

# ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ БІОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ

О. В. КЕЦА

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна 58012  
e-mail: [o.ketsa@chnu.edu.ua](mailto:o.ketsa@chnu.edu.ua)

У роботі проведено комплексний аналіз впровадження інноваційних технологій у систему охорони праці в лабораторних дослідженнях біологічних факторів. Основна увага приділена оцінці впливу автоматизації, цифровізації та інтелектуальних систем моніторингу на рівень біобезпеки, ефективність лабораторних процесів та управління професійними ризиками. Метою дослідження було оцінити сучасні інноваційні підходи до організації лабораторних досліджень біологічних факторів та з'ясувати їх роль у забезпеченні охорони праці, підвищенні біобезпеки й ефективності лабораторної діяльності. Для досягнення мети використано методи системного аналізу, узагальнення та порівняльного оцінювання наукових публікацій, нормативно-правових актів і міжнародних стандартів у сфері біобезпеки та охорони праці. Інформаційну базу дослідження сформовано на основі даних наукометричних ресурсів (PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar) та чинних регуляторних документів у сфері лабораторної діяльності. Встановлено, що впровадження інноваційних технологій (роботизації, лабораторних інформаційних систем, сенсорного моніторингу та інструментів штучного інтелекту) дозволяє знизити рівень виробничих ризиків, мінімізувати вплив людського фактора, скоротити витрати та підвищити ефективність управління охороною праці. Водночас визначено ключові бар'єри впровадження інновацій, серед яких фінансові обмеження, недостатній рівень інфраструктури, кадрові проблеми, ризики кібербезпеки та організаційна інерційність. Отже, ефективне впровадження інновацій у систему охорони праці в лабораторних дослідженнях біологічних факторів потребує комплексного підходу, що поєднує технологічні, організаційні та нормативні рішення для забезпечення високого рівня біобезпеки та стійкого розвитку лабораторного середовища.

*Ключові слова:* охорона праці, біобезпека, лабораторні дослідження, інноваційні технології, цифровізація, автоматизація, управління ризиками

**Вступ.** У сучасних умовах розвитку біологічної науки та впровадження новітніх технологій особливої актуальності набуває вдосконалення організації лабораторних досліджень біологічних факторів (Tang et al., 2024). Лабораторії є важливими осередками проведення експериментальних досліджень, діагностичних процедур та контролю якості біологічних об'єктів, проте їх діяльність нерозривно пов'язана з впливом потенційно небезпечних біологічних агентів, хімічних речовин і фізичних чинників виробничого середовища (Farnsworth et al., 2020; Lin et al., 2020).

Сучасний розвиток науки сприяє впровадженню інноваційних підходів до організації лабораторних досліджень, серед яких автоматизація робочих процесів, використання цифрових технологій управління даними, роботизованих систем та інтелектуальних засобів моніторингу (Qasmi et al., 2019). Застосування таких технологій дозволяє підвищити точність

досліджень, скоротити час виконання лабораторних процедур та мінімізувати вплив людського фактора. Водночас інноваційні рішення сприяють підвищенню рівня безпеки праці шляхом зниження контакту персоналу з небезпечними біологічними матеріалами та оптимізації контролю за дотриманням вимог біобезпеки (Alahmdi et al., 2024).

Особливого значення набуває забезпечення охорони праці в умовах роботи з біологічними факторами, оскільки недотримання встановлених вимог може призвести до виникнення професійних захворювань, аварійних ситуацій та поширення біологічних ризиків (Handayani et al., 2020; Gannon et al., 2020). Тому впровадження сучасних організаційних і технічних заходів безпеки є необхідною складовою ефективного функціонування лабораторій.

Незважаючи на значну кількість досліджень у сфері лабораторної діагностики та біобезпеки, питання комплексного поєднання інноваційних підходів до організації лабораторних досліджень

біологічних факторів із сучасними системами охорони праці потребує подальшого вивчення. Це зумовлює необхідність аналізу новітніх технологій та оцінки їх впливу на безпеку персоналу і якість проведення досліджень.

Мета роботи – оцінити сучасні інноваційні підходи до організації лабораторних досліджень біологічних факторів та з'ясувати їх роль у забезпеченні охорони праці, підвищенні біобезпеки й ефективності лабораторної діяльності.

**Матеріали та методи.** У процесі виконання дослідження використано методи системного аналізу, узагальнення та порівняльного оцінювання наукових публікацій, нормативно-правових актів і методичних матеріалів, що регламентують проведення лабораторних досліджень біологічних факторів, а також вимоги щодо біологічної безпеки та охорони праці в лабораторних умовах.

Інформаційну основу дослідження сформовано на базі матеріалів, відібраних у міжнародних наукометричних ресурсах PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect та Google Scholar, а також у національних інформаційних системах наукового та нормативного спрямування. Окремо опрацьовано чинні нормативно-правові документи України, які визначають вимоги до організації лабораторної діяльності, забезпечення безпеки праці та контролю біологічних ризиків.

Пошук джерел здійснювався із застосуванням ключових термінів українською та англійською мовами, серед яких: «біологічні фактори», «лабораторні дослідження», «біобезпека», «охорона праці», «інноваційні технології», «автоматизація лабораторій», «цифрові системи управління», «оцінка ризиків».

До опрацювання включено рецензовані наукові праці, міжнародні керівні документи, галузеві стандарти та рекомендації профільних організацій, що стосуються організації лабораторних процесів, управління біологічними ризиками та забезпечення безпечних умов праці персоналу. Особливу увагу приділено рекомендаціям Всесвітньої організації охорони здоров'я (WHO, 2024), а також міжнародним стандартам, що регламентують управління біоризиками та вимоги до безпеки лабораторій.

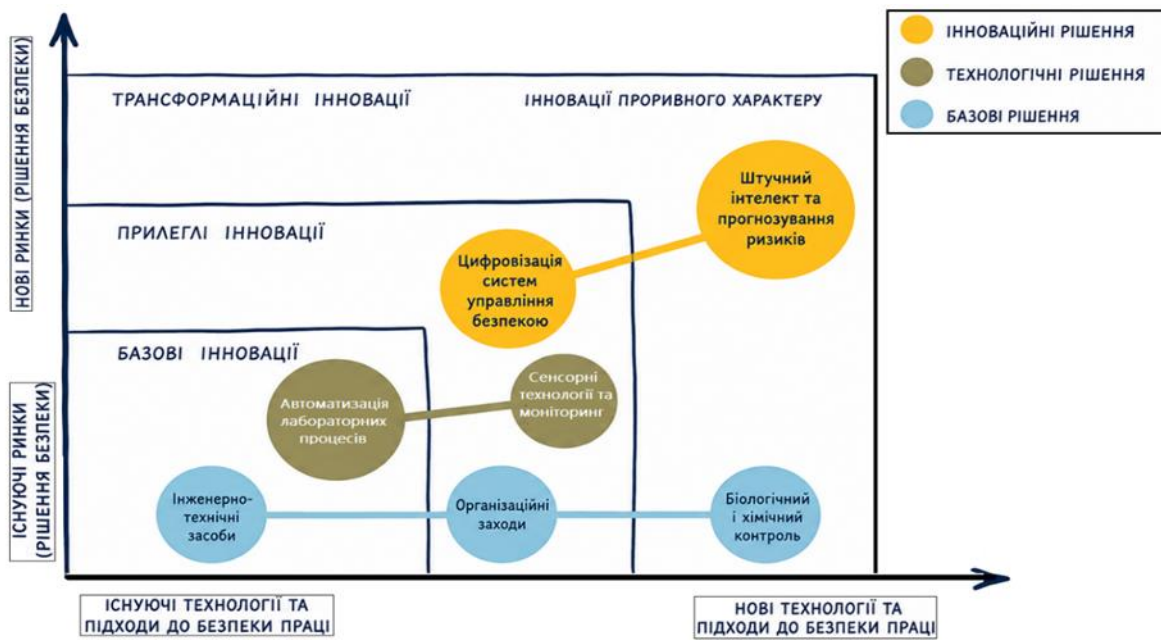
У межах дослідження проаналізовано сучасні технологічні та організаційні рішення,

спрямовані на вдосконалення лабораторної діяльності, зокрема автоматизовані системи виконання досліджень, цифрові платформи обробки даних, роботизовані комплекси та засоби моніторингу виробничого середовища. Зібрані матеріали узагальнено відповідно до їх впливу на ефективність лабораторних процесів та рівень безпеки праці персоналу.

Використані джерела оцінювалися за ознаками наукової актуальності, обґрунтованості та практичної значущості в контексті підвищення ефективності та безпеки організації лабораторних досліджень біологічних факторів.

**Результати та їх обговорення.** *Інновації як чинник забезпечення безпечних умов праці в лабораторіях.* Аналіз сучасних оглядових та емпіричних досліджень свідчить, що інноваційні технології є одним із визначальних чинників трансформації системи охорони праці в лабораторному середовищі. Їх впровадження змінює не лише технічні аспекти виконання лабораторних процедур, але й загальну організаційну модель управління безпекою, забезпечуючи перехід від традиційного реагування на інциденти до проактивного та прогнозного управління ризиками (Hewera et al., 2020). У дослідженнях, присвячених взаємозв'язку ефективності лабораторної діяльності та рівня безпеки праці, наголошується (Munson et al., 2018), що автоматизація, цифровізація та застосування інтелектуальних технологій дозволяють досягати одночасного підвищення продуктивності та зниження рівня професійних і виробничих ризиків.

Сучасна система забезпечення безпеки праці в лабораторіях формується як багаторівнева інтегрована структура, що включає взаємопов'язані компоненти: ідентифікацію та оцінку ризиків, інженерно-технічні засоби захисту, організаційні заходи, біологічний і хімічний контроль, а також формування стійкої культури безпеки серед персоналу (Alderman et al., 2018). Важливо підкреслити, що інноваційні рішення у цій системі виконують не допоміжну, а системоутворюючу функцію, оскільки забезпечують інтеграцію всіх компонентів у єдине цифрово-орієнтоване середовище управління ризиками (рис.1).



**Рис.1. Інноваційні підходи до організації безпечних лабораторних досліджень біологічних факторів**

**Fig. 1. Innovative approaches to the organization of safe laboratory research of biological factors**

Особливу роль відіграє автоматизація лабораторних процесів, яка дозволяє мінімізувати участь людини у виконанні рутинних та потенційно небезпечних операцій. Використання роботизованих платформ, автоматичних аналізаторів та закритих технологічних систем знижує ймовірність прямого контакту персоналу з біологічними агентами, токсичними речовинами та аерозольними забруднювачами (Alderman et al., 2018). Це є критично важливим у лабораторіях, що працюють із патогенними мікроорганізмами або високореакційними хімічними сполуками, де навіть незначне порушення процедур може призвести до значних наслідків для здоров'я працівників.

Окремим напрямом інновацій є цифровізація систем управління охороною праці, що включає впровадження лабораторних інформаційних систем (LIMS), електронних журналів інцидентів, цифрових протоколів безпеки та інтегрованих платформ моніторингу ризиків (Oakley et al., 2025; Craig et al., 2017). Такі рішення забезпечують централізоване управління даними, підвищують їхню достовірність і доступність, а також дозволяють здійснювати оперативний аналіз ситуацій у режимі реального часу. Це, у свою чергу, значно скорочує час реагування на потенційні небезпеки та підвищує ефективність управлінських рішень у сфері охорони праці.

Важливим елементом сучасної лабораторної безпеки є використання сенсорних технологій та

систем безперервного моніторингу виробничого середовища. Такі системи дозволяють контролювати широкий спектр параметрів, включаючи концентрацію хімічних речовин у повітрі, рівень біоаерозолів, температуру, вологість, тиск, а також технічний стан обладнання. Інтеграція цих даних у єдину аналітичну систему забезпечує можливість раннього виявлення відхилень від нормативних значень і формування автоматизованих попереджувальних сигналів (Alahmdi et al., 2024).

Додатково значного розвитку набувають технології штучного інтелекту та машинного навчання, які використовуються для прогнозування ризиків у лабораторному середовищі (рис.1). На основі аналізу великих масивів даних такі системи здатні виявляти приховані закономірності, прогнозувати ймовірність виникнення інцидентів та рекомендувати превентивні заходи. Це дозволяє формувати інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень у сфері охорони праці, що значно підвищує рівень біобезпеки (Кеца, 2025).

Окремо слід відзначити роль інновацій у формуванні нових підходів до підготовки персоналу. Використання віртуальних симуляторів, цифрових тренажерів та інтерактивних навчальних платформ забезпечує можливість відпрацювання дій у змодельованих аварійних ситуаціях без ризику для здоров'я працівників. Це сприяє підвищенню рівня професійної компетентності, формуванню

стійких навичок безпечної поведінки та зменшенню людського фактора як джерела ризику (Na et al., 2019).

Отже, інновації формують комплексну багаторівневу систему забезпечення безпечних умов праці в лабораторіях, у якій технологічні, організаційні та аналітичні рішення взаємодіють між собою. Їх впровадження дозволяє не лише мінімізувати вплив небезпечних виробничих факторів, але й створити умови для системного управління ризиками на основі даних, прогнозування та автоматизованого контролю. У результаті формується сучасна модель лабораторної безпеки, орієнтована на превентивність, цифрову інтеграцію та підвищення стійкості лабораторних систем до ризикових ситуацій.

**Економічна та організаційна ефективність впровадження інновацій в системі охорони праці.** Впровадження інноваційних технологій у лабораторну діяльність має не лише технологічне та безпекове значення, але й суттєвий економічний та організаційний ефект у системі охорони праці. Сучасні дослідження

свідчать, що автоматизація процесів, цифровізація управління ризиками та використання інтелектуальних систем моніторингу дозволяють значно зменшити прямі та непрямі витрати, пов'язані з виробничими інцидентами, професійними захворюваннями та порушеннями вимог безпеки (Поліванцев, 2025).

З економічної точки зору впровадження інновацій у систему охорони праці під час організації лабораторних досліджень біологічних факторів сприяє зниженню витрат на ліквідацію наслідків аварійних ситуацій, компенсаційні виплати працівникам, а також витрат на простої лабораторного обладнання (Неустроєв, 2021). Автоматизовані системи моніторингу та попередження ризиків дозволяють своєчасно ідентифікувати потенційно небезпечні ситуації, що зменшує ймовірність виникнення інцидентів і, відповідно, фінансові втрати організації. Додатково оптимізується використання ресурсів за рахунок підвищення точності лабораторних процесів та зменшення кількості повторних досліджень (табл.1).

*Таблиця 1.*

*Економічна та організаційна ефективність впровадження інновацій у системі охорони праці при проведенні лабораторних досліджень біологічних факторів*

*Table 1.*

*Economic and organizational effectiveness of implementing innovations in the occupational safety system during laboratory research of biological factors*

| Напрямок ефективності             | Прояви впровадження інновацій в охороні праці                             | Результат для лабораторії   |
|-----------------------------------|---|---|
| <b>Економічна ефективність</b>    | Автоматизація лабораторних процесів та використання роботизованих систем. | Зниження витрат на ліквідацію наслідків інцидентів та мінімізація людських помилок. |
|                                   | Впровадження цифрових систем моніторингу біологічних ризиків.             | Своєчасне виявлення небезпечних ситуацій та зменшення фінансових втрат.             |
|                                   | Використання лабораторних інформаційних систем (LIMS).                    | Оптимізація використання реагентів, зменшення дублювання досліджень.                |
|                                   | Автоматизований контроль умов зберігання біоматеріалів.                   | Зниження втрат матеріалів та підвищення точності результатів.                       |
|                                   | Скорочення часу виконання лабораторних процедур.                          | Підвищення продуктивності та ефективності ресурсів.                                 |
| <b>Організаційна ефективність</b> | Цифровізація системи охорони праці та управління ризиками.                | Централізація даних про біологічні ризики та підвищення керованості процесів.       |
|                                   | Електронний облік інцидентів і порушень біобезпеки.                       | Підвищення прозорості та оперативності реагування.                                  |
|                                   | Онлайн-контроль інструктажів з охорони праці.                             | Посилення дисципліни дотримання вимог біобезпеки.                                   |
|                                   | Використання сенсорних систем контролю лабораторного середовища.          | Безперервний моніторинг небезпечних біологічних факторів.                           |
|                                   | Цифрові навчальні платформи та симуляції аварійних ситуацій.              | Підвищення кваліфікації персоналу та культури охорони праці.                        |

Організаційна ефективність інновацій у сфері охорони праці проявляється у вдосконаленні управлінських процесів та підвищенні якості прийняття рішень. Впровадження цифрових платформ управління охороною праці забезпечує централізацію інформації про ризики, інциденти та стан виробничого середовища, що дозволяє керівництву лабораторії оперативно реагувати на зміни та приймати обґрунтовані рішення. Це формує більш прозору та структуровану систему управління безпекою, де кожен рівень персоналу має доступ до актуальної інформації щодо вимог охорони праці (Houghton et al., 2020).

Важливим організаційним ефектом є також оптимізація робочих процесів за рахунок автоматизації рутинних операцій, таких як документування інцидентів, контроль інструктажів з охорони праці, ведення журналів перевірок та моніторинг виконання заходів безпеки. Це дозволяє зменшити адміністративне навантаження на персонал і зосередити ресурси на виконанні основних лабораторних завдань (Кеца, 2025).

Крім того, інновації в системі охорони праці сприяють підвищенню рівня кваліфікації персоналу через впровадження цифрових навчальних платформ, симуляційних тренажерів та інтерактивних інструктажів. Це підвищує загальну культуру безпеки, знижує вплив людського фактора та формує більш відповідальне ставлення до дотримання вимог охорони праці в біохімічних лабораторіях.

Отже, економічна та організаційна ефективність впровадження інновацій у системі охорони праці в лабораторіях під час дослідження біологічних факторів проявляється у зниженні витрат, оптимізації ресурсів, підвищенні оперативності управлінських рішень та формуванні сучасної цифрово-орієнтованої системи безпеки, що забезпечує стабільне та безпечне функціонування лабораторного середовища.

**Бар'єри та обмеження впровадження інноваційних технологій у системі охорони праці при проведенні лабораторних досліджень біологічних факторів.** Попри значний потенціал інноваційних технологій у підвищенні рівня безпеки праці та ефективності лабораторних досліджень біологічних факторів, їх впровадження у систему охорони праці супроводжується низкою суттєвих бар'єрів, які обмежують швидкість та повноту цифрової трансформації лабораторного середовища.

Одним із основних стримувальних чинників є фінансові обмеження. Впровадження автоматизованих систем моніторингу,

роботизованих комплексів, лабораторних інформаційних систем (LIMS) та сенсорних технологій потребує значних капітальних інвестицій. Для багатьох лабораторій, особливо бюджетних установ, це створює проблему поступового або часткового впровадження інновацій, що знижує їх комплексний ефект у системі охорони праці (Duane, 2013).

Важливим бар'єром є недостатній рівень технічної та цифрової інфраструктури. У низці лабораторій зберігається застаріле обладнання, відсутні інтегровані інформаційні системи та є обмежений доступ до високошвидкісних мереж передачі даних. Це ускладнює інтеграцію сучасних цифрових платформ управління охороною праці та знижує ефективність автоматизованого збору й аналізу даних про біологічні ризики (Adefemi, 2023).

Суттєвим обмеженням виступає кадровий фактор. Використання інноваційних технологій у системі охорони праці вимагає наявності персоналу з високим рівнем цифрової грамотності та навичками роботи з аналітичними платформами, системами моніторингу та автоматизованими лабораторними комплексами (Blatter et al., 2023). Недостатня підготовка працівників призводить до неповного використання функціоналу технологій або їх формального впровадження без реального підвищення рівня безпеки.

Окрему групу ризиків становлять питання кібербезпеки та захисту даних. Цифровізація системи охорони праці передбачає обробку великих масивів інформації, включаючи дані про інциденти, стан обладнання та результати моніторингу робочого середовища. Недостатній рівень захисту інформаційних систем створює загрозу витоку даних, несанкціонованого доступу або порушення функціонування лабораторних процесів (Peretti et al., 2022).

Також значним бар'єром є організаційна інерційність та опір змінам. Перехід до цифрових моделей управління охороною праці потребує перебудови усталених процедур, зміни підходів до контролю безпеки та впровадження нових форм звітності. У ряді випадків персонал і керівництво демонструють низьку готовність до таких змін, що уповільнює інтеграцію інновацій.

Додатково слід враховувати нормативно-правові обмеження. Чинна регуляторна база у сфері охорони праці та біобезпеки не завжди повністю адаптована до використання цифрових технологій, що створює складнощі при впровадженні інтелектуальних систем управління ризиками, автоматизованого

контролю та дистанційного моніторингу (Pašalić et al., 2022; Кеца, 2025).

Таким чином, впровадження інноваційних технологій у систему охорони праці в лабораторних дослідженнях біологічних факторів є складним багатофакторним процесом. Його ефективність залежить не лише від рівня технологічного розвитку, але й від фінансових можливостей, кадрового потенціалу, стану інфраструктури, рівня кіберзахисту та організаційної готовності до змін. Подолання зазначених бар'єрів є необхідною умовою для повноцінної реалізації потенціалу інновацій у забезпеченні безпечних умов праці в лабораторному середовищі.

**Висновок.** Інноваційні технології є важливим чинником підвищення безпеки праці в лабораторних дослідженнях біологічних факторів. Їх впровадження сприяє переходу до

### Список літератури:

1. Adefemi, A., Ukroju, E. A., Adekoya, O., Abatan, A., & Adegbite, A. O. (2023). Artificial intelligence in environmental health and public safety: A comprehensive review of USA strategies. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 20(3), 1420–1434. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.20.3.2591>
2. Alahmdi, R. A., Alkawaher, W. H., Bakri, R. E., Aljohani, K. S., Alguhtani, Y. A., Alzahrani, Y. A. A., Alqarni, D. A., Bukhari, S. A., Alharbi, H. M., Alamri, M. M., Gezani, H. O., Fallatah, A. A., Almuteri, M. D. A., Alhaddad, E. I. M., & Alalawi, A. A. M. (2024). Workplace safety and efficiency in laboratories: A comprehensive review. *Journal of Posthumanism*, 4(2), 2228–2250. <https://doi.org/10.63332/joph.v4i2.3751>
3. Alderman, T. S., Carpenter, C. B., & McGirr, R. (2018). Animal research biosafety. *Applied Biosafety*, 23(3), 130–142. <https://doi.org/10.1177/1535676018776971>
4. Blatter, T., Nagabhushana, P., Schär, D., Ackermann, J., Cadamuro, J., Leichtle, A., et al. (2023). Statistical learning and big data applications. *Journal of Laboratory Medicine*, 47(4), 181–186. <https://doi.org/10.1515/labmed-2023-0037>
5. Craig, T., Holland, R., D'Amore, R., Johnson, J. R., McCue, H. V., West, A., Zulkower, V., Tekotte, H., Cai, Y., Swan, D., Davey, R. P., Hertz-Fowler, C., Hall, A., & Caddick, M. (2017). Leaf LIMS: A flexible laboratory information management system with a synthetic biology focus. *ACS Synthetic Biology*, 6(12), 2273–2280. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.7b00212>
6. Duane, E. G. (2013). A practical guide to implementing a BSL-2+ biosafety program in a research laboratory. *Applied Biosafety*, 18(1), 30–36. <https://doi.org/10.1177/153567601301800105>
7. Farnsworth, C., Wallace, M. A., Liu, A. Y., Gronowski, A. M., Burnham, C.-A. D., & Yarbrough, M. L. (2020). Evaluation of the risk of laboratory microbial contamination during routine testing in automated clinical chemistry and microbiology laboratories. *Clinical Chemistry*, 66(9), 1190–1199. <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvaa128>
8. Gannon, V., Albright, T., Wells, T., Cahak, C., Harrington, A., Buchan, B., Ledebor, N., & Kloc, W. (2020). Error reduction in specimen processing of irretrievable body fluids. *American Journal of Clinical Pathology*, 154(Suppl. 1), S130–S131. <https://doi.org/10.1093/ajcp/aqaa161.285>
9. Handayani, R., Sumianto, S., Darmayanti, A. T., Widiyanto, A., & Atmojo, J. T. (2020). Conditions and strategy for anxiety in health workers at pandemic COVID-19. *Jurnal Keperawatan Jiwa*, 8(3), 367–376. <https://doi.org/10.32584/jikj.v3i3.643>
10. Hewera, M., Nickel, A. C., Knipprath, N., Muhammad, S., Fan, X., Steiger, H.-J., Hänggi, D., & Kahlert, Ulf. (2020). An inexpensive and easy-to-implement approach to a quality management system for an academic research lab. *F1000Research*, 9, 24494. <https://doi.org/10.12688/f1000research.24494.2>
11. Houghton, C., Meskell, P., Delaney, H., Smalle, M., Glenton, C., Booth, A., Chan, X. H. S., Devane, D., & Biesty, L. M. (2020). Barriers and facilitators to healthcare workers' adherence with infection prevention and control (IPC) guidelines for respiratory infectious diseases: A rapid qualitative evidence synthesis. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2020(4), CD013582. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013582>
12. Lin, K., Liu, M., Ma, H., Pan, S., Qiao, H.-T., & Gao, H. (2020). Laboratory biosafety emergency

- management for SARS-CoV-2. *Journal of Biosafety and Biosecurity*, 2(2), 99–101. <https://doi.org/10.1016/j.jobb.2020.08.001>
13. Lin, L., Wang, J., Gao, Y., & Wang, X. (2020). Dynamic and integrated risk management for biosafety in laboratories focusing on emerging infectious diseases. *Frontiers in Public Health*, 8, 215.
  14. Munson, E., Bowles, E. J., Dern, R., Beck, E., Podzorski, R. P., Bateman, A. C., Block, T. K., Kropp, J. L., Radke, T., Siebers, K., Simmons, B., Smith, M. A., Spray-Larson, F., & Warshauer, D. M. (2018). Laboratory focus on improving the culture of biosafety: Statewide risk assessment of clinical laboratories that process specimens for microbiologic analysis. *Journal of Clinical Microbiology*, 56(1), e01569-17. <https://doi.org/10.1128/JCM.01569-17>
  15. Na, L., Lingfei, J., & Li, J. S. (2019). Biosafety laboratory risk assessment. *Journal of Biosafety and Biosecurity*, 1(2), 90–92. <https://doi.org/10.1016/j.jobb.2019.01.011>
  16. Oakley, T., Vaz, J., da Silva, F., Allan, R., Almeida, D., Champlin, K., da Silva, E. S., Tilman, A. J., Marr, I., Smith-Vaughan, H., Yan, J., & Francis, J. R. (2025). Implementation of a laboratory information management system (LIMS) for microbiology in Timor-Leste: Challenges, mitigation strategies, and end-user experiences. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 25(1), 32. <https://doi.org/10.1186/s12911-024-02831-6>
  17. Pašalić, A., Šegalo, S., Maestro, D., Bišćević-Tokić, J., Jogunčić, A., Panjeta, M., & Hasanefendić B. (2022). Risk assessment in biomedical laboratories – occupational safety and health aspects. *Journal of Health Sciences*, 12, 231–237. <https://doi.org/10.17532/jhsci.2022.2044>
  18. Peretti, O., Spyridis, Y., Sesis, A., Efstathopoulos, G., & Lagkas, T. (2022). Augmented reality training, command and control framework for first responders. In *2022 7th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM 2022)*.
  19. Qasmi, S. A., & Khan, B. A. (2019). Survey of suspected laboratory-acquired infections and biosafety practices in research, clinical, and veterinary laboratories in Karachi, Pakistan. *Health Security*, 17(5), 372–383. <https://doi.org/10.1089/hs.2019.0057>
  20. Tang, Q., Yan, F., Yuan, L., Tang, Y., Chen, H., Sun, Y., Yang, M., & Song, G. (2024). Enhancing laboratory biosafety management: A comprehensive strategy from theory to practice. *Frontiers in Public Health*, 12, 1439051. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1439051>
  21. World Health Organization. (2024). *Strengthening laboratory biological risk management (WHA77.7)*. World Health Assembly. [https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/WHA77/A77\\_R7-en.pdf](https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA77/A77_R7-en.pdf)
  22. Кеца, О. В. (2025). Біобезпека як складова охорони праці у біохімічних лабораторіях. *Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія (Біологічні системи)*, 17(1), 78–86. <https://doi.org/10.31861/biosystems2025.01.078>
  23. Кеца, О. В. (2025). Інформаційно-цифрові системи управління охороною праці в біохімічних лабораторіях. *Чернівецького університету. Біологія (Біологічні системи)*, 17(3), 342–349. <https://doi.org/10.31861/biosystems2025.03.342>
  24. Неустроев, Ю. Г. (2021). Роль інновацій у забезпеченні економічної безпеки. *Агросвіт*, 7–8, 103–108. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.7-8.103>
  25. Поліванцев, А. С. (2025). Впровадження інноваційних технологій як спосіб ефективності управління підприємством під час економічної кризи. *Економічний простір*, 201, 132–137. <https://doi.org/10.30838/EP.201.132-137>

## References:

1. Adefemi, A., Ukroju, E. A., Adekoya, O., Abatan, A., & Adegbite, A. O. (2023). Artificial intelligence in environmental health and public safety: A comprehensive review of USA strategies. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 20(3), 1420–1434. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.20.3.2591>
2. Alahmdi, R. A., Alkawaher, W. H., Bakri, R. E., Aljohani, K. S., Alguhtani, Y. A., Alzahrani, Y. A. A., Alqarni, D. A., Bukhari, S. A., Alharbi, H. M., Alamri, M. M., Gezani, H. O., Fallatah, A. A., Almuteri, M. D. A., Alhaddad, E. I. M., & Alalaiwi, A. A. M. (2024). Workplace safety and efficiency in laboratories: A comprehensive review. *Journal of Posthumanism*, 4(2), 2228–2250. <https://doi.org/10.63332/joph.v4i2.3751>
3. Alderman, T. S., Carpenter, C. B., & McGirr, R. (2018). Animal research biosafety. *Applied Biosafety*, 23(3), 130–142. <https://doi.org/10.1177/1535676018776971>
4. Blatter, T., Nagabhushana, P., Schär, D., Ackermann, J., Cadamuro, J., Leichtle, A., et al. (2023). Statistical learning and big data applications. *Journal of Laboratory Medicine*, 47(4), 181–186. <https://doi.org/10.1515/labmed-2023-0037>
5. Craig, T., Holland, R., D'Amore, R., Johnson, J. R., McCue, H. V., West, A., Zulkower, V., Tekotte, H., Cai, Y., Swan, D., Davey, R. P., Hertz-Fowler, C., Hall, A., & Caddick, M. (2017). Leaf LIMS: A flexible laboratory information management system with a synthetic biology focus. *ACS Synthetic Biology*, 6(12), 2273–2280. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.7b00212>
6. Duane, E. G. (2013). A practical guide to implementing a BSL-2+ biosafety program in a research laboratory. *Applied Biosafety*, 18(1), 30–36. <https://doi.org/10.1177/153567601301800105>
7. Farnsworth, C., Wallace, M. A., Liu, A. Y., Gronowski, A. M., Burnham, C.-A. D., & Yarbrough,

- M. L. (2020). Evaluation of the risk of laboratory microbial contamination during routine testing in automated clinical chemistry and microbiology laboratories. *Clinical Chemistry*, 66(9), 1190–1199. <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvaa128>
8. Gannon, V., Albright, T., Wells, T., Cahak, C., Harrington, A., Buchan, B., Ledebor, N., & Kloc, W. (2020). Error reduction in specimen processing of irretrievable body fluids. *American Journal of Clinical Pathology*, 154(Suppl. 1), S130–S131. <https://doi.org/10.1093/ajcp/aqaa161.285>
  9. Handayani, R., Suminanto, S., Darmayanti, A. T., Widiyanto, A., & Atmojo, J. T. (2020). Conditions and strategy for anxiety in health workers at pandemic COVID-19. *Jurnal Keperawatan Jiwa*, 8(3), 367–376. <https://doi.org/10.32584/jikj.v3i3.643>
  10. Hewera, M., Nickel, A. C., Knipprath, N., Muhammad, S., Fan, X., Steiger, H.-J., Hänggi, D., & Kahlert, Ulf. (2020). An inexpensive and easy-to-implement approach to a quality management system for an academic research lab. *F1000Research*, 9, 24494. <https://doi.org/10.12688/f1000research.24494.2>
  11. Houghton, C., Meskell, P., Delaney, H., Smalle, M., Glenton, C., Booth, A., Chan, X. H. S., Devane, D., & Biesty, L. M. (2020). Barriers and facilitators to healthcare workers' adherence with infection prevention and control (IPC) guidelines for respiratory infectious diseases: A rapid qualitative evidence synthesis. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2020(4), CD013582. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013582>
  12. Lin, K., Liu, M., Ma, H., Pan, S., Qiao, H.-T., & Gao, H. (2020). Laboratory biosafety emergency management for SARS-CoV-2. *Journal of Biosafety and Biosecurity*, 2(2), 99–101. <https://doi.org/10.1016/j.jobb.2020.08.001>
  13. Lin, L., Wang, J., Gao, Y., & Wang, X. (2020). Dynamic and integrated risk management for biosafety in laboratories focusing on emerging infectious diseases. *Frontiers in Public Health*, 8, 215.
  14. Munson, E., Bowles, E. J., Dern, R., Beck, E., Podzorski, R. P., Bateman, A. C., Block, T. K., Kropp, J. L., Radke, T., Siebers, K., Simmons, B., Smith, M. A., Spray-Larson, F., & Warshauer, D. M. (2018). Laboratory focus on improving the culture of biosafety: Statewide risk assessment of clinical laboratories that process specimens for microbiologic analysis. *Journal of Clinical Microbiology*, 56(1), e01569-17. <https://doi.org/10.1128/JCM.01569-17>
  15. Na, L., Lingfei, J., & Li, J. S. (2019). Biosafety laboratory risk assessment. *Journal of Biosafety and Biosecurity*, 1(2), 90–92. <https://doi.org/10.1016/j.jobb.2019.01.011>
  16. Oakley, T., Vaz, J., da Silva, F., Allan, R., Almeida, D., Champlin, K., da Silva, E. S., Tilman, A. J., Marr, I., Smith-Vaughan, H., Yan, J., & Francis, J. R. (2025). Implementation of a laboratory information management system (LIMS) for microbiology in Timor-Leste: Challenges, mitigation strategies, and end-user experiences. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 25(1), 32. <https://doi.org/10.1186/s12911-024-02831-6>
  17. Pašalić, A., Šegalo, S., Maestro, D., Bišćević-Tokić, J., Jogunčić, A., Panjeta, M., & Hasanefendić B. (2022). Risk assessment in biomedical laboratories – occupational safety and health aspects. *Journal of Health Sciences*, 12, 231–237. <https://doi.org/10.17532/jhsci.2022.2044>
  18. Peretti, O., Spyridis, Y., Sesis, A., Efstathopoulos, G., & Lagkas, T. (2022). Augmented reality training, command and control framework for first responders. In *2022 7th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM 2022)*.
  19. Qasmi, S. A., & Khan, B. A. (2019). Survey of suspected laboratory-acquired infections and biosafety practices in research, clinical, and veterinary laboratories in Karachi, Pakistan. *Health Security*, 17(5), 372–383. <https://doi.org/10.1089/hs.2019.0057>
  20. Tang, Q., Yan, F., Yuan, L., Tang, Y., Chen, H., Sun, Y., Yang, M., & Song, G. (2024). Enhancing laboratory biosafety management: A comprehensive strategy from theory to practice. *Frontiers in Public Health*, 12, 1439051. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1439051>
  21. World Health Organization. (2024). *Strengthening laboratory biological risk management (WHA77.7)*. World Health Assembly. [https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/WHA77/A77\\_R7-en.pdf](https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA77/A77_R7-en.pdf)
  22. Ketsa, O. V. (2025). Biosafety as a component of occupational safety in biochemical laboratories. *Scientific Herald of Chernivtsi University. Biology (Biological Systems)*, 17(1), 78–86. <https://doi.org/10.31861/biosystems2025.01.078>
  23. Ketsa, O. V. (2025). Information and digital occupational safety management systems in biochemical laboratories. *Scientific Herald of Chernivtsi University. Biology (Biological Systems)*, 17(3), 342–349. <https://doi.org/10.31861/biosystems2025.03.342>
  24. Neustroiev, Yu. H. (2021). The role of innovations in ensuring economic security. *Agrosvit*, 7–8, 103–108. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.7-8.103>
  25. Polivantsev, A. S. (2025). Implementation of innovative technologies as a means of improving enterprise management efficiency during economic crisis. *Economic Space*, 201, 132–137. <https://doi.org/10.30838/EP.201.132-137>

# INNOVATIVE APPROACHES TO THE ORGANIZATION OF LABORATORY RESEARCH ON BIOLOGICAL FACTORS AND OCCUPATIONAL SAFETY ASSURANCE

O. V. Ketsa

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University  
2 Kotsyubynskoho Str., Chernivtsi, Ukraine, 58012  
e-mail: [o.ketsa@chnu.edu.ua](mailto:o.ketsa@chnu.edu.ua)

*In this study, a comprehensive analysis of the implementation of innovative technologies in the occupational safety system in laboratory research of biological factors was carried out. Particular attention is paid to assessing the impact of automation, digitalization, and intelligent monitoring systems on the level of biosafety, the efficiency of laboratory processes, and occupational risk management. The aim of the study was to evaluate modern innovative approaches to the organization of laboratory research on biological factors and to determine their role in ensuring occupational safety, improving biosafety, and increasing the efficiency of laboratory activities. To achieve this aim, methods of system analysis, synthesis, and comparative evaluation of scientific publications, regulatory legal acts, and international standards in the field of biosafety and occupational safety were used. The information base of the study was formed on the basis of data from scientometric databases (PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar) and current regulatory documents in the field of laboratory activities.*

*It was established that the implementation of innovative technologies (robotization, laboratory information systems, sensor-based monitoring, and artificial intelligence tools) makes it possible to reduce occupational risks, minimize the human factor, reduce costs, and improve the efficiency of occupational safety management. At the same time, key barriers to the implementation of innovations were identified, including financial constraints, insufficient infrastructure development, personnel-related issues, cybersecurity risks, and organizational inertia.*

*Thus, the effective implementation of innovations in the occupational safety system in laboratory research of biological factors requires a comprehensive approach combining technological, organizational, and regulatory solutions to ensure a high level of biosafety and sustainable development of the laboratory environment.*

*Keywords: occupational safety, biosafety, laboratory research, innovative technologies, digitalization, automation, risk management*

*Отримано редколегією 18.05.2026 р.  
Підписано до друку 15.06.2026 р.  
Дата публікації 30.06.2026 р.*

## ORCID ID

Оксана Кеца: <https://orcid.org/0000-0002-2695-1790>