значущість отриманих результатів полягає у можливості використання отриманих моделей для підвищення ефективності управління охороною праці, оптимізації розподілу ресурсів, мінімізації професійних ризиків та забезпечення відповідності сучасним міжнародним стандартам, зокрема ISO 45001:2018.

Впровадження регресійно-кореляційних моделей прогнозування сприяє створенню інтегрованої системи ризик-менеджменту на підприємстві, де профілактичні заходи плануються з урахуванням прогнозів і ймовірнісних сценаріїв розвитку виробничих процесів. Це дозволить ефективно розподіляти ресурси, концентруючи фінансування на тих напрямках, які забезпечують максимальний вплив на зниження рівня ризику.

Ключові слова: охорона праці, професійний ризик, прогнозування, регресійнокореляційний аналіз, стратегічне планування, математична модель.

Kruzhilko Oleg, Cheberyachko Serhiy, Volodchenkova Nataliia, Repin Mykola, Maistrenko Volodymyr. Methodology for building a mathematical model for predicting risks in strategic planning of occupational safety measures

The article considers the relevance and scientific and methodological foundations of building mathematical models for predicting risks in the field of labor protection at industrial enterprises. It is noted that traditional methods of monitoring and analyzing the state of labor protection are based mainly on retrospective statistics, have limited effectiveness, while the increase in the technical complexity of production, the use of new materials and technological solutions is accompanied by an increase in the levels of occupational risks and potential hazards.

The need to transition from reactive to proactive occupational safety management is substantiated, which involves, in particular, the use of regression correlation analysis to form reliable forecasts of the level of occupational risks using constructed mathematical models. The methodology for developing a mathematical forecasting model is presented, which involves the sequential implementation of stages that include determining the predicted indicator, forming an array of initial data, calculating pair correlation coefficients, building a set of regression models, assessing the accuracy of the forecast and choosing the optimal model. Particular attention is paid to the problem of the reliability of statistical data, the need for their pre-processing, as well as the use of scientific approaches in modeling complex production processes. The article provides an example of building a model based on actual data from a metallurgical enterprise. The scientific novelty of the work lies in the formalization of the methodology for building regression correlation forecasting models, which allows integrating mathematical methods into the practice of strategic planning of occupational safety measures. The practical significance of the results obtained lies in the possibility of using the obtained models to increase the efficiency of occupational safety management, optimize resource allocation, minimize occupational risks, and ensure compliance with modern international standards, in particular ISO 45001:2018.

The implementation of regression correlation forecasting models contributes to the creation of an integrated risk management system at the enterprise, where preventive measures are planned taking into account forecasts and probabilistic scenarios for the development of production processes. This will allow for the effective allocation of resources, concentrating funding on those areas that provide the maximum impact on reducing the level of risk.

Key words: occupational safety, occupational risk, forecasting, regression correlation analysis, strategic planning, mathematical model.

Вступ. Сучасні умови функціонування промислових підприємств характеризуються високою динамічністю та зростаючою складністю виробничих процесів, що зумовлює підвищення рівня професійних ризиків та потребу у впровадженні ефективних превентивних заходів. Традиційні методи контролю та аналізу стану охорони праці, які ґрунтуються переважно на ретроспективній статистиці, мають обмежену ефективність, оскільки дозволяють реагувати на небезпеки переважно постфактум, після виникнення інцидентів. Водночас підвищення технічної складності виробництва, використання нових матеріалів та технологічних рішень супроводжується зростанням рівнів професійних ризиків і потенційних небезпек.

В умовах інтеграції українських підприємств до європейських стандартів безпеки праці особливого значення набуває перехід від

реактивних методів управління до проактивних підходів, які базуються на прогнозуванні ризиків травматизму та професійної захворюваності. Прогнозні методи дозволяють не лише своєчасно виявляти ймовірні тенденції до зростання впливу небезпек на працівників, але й науково обґрунтовувати необхідність впровадження дієвих профілактичних заходів. Це сприяє підвищенню ефективності розподілу ресурсів, оптимізації фінансування заходів безпеки та зниженню ймовірності виникнення нещасних випадків.

В умовах переходу до проактивного управління охороною праці особливого значення набувають математичні методи прогнозування ризиків, які забезпечують можливість завчасного виявлення тенденцій, ідентифікації потенційно небезпечних факторів та оцінки впливу організаційно-технічних рішень на рівень безпеки [1; 2].

Таким чином, впровадження науково обґрунтованих методів прогнозування в систему управління охороною праці створює передумови для зниження рівня травматизму та професійних захворювань, підвищення економічної ефективності виробництва та формування культури безпеки на підприємствах.

Методи та методики дослідження. Система управління охороною праці на сучасному підприємстві базується на поєднанні оперативного та стратегічного планування заходів із безпеки праці.

Обидва підходи мають спільну мету – мінімізацію професійних ризиків, рівнів травматизму та професійних захворювань, проте істотно відрізняються за методами, горизонтом планування, інструментарієм та роллю в загальній системі управління [3; 4; 5].

Оперативне планування заходів з охорони праці спрямоване на короткострокове забезпечення безпеки у виробничому процесі. Його завданням є своєчасне реагування на виявлені небезпеки та усунення порушень, що загрожують здоров'ю працівників. Горизонт оперативного планування зазвичай не перевищує одного року та часто обмежується кварталом, місяцем або навіть тижнем.

Стратегічне планування зосереджене на довгострокових цілях та перспективних ініціативах у сфері безпеки праці. Його завдання включають формування політики охорони праці, довгострокове планування модернізації обладнання, розроблення програм професійного навчання та оптимізацію інвестицій у превентивні заходи. Горизонт стратегічного планування становить від одного до п'яти років і базується на системному аналізі ризиків і статистики травматизму та професійних захворювань. Ризик-орієнтоване стратегічне планування базується на ISO 45001:2018, математичному моделюванні та прогнозуванні результатів реалізації окремих заходів та програм заходів з охорони праці [6]. Застосування інноваційно-технологічного підходу у стратегічному плануванні орієнтовано на цифрові двійники, прогнозу аналітику критичних процесів та Industry 4.0.

Серед різноманітних інструментів прогнозування важливе місце займає регресійно-кореляційний аналіз, що дозволяє побудувати математичні моделі залежності показників ризику від комплексу факторів різної природи та походження. Моделі, побудовані з використанням регресійно-кореляційного аналізу, забезпечують комплексний підхід до оцінювання та прогнозування безпеки праці, оскільки дозволяють враховувати багатфакторність процесів

(модель може включати десятки змінних, що описують як організаційні, так і технічні аспекти безпеки), забезпечують можливість кількісного прогнозування очікуваних змін рівня небезпеки у разі коригування конкретних управлінських рішень, а також сприяють оптимізації ресурсів (результати аналізу дозволяють сконцентрувати фінансування на тих заходах, які мають найбільший вплив на підвищення безпеки).

Сучасна наукова література підкреслює, що використання методів прогнозування дає змогу підвищити ефективність систем управління охороною праці, скорочуючи ймовірність інцидентів за рахунок своєчасного виявлення критичних тенденцій [4; 5].

Незважаючи на очевидні переваги, практичне застосування регресійно-кореляційного аналізу у сфері охорони праці залишається обмеженим через низку причин:

- недостатність формалізованих методик для системного збору, обробки та підготовки даних;
- відсутність уніфікованих підходів до вибору факторів, що включаються в модель;
- проблеми з якістю статистики: дані про травматизм та профілактичні заходи часто неповні або несистематизовані;
- складність інтерпретації результатів для управлінських рішень без відповідного науково-методичного супроводу.

Прогнозування професійних ризиків є ключовим елементом сучасної системи управління охороною праці, оскільки дозволяє формувати проактивну політику безпеки та оптимізувати планування профілактичних заходів. Наукова база прогнозування ґрунтується на поєднанні статистичних, математичних та експертно-аналітичних методів, які забезпечують кількісну оцінку ймовірності настання небезпечних подій та визначення факторів, що їх зумовлюють.

Математичне прогнозування ризиків ґрунтується на побудові моделей залежності рівня травматизму від ключових технічних, організаційних та соціальних факторів. Найбільш поширеним є регресійно-кореляційний підхід, який дозволяє:

- визначати кількісний внесок кожного фактор ризику у формування загального рівня небезпеки;
- проводити обґрунтування пріоритетності профілактичних заходів;
- моделювати прогнози щодо змін рівнів показників травматизму та професійної захворюваності в результаті вжиття певних заходів з охорони праці;
- оптимізувати витрати на охорону праці через цільовий розподіл ресурсів.

Важливим науковим аспектом є врахування ймовірнісного характеру виникнення небезпечних подій. Використання стохастичних моделей та методів багатовимірної статистики дозволяє враховувати взаємодію кількох факторів одночасно, що є критично важливим для складних виробничих систем. Застосування методу прогнозування зумовлено наявністю інформаційної бази. Існують деякі обмеження на застосування інформації. Так, для застосування багатьох статистичних методів прогнозування необхідною умовою є наявність нормального розподілу величини, інакше застосування узагальнень буде неправомірним. Крім того, існує множина задач прогнозування, які неможливо вирішити суб'єктивними методами, без наявності спеціальних прикладних програм.

На стадії формування інформаційної бази визначаються вид і склад початкової інформації, яка повинна відповідати специфічним вимогам: бути достовірною, точною, охоплювати усі хронологічні точки періоду, який аналізується. Складність побудови математичних моделей прогнозу для сфери охорони праці полягає насамперед у тім, що стан об'єктів управління характеризується значною кількістю чинників, які мають різну фізичну природу. Форма й характер взаємозв'язків між ними відрізняються розмаїтістю, причому зміна окремих зв'язків або параметрів окремих чинників може спричинити зміну зв'язків і параметрів інших чинників. Усякий новий елемент, що додається до початкової множини чинників, може призвести до зміни параметрів і зв'язків багатьох або всіх чинників. Не викликає сумніву той факт, що ефективність планування працезахоронних заходів залежить насамперед від точності отриманого прогнозу.

Механізм формування прогнозів на різних рівнях управління у сфері охорони праці перебуває на стадії становлення. Для успішної реалізації цього завдання необхідно забезпечити дві вимоги: додержання єдиних принципів формування прогнозів на різних рівнях ієрархічної структури управління і дотримання прийнятої у світовій практиці послідовності (етапності) у розробленні прогнозів.

Процес формування прогнозу та використання результатів включає такі етапи:

- формування інформаційної бази прогнозу;
- аналіз об'єкта прогнозування, оцінка достовірності початкових даних;
- аналіз зовнішнього середовища та оцінка його впливу на об'єкт прогнозування;
- визначення прогнозних значень показників, що характеризують об'єкт прогнозування та оцінка точності прогнозу;

– використання результату прогнозування для вирішення поставленої задачі.

Результати. Розроблено методику прогнозування показників професійного ризику. Розглянемо її основні етапи.

Етап 1. Постановка завдання прогнозування. На цьому етапі визначається показник, прогнозне значення якого необхідно розрахувати, встановлюється точність прогнозування, формуються вимоги до масиву початкових даних, визначається період, за який необхідно формувати масив даних, та вказуються способи його формування.

Етап 2. Формування масиву початкових даних. Масив початкових даних повинен мати вигляд таблиці, перший стовпець якої містить значення прогнозованого показника, інші стовпці містять значення чинників. Кожен рядок таблиці відповідає одному інтервалу часу, за який зібрано дані.

Як свідчить практика, виконання будь-яких заходів з охорони праці потребує певного часу, отже, можна стверджувати, що протягом найближчого часу працівники змушені працювати в тих самих умовах, що спостерігались на момент планування заходу. Отже, запропоновано під час формування масиву початкових даних провести зміщення значень прогнозованого показника на один інтервал часу вперед, таким чином буде отримано множину кортежів $(y_2, x_{11}, \dots, x_{1n}), (y_3, x_{21}, \dots, x_{2n}), \dots, (y_{m+1}, x_{m1}, \dots, x_{mn})$. Масив початкових даних для прогнозування ризику представлений в табл. 1.

Таблиця 1

Масив початкових даних для прогнозування показників наглядкової діяльності та травматизму

№ періоду	Показник	Чинники		
	Y	X_1	...	X_n
1	y_1	–	...	–
2	y_2	x_{11}	...	x_{1n}
...	...	...	...	...
m	y_m	$x_{m-1,1}$	...	$x_{m-1,n}$
$m + 1$	y_{m+1}	x_{m1}	...	x_{mn}

Тобто прогнозоване значення показника на наступний період часу (y_{m+1}) не відоме, воно визначатиметься з використанням отриманої математичної моделі та даних за поточний (m -й) період часу.

Отриманий таким чином масив розподіляється на дві частини: перша частина містить рядки з 2-го по k -й, друга частина – рядки з $(k + 1)$ -го по m -й. При цьому значення обирається в межах від 10 до 20 відсотків від

значення m . Для побудови математичних моделей не використовуються перший та останній рядки масиву початкових даних (див. табл. 1), оскільки в першому рядку відсутні значення чинників, а в останньому – значення прогнозованого показника y_{m+1} .

Етап 3. Розрахунок коефіцієнтів парної кореляції між показником та чинниками на основі даних таблиці 1. з використанням рядків з 2-го по k -й. Здійснюється розрахунок коефіцієнтів парної кореляції між показником Y та чинниками X_i , після цього проводиться сортування стовпців таблиці 1 (множини чинників) у порядку убывання значень коефіцієнтів кореляції ($R_{X_1Y} \geq R_{X_2Y} \geq \dots \geq R_{X_nY}$).

Етап 4. Побудова множини математичних моделей, необхідних для розрахунку прогнозного значення показника, виконується методом регресійно-кореляційного аналізу з ітераційним збільшенням кількості членів поліному. У загальному випадку математичний вираз залежності показника від множини чинників, що впливають, має вигляд поліному:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i X_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} X_i X_j + \dots, \quad (1)$$

де Y – показник (вихідна змінна);

X_i, X_j – чинники (вхідні змінні);

a_0, a_i, a_{ij} – постійні коефіцієнти моделі;

n – кількість чинників, що враховуються.

Етап 5. Оцінка точності прогнозування побудованих моделей. Точність прогнозування кожної з множини побудованих моделей (Δ_{π}^i) оцінюється за середнім модулем відхилення фактичного та розрахункового значень модельованого показника (взятого у відсотках).

$$\Delta_{\pi}^i = 100 - \delta_{\pi}^i, \quad (2)$$

де δ_{π}^i – середня помилка прогнозування при використанні i -ї моделі (у відсотках):

$$\delta_{\pi}^i = \frac{1}{m-k} \sum_{j=k+1}^m \left| \frac{y_j - y_j^i}{y_j} \right| \cdot 100 \%, \quad (3)$$

де $y_j, y_j^i, j = 1, \dots, m$ – відповідно фактичне та розрахункове значення показника, яке отримано з використанням i -ї моделі.

Етап 6. Вибір математичної моделі для прогнозування показника. Для розрахунку прогнозного значення показника використовується математична модель, яка має прийнятну точність прогнозування. Для практичного вирішення завдань прогнозування вважаємо, що точність апроксимації є задовільною, якщо виконується умова:

$$\Delta_{\phi} \geq \Delta_{\phi}^r, \quad (4)$$

де Δ_{ϕ}^r – гранична точність прогнозування.

На практиці точність прогнозування вважається задовільною, якщо вона дорівнює або перевищує 90 %, що підтверджується результатами апробації запропонованого алгоритму.

Етап 7. Розрахунок значення прогнозованого показника здійснюється за формулою:

$$y_{m+1}^p = Y^0(x_{m1}, \dots, x_{mn}), \quad (5)$$

де Y^0 – математична модель, що обрана для прогнозування показника; y_{m+1}^p – розрахункове значення показника у $(m+1)$ -му інтервалі.

Етап 8. Оцінка фактичної точності прогнозу Δ_{ϕ} . Оцінка фактичної точності прогнозу Δ_{ϕ} здійснюється після настання інтервалу часу $(m+1)$ за формулою:

$$\Delta_{\phi} = 100 - \delta_{\phi}, \quad (6)$$

де δ_{ϕ} – фактична помилка прогнозування;

y_{m+1}^{ϕ} – фактичне значення показника у $(m+1)$ -му інтервалі.

Фактична помилка прогнозування розраховується за формулою:

$$\delta_{\phi} = \left| \frac{y_{m+1}^{\phi} - y_{m+1}^p}{y_{m+1}^{\phi}} \right| \cdot 100 \%. \quad (7)$$

Етап 9. Видача результату прогнозування та використання його для вирішення поставленої задачі.

Отже, результати прогнозування показників професійного ризику (або травматизму) можуть використовуватися для поглибленого аналізу виробничих, економічних, соціальних, науково-технічних процесів і тенденцій, а також у процесі дослідження об'єктивних зв'язків соціально-економічних явищ господарського розвитку з показниками охорони праці, насамперед травматизму.

У процесі стратегічного планування заходів з охорони праці ефективним є використання регресійно-кореляційного аналізу для побудови математичних моделей впливу факторів на показник професійного ризику. Цей показник розраховано матричним методом, при цьому значенню 1 відповідає максимальний ризик, значенню, близькому до 0, – мінімальний. Отже, ставиться завдання прогнозування оцінки цього показника з метою його мінімізації.

До факторів, що впливають, доцільно віднести як фінансові, так і організаційно-технічні та інноваційні показники. Поєднання кількох факторів дозволяє забезпечити комплексну оцінку стану безпеки та підвищити точність прогнозів. Основними факторами, що доцільно врахувати, є:

- обсяги фінансування заходів з охорони праці (тис. грн) – визначають рівень інвестицій у підтримку та підвищення безпеки;
- відсоток виконання запланованих заходів (%) – відображає ефективність реалізації заходів з охорони праці;
- коефіцієнт оновлення та модернізації обладнання (%) – характеризує частку обладнання, що було замінено або модернізоване протягом періоду спостереження;
- рівень професійної підготовки персоналу (%) – частка працівників, які пройшли навчання та тренінги з охорони праці.

Обравши періодом спостереження квартал, ми зібрали дані на одному з підприємств металургійної промисловості за 12 кварталів, дані подано у табл. 2.

У результаті обробки статистичних даних (див. табл. 2) з використанням регресійно-кореляційного аналізу отримано модель прогнозування:

$$Y = 0,9748 - 0,0001 \cdot X_1 - 0,0031 \cdot X_2 - 0,0011 \cdot X_3 - 0,0047 \cdot X_4. \quad (8)$$

Точність апроксимації побудованої моделі становить 0,96 (достатня для використання моделі). Розрахунок значення прогнозованого показника за формулою (5) становить: $y_{m+1}^p = 0,0347$. Точність прогнозування може бути оцінена в процесі практичного використання запропонованої методики в процесі побудови моделей та дослідження результатів прогнозування.

Висновки. Проведене дослідження підтверджує актуальність впровадження проактивних підходів до управління охороною праці, що ґрунтуються на використанні

регресійнокореляційного аналізу для прогнозування рівня професійних ризиків. В умовах зростання складності та інтенсивності виробничих процесів традиційні методи, засновані на ретроспективному аналізі інцидентів, виявляються недостатньо ефективними. Запропонована методика побудови математичної моделі прогнозування професійних ризиків передбачає комплексну обробку статистичних даних, визначення факторів, що впливають на показник ризику, та побудову регресійних моделей з подальшою оцінкою точності прогнозу. Використання цього підходу забезпечує підвищення точності прогнозування та дозволяє мінімізувати ймовірність виникнення нещасних випадків та професійних захворювань.

Практичне впровадження регресійнокореляційних моделей прогнозування сприяє створенню інтегрованої системи ризикменеджменту на підприємстві, де профілактичні заходи плануються з урахуванням прогнозів і ймовірнісних сценаріїв розвитку виробничих процесів. Це дозволяє більш ефективно розподіляти ресурси, концентруючи фінансування на тих напрямках, які забезпечують максимальний вплив на зниження рівня ризику. Методика має високу гнучкість та може адаптуватися до різних типів виробництва і галузей. Використання математичних моделей та методів багатовимірної статистики дозволяє враховувати взаємодію кількох факторів одночасно, що особливо важливо для складних промислових систем. Реалізація запропонованого підходу сприятиме формуванню на підприємствах сучасної культури безпеки, підвищенню конкурентоспроможності та забезпеченню відповідності вимогам міжнародних стандартів у сфері управління охороною праці.

Таблиця 2

Статистичні дані про рівень ризику та фактори, що впливають

Показник ризику	Обсяг фінансування, тис. грн (X_1)	Виконання заходів, % (X_2)	Оновлення обладнання, % (X_3)	Підготовка персоналу, % (X_4)
0,21	657	71	27	94
0,23	753	76	22	85
0,19	609	79	24	94
0,38	255	72	5	72
0,43	215	70	17	60
0,25	459	82	14	85
0,25	477	90	17	79
0,25	391	94	23	77
0,27	525	70	11	88
0,38	346	70	27	65
0,14	775	94	15	93
0,21	415	95	28	83

ЛІТЕРАТУРА:

1. Удосконалення оцінки професійного ризику на основі експертних методів / Кружилко О. Є., Володченко Н. В., Токар О. О., Майстренко В. В. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2021. № 37(2). С. 3–8. <https://doi.org/10.36804/nndipbop.37-2.2021.3-8>
2. Удосконалення процедури оцінки професійного ризику на промисловому підприємстві / Голінько В. І., Чеберячко Ю. І., Дерюгін О. В., Архирей М. М. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2022. № 38 (1–2). С. 3–14. URL: <https://journal-nndipbop.com/index.php/journal/article/view/53>
3. Принцип побудови бально-модифікованої діаграми Ісікави як сучасного інструментарію аналізу ризиків видобувних та механообробних підприємств / Ченчева О. О., Сукач С. В., Петренко І. С., Караєва Н. Н. *Системи управління, навігації та зв'язку* : збірник наукових праць ПНТУ. 2023. Т. 1 (71). С. 163–166. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.1.163>
4. Scientific Support of Occupational Risk Management Decisions in Industrial Sectors in Case of Uncertainty / Kruzhylo O., Mahmoud A. E. D., Maystrenko V., Volodchenkova N., Polukarov O., Sydorenko V., Pruskyi A., Arlamov O. *International Journal Occupational Safety Health*. 2023. Vol. 13. No 3. P. 223–233. URL: <https://www.nepjol.info/index.php/IJOSH/article/view/48456>
5. Напрями мінімізації причин виникнення професійних ризиків в Україні / Бочковський А. П., Сапожнікова Н. Ю., Пуріч В., Чеботар С. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2025. № 41(1-2). С. 29–38. <https://doi.org/10.36804/nndipbop.41-1-2.2025.29-38>
6. ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. Geneva : ISO, 2018. URL: <https://www.iso.org/standard/63787.html>.

REFERENCES:

1. Kruzhylo, O. Ye., Volodchenkova, N. V., Tokar, O. O., & Maistrenko, V. V. (2021). Udoskonalennia otsinky profesiinoho ryzyku na osnovi ekspertnykh metodiv [Improvement of occupational risk assessment based on expert methods]. *Problemy okhorony pratsi v Ukraini – Problems of Labor Protection in Ukraine*, 37(2), 3–8. <https://doi.org/10.36804/nndipbop.37-2.2021.3-8> [in Ukrainian].
2. Holinko, V. I., Cheberiachko, Yu. I., Deriuhin, O. V., & Arkhirei, M. M. (2022). Udoskonalennia protsedury otsinky profesiinoho ryzyku na promyslovomu pidpriemstvi [Improvement of the occupational risk assessment procedure at an industrial enterprise]. *Problemy okhorony pratsi v Ukraini – Problems of Labor Protection in Ukraine*, 38(1–2), 3–14. <https://journal-nndipbop.com/index.php/journal/article/view/53> [in Ukrainian].
3. Chencheva, O. O., Sukach, S. V., Petrenko, I. S., & Karaieva, N. N. (2023). Pryntsyp pobudovy balno-modyfikovanoi diahramy Isikavy yak suchasnoho instrumentarii analizu ryzykiv vydobuvnykh ta mekhanoobrobnykh pidpriemstv [The principle of constructing a score-modified Ishikawa diagram as a modern tool for risk analysis of mining and machining enterprises]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. Zbirnyk naukovykh prats. PNTU – Control, Navigation and Communication Systems. Collection of Scientific Works. PNTU*, 1(71), 163–166. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.1.163> [in Ukrainian].
4. Kruzhylo, O., Mahmoud, A. E. D., Maystrenko, V., Volodchenkova, N., Polukarov, O., Sydorenko, V., Pruskyi, A., & Arlamov, O. (2023). Scientific support of occupational risk management decisions in industrial sectors in case of uncertainty. *International Journal of Occupational Safety and Health*, 13(3), 223–233. <https://www.nepjol.info/index.php/IJOSH/article/view/48456>
5. Bochkovskyi, A. P., Sapozhnikova, N. Yu., Purich, V., & Chebotar, S. (2025). Napriamy minimizatsii prychyn vynyknennia profesiinykh ryzykiv v Ukraini [Directions for minimizing the causes of occupational risks in Ukraine]. *Problemy okhorony pratsi v Ukraini – Problems of Labor Protection in Ukraine*, 41(1–2), 29–38. <https://doi.org/10.36804/nndipbop.41-1-2.2025.29-38> [in Ukrainian].
6. International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use*. Geneva : ISO. <https://www.iso.org/standard/63787.html>

Стаття надійшла: 18.08.2025

Стаття прийнята: 09.09.2025

Опублікована: 10.11.2025

