

УДК 614.876:331.45:502/504

DOI [https://doi.org/10.15589/znpp2026.2\(505\).31](https://doi.org/10.15589/znpp2026.2(505).31)

**МІЖНАРОДНІ СТАНДАРТИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ:
СТАН ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ, ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА
ТА НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ**

**INTERNATIONAL RADIATION SAFETY STANDARDS IN UKRAINE:
STATUS OF IMPLEMENTATION, INTEGRATED ASSESSMENT
AND DIRECTIONS FOR EFFICIENCY IMPROVEMENT**

Ganna G. Trokhymenko

antr@ukr.net

ORCID: 0000-0002-0835-3551

Iryna V. Remeshevska

iryna.remeshevska@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-3040-3922

Nataliya V. Gurets

natalya.gurets@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0001-8859-4891

Olga G. Grushyna

olga.bidnichenko@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-1209-592X

Г. Г. Трохименко,

докт. техн. наук, професор

І. В. Ремешевська,

канд. техн. наук, доцент

Н. В. Гурець,

ст. викладач

О. Г. Грушина,

ст. викладач

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

Abstract. *The aim* is to determine the level of implementation of international radiation safety standards in Ukraine and to substantiate the directions for increasing the effectiveness of their integration into the system of occupational health and environmental safety.

Methodology. The study is based on a systematic approach using methods of comparative and cause-and-effect analysis. Based on international documents (IAEA, ICRP, ISO, EURATOM), the structure of the standards and the mechanisms for their implementation are assessed. A weighted model of the integral integration index (IIS) is proposed, which takes into account the level of automation, technical condition of equipment, dosimetric control, staffing and the analytical component. A sensitivity analysis of the index is conducted.

Results. It was established that the regulatory framework of Ukraine generally meets international requirements, but practical implementation is not effective enough. The level of automation is <50 % (with 80–90 % in the world), equipment wear is 40–60 % (with the standard up to 20 %), and staff shortage is 20–30 %. The IIS value is 0.58–0.60, which corresponds to the average level of integration. Automation has the greatest impact on increasing efficiency ($\Delta IIS \approx +0.025$), other factors have a moderate impact ($\Delta IIS \approx +0.02$).

Scientific novelty. An integral index (IIS) is proposed to quantitatively assess the level of integration of international radiation safety standards and determine the contribution of key factors.

Practical significance. The results can be used to improve public policy, harmonize legislation, implement a risk-based approach, and digitalize radiation monitoring systems.

Key words: control system; occupational health and safety; environmental safety; digitalization of monitoring; implementation efficiency.

Анотація. *Мета* – визначити рівень імплементції міжнародних стандартів радіаційної безпеки в Україні та обґрунтувати напрями підвищення ефективності їх інтеграції у систему охорони праці та екологічної безпеки.

Методика. Дослідження ґрунтується на системному підході з використанням методів порівняльного та причинно-наслідкового аналізу. На основі міжнародних документів (МАГАТЕ, МКРЗ, ISO, ЄВРАТОМ) оцінено структуру стандартів і механізми їх реалізації. Запропоновано вагову модель інтегрального індексу інтеграції (IIS), що враховує рівень автоматизації, технічний стан обладнання, дозиметричний контроль, кадрове забезпечення та аналітичну складову. Проведено аналіз чутливості індексу.

Результати. Встановлено, що нормативна база України загалом відповідає міжнародним вимогам, однак практична реалізація є недостатньо ефективною. Рівень автоматизації становить <50 % (при 80–90 % у світі), знос обладнання – 40–60 % (при нормативному до 20 %), кадровий дефіцит – 20–30 %. Значення ІІС становить 0,58–0,60, що відповідає середньому рівню інтеграції. Найбільший вплив на підвищення ефективності має автоматизація ($\Delta IIS \approx +0,025$), інші фактори – помірний ($\Delta IIS \approx +0,02$).

Наукова новизна. Запропоновано інтегральний індекс (ІІС) для кількісної оцінки рівня інтеграції міжнародних стандартів радіаційної безпеки та визначення внеску ключових факторів.

Практична значимість. Результати можуть бути використані для вдосконалення державної політики, гармонізації законодавства, впровадження ризик-орієнтованого підходу та цифровізації систем радіаційного моніторингу.

Ключові слова: система контролю; охорона праці; екологічна безпека; цифровізація моніторингу; ефективність імплементації.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В сучасних умовах розвитку ядерної енергетики, медицини та промисловості питання забезпечення радіаційної безпеки набуває системного характеру та безпосередньо пов'язане з охороною праці та екологічною безпекою. Міжнародні стандарти у цій сфері формують універсальні підходи до обмеження впливу іонізуючого випромінювання, проте їх практична реалізація в національних системах залишається нерівномірною.

В Україні впровадження таких стандартів здійснюється через нормативно-правову базу (НРБУ-97, ОСПУ) та інституційні механізми контролю. Однак реальний рівень їх імплементації, ефективність механізмів дозиметричного контролю, моніторингу довкілля, підготовки персоналу та управління радіоактивними відходами потребують критичного аналізу.

Особливої актуальності проблема набуває в умовах євроінтеграційних процесів (гармонізація з вимогами ЄВРАТОМ), технічних обмежень систем контролю, кадрового дефіциту та сучасних ризиків, пов'язаних з воєнними загрозами та можливими аварійними ситуаціями.

Таким чином, постає науково-практична задача оцінити роль міжнародних стандартів як інструменту вирішення проблем у сфері радіаційної безпеки, визначити стан їх імплементації в Україні та обґрунтувати напрями підвищення ефективності їх інтеграції.

Метою дослідження є комплексний аналіз міжнародних стандартів радіаційної безпеки як інструменту забезпечення охорони праці та екологічної безпеки, оцінка рівня їх імплементації в Україні та розробка науково обґрунтованих напрямків удосконалення процесу інтеграції даних стандартів з урахуванням сучасних викликів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблематика забезпечення радіаційної безпеки та імплементації міжнародних стандартів досліджується у значній кількості наукових праць, які можна систематизувати за трьома основними напрямками: формування теоретичних засад радіаційного захисту, оцінка ризиків опромінення та аналіз практичних аспектів впровадження стандартів на національному рівні.

У міжнародних дослідженнях домінує ризик-орієнтований підхід до забезпечення радіаційної безпеки, який базується на рекомендаціях Міжнародної комісії з радіаційного захисту (МКРЗ) та Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ). Згідно з цими підходами ефективність системи радіаційного захисту визначається не лише дотриманням дозових лімітів, а й здатністю мінімізувати ймовірність стохастичних ефектів через оптимізацію (ALARA) та систему управління ризиками [4; 6]. У звітах Наукового комітету ООН з дії атомної радіації (НКДАР) наведено данні про зниження середніх рівнів професійного опромінення у світі, що підтверджує ефективність впровадження міжнародних стандартів [13].

Водночас в зарубіжних дослідженнях підкреслюється наявність методологічних розбіжностей у підходах до оцінки ризиків. Зокрема моделі НКРЗ, НКДАР та інших міжнародних організацій базуються на різних припущеннях щодо лінійної безпорогової залежності, що впливає на результати дослідження низькопорогових ефектів [6]. Це свідчить про відсутність повної уніфікації методології навіть на міжнародному рівні.

Українські наукові дослідження переважно зосереджені на аналізі нормативно-правового забезпечення та проблема імплементації міжнародних стандартів. У роботах вітчизняних авторів відзначається фрагментарність законодавства, наявність застарілих норм та недостатній рівень їх практичної реалізації [11; 16; 17]. Важливим напрямком українських досліджень є аналіз реальних ризиків та інцидентів. Зокрема, встановлено, що значна частина порушень пов'язана з недостатнім контролем за обігом джерел іонізуючого випромінювання та організаційними недоліками системи управління [15]. Окремо підкреслюється вплив сучасних викликів, а саме військових ризиків, які суттєво ускладнюють забезпечення радіаційної безпеки [7].

У технічних дослідженнях розглядається питання аварійних режимів роботи та їх впливу на довкілля. Зокрема, показано, що у разі нештатних ситуацій на ядерних установках ризики можуть мати комплексний характер і потребують інтегрованих підходів до оцінки. У роботах, присвячених аварійній готовності

наголошується на важливості координації між органами управління та наявності ефективних систем реагування [3].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Узагальнення результатів наукових досліджень свідчить, що більшість з них має описовий або галузевий характер і не формує цілісної оцінки ефективності системи радіаційної безпеки. Практично відсутні роботи, які пропонують інтегровані кількісні підходи до оцінки рівня імплементації міжнародних стандартів і дозволяють визначити відносний вплив окремих факторів на функціонування системи, що обґрунтовує необхідність застосування інтегральних показників і методів аналізу чутливості для переходу від описового до кількісного аналізу.

Незважаючи на значну кількість наукових праць, відсутній комплексний підхід до аналізу інтеграції стандартів: нормативно-правові, організаційні, технічні та екологічні аспекти здебільшого розглядаються ізольовано, що не дозволяє оцінити систему радіаційної безпеки як цілісний механізм. Недостатня увага приділяється оцінці фактичної ефективності практичних механізмів реалізації стандартів, їх реальна результативність у конкретних умовах функціонування системи радіаційного захисту залишається недостатньо обґрунтованою. Аналогічно, аналіз гармонізації національного законодавства з міжнародними вимогами обмежується формальною відповідністю без оцінки ефективності практичного застосування та інституційного забезпечення.

Крім того, у наукових дослідженнях недостатньо враховується вплив сучасних викликів, зокрема воєнних і аварійних ситуацій, а також обмежено розглядаються сучасні підходи до ризик-орієнтованого управління, цифровізації систем моніторингу та формування культури безпеки. Залишається невирішеною і проблема інтеграції екологічної та виробничої складових радіаційної безпеки, які часто аналізуються окремо. В сукупності це свідчить про необхідність подальших досліджень, спрямованих на формування системного та кількісно обґрунтованого підходу до оцінки інтеграції міжнародних стандартів.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У дослідженні використано комплекс загальнонаукових методів, зокрема системний аналіз і теоретичне узагальнення, що дозволили розкрити сутність, структуру та ключові принципи міжнародних стандартів радіаційної безпеки. На основі аналізу міжнародних нормативних документів і наукових джерел здійснено концептуалізацію стандартів як інструменту регулювання у сфері охорони праці та екологічної безпеки, а також визначено їх функціональне призначення. Ідентифікацію ключових проблем інтеграції проведено на основі методів критичного аналізу та

синтезу, а також шляхом зіставлення нормативних підходів було здійснено оцінювання рівня гармонізації національного законодавства України з міжнародними вимогами.

Використана методологія має комплексний характер і поєднує теоретичні, порівняльні та аналітичні підходи, що забезпечує логічну узгодженість дослідження.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ СТАТТІ

Міжнародні стандарти радіаційної безпеки сформувалися як відповідь на необхідність кількісного контролю ризиків, пов'язаних з впливом іонізуючого випромінювання на людину та довкілля. Їх розвиток базується на результатах досліджень у сфері радіобіології, епідеміології та дозиметрії, що дозволило перейти до системного управління ризиками. У сучасному вигляді ці стандарти являють собою інтегровану систему, яка поєднує нормативні обмеження, принципи оптимізації та практичні механізми контролю.

Ключову роль у формуванні міжнародної системи відіграють МАГАТЕ, МКРЗ, Міжнародна організація праці (МОП) та Міжнародна організація зі стандартизації (ISO). Їх документи формують взаємодоповнювальну структуру: МАГАТЕ визначає наукові принципи, МКРЗ – регуляторні вимоги, МОП – аспекти захисту працівників, а ISO – системи управління.

Фундаментом міжнародної системи три базових принципи: обґрунтування діяльності, оптимізація захисту (ALARA) та нормування доз. Відповідно до рекомендацій МКРЗ, гранична ефективна доза для персоналу становить 20 мЗв на рік (у середньому за п'ятирічний період), а для населення – 1 мЗв на рік. Ці обмеження виконують функцію кількісного критерію прийнятого ризику.

Ефективність застосування стандартів підтверджується узагальненими даними НКДАР. За їх оцінками, середній рівень професійного опромінення становить близько 1–2 мЗв на рік, при цьому понад 95 % працівників не перевищують встановлені ліміти. У довгостроковій динаміці спостерігається зниження середніх доз більш ніж у два рази порівняно з 1970-ми роками, що є непрямым підтвердженням результативності впроваджених заходів [6].

Екологічна складова міжнародних стандартів передбачає обмеження впливу на населення, контроль викидів та системний моніторинг довкілля. Ці вимоги закріплені, зокрема, у базових стандартах безпеки МАГАТЕ, які визначають підходи до управління джерелами випромінювання, радіоактивними відходами та аварійними ситуаціями.

Для систематизації нормативної бази узагальнено ключові міжнародні документи (табл. 1), аналіз яких показує, що система радіаційної безпеки має багаторівневу структуру і охоплює наукові, нормативні та управлінські аспекти. Це забезпечує можливість її

використання як універсального інструменту управління ризиками у сфері охорони праці та екологічної безпеки.

Таким чином, міжнародні стандарти радіаційної безпеки слід розглядати, не як сукупність окремих вимог, а як цілісну систему управління ризиками, що базується на кількісних обмеженнях, принципах оптимізації та інституційних механізмах реалізації. Їх структура може бути використана як методологічна основа для оцінки рівня імплементації на національному рівні та подальшого вдосконалення системи радіаційного захисту.

Імплементація міжнародних стандартів радіаційної безпеки в Україні здійснюється через національну нормативно-правову систему, основу якої становлять Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) та Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки (ОСТУ-2005). Контроль за дотриманням цих вимог здійснює Державна інспекція ядерного регулювання України, яка виконує функції державного нагляду у сфері використання джерел іонізуючого випромінювання.

Аналіз української нормативної бази свідчить про її загальну відповідність міжнародним вимогам, зокрема стандартам МАГАТЕ [3] та рекомендаціям МКРЗ [6]. Це означає, що на формальному рівні в Україні створено правові передумови для

ефективного функціонування системи радіаційної безпеки, проте така відповідність не завжди супроводжується належною практичною реалізацією.

Оцінка фактичного стану імплементації вказує на суттєву неоднорідність залежно від галузі. У секторі атомної енергетики середні індивідуальні дози персоналу знаходяться в межах 2–3 мЗв/рік [12], що загалом відповідає міжнародним орієнтирам, у медичній сфері ці показники є нижчими (0,3–0,5 мЗв/рік) і узгоджується з оцінками НКДАР [13]. Ці дані свідчать, що за показниками опромінення Україна не демонструє критичних відхилень від міжнародних норм, проте не відображають повної картини, оскільки системність моніторингу залишається обмеженою. Відсутність єдиної відкритої бази, фрагментарність збору даних та різний рівень їх достовірності не дозволяє здійснювати комплексну оцінку ефективності системи, що суттєво обмежує можливості управління ризиками на національному рівні.

Результати порівняльного аналізу (табл. 2) підтверджують наявність розриву між нормативною відповідністю та практичною реалізацією стандартів.

Візуалізація результатів (рис. 1) підтверджує зазначені тенденції: при відносно прийнятних показниках рівня опромінення Україна суттєво поступається за рівнем автоматизації та охоплення контролем. Це свідчить про те, що існуюча система радіаційної безпеки функціонує переважно за рахунок дотримання

Таблиця 1. Основні міжнародні стандарти радіаційної безпеки

Організація	Стандарт/документ	Основний зміст	Сфера застосування
Міжнародне агентство з атомної енергії	[3]	Встановлює базові вимоги до радіаційного захисту, дозові ліміти, контроль	Усі галузі
Міжнародна комісія з радіаційного захисту	[6]	Принципи ALARA	Теоретична база
Міжнародна організація праці	[7]	Захист персоналу, умови праці	Охорона праці
Міжнародна організація зі стандартизації	[9]	Система управління охороною праці	Управління
Міжнародна організація зі стандартизації	[10]	Екологічне управління	Довкілля
ЄС(ЄВРАТОМ)	[1]	Гармонізація стандартів	ЄС

Таблиця 2. Порівняльна кількісна оцінка рівня імплементації міжнародних стандартів радіаційної безпеки

Показник	Міжнародний рівень	Україна	Відхилення, %	Джерело / основа оцінки	Інтерпретація
Середня ефективна доза персоналу, мЗв/рік	1–2	обмежені дані	–	[13]	Недостатність системних даних
Персонал АЕС, мЗв/рік	1–3	2–3	0–+30	[13]	В межах норми
Медичний персонал, мЗв/рік	0,3–0,6	0,3–0,5	0––20	[13]	Відповідає
Охоплення дозиметричний контролем, %	≥90	70–80	–10...–22	оцінка за МАГАТЕ практиками	Недостатній рівень контролю
Рівень автоматизації моніторингу, %	80–90	<50	–37...–44	оцінка за МАГАТЕ, аналітичні оцінки	Критичне відставання
Наявність відкритої статистики інцидентів	системна	обмежена	якісна різниця	[5]	Низька прозорість
Частка інцидентів через людський фактор, %	~60	не оцінено	–	[5]	Високий потенційний ризик
Знос обладнання, %	<20	40–60	+100...+200	Експертна оцінка	Критичний технічний ризик

нормативних обмежень, але не забезпечує повною мірою сучасні вимоги до управління ризиками.

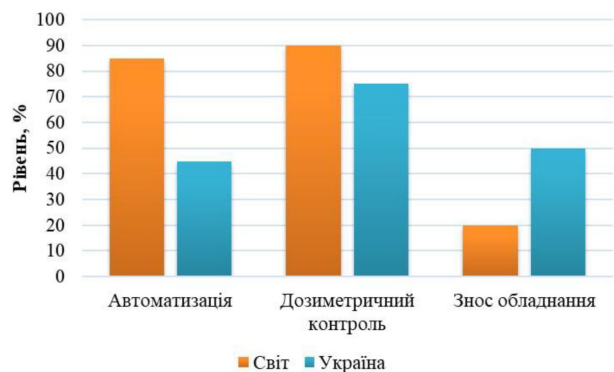


Рис. 1. Порівняльний аналіз ключових показників радіаційної безпеки

Для аналізу проблем інтеграції міжнародних стандартів радіаційної безпеки використано причинно-наслідковий підхід, який дозволяє визначити, як окремі фактори впливають на ефективність функціонування системи та формування інтегрального індексу інтеграції (IIS). Узагальнення матеріалів та даних МАГАТЕ [5], а також результати аналізу стану радіаційної безпеки в Україні дають можливість виділити ключові проблеми, що мають системний характер.

Узагальнення результатів (табл. 3) показує, що найбільший вплив на ефективність інтеграції мають технічні та кадрові фактори, тоді як організаційні проблеми посилюють їх негативний ефект. Важливо, що всі ці фактори взаємопов'язані: недостатня автоматизація підвищує залежність від людського фактору, а відсутність якісних даних ускладнює виявлення та усунення проблем.

З метою поглибленого аналізу процесів інтеграції міжнародних стандартів радіаційної безпеки у дослідженні запропоновано вагову модель інтегрального індексу (IIS), яка враховує неоднаковий вплив окремих факторів на ефективність функціонування

системи. На відміну від підходів, де всі показники вважаються рівнозначними, дана модель передбачає використання вагових коефіцієнтів, що відображають їх реальну значущість.

Інтегральний індекс визначається як зважена сума нормованих показників:

$$IIS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot S_i,$$

де ω_i – вагові коефіцієнти показників (за умови $\sum \omega_i = 1$), S_i – нормовані значення показників у діапазоні від 0 до 1.

До складу моделі входять п'ять ключових компонентів: рівень автоматизації, технічний стан обладнання, охоплення дозиметричним контролем, кадрове забезпечення та рівень аналітичної спроможності. Вагові коефіцієнти визначено експертно з урахуванням їх впливу на функціонування системи, зокрема значної ролі людського фактору у виникненні інцидентів.

Розрахунок індексу для України показав його значення на рівні 0,58–0,60, що відповідає середньому рівню інтеграції міжнародних стандартів. При цьому встановлено, що найбільший внесок у формування індексу забезпечують показники, пов'язані з дозиметричним контролем та кадровим забезпеченням, тоді як аналітична складова має найменший вплив. Це свідчить про недостатній розвиток систем збору та обробки даних та наявність потенціалу для їх вдосконалення. Значний резерв підвищення значення індексу пов'язаний з розвитком автоматизації та цифрових технологій.

Для уточнення ролі окремих факторів проведено аналіз чутливості інтегрального індексу, який дозволяє оцінити, як зміна кожного показника впливає на кінцевий результат. Зміна індексу визначається за залежністю:

$$\Delta IIS_i = \omega_i \cdot \Delta S_i,$$

де ΔIIS_i – зміна інтегрального індексу при зміні i -го фактора, ω_i – вігв відповідного фактора, ΔS_i – зміна його нормованого значення.

Таблиця 3. Причинно-наслідкова модель впливу факторів на ефективність інтеграції міжнародних стандартів радіаційної безпеки

Фактор (причина)	Кількісна оцінка	Механізм впливу	Наслідок системи	Вплив на IIS
Знос обладнання	40–60 %	зниження точності вимірювань та надійності систем	підвищення ризику помилок контролю	технічна складова
Низький рівень автоматизації	< 50 %	затримка обробки даних, відсутність он-лайн моніторингу	зниження оперативності реагування	технічна + аналітична складові
Дефіцит персоналу	20–30 %	перевантаження працівників, зниження якості контролю	зростання ролі людського фактору	кадрова складова
Людський фактор	до 60 % інцидентів	помилки в процедурах, недотримання регламентів	підвищення аварійності	загальна ефективність
Відсутність системних даних	високий рівень	неможливість повноцінного аналізу	неефективні управлінські рішення	аналітична складова
Фрагментарність регулювання	якісна оцінка	неузгодженість норм і процедур	ускладнення імплементації стандартів	організаційна складова

Аналіз виконано шляхом послідовної зміни кожного показника на фіксовану величину (+0,1) за незмінності інших параметрів. Такий підхід дозволяє оцінити відносну чутливість індексу до кожного фактору та визначити їх пріоритетність.

Результати (рис. 2) показують, що найбільш чутливим фактором є рівень автоматизації ($\Delta IIS \approx 0,025$), тоді як технічний стан обладнання, дозиметричний контроль і кадрові забезпечення мають близький за величиною вплив ($\Delta IIS \approx 0,02$). Найменшу чутливість демонструє аналітична складова ($\Delta IIS \approx 0,015$).

Отримані результати свідчать про нерівномірний вплив факторів на ефективність інтеграції міжнародних стандартів. Зокрема, підвищення рівня автоматизації забезпечує найбільший приріст інтегрального показника, що обґрунтовує доцільність пріоритетного розвитку цифрових систем моніторингу. Водночас технічні та кадрові фактори формують базовий рівень функціонування системи, без якого підвищення ефективності є обмеженим.

На основі проведеного аналізу стану імплементації міжнародних стандартів радіаційної безпеки в Україні запропоновано систему науково обґрунтованих напрямів їх інтеграції, яка базується на принципах системного управління радіаційними ризиками та враховує наявні технічні, організаційні та кадрові обмеження.

У межах дослідження встановлено, що інтеграцію міжнародних стандартів доцільно розглядати не як сукупність окремих заходів, а як цілісну систему, яка охоплює нормативно-правову, технічну, організаційну та кадрову складові. Такий підхід дозволяє забезпечити узгодженість управлінських рішень і підвищити загальну ефективність функціонування системи радіаційної безпеки.

Ключовим напрямом є гармонізація національного законодавства з міжнародними вимогами та нормами Європейського Союзу. Незважаючи на формальну відповідність основних нормативних документів

(НРБУ-97, ОСПУ), їх подальше оновлення є необхідним з урахуванням сучасних підходів МАГАТЕ [4] та МКРЗ [6]. Важливим аспектом є також адаптація до положень Директиви 2013/59/ЄВРАТОМ, яка визначає актуальні вимоги до системи радіаційного захисту в країнах ЄС.

Другим важливим напрямом є впровадження ризик-орієнтованого підходу до управління радіаційною безпекою, який полягає у пріоритезації заходів контролю залежно від рівня потенційного ризику. Такий підхід широко застосовується у практиці МАГАТЕ і дозволяє більш раціонально використовувати ресурси. За аналітичними оцінками цієї організації, впровадження ризик-орієнтованих моделей може підвищити ефективність контролю, однак конкретні значення ефекту залежать від умов реалізації та не є універсальними.

Важливу роль у підвищенні ефективності системи відіграє цифровізація радіаційного контролю та моніторингу. Впровадження автоматизованих систем збору та обробки інформації дозволить підвищити точність оцінки радіаційного стану та забезпечити своєчасне реагування на відхилення. Необхідність цифровізації підтверджується рекомендаціями МАГАТЕ щодо розвитку інтегрованих систем моніторингу.

Окремим напрямом треба визначити розвиток кадрового потенціалу та системи професійної підготовки, оскільки дефіцит кваліфікованих фахівців обмежує ефективність реалізації стандартів і підвищує навантаження на персонал. У зв'язку з цим впровадження безперервного навчання та підвищення кваліфікації є необхідною умовою зниження кількості порушень вимог безпеки відповідно до підходів МОП [3]. Водночас суттєве значення має формування культури безпеки як поведінкової основи функціонування системи, адже значна частка інцидентів пов'язана з людським фактором, що обумовлює необхідність системної роботи у цьому напрямі та

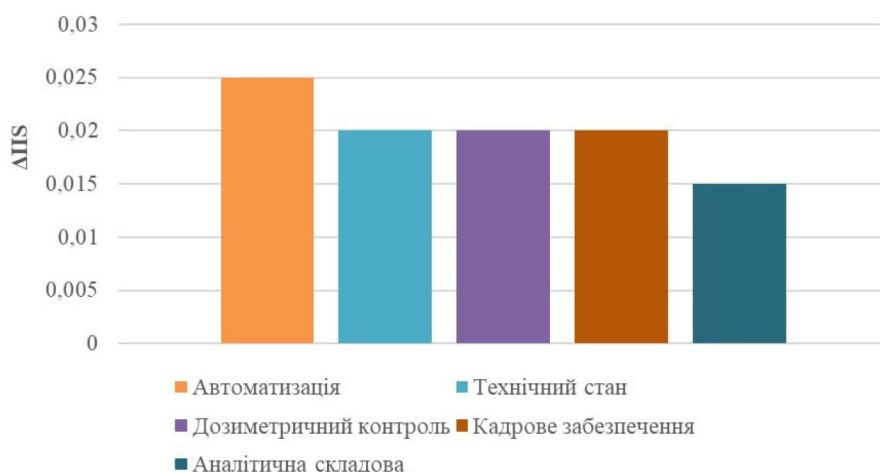


Рис. 2. Чутливість інтегрального індексу інтеграції до змін ключових факторів

дозволить знизити ризик порушень навіть без значних технічних змін.

Завершальним напрямом є інтеграція екологічної та виробничої складових радіаційної безпеки в єдину систему управління, оскільки в сучасних умовах ці аспекти не можуть розглядатися окремо. Використання стандартів ISO [9;10] забезпечує комплексний підхід до управління ризиками та підвищує узгодженість управлінських процесів.

Узагальнення запропонованих напрямів свідчить, що їх реалізація дозволить підвищити ефективність системи радіаційної безпеки за рахунок поєднання нормативних, технічних і організаційних заходів.

За результатами проведеного дослідження побудована структурно-логічна модель інтеграції міжнародних стандартів радіаційної безпеки (рис 3.), яка поєднує ключові проблеми, напрями їх вирішення та очікувані результати. Демонструючи основні заходи, що здійснюють найбільший вплив на зростання інтегрального індексу інтеграції (IIS), запропонована модель відображає причинно-наслідкові зв'язки між факторами та обґрунтовує пріоритети вдосконалення системи.

Міжнародні стандарти радіаційної безпеки відіграють важливу роль у забезпеченні сталого розвитку, оскільки формують цілісний підхід до управління ризиками, який охоплює охорону праці, захист довкілля та економічну стабільність. Їх впровадження сприяє досягненню ключових цілей сталого розвитку, зокрема у сфері забезпечення здоров'я, безпечних умов праці та екологічної безпеки.

У сфері охорони праці міжнародні стандарти встановлюють чіткі обмеження рівнів опромінення персоналу та визначають механізми їх контролю [6], що дозволяє мінімізувати ризики для здоров'я та забезпечити контрольованість виробничих процесів. Екологічний аспект міжнародних стандартів передбачає обмеження впливу іонізуючого випромінювання на населення та довкілля шляхом контролю викидів, моніторингу довкілля та управління радіоактивними відходами. Економічний вимір сталого розвитку проявляється у зменшенні витрат, пов'язаних з наслідками виробничих ризиків та аварій, які, за даними МОП [8], становлять близько 3,9 % світового валового внутрішнього продукту. Впровадження інтегрованих систем управління безпекою, які поєднують екологічні та виробничі аспекти, забезпечують системний підхід до управління ризиками та підвищують ефективність функціонування організацій.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Отримані результати свідчать про значний розрив між формальною відповідністю нормативно-правової бази України міжнародним стандартам та фактичним рівнем їх впровадження. З одного боку, встановлено, що основні показники опромінення персоналу загалом перебувають в межах міжнародних стандартів, що підтверджує базову ефективність регуляторної системи. З іншого боку, обмежений моніторинг системи, фрагментація даних та недостатня прозорість не дозволяють повноцінно оцінити стан радіаційної безпеки, що знижує ефективність управління ризиками.



Рис. 3. Структурно-логічна модель інтеграції міжнародних стандартів радіаційної безпеки урахуванням впливу факторів на інтегральний індекс (IIS).

Примітка. Побудована авторами на основі [1; 4; 6; 7; 13].

Кількісний аналіз з використанням інтегрального індексу (IIS) показав, що рівень інтеграції міжнародних стандартів в Україні відповідає середньому значенню (0,58–0,60), що свідчить про часткове впровадження без досягнення системного ефекту. Результати аналізу чутливості підтверджують нерівномірний вплив факторів: найбільш критичним є рівень автоматизації, тоді як кадрові та технічні фактори формують базову стійкість системи. Це означає, що без розвитку цифрових рішень навіть існуючі ресурси використовуються неефективно.

Запропоновані напрямки вдосконалення логічно впливають із виявлених проблем та мають системний характер. Їхньою особливістю є орієнтація не на окремі заходи, а на узгоджену трансформацію всієї системи управління радіаційною безпекою. Водночас слід враховувати, що наведені оцінки ефективності (зокрема, щодо впливу цифровізації або ризик-орієнтованого підходу) мають узагальнений характер і можуть змінюватися залежно від умов впровадження, що обмежує можливість їх прямого перенесення без адаптації.

ВИСНОВКИ

У результаті дослідження встановлено, що система імплементації міжнародних стандартів радіаційної безпеки в Україні на нормативному рівні загалом відповідає міжнародним вимогам, однак характеризується недостатньою ефективністю практичної реалізації,

що проявляється у розриві між нормативною відповідністю та фактичним функціонуванням системи.

Визначено, що ключовими обмеженнями інтеграції є низький рівень автоматизації (менше 50 % при міжнародному рівні 80–90 %), значна зношеність обладнання (40–60 %), кадровий дефіцит (20–30 %) та недостатній розвиток аналітичної складової, що у сукупності знижує ефективність управління радіаційними ризиками.

У межах дослідження запропоновано вагову модель інтегрального індексу інтеграції (IIS), яка дозволяє кількісно оцінити рівень інтеграції міжнародних стандартів. Встановлено, що значення IIS для України становить близько 0,58–0,60, що відповідає середньому рівню інтеграції.

Результати аналізу чутливості показали, що найбільший вплив на підвищення ефективності системи має розвиток автоматизації та цифрових технологій ($\Delta IIS \approx +0,025$), тоді як інші фактори забезпечують помірний вплив ($\Delta IIS \approx +0,02$).

Обґрунтовано систему напрямів вдосконалення інтеграції міжнародних стандартів, що включає гармонізацію законодавства, впровадження ризик-орієнтованого підходу, цифровізацію, розвиток кадрового потенціалу та формування культури безпеки, реалізація яких забезпечує перехід до системного управління радіаційними ризиками.

REFERENCES

- [1] European Union. (2013). Council Directive 2013/59/EURATOM. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj>
- [2] Health Protection Agency. (2011). Radiation risks from medical X-ray procedures (HPA-CRCE-012). <https://researchportal.ukhsa.gov.uk>
- [3] International Atomic Energy Agency. (2014). Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards (GSR Part 3). IAEA. <https://www.iaea.org/publications/8930>
- [4] International Atomic Energy Agency. (2018). Occupational radiation protection. IAEA. <https://www.iaea.org/publications/11113/occupational-radiation-protection>
- [5] International Atomic Energy Agency. (2022). Incident and Trafficking Database (ITDB): Annual report 2022. <https://www.iaea.org/resources/databases/itdb>
- [6] International Commission on Radiological Protection. (2007). The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP Publication 103). Annals of the ICRP, 37(2–4). <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>
- [7] International Labour Organization. (2014). Radiation protection of workers. ILO. <https://www.ilo.org>
- [8] International Labour Organization. (2023). World employment and social outlook. <https://www.ilo.org/global/research/global-reports/weso>
- [9] International Organization for Standardization. (2015). ISO 14001: Environmental management systems. <https://www.iso.org/iso-14001-environmental-management.html>
- [10] International Organization for Standardization. (2018). ISO 45001: Occupational health and safety management systems. <https://www.iso.org/iso-45001-occupational-health-and-safety.html>
- [11] Kalynenko, L., & Kymakovska, N. (2018). Avariina hotovnist ta reahuvannia u vypadku radiatsiinoi avarii [Emergency preparedness and response in case of a radiation accident]. *Naukovyi visnyk tsyvilnoho zakhystu – Scientific Bulletin of Civil Protection*, 2, 51–58. <https://doi.org/10.33269/nvcz.2018.2.51-58> [in Ukrainian].
- [12] Derzhavna inspektsiia yadernoho rehuliuвання Ukrainy (State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine). Ofitsiina vebstorinka [Official website]. <https://snriu.gov.ua> [in Ukrainian].
- [13] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2021). Sources, effects and risks of ionizing radiation (UNSCEAR 2020/2021 report). United Nations. <https://www.unscear.org>
- [14] Honcharenko, O. Yu., Manzhos, O. O., Yanchuk, M. D., & Naumkin, M. V. (2025). Radiatsiina bezpeka yak skladova natsionalnoi bezpeky Ukrainy: analiz intsydentiv iz dzherelamy ionizuiuchoho vyprominiuvannia (2020–2025 rr.)

- [Radiation safety as a component of Ukraine's national security: analysis of incidents involving sources of ionizing radiation (2020–2025)]. *Natsionalni interesy Ukrainy – National Interests of Ukraine*, 11(16), 123–140. [https://doi.org/10.52058/3041-1793-2025-11\(16\)-123-140](https://doi.org/10.52058/3041-1793-2025-11(16)-123-140) [in Ukrainian].
- [15] Matviichuk, A. O. (2023). Pravove rehuliuвання zabezpechennia yadernoi ta radiatsiinoi bezpeky v Ukraini (u konteksti zarubizhnoho dosvidu) [Legal regulation of ensuring nuclear and radiation safety in Ukraine (in the context of foreign experience)]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu – Scientific Bulletin of Uzhhorod National University*, 76(2), 29–35. <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2022.76.2.4> [in Ukrainian].
- [16] Onysymchuk, T. M., & Tverda, O. Ya. (2017). Otsinka vplyvu rezhymiv roboty AES pry neshtatnykh sytuatsiiakh [Assessment of the impact of NPP operating modes under abnormal situations]. *Visnyk NTUU “KPI” – Bulletin of NTUU “KPI”*, 32, 74–79. <https://doi.org/10.20535/2079-5688.2017.32.89995> [in Ukrainian].
- [17] Shulha, M. V. (2024). Pravove rehuliuвання yadernoi ta radiatsiinoi bezpeky pry ekspluatatsii AES [Legal regulation of nuclear and radiation safety in the operation of nuclear power plants]. *Analitichno-porivnialne pravoznavstvo – Analytical and Comparative Jurisprudence*, 2, 377–382. <https://doi.org/10.24144/2788-6018.2024.02.64> [in Ukrainian].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] European Union. (2013). Council Directive 2013/59/EURATOM. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj>
- [2] Health Protection Agency. (2011). Radiation risks from medical X-ray procedures (HPA-CRCE-012). <https://researchportal.ukhsa.gov.uk>
- [3] International Atomic Energy Agency. (2014). Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards (GSR Part 3). IAEA. <https://www.iaea.org/publications/8930>
- [4] International Atomic Energy Agency. (2018). Occupational radiation protection. IAEA. <https://www.iaea.org/publications/11113/occupational-radiation-protection>
- [5] International Atomic Energy Agency. (2022). Incident and Trafficking Database (ITDB): Annual report 2022. <https://www.iaea.org/resources/databases/itdb>
- [6] International Commission on Radiological Protection. (2007). The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP Publication 103). *Annals of the ICRP*, 37(2–4). <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>
- [7] International Labour Organization. (2014). Radiation protection of workers. ILO. <https://www.ilo.org>
- [8] International Labour Organization. (2023). World employment and social outlook. <https://www.ilo.org/global/research/global-reports/weso>
- [9] International Organization for Standardization. (2015). ISO 14001: Environmental management systems. <https://www.iso.org/iso-14001-environmental-management.html>
- [10] International Organization for Standardization. (2018). ISO 45001: Occupational health and safety management systems. <https://www.iso.org/iso-45001-occupational-health-and-safety.html>
- [11] Калинин, Л., & Кимаковська, Н. (2018). Аварійна готовність та реагування у випадку радіаційної аварії. *Науковий вісник цивільного захисту*, 2, 51–58. <https://doi.org/10.33269/nvcz.2018.2.51-58>
- [12] Державна інспекція ядерного регулювання України. Офіційна вебсторінка. <https://snriu.gov.ua>
- [13] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2021). Sources, effects and risks of ionizing radiation (UNSCEAR 2020/2021 report). United Nations. <https://www.unscear.org>
- [14] Гончаренко, О. Ю., Манжос, О. О., Янчук, М. Д., & Наумкін, М. В. (2025). Радіаційна безпека як складова національної безпеки України: аналіз інцидентів із джерелами іонізуючого випромінювання (2020–2025 рр.). *Національні інтереси України*, 11(16), 123–140. [https://doi.org/10.52058/3041-1793-2025-11\(16\)-123-140](https://doi.org/10.52058/3041-1793-2025-11(16)-123-140)
- [15] Матвійчук, А. О. (2023). Правове регулювання забезпечення ядерної та радіаційної безпеки в Україні (у контексті зарубіжного досвіду). *Науковий вісник Ужгородського національного університету*, 76(2), 29–35. <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2022.76.2.4>
- [16] Онисимчук, Т. М., & Тверда, О. Я. (2017). Оцінка впливу режимів роботи АЕС при нештатних ситуаціях. *Вісник НТУУ “КПІ”*, 32, 74–79. <https://doi.org/10.20535/2079-5688.2017.32.89995>
- [17] Шульга, М. В. (2024). Правове регулювання ядерної та радіаційної безпеки при експлуатації АЕС. *Аналітично-порівняльне правознавство*, 2, 377–382. <https://doi.org/10.24144/2788-6018.2024.02.64>

© Трохименко Г. Г., Ремешевська І. В., Гурець Н. В., Грушина О. Г.

Дата першого надходження статті до видання: 27.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)