

УДК 531

О. М. Бражій, Є. П. Швалюк, В. П. Квасніков, д.т.н.

ДНП Державний університет «Київський авіаційний інститут», м. Київ

## МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

*В статті розглянуто сучасні методи вимірювання іонізуючого випромінювання із застосуванням комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем та поєднання засобів вимірювання у системи з використанням програмно-апаратних комплексів на базі різнотипних комп'ютерів.*

*Вимірювання іонізуючого випромінювання базується на детекторах, які перетворюють випромінювання в електричний сигнал.*

*Розрізняють детектори за принципом перетворення енергії випромінювання – газорозрядні, сцинтиляційні та напівпровідникові, на базі детекторів будують блоки детектування для отримання відповідного електричного сигналу.*

*У сучасних умовах зростання вимог до радіаційної безпеки, екологічного моніторингу, промислових та медичних застосувань джерел іонізуючого випромінювання необхідною умовою є створення комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем.*

**Ключові слова:** блок детектування, методи вимірювання іонізуючого випромінювання, вимірювальна система радіаційного контролю, моніторинг радіаційного стану, інформаційна система моніторингу іонізуючого випромінювання.

О. М. Brazhiy, Ye. P. Shvalyuk, V. P. Kvasnikov, Dsc

## METHODS OF MEASURING IONIZING RADIATION USING COMPUTERIZED INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEMS

*The article considers modern methods for measuring ionizing radiation with using computerized information and measuring systems and integration measuring instruments into unified systems through the use of hardware–software complexes based on various types of computers. As an example, monitoring systems operating at all Ukrainian nuclear power plants, in the Chernobyl Exclusion Zone, and at other facilities are analysed. The proposed methods also improve the accuracy and reliability of the obtained data, enable real-time analysis of changes, and allow forecasting of event development. Development prototype of radiation detector with using element of computerized information and measuring systems, which test in real environmental conditions.*

*The measurement of ionizing radiation is based on detectors that convert radiation into an electrical signal, which is used either to determine quantitative values (event registration) or to characterize the registered radiation in terms of its energy. Detectors are classified according to the principle of radiation energy conversion into gas-filled detectors (ionization chambers, Geiger–Müller counters), scintillation detectors (organic, inorganic, and liquid), and semiconductor detectors (spectrometric and diode-type). Based on these detectors, detection units are constructed to obtain the corresponding electrical signal; such units may function as independent system elements or as components of measuring instruments, which in turn can serve as measurement channels of an information system.*

*Under modern conditions characterized by increasing requirements for radiation safety and environmental monitoring, the use of ionizing radiation sources in industry and medicine, the development of signal-processing electronics, the need for automated data acquisition and visualization, and the reduction of human-factor influence, the creation of computerized information and measurement systems has become a necessary requirement for manufacturers. To a significant extent, the demand for such methods in the formation of information measurement systems has also been driven by contemporary threats of accidents at nuclear facilities and the risks of radiation contamination spread.*

**Keywords:** detection unit, ionizing radiation measurement methods, radiation monitoring measurement system, monitoring radiation situation, information system for ionizing radiation monitoring.

DOI 10.32684/2412-5288-2025-2-27-58-62

**Вступ.** Детектування іонізуючого випромінювання (ІВ) – хвилі чи частинки – є виявленням невидимого та нечутливого шкідливого для живого середовища впливу за допомогою первинних перетворювачів фізичних величин – детекторів. Подальша обробка електричного сигналу, формування номінованих значень фізичних величин проводиться схемотехнічними рішеннями ядерної електроніки, яка з різною точністю та швидкістю надає інформацію при виміряні значення персоналу, оператору обладнання, в базу даних чи на в інформаційно-вимірювальні системи. Вимірювання ІВ при сьогодиншньому розвитку атомної енергетики, масового застосування джерел ІВ в промисловості, медицині, наукових дослідженнях, формуванням радіаційних відходів на всіх етапах поводження з джерелами ІВ визначає умови для формування особливих вимог до безвідмовності, точності, швидкодії, обробку великих масивів даних, збір та передача даних розгалужених та розпорошених вимірювальних систем. Комп'ютеризація таких інформаційно-вимірювальних систем надає переваги в автоматизації процесів збору, збереження, обробки, аналізу, прогнозування тощо великого масиву даних радіаційних вимірювань без обмеження в об'ємах, типах передачі даних, місця розташування об'єктів вимірювання.

Виробництво різномісних вимірювальних пристроїв і різними виробниками призводять до зниження надійності комбінованих систем. Автори безпосередньо зафіксували, що система радіаційного контролю Чорнобильської зони відчуження перестала функціонувати з 25 лютого 2022 року після виведення з ладу центрального приймача системи, при цьому самі прилади з вимірювання іонізуючого випромінювання працювали. Подібна ситуація з моніторингом навколо Запорізької АЕС. Це підводить до переосмислення методів вимірювання ІВ при побудові важливих систем.

**Аналіз досягнень і публікацій.** Основи та принципи роботи детекторів ІВ показано в [1, 2], приділено увагу методам та методикам вимірювання різного типу ІВ. Правила побудови інформаційно-вимірювальних систем, їх елементи та взаємозв'язки між ними розглянуто в [3, 4], де в [4] також враховуються метрологічні характеристики систем. Показано варіанти різного типу комп'ютеризованих систем для детектування ІВ в [2, 5], передумовою для побудови таких систем є законодавча база України [6], рекомендації МАГАТЕ [7].

В роботах [8–10] автори пропонують рішення для побудови комп'ютеризованих інформа-

ційно-вимірювальних систем (КІВС) для вимірювання ІВ.

**Метою роботи** є аналіз актуальних методів вимірювання ІВ з використанням КІВС та практичне застосування такого обладнання в умовах терористичних ризиків та блекаутів.

**Основна частина.** Масове виробництво пристроїв для вимірювання ІВ почалось в середині 20-го століття після випробовувань атомної зброї та активного розвитку атомної індустрії. Першими поширеними приладами стали детектори на основі лічильників Гейгера-Мюллера: їх відносна простота і універсальність в якості первинного перетворювача для реєстрації іонізуючих частинок дали можливість створювати недорогі та достатньо точні [11] блоки детектування ІВ різного виду, а саме гамма-випромінювання, бета- та альфа-частинки, нейтрони. Класифікація детекторів для ІВ розглянута в [2], та показана на рис. 1.

Розвиток електроніки на межі 20-го та 21-го століть вплинув на приладобудування в сфері ядерної електроніки, вимірювальні прилади стали фізично та функціонально завершеним засобом вимірювальної техніки (ЗВТ), здатним працювати автономно та передавати дані на великі відстані чи в глобальну мережу інтернет. Прикладом таких ЗВТ є дозиметр GammaTRACER (та його модифікації Spider, SpectroTRACER, Aqua TRACER) розроблені компанією Genitron (сьогодні група компаній Bertin); MIRA від Envinet; Static Node від Kromek; в [6] показано створення вимірювального комплексу на базі порталних радіаційних моніторів з використанням комп'ютеризованого інформаційно-вимірювального комплексу та подальший розвиток системи моніторингу. Ці та подібні їм пристрої мають типову структуру (див. рис. 2).

Як видно зі схеми на рис. 2 сучасні ЗВТ мають вбудований процесор для обробки даних вимірювання, збереження та формування пакетів даних для передачі до приймального центру.

Така структура має як переваги, так і недоліки: завершений функціонально пристрій не передбачає всіх умов та постійної зміни вимог та регламентів вимірювань, що має важливе значення для систем, важливих для безпеки.

Подальший розвиток телекомунікаційних технологій та підвищення частоти процесорів для обробки даних [10, 11] на порядки збільшили приріст пропускної здатності інформаційних каналів за рахунок зменшення часу передачі даних [2]:

$$C = (I/T)_{\max} = I_{\max}/T \text{ [bit/c]}, \quad (1)$$

де  $C$  – пропускна здатність;  $I$  – інформація;  $T$  – час.

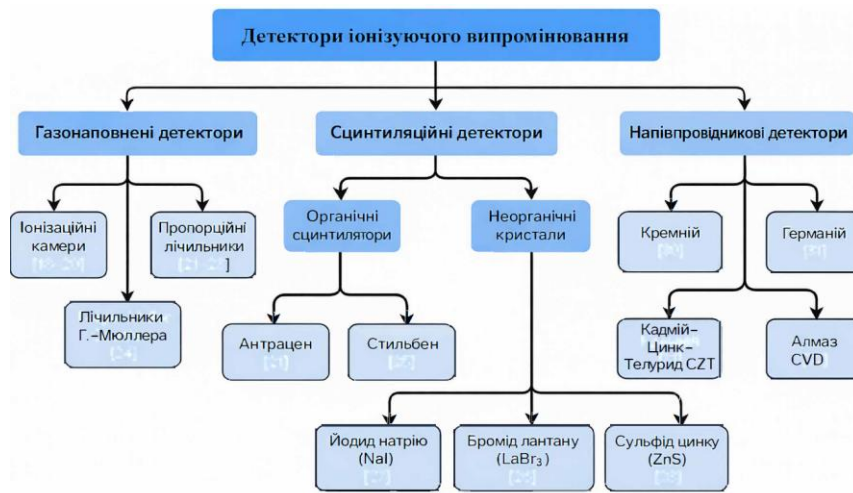


Рисунок 1 – Класифікація детекторів, які використовуються для вимірювання ІВ

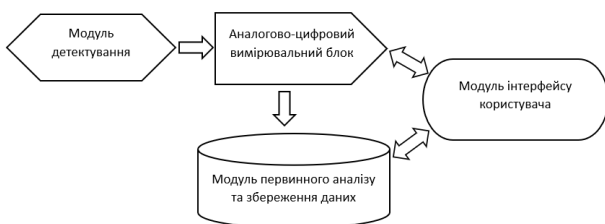


Рисунок 2 – Структурна схема типового елемента вимірювання ІВ

Це створило передумови обробки та аналізу даних безпосередньо в місці контролю та за алгоритмами, які можуть задаватися віддалено і змінюватися в реальному часі. Такі можливості доповнено використанням адаптованого та гнучкого програмного забезпечення, комп'ютеризованого елемента вимірювального засобу та системи. Таким чином, структура ЗВТ, вказана на рис. 2, логічно доповнюється інформаційно-вимірювальною системою на базі персонального комп'ютера, телефону, планшета, міні-ПК на базі Raspberry чи Arduino тощо (див. рис. 3).

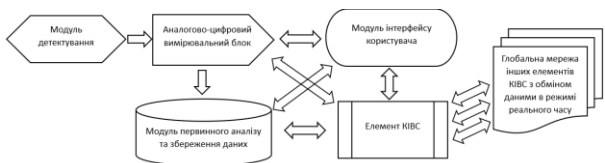


Рисунок 3 – Структурна схема елемента вимірювання ІВ при застосуванні КІВС

На прикладі детектора Radiacode (ілюстрації з сайту виробника radiacode.com на рис. 4) можемо розглянути найпростіше застосування КІВС «детектор – телефон» чи «детектор – комп'ютер» для вимірювання ІВ. Детектор є повноцінним завершеним вимірювальним пристроєм, зі своїм програмним забезпеченням розрахунку та відображення швидкості відліків, потуж-

ності дози, накопиченої дози, спектру. З використанням КІВС на базі телефону чи комп'ютера з програмним забезпеченням для отримання даних, глибшої та ширшої обробки, зберігання та аналізу інформації робить детектор придатним для іншої задачі з вимірювань, використовуючи всі можливості потужних електронно-обчислювальних комплексів в реальному режимі часу: ідентифікації нуклідів, реагування на зміни в радіаційній обстановці, історичні зміни параметрів ІВ в даному місці з використанням глобальної системи позиціонування, одночасну віддалену роботу різних експертів тощо.

Використовуючи вище наведені умови та приклади було розроблено свій елемент КІВС для дозиметра Spider. Spider – аварійний дозиметр з автономним живленням для передачі даних через супутниковий канал і використовує тільки попередньо встановлені режими роботи. Для роботи з КІВС в Spider використали інфрачервоний порт (ІЧ-порт), призначений для сервісних налаштувань та зчитування даних при відсутності зв'язку з супутником.



Рисунок 4 – Зображення детектора Radiacode з вікном програмного забезпечення на телефоні та на комп'ютері

Структуру Spider-КІВС зображено на рис. 5.

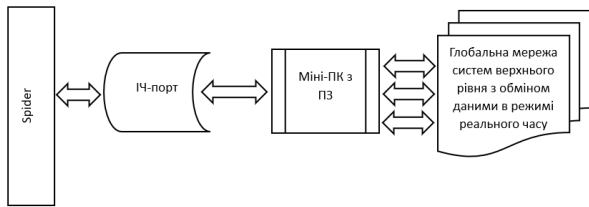


Рисунок 5 – Структура вимірювального пристрою Spider із застосуванням КІВС

Використовуючи КІВС на базі міні-комп'ютера зі спеціалізованим програмним забезпеченням (ПЗ) (на схемі рис. 5 «Міні-ПК з ПЗ») отримали такі результати:

- дані з дозиметра можливо отримувати в будь-який час;
- інтервали автоматичного зчитування можна змінювати віддалено з будь-яким інтервалом;
- ПЗ КІВС можна змінювати (оновлювати) без впливу на метрологічні характеристики дозиметра;
- результати вимірювання направляються в декілька віддалених центрів;
- модернізація з впровадженням КІВС не змінила структуру, ПЗ чи електроніку Spider.

Така схема застосування КІВС із ЗВТ не впливає на метрологічні характеристики елементів системи та системи загалом, так як точність комп'ютеризованої вимірювальної системи складається з точності ЗВТ і каналів передачі і обробки даних, а для запропонованої структури цифрові канали передачі інформації та програмне забезпечення відображення даних не змінюють і не конвертують дані; похибки, неточності виключені, можливий лише пропуск даних при відсутності зв'язку чи повторення даних у випадку, коли вимірювальний процес зупинено.

Наступним етапом розвитку КІВС на базі дозиметра Spider передбачено побудова розгалуженої просторової мережі з використанням більше 50 точок вимірювання. Завданням експерименту буде дослідження роботи системи з багатьма елементами КІВС, великим масивом даних та дослідження роботи методу для підвищенні точності вимірювань ієрархічної системи.

#### Висновки.

Вимірювання іонізуючого випромінювання з використанням КІВС надає переваги над методами вимірювання без КІВС при обробці, збереженню, аналізу, передачі даних; отриманню додаткових даних, недоступних для вимірювального пристрою, підвищенню надійності та достовірності при вимірюваннях іонізуючого випромінювання. Було створено КІВС для модернізації

дозиметра Spider з передачею даних на сервер в Україні та за її межі (фотографія прототипу показана на рис. 6).

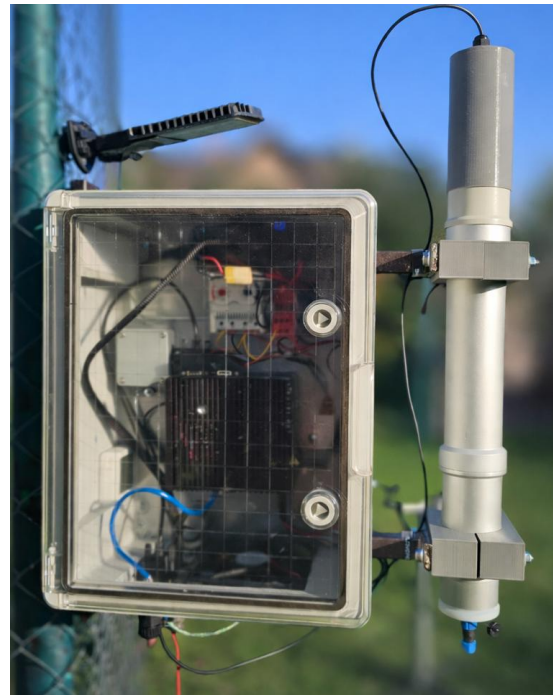


Рисунок 6 – Фото модернізованого дозиметра

Розроблений авторами прототип проходить випробування в мережі Українського гідрометорологічного центру.

#### Список використаних джерел

1. Бузинний М. Г. Наукове обґрунтування шляхів оптимізації радіаційного моніторингу в Україні : дис. ... д-ра біол. наук : 14.02.01. Київ, 2009. 334 с.
2. Ahmad, M. I., Ab Rahim, M. H., Nordin, R., Mohamed, F., Abu-Samah, A., and Abdullah, N. F. (2021). Ionizing radiation monitoring technology at the verge of internet of things. *Sensors*, 21 (22), 7629. <https://doi.org/10.3390/s21227629>.
3. Паламар М. І., Стрембіцький М. О., Паламар А. М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів: навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2018. 150 с. URL: <https://files01.core.ac.uk/download/pdf/222449839.pdf>.
4. Защепкіна Н. М., Шульга О. В., Наконечний О. А. Метрологічне забезпечення інформаційно-вимірювальних систем : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 176 с.
5. Arana J. I., Ngo H., Jenkins B., ElBidweihy, H. (2025). Integration of data acquisition and real-time processing for radiation detection. *Proceedings Volume 13621, Hard X-Ray, Gamma-Ray, and Neu-*

*tron Detector Physics XXVII*; 136210L (2025). <https://doi.org/10.1117/12.3063208>.

6. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29 квітня 2022 р. № 323-р «Про схвалення «Стратегії інтегрованої автоматизованої системи радіаційного моніторингу на період до 2024 року» URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/323-2022-%D1%80> (дата звернення: 20.10.2025).

7. International Atomic Energy Agency. (2010). *Programmes and systems for source and environmental radiation monitoring*. Vienna: IAEA. URL: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1427\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1427_web.pdf). (Accessed: 20 October 2025).

8. Tran-Quang, V. & Dao-Viet, H. (2022). An internet of radiation sensor system (IoRSS) to detect radioactive sources out of regulatory control. *Scientific Reports*, 12, Article 7195. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11264-y>.

9. Jisha, N. V., Krishnakumar, D. N., Surya Prakash, G., Kumari, A., Baskaran, R. & Venkatraman, B. (2012). Development of autonomous gamma dose logger for environmental monitoring. *Review of Scientific Instruments*, 83. <https://doi.org/10.1063/1.3697697>.

10. Сліпченко В. Г., Полягушко Л. Г., Трофимчук А. А. Програмне забезпечення та моделі для проведення радіаційного моніторингу. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2023. № 4(81). С. 46–58. <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2023.044658>.

11. Peixoto, J. G. P., Potiens, M. P., McEwen, M. (eds.) et al. (2016) *Ionizing radiation metrology*, Vol. 1. Editor Peixoto, J. G. P. Rio de Janeiro: Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD). URL: [https://www.gov.br/ird/pt-br/central-de-conteudo/publicacoes/IonizingRadiationMetrology\\_V1.pdf](https://www.gov.br/ird/pt-br/central-de-conteudo/publicacoes/IonizingRadiationMetrology_V1.pdf).

## References

1. Buzynnyi M. H. Naukove obgruntuvannia shliakhiv optymizatsii radiatsiinoho monitorynhu v Ukraini : dys. ... d-ra biol. nauk : 14.02.01. Kyiv, 2009. 334 s.

2. Ahmad, M. I., Ab Rahim, M. H., Nordin, R., Mohamed, F., Abu-Samah, A., and Abdullah, N. F. (2021). Ionizing radiation monitoring technology at the verge of internet of things. *Sensors*, 21 (22), 7629. <https://doi.org/10.3390/s21227629>.

3. Palamar M. I., Strembitskyi M. O., Palamar A. M. Proektuvannia kompiuteryzovanykh vymyriuvalnykh system i kompleksiv : navchalnyi

posibnyk. Ternopil : TNTU im. Ivana Puliuia, 2018. 150 s. URL: <https://files01.core.ac.uk/download/pdf/222449839.pdf>.

4. Zashchepkina N. M., Shulha O. V., Nakonechnyi O. A. *Metrolohichne zabezpechennia informatsiino-vymyriuvalnykh system : navch. posib.* Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2021. 176 s.

5. Arana J. I., Ngo H., Jenkins B., ElBidweihy, H. (2025). Integration of data acquisition and real-time processing for radiation detection. *Proceedings Volume 13621, Hard X-Ray, Gamma-Ray, and Neutron Detector Physics XXVII*; 136210L (2025). <https://doi.org/10.1117/12.3063208>.

6. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 29 kvitnia 2022 r. № 323-r «Pro skhvalennia «Stratehii intehrovanoi avtomatyzovanoi systemy radiatsiinoho monitorynhu na period do 2024 roku» URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/323-2022-%D1%80> (data zvernennia: 20.10.2025).

7. International Atomic Energy Agency. (2010). *Programmes and systems for source and environmental radiation monitoring*. Vienna: IAEA. URL: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1427\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1427_web.pdf) (Accessed: 20 October 2025).

8. Tran-Quang, V. & Dao-Viet, H. (2022). An internet of radiation sensor system (IoRSS) to detect radioactive sources out of regulatory control. *Scientific Reports*, 12, Article 7195. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11264-y>.

9. Jisha, N. V., Krishnakumar, D. N., Surya Prakash, G., Kumari, A., Baskaran, R. & Venkatraman, B. (2012) *Development of autonomous gamma dose logger for environmental monitoring*, *Review of Scientific Instruments*, 83. <https://doi.org/10.1063/1.3697697>

10. Slipchenko V. H., Poliahushko L. H., Trofymchuk A. A. Prohamne zabezpechennia ta modeli dlia provedennia radiatsiinoho monitorynhu. *Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii*. 2023. № 4(81). <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2023.044658>.

11. Peixoto, J. G. P., Potiens, M. P., McEwen, M. (eds.) et al. (2016) *Ionizing radiation metrology*, Vol. 1. Editor Peixoto, J. G. P. Rio de Janeiro: Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD). URL: [https://www.gov.br/ird/pt-br/central-de-conteudo/publicacoes/IonizingRadiationMetrology\\_V1.pdf](https://www.gov.br/ird/pt-br/central-de-conteudo/publicacoes/IonizingRadiationMetrology_V1.pdf).

Надійшла до редакції 01.11.2025