



УДК 614.8:005.334:004.9(045)

RISK-BASED APPROACH TO OCCUPATIONAL SAFETY MANAGEMENT UNDER PRODUCTION DIGITALIZATION

РИЗИКООРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ПРАЦІ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА

Portyanko T.M. /Портянко Т. М.

с.т.с. ass. prof./к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-3935-5178

State Technological University of Cherkasy,
Cherkasy, Shevchenko Boulevard, 460, 18000,Черкаський державний технологічний університет,
Черкаси, бульвар Шевченка. 460, 18000

Анотація. У статті розглянуто застосування ризикоорієнтованого підходу до забезпечення безпеки праці в умовах цифрової трансформації виробничих процесів. Обґрунтовано необхідність адаптації системи управління охороною праці до нових викликів, пов'язаних із використанням цифрових виробничих технологій, таких як інтернет речей (IoT), кіберфізичних систем (CPS), штучного інтелекту (AI), доповненої реальності (AR) та великих даних (Big Data). У роботі акцентовано увагу на тому, що традиційні системи охорони праці, орієнтовані переважно на реактивні заходи, вже не відповідають сучасним умовам роботи та не забезпечують достатнього рівня безпеки персоналу в умовах цифровізації.

Проаналізовано ключові ризики, що виникають під впливом цифрових технологій, зокрема пов'язані з автоматизацією процесів, дистанційним управлінням, збоями в роботі програмного забезпечення та інформаційною безпекою. Запропоновано інструменти для ідентифікації й мінімізації таких ризиків, серед яких: аналіз ризиків FMEA та HAZOP, цифрові платформи моніторингу, прогнозна аналітика та віртуальні тренажери для навчання працівників.

Окрему увагу приділено ролі ризикоорієнтованого мислення як ключової компетенції керівників і спеціалістів з охорони праці. Показано, що лише системне поєднання цифрових технологій, сучасних методів аналізу ризиків та високої культури безпеки дозволяє ефективно реалізувати принципи попереджувального управління.

Результати дослідження, що базуються на аналізі практик трьох українських харчових підприємств, демонструють зниження рівня інцидентів, покращення контролю за небезпеками та загальне зростання ефективності функціонування системи безпеки праці. Практичні рекомендації автора можуть бути використані для розробки політик та стратегій цифрової трансформації охорони праці на підприємствах харчової промисловості України.

Ключові слова: безпека праці, ризикоорієнтований підхід, цифрові технології, охорона праці, управління ризиками.

Вступ.

Стрімкий розвиток цифрових технологій створює нові вимоги до систем безпеки праці на підприємствах [5; 6]. Цифрові виробничі технології (Індустрія 4.0) трансформують традиційне уявлення про виробництво [4; 9], що приводить до змін в організації робочих місць, взаємодії людини з машинами та підходах



до управління ризиками. Ризикоорієнтований підхід дозволяє своєчасно ідентифікувати загрози, пов'язані з використанням складних технічних рішень, та реалізовувати ефективні превентивні заходи [2; 7]. Актуальність теми зумовлена необхідністю інтеграції охорони праці в загальну стратегію цифрового розвитку підприємств [1; 14].

Огляд зовнішнього середовища.

У сучасних умовах Україна активно впроваджує цифрові технології у промислове виробництво, що відповідає глобальним трендам Індустрії 4.0 [4; 15]. Державна стратегія цифровізації промисловості передбачає зменшення залежності від ручної праці, зниження аварійності та підвищення ефективності через використання інноваційних технологій [14; 16]. Водночас, охорона праці як складова системи управління підприємством потребує оперативного оновлення у відповідь на цифрові виклики [1; 3]. Попри наявність міжнародних стандартів, нормативно-правова база України лише частково інтегрує підходи, орієнтовані на нові типи ризиків, пов'язані з автоматизованими машинами, роботизованими системами, кіберзагрозами, віртуальними робочими просторами та дистанційною взаємодією [6; 8]. У багатьох випадках підприємства фокусуються лише на видимих фізичних небезпеках і нехтують складними ризиками цифрового середовища. Серед проблем зовнішнього середовища можна відзначити: фрагментарне впровадження сучасних технологій, брак кваліфікованих кадрів у сфері цифрової безпеки, низький рівень культури ризикоорієнтованого мислення на рівні керівництва, слабкий розвиток платформ обміну досвідом між підприємствами. Крім того, спостерігається недооцінка ролі даних та аналітики у системі охорони праці: превентивне моделювання, прогнозування сценаріїв ризику, адаптивне реагування залишаються мало розвиненими практиками. Підприємства, які прагнуть залишатись конкурентоспроможними, змушені шукати баланс між технічними інноваціями та людським фактором, що вимагає нових підходів до управління безпекою.



Вхідні дані та методи.

У дослідженні використано аналіз кейсів трьох харчових підприємств, які впроваджують цифрові інструменти моніторингу та оцінки ризиків у системи управління охороною праці. Об'єкти дослідження належать до різних сегментів галузі - виробництво молочної продукції; органічного та традиційно пшона; дитячого харчування і питної води та характеризуються високими вимогами до санітарної безпеки, роботи з обладнанням високого тиску, гарячими середовищами і хімічними реагентами.

Для оцінювання ефективності ризикоорієнтованого підходу застосовано такі методи:

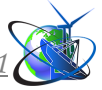
- експертне опитування фахівців з охорони праці та інженерів-технологів,
- аналіз ризиків за методиками HAZOP та FMEA,
- порівняльний аналіз показників безпеки праці (частота інцидентів, кількість зафіксованих порушень, рівень проходження інструктажів) до і після впровадження цифрових рішень.

Дані збиралися впродовж 12 місяців, що дозволило простежити динаміку змін та побудувати якісну картину впливу цифровізації на безпеку праці у харчовій промисловості.

Результати дослідження.

У сучасних умовах цифрова трансформація промислових підприємств в тому числі підприємств харчової галузі, базована на концепціях Industry 4.0, інтернеті речей (IoT), великих даних (Big Data) та штучному інтелекті (AI), суттєво змінює середовище управління безпекою праці.

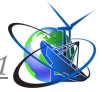
Одним із ключових інструментів цифровізації процесів охорони праці стало використання мобільних додатків (SafetyCulture, FoodDocs, VelocityEHS Mobile) інтегрованих у внутрішню IT-інфраструктуру досліджуваних харчових підприємств. Ці платформи виконували одночасно освітню, інформаційну та комунікаційну функцію, забезпечуючи працівників підприємств актуальними знаннями та зручними механізмами взаємодії з системою управління безпекою. Зокрема, мобільні додатки дозволили:



- Проводити індивідуальне навчання та інструктажі в інтерактивному форматі. Працівники мали доступ до навчальних модулів, тестових завдань, відеоінструкцій та практичних кейсів без відриву від виробничого процесу, у зручний для себе час.
- Оперативно отримувати оновлення регламентів, нормативів, змін до внутрішніх інструкцій з охорони праці. На думку автора, це особливо важливо в умовах частих змін законодавства або модернізації обладнання.
- Фіксувати порушення або потенційно небезпечні ситуації безпосередньо з мобільного пристрою. Інтерфейс додатку дозволяє надсилати повідомлення з фото/відео-доказами до відповідального відділу, що пришвидшує реагування на загрози.
- Отримувати миттєвий зворотний зв'язок: користувачі могли відстежувати статус своїх звернень, отримувати підтвердження про вжиті заходи або додаткові інструкції.
- Аналізувати власну успішність у навчанні, переглядати історію проходження інструктажів та кількість балів у внутрішніх системах рейтингу безпеки.

Таким чином, мобільні додатки не лише оптимізували інформаційні потоки в системі охорони праці, а і дозволили формувати у працівників підприємств стійку мотивацію до безпечної поведінки, сприяти залученості персоналу у процес управління ризиками та забезпечувати прозорість і контроль на всіх рівнях.

Важливим аспектом стало використання на досліджуваних підприємствах технологій Інтернет речей (Internet of Things, IoT), які передбачають підключення фізичних об'єктів (обладнання, датчиків, приладів) до мережі Інтернет з метою автоматичного збору, передачі та аналізу даних у реальному часі. У досліджуваних підприємствах ця концепція реалізовувалась через застосування датчиків температури, вологості, тиску, систем відеоспостереження, пристроїв контролю доступу та інших цифрових рішень. Наприклад:

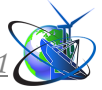


- автоматичний контроль температури та вологості у виробничих і складських зонах,
- системи моніторингу санітарного стану обладнання,
- онлайн-спостереження за станом вентиляції та освітлення,
- виявлення відхилень у режимах роботи обладнання,
- сповіщення про аварійні ситуації або порушення у виробничому середовищі.

Використання IoT дозволило швидко виявляти небезпеки в режимі реального часу та усувати дані небезпеки, зменшувати залежність від людського фактора і, як наслідок, забезпечувати безперервний контроль над критичними параметрами виробництва. А це особливо важливо для дотримання вимог щодо безпеки праці, гігієни та якості продукції на харчових підприємствах, наприклад, системи відеоаналітики з функцією розпізнавання небезпечних ситуацій (відсутність засобів індивідуального захисту, порушення маршрутів переміщення, тощо).

Харчовим підприємствам, для переходу від реактивного до проактивного управління безпекою праці, можливості створення персоналізованих навчальних програм і визначення найбільш проблемних зон та можливості оперативно коригувати політики безпеки, було рекомендовано, в процесі досліджень, використовувати так званий підхід великі дані (Big Data). Під Big Data розуміється сукупність великих обсягів інформації, які надходять з різних джерел (датчики, системи відеоспостереження, звіти про інциденти, лог-файли обладнання, результати перевірок) і потребують спеціальних інструментів для зберігання, обробки та аналізу. У сфері охорони праці на досліджуваних харчових підприємствах, Big Data було рекомендовано використовувати для виявлення закономірностей, прогнозування ризиків та прийняття обґрунтованих рішень на основі аналітики. Перевагами застосування Big Data стало:

- ✓ ідентифікація закономірностей у небезпечних діях працівників,
- ✓ прогнозування інцидентів до їхнього настання на основі даних,
- ✓ аналіз ефективності заходів з охорони праці,



- ✓ побудова інтерактивних дашбордів для візуалізації стану безпеки на об'єктах,
- ✓ сегментація ризиків за категоріями, локаціями та підрозділами.

У сукупності з іншими технологіями Індустрії 4.0, Big Data може бути потужним інструментом для формування цифрово орієнтованої культури безпеки.

Усі три підприємства також зафіксували позитивну динаміку в зниженні кількості скарг з боку працівників та зменшенні часу на реакцію стосовно виявлених інцидентів, що свідчить про підвищення загального рівня проактивної безпеки на виробництві.

Після впровадження ризикоорієнтованого підходу із застосуванням цифрових рішень на трьох харчових підприємствах зафіксовано такі позитивні результати:

- ❖ зменшення кількості інцидентів на 35%, зокрема випадків опіків, порізів та контакту з агресивними мийними засобами;
- ❖ зниження показника частоти травматизму на 28%, що пов'язано з точнішою ідентифікацією небезпек та оперативною реакцією персоналу;
- ❖ покращення виявлення ризиків завдяки використанню автоматизованих систем моніторингу (датчики температури, вологості, руху, відеоаналітика для ідентифікації небезпечної поведінки);
- ❖ підвищення рівня інформованості працівників через мобільні додатки, які дозволяють проходити інструктажі, фіксувати небезпеки в режимі реального часу.

Разом з тим, автоматизація, віддалений контроль процесів, застосування складного програмного забезпечення і цифрових платформ створюють новий тип технологічних та інформаційних ризиків, які мають бути враховані в межах ризикоорієнтованого підходу до системи охорони праці відповідно до вимог ISO 45001:2018, ISO 31000:2018 та ISO/IEC 27001:2022.

Автоматизація підвищує ефективність і зменшує кількість прямих травм, проте формує ризики неконтрольованих технічних дій у разі збою систем



керування. До основних належать: наприклад, несправність датчиків, роботизованих механізмів/систем зворотного зв'язку, що може призвести до фізичних ушкоджень персоналу; хибні алгоритми безпеки (safety logic errors), які викликають передчасне спрацювання або відмову аварійних систем; зниження рівня пильності операторів через надмірну довіру до автоматизованих систем (ефект «automation complacency»).

Дистанційні технології (SCADA, IoT, хмарні інтерфейси, мобільні додатки) створюють потенційні ризики втрати керованості та затримки реакції у критичних ситуаціях: перебої зв'язку, низька пропускна здатність каналів або збій у передачі сигналів можуть спричинити неправильне виконання команд; віддалений оператор має обмежене уявлення про реальний стан об'єкта, що ускладнює оцінку небезпечної ситуації; наявність незахищених каналів зв'язку відкриває можливості для несанкціонованого втручання у систему керування.

Програмне забезпечення, що забезпечує інтеграцію управлінських, технологічних і безпекових процесів (ERP, MES, LIMS, QMS), є критичним елементом цифрової інфраструктури. При цьому можна виділити характерні ризики: системні збої (software crash), що призводять до втрати даних моніторингу безпеки; помилки оновлень або несумісність версій між підсистемами, що може викликати відмову у функціонуванні аварійних бар'єрів; людський фактор при некоректній роботі з цифровими панелями керування, недостатня підготовка персоналу після впровадження нових ІТ-рішень.

Збільшення кількості підключених пристроїв і використання хмарних технологій робить виробництво вразливим до кіберзагроз. Основними ризиками тут можуть бути: кібератаки (ransomware, phishing, DDoS), що блокують виробничі системи або змінюють технологічні параметри; витік конфіденційної або технологічної інформації, що може поставити під загрозу безпеку персоналу; недостатній рівень контролю доступу та відсутність політики багаторівневої аутентифікації (multi-factor authentication).

Цифровізація змінює і саму структуру управління та підходи до відповідальності у сфері охорони праці. В цьому процесі можна виділити такі



основні ризики: невідповідність нормативної бази сучасним цифровим технологіям (відсутність чітких вимог до кібербезпеки виробничих систем); дефіцит компетенцій персоналу у сфері цифрової безпеки; відсутність інтеграції між IT-відділами, службою охорони праці та системою управління якістю (QMS), що ускладнює координацію дій у разі інциденту.

Цифровізація створює не лише інструменти підвищення безпеки, але й новий спектр ризиків, які необхідно системно враховувати в політиці охорони праці. Нова архітектура ризиків у сфері безпеки праці: від традиційних фізичних загроз - до інформаційно-технологічних, системних і управлінських ризиків. Ефективний ризикоорієнтований підхід повинен охоплювати:

- 1) оцінку технічних і кіберризиків,
- 2) постійний моніторинг стану програмного забезпечення і обладнання,
- 3) навчання персоналу цифровій гігієні та цифровій безпечності (cyber safety),
- 4) створення системи інтегрованого управління ризиками (IRM), що об'єднує безпеку праці, IT та якість процесів.

Ризикоорієнтований підхід у цьому контексті стає інтегрованим механізмом, що поєднує технічну, організаційну та інформаційну безпеку, забезпечуючи стійкість виробничих систем до цифрових загроз. Впровадження цифрових інструментів у поєднанні з ризикоорієнтованим мисленням сприяє формуванню системи управління охороною праці, яка не лише відповідає сучасним вимогам, а й здатна динамічно адаптуватися до нових викликів промислового середовища.

Висновки.

Було розглянуто ризикоорієнтований підхід у поєднанні з цифровими інструментами, що є ключовим елементом сучасної системи управління безпекою праці. Його впровадження забезпечує превентивне виявлення загроз, скорочення витрат на наслідки інцидентів та підвищення загальної стійкості виробничої системи. Підприємствам рекомендовано розробити стратегії цифрової трансформації охорони праці з урахуванням ризиків та можливостей.



Отримані результати підтверджують, що інтеграція цифрових технологій в систему управління безпекою праці дозволяє суттєво підвищити її ефективність. Важливим є поєднання технологічних рішень з активною участю персоналу, створення культури безпеки та впровадження безперервного аналізу ризиків. Успішність змін залежить також від рівня цифрової зрілості підприємства, готовності керівництва до трансформацій та наявності навченої команди з охорони праці.

Література:

1. ISO (2018) ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use. Geneva: International Organization for Standardization (ISO).
2. ISO (2018) ISO 31000:2018 Risk management - Guidelines. Geneva: International Organization for Standardization (ISO).
3. ISO/IEC (2022) ISO/IEC 27001:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security management systems - Requirements. Geneva: International Organization for Standardization (ISO).
4. Kagermann, H., Wahlster, W. and Helbig, J. (2013) Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0. National Academy of Science and Engineering (acatech), Germany.
5. International Labour Organization (ILO) (2021) The Impact of Digitalization on Occupational Safety and Health. Geneva: ILO.
6. European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA) (2022) Foresight on New and Emerging Occupational Safety and Health Risks Associated with Digitalisation by 2025. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
7. Goetsch, D.L. (2019) Occupational Safety and Health for Technologists, Engineers, and Managers. 9th ed. London: Pearson Education.
8. Bahn, S., Barratt-Pugh, L. (2022). «Цифровізація та культура безпеки у високоризикових галузях». *Журнал Safety Science*, том 151, стаття № 105720.
9. Rane, S.B., Thakker, S.V. and Kant, R. (2021) «Digitisation of safety



management systems in manufacturing: An Industry 4.0 perspective», Journal of Safety Research, 77, стор.145–158.

10. Food and Agriculture Organization (FAO) (2021) Digitalization and Innovation for Sustainable Food Systems Transformation. Rome: FAO.

11. SafetyCulture (2024) iAuditor Mobile Application for EHS and Food Safety Management. Available at: <https://safetyculture.com> [Accessed 10 Oct. 2025].

12. VelocityEHS (2024) Mobile Solutions for Environmental, Health, Safety and Sustainability Management. Available at: <https://www.ehs.com> [Accessed 10 Oct. 2025].

13. FoodDocs (2024) Digital Food Safety Management Platform. Available at: <https://www.fooddocs.com> [Accessed 10 Oct. 2025].

14. Державна служба України з питань праці (2023) Цифровізація системи охорони праці в Україні: виклики та можливості. Київ: Держпраці України.

15. Мельник, Л.Г. і Гринь, В.О. (2021) Індустрія 4.0: безпечна праця, цифрова економіка та сталий розвиток. Суми: СумДУ.

16. Міністерство економіки України (2023) Національна стратегія цифрової трансформації промисловості України. Київ: Мінекономіки України.

17. Верховна Рада України (2023) Закон України «Про охорону праці» (редакція 2023 року). Київ: Відомості Верховної Ради України.

18. Пархоменко, О. (2024) «Цифрові інновації у сфері охорони праці: сучасні виклики та рішення», Науковий вісник Черкаського державного технологічного університету, 4(68), стор.102–110.

19. Ткаченко, І.В. (2023) «Кібербезпека в промисловості: управління ризиками в умовах цифровізації», Безпека життєдіяльності, 3(95), стор.45–52.

20. Бурлака, М.П. (2022) 'Цифрова трансформація систем охорони праці: ризики та перспективи', Праці НТУУ «КПІ», Серія: Техногенна безпека, 21(1), стор.33–40.

Abstract. The article examines the application of a risk-based approach to ensuring occupational safety in the context of the digital transformation of production processes. The necessity of adapting occupational health and safety management systems to new challenges arising from the use of digital production technologies—such as the Internet of Things (IoT), cyber-physical systems



(CPS), artificial intelligence (AI), augmented reality (AR), and Big Data—is substantiated. The study emphasizes that traditional occupational safety systems, which are primarily focused on reactive measures, no longer meet modern working conditions and fail to provide an adequate level of personnel safety in the era of digitalization.

Key risks arising under the influence of digital technologies are analyzed, particularly those related to process automation, remote control, software malfunctions, and information security. The paper proposes tools for identifying and mitigating such risks, including FMEA and HAZOP risk analyses, digital monitoring platforms, predictive analytics, and virtual simulators for worker training.

Special attention is given to the role of risk-based thinking as a key competency of managers and occupational safety specialists. It is shown that only the systematic integration of digital technologies, advanced risk analysis methods, and a strong safety culture enables effective implementation of preventive management principles.

The research results, based on the analysis of practices at three Ukrainian food industry enterprises, demonstrate a decrease in incident rates, improved hazard control, and an overall increase in the efficiency of occupational safety systems. The author's practical recommendations can be applied in developing policies and strategies for the digital transformation of occupational safety in Ukraine's food industry enterprises.

Keywords: occupational safety, risk-based approach, digital technologies, occupational health and safety, risk management.

Статтю надіслано: 19.10.2025 р.