

**ТЕХНІКА ТА МЕТОДИ ЕКСПЕРИМЕНТУ**  
**ENGINEERING AND METHODS OF EXPERIMENT**

УДК 539.1.074.3+539.1.074.6+539.1.074.83+539.1.074.88

<https://doi.org/10.15407/jnpae2021.01.099>

**В. М. Венедиктов, В. М. Шевель, В. А. Лібман\***

*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

\*Відповідальний автор: vlibman@kinr.kiev.ua

**РАДИОМЕТР ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ,  
БЕТА-ЧАСТИНОК ТА НЕЙТРОНІВ НА БАЗІ ДОЗИМЕТРА ДРГ-05М**

У результаті модернізації дозиметра ДРГ-05М отримано зручний прилад, що дає змогу оцінити рівень гамма- та X-випромінювання, бета-частинок та нейтронів, не змінюючи детекторні головки. Було виготовлено два прилади та підготовлено третій для проведення метрологічної атестації та отримання сертифіката.

*Ключові слова:* радіометр, органічний скінтілятор, довжина імпульсів від гамма, бета та нейтронів.

### 1. Вступ

Сучасні радіометри для вимірювання гамма-випромінювання, бета-частинок та нейтронів є багатофункціональними, компактними та зручними в користуванні, але при цьому вони досить дорогі. Так, наприклад, навіть не дуже сучасний прилад МКС коштує зараз ~100 тис. грн, а прилад ДКС-90У – ~30 тис. грн. У той же час більшість приладів, які залишились з часів СРСР, мають зручний конструктив, але електронна частина є застарілою, погано працює і не відповідає сучасним вимогам. Тому у нас виникла ідея модернізувати один із таких приладів, а саме ДРГ-05. Модернізація цього приладу коштувала ~7 тис. грн. Цей дозиметр має зручний корпус і зручний відсік для батарей, виконаний як тримач, блок детектування має діафрагму, яка дозволяє регулювати потік світла на фотоелектронний помножувач і, таким чином, регулювати чутливість приладу. У ДРГ-05М встановлено повітродіафрагмний органічний скінтілятор на основі полістиролу, який має властивість по-різному реагувати на різні види випромінювання.

Згідно з літературними даними [1] довжина імпульсів від дії гамма-випромінювання, бета-частинок та нейтронів різна. Тут слід зауважити, що реєстрація нейтронів, які не мають електричного заряду і тому не можуть безпосередньо іонізувати атоми речовини скінтілятора, іде через розсіяння їх на протонах, що входять до складу атомних ядер. У результаті протони, полишивши атомні ядра, іонізують атоми скінтілятора, викликаючи спалахи світла. Реєстрація ж гамма-квантів, які так само, як і нейтрони, є нейтральними частинками, також іде через іонізацію атомів у скінтіляторі, але вже електронами, які вибиваються з атомних оболонок речовини

скінтілятора. На рис. 1 показано форми імпульсів в органічних скінтіляторах від електронів, протонів та альфа-частинок. Можна побачити, що довжина спаду імпульсів збільшується із зростанням маси частинки. Саме на цьому ефекті ми й побудували систему розділення імпульсів від гамма-квантів та нейтронів.

Амплітуда, в. о.

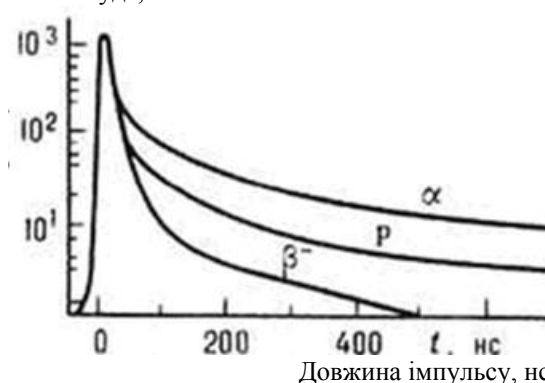


Рис. 1. Форма імпульсу в органічних скінтіляторах від електронів ( $\beta^-$ ), протонів (p) та альфа-частинок ( $\alpha$ ).

### 2. Розробка приладу

Модернізацію ДРГ-05М виконували таким чином. У блоці детектування залишили встановлений органічний скінтілятор, а ФЭУ-35 замінили на спектрометричний ФЭУ-85, який має більше підсилення за рахунок більшої кількості діодів (11 проти 8), що полегшує подальшу обробку сигналів. Довелось замінити також дільник і формувач. Функцію відгуку приладу на різні види опромінення оцінювали спочатку на осцилографі. Отримали осцилограми від джерела гамма-променів  $^{137}\text{Cs}$  (рис. 2) та джерела нейтронів ИБН-7 (Pu-Be) (рис. 3). Ціна клітинки на осцилограмі – 5 мкс.

© В. М. Венедиктов, В. М. Шевель, В. А. Лібман, 2021

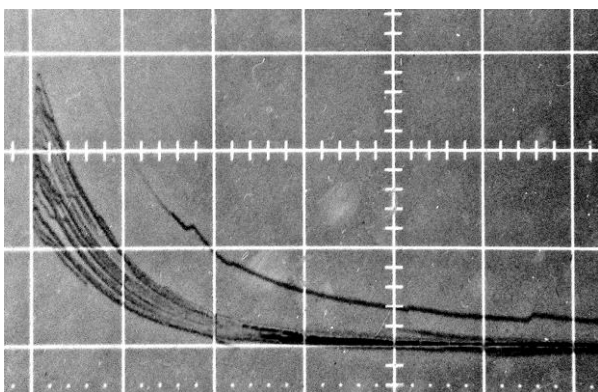


Рис. 2. Осцилограма імпульсів від гамма-джерела.

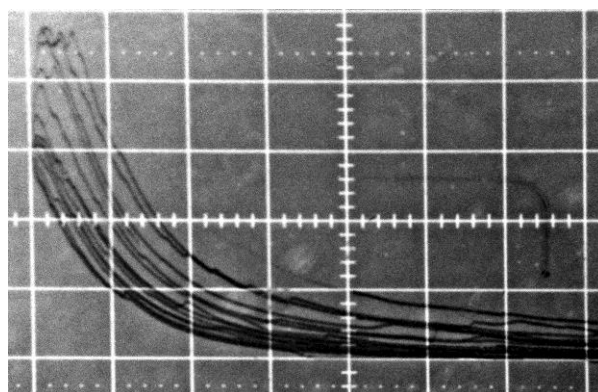


Рис. 3. Осцилограма імпульсів від джерела нейтронів.

З осцилограм видно, що більшість імпульсів від гамма-квантів мають довжину менше 20 мкс, а більшість імпульсів від нейтронів – від 20 мкс і вище.

Виходячи з цього, було розроблено схему селекції імпульсів за довжиною (рис. 4 і 5).

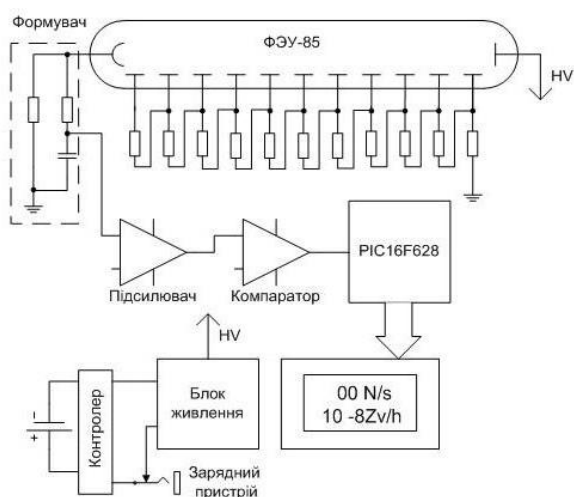


Рис. 4. Блок-схема приладу.



Рис. 5. Зовнішній вигляд приладу.

Імпульси світла, які виникають у сцинтиляторі, подаються крізь діафрагму, що дає змогу регулювати світловий потік на фотоелектронний помножувач (ФЕП). Імпульси напруги з аноду ФЕП за допомогою підсилювача-формувача подаються на компаратор. Формувач необхідний для збільшення довжини імпульсів до десятків мікросекунд, щоб процесор мав можливість провести часову селекцію. Компаратор робить з імпульсу ФЕП прямокутні імпульси, а також відрізає фон. Прямокутні імпульси подаються на вхід лічильника – таймера мікропроцесора типу PIC16F628A. Він рахує довжину імпульсів та сортує їх: до 20 мкс записує в регістри гамма-випромінювання, а вище 20 мкс – у регістри нейтронів. Експозиція вимірювання 3 с, що є стандартним для приладів такого типу. Далі проводиться перерахунок величини гамма-випромінювання у формат DD × 10<sup>D</sup> мкЗв/г, а величини потоку нейтронів – у формат DDD n/s. Результа-

ти передаються на символний LCD дисплей. Блок живлення забезпечує стабільні напруги ±5 В та високу напругу для живлення ФЕП. Напруга +5 В використовується для живлення компаратора, процесора та LCD, а -5 В – для живлення підсилювача. У пристрій встановлено Li-ion акумулятор з контролером, який попереджає можливість його перерозряду нижче 3,2 В та обмежує струм розряду на випадок короткого замикання. Якщо батарея розряджена нижче 3,6 В, прилад сигналізує написом CHARGE BATTERY. Необхідно підключити стандартний зарядний пристрій від мобільного телефону до відповідного роз'єму.

### 3. Калібрування та перевірка приладу

Чутливість приладу до різних видів опромінення визначалася порівнянням показань нашого приладу з показаннями стандартизованих дози-

метричних приладів: дозиметр фотонного випромінювання ДКС-90У [2]; радіометр-дозиметр універсальний МКС-01Р [3]; портативний ручний гамма-спектрометр для пошуку та ідентифікації радіонуклідів identiFINDER Target [4].

Результати перевірки ДРГ-05, модернізованого в ДРГН (дозиметр-радіометр гамма та нейтронів), наведено нижче в таблицях.

### 3.1. Перевірка гамма-каналу

Порівняння вимірювань гамма-випромінювання різними приладами було проведено на

джерелі  $^{137}\text{Cs}$  з набору ОСГИ № 7196. Було виконано по 5 вимірювань на 4 відстанях (10, 20, 30 та 40 мм) від джерела до детекторної головки приладів. Для відліків, одержаних на кожній з відстаней, було розраховано середнє значення та середньоквадратичне відхилення від середнього. При вимірюваннях імпульси довжиною до 20 мкс попадали в гамма-канал, а вище – у канал нейтронів. Результати порівняння наведено в табл. 1 і на рис. 6.

Таблиця 1. Порівняння результатів вимірювань на джерелі  $^{137}\text{Cs}$  з набору ОСГИ № 7196

Відстань, мм	Назва приладу			
	ДКС-90У	ДРГН	Target	МКС
10	$1,41 \pm 0,07$	$3,0 \pm 0,1$	$3,93 \pm 0,06$	$4,78 \pm 0,07$
20	$0,75 \pm 0,04$	$2,0 \pm 0,1$	$2,26 \pm 0,02$	$3,32 \pm 0,08$
30	$0,57 \pm 0,01$	$1,5 \pm 0,1$	$1,65 \pm 0,02$	$2,24 \pm 0,07$
40	$0,454 \pm 0,01$	$1,08 \pm 0,04$	$1,25 \pm 0,01$	$1,56 \pm 0,05$

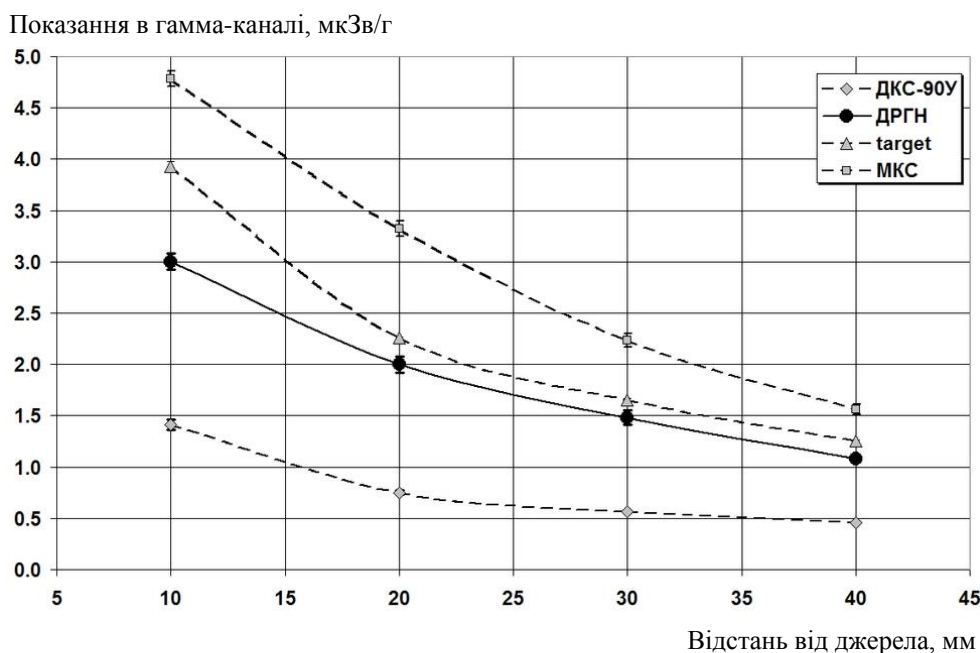


Рис. 6. Порівняння показань стандартних дозиметрів з показаннями ДРГН.

З графіка можна побачити, що показання нашого приладу при вимірюваннях гамма-випромінювання знаходяться між показаннями стандартних каліброваних приладів МКС, Target та ДКС-90У найближче до показань приладу Target. Тому можемо зробити висновок про придатність приладу для вимірювань гамма-випромінювання.

### 3.2. Перевірка нейтронного каналу

Ми також провели порівняльні вимірювання на джерелі нейтронів ИБН-7 (Pu-Be). Порівнювали ДРГН зі стандартним приладом МКС. Тут також виконувались серії по п'ять вимірювань на трьох відстанях (12, 24 та 48 мм) джерела від детекторної головки приладу. Потім для кожної серії вимірювань обчислили середнє значення та середньоквадратичне відхилення. Результати порівняння наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Порівняння результатів вимірювань на джерелі ИБН-7 (Pu-Be)

Назва приладу	Відстань від джерела, мм		
	12	24	48
ДРГН	323 ± 9	98 ± 5	28 ± 2
МКС	256 ± 13	106 ± 10	45 ± 6

Можна побачити, що показання приладів для нейтронів достатньо близькі (середнє відношення  $0,94 \pm 0,32$ ), тобто в межах похибок показання можна вважати однаковими.

Таблиця 3. Параметри бета-джерел  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ , використаних для перевірки приладу

№ джерела	Активність на дату атестації, Бк	Активність на дату вимірювань, Бк	Зовнішнє випромінювання на дату вимірювань, $\text{с}^{-1}$
15047	69	31,4	11,8
5049	830	378	142
5051	9 500	4 330	1 631
15053	76 000	34 636	13 046

Порівняльні вимірювання проводили на таких відстанях від детекторної головки: 10, 20 та 55 мм. Як і при вимірюваннях з гамма-джерелами, проводили по 5 вимірювань на кожній від-

### 3.3. Перевірка бета-каналу

На детекторній головці ДРГН є пластиковий ковпачок завтовшки 8 мм, при знятті якого до сцинтилятора залишається тоненька плівка. У такому стані прилад може вимірювати також і потік бета-частинок за секунду, ці відліки попадають у канал нейтронів.

Можливість використання приладу ДРГН для оцінки потоку бета-частинок проводили на калібрувальних джерелах  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  з набору № 16718/б від 11-08-1987 р. (табл. 3).

стані і розраховували середнє значення та СКВ. Результати порівняння показань ДРГН з показаннями дозиметра-радіометра МКС наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Порівняння показань приладів ДРГН та МКС від джерел  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ 

№ джерела	Відстань, мм								
	10			20			55		
	ДРГН( $\gamma$ )	ДРГН( $\beta$ )	МКС	ДРГН( $\gamma$ )	ДРГН( $\beta$ )	МКС	ДРГН( $\gamma$ )	ДРГН( $\beta$ )	МКС
15047	13 ± 2	2 ± 1	18 ± 3						
15049	30 ± 2	16 ± 2	173 ± 13	24 ± 2	9 ± 2	110 ± 11	15 ± 2	3 ± 1	39 ± 7
15051	233 ± 5	175 ± 2	1925 ± 21	152 ± 8	113 ± 7	1335 ± 30	45 ± 5	28 ± 5	395 ± 9
15053	2600 ± 5	1257 ± 9	20581 ± 358	1200 ± 10	752 ± 19	10527 ± 214	302 ± 13	230 ± 6	3088 ± 89

Як бачимо, показання нашого приладу ДРГН суттєво менші показань МКС. Цьому є дві причини: по-перше, кристал-сцинтилятор бета-датчика БДКБ-01Р МКС більший за кристал ДРГН ( $\varnothing 80 \times 10$  мм МКС проти  $\varnothing 40 \times 10$  мм ДРГН) і відповідно має більшу ефективність; по-друге, імпульси від гамма-квантів мають таку ж довжину, що й імпульси від бета-частинок, але наявність додаткового напиленого шару сірчистого цинку суттєво збільшує амплітуду імпульсів від бета-частинок, що призводить до подовження їх, і прилад починає «закидати» їх у канал нейтронів. Отже, прилад у режимі без ковпачка вимірює сумарно бета- + гамма-випромінювання (так само, як і МКС та інші дозиметри), тому якщо скласти показання в колонках ДРГН( $\gamma$ ) та ДРГН( $\beta$ ), то різ-

ниця між показаннями буде не такою вже і значною. Але співвідношення показань МКС до показань ДРГН по сумі ДРГН( $\gamma$ ) + ДРГН( $\beta$ ) практично стало ( $4,54 \pm 0,10$ ), тому в майбутньому планується ввести цей коефіцієнт у програму обробки, щоб показання нашого приладу збігалися в межах похибок з показаннями стандартного приладу. На даному етапі прилад можна використовувати для якісної оцінки наявності бета-випромінювання: якщо при видаленні ковпачка показання з'являються в каналі нейтронів – це свідчить про наявність бета-частинок; якщо ж показання в каналі нейтронів присутні також з ковпачком – це нейтрони. При подальшій модернізації ДРГН планується ввести додатковий режим бета, щоб не доводилося підсумовувати показання каналів.

#### 4. Висновки

У результаті модернізації отримано сучасний зручний прилад, який дозволяє оцінити рівень гамма-, бета- та нейтронного випромінювання, не змінюючи детекторні головки. Було виготовлено два прилади та підготовлено третій для проведення метрологічної атестації та отримання сертифіката, але це потребує додаткового фінансування. На даний момент витрати на модернізацію приладу оцінюються нами в 7÷8 тис. грн. Крім цього, є плани подальшого підвищення надійності розділення нейтронного та гамма-випромінювання введенням до схеми логарифмічного підсилювача, а також уведенням додатково окремого режиму для вимірювання бета. Але подальша модернізація вимагає додаткових досліджень та додаткового фінансування.

Робота ДРГН була апробована з джерелом нейтронів ИБН-7 (Pu-Be), джерелами гамма-випромінювання  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  та джерелами бета-випромінювання  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  ІЯД НАН України. Крім того, прилад пройшов перевірку на рентгеновських установках Чернігівського онкоцентру, стоматологічного кабінету Укрметрестстандарт (Київ), у клініках Одеси та м. Бабанка Херсонської області. Вимірювання на рентгеновських установках проводив НВЦ «Аналіттехцентр» (Київ), по відгуках якого під час вимірювань потужності еквівалентної дози X-випромінювання розбіжностей у показаннях у порівнянні зі стандартними дозиметрами не спостерігалось. Фінансування розробки та модернізації ДРГН здійснювало ТОВ «Атомприладсервіс» (Київ).

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич. *Сцинтилляционный метод в радиометрии* (Москва, 1961).
2. *Дозиметр ДКС-90У. Техническое описание и инструкция по эксплуатации* (Желтые Воды, завод «Электрон», 1992).
3. *Радиометр-дозиметр МКС-01Р1. Паспорт ЖШ.289.201.ПС* (Нарва, завод «Балтиец», 1991).
4. *identiFINDER NGH. User's manual. Ma-identiFINDER-NGH/1.1/en/02.07.*
5. А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич. *Основы экспериментальных методов ядерной физики. 3-е изд., перераб и доп.* (Москва: Энергоатомиздат, 1985) 489 с.
6. В.К. Ляпидевский. *Методы детектирования излучений. Учеб. пособие* (Москва: Энергоатомиздат, 1987) 408 с.
7. В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева. *Защита от ионизирующих излучений. Справочник. 4-е изд., перераб.и доп.* (Москва: Энергоатомиздат, 1995) 496 с.

V. M. Venedyktov, V. M. Shevel, V. A. Libman\*

*Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

\*Corresponding author: vlibman@kinr.kiev.ua

#### RADIOMETER FOR MEASURING GAMMA-RADIATION, BETA-PARTICLES AND NEUTRONS BASED ON DRG-05M DOSIMETER

As a result of the modernization of the DRG-05M dosimeter, a convenient device was obtained, which allows estimating the level of gamma- and X-ray radiation, beta-particles, and neutrons without changing the detector heads. Two devices were manufactured and a third one was prepared for metrological certification.

*Keywords:* radiometer, organic scintillator, pulse length from gamma, beta, and neutrons.

#### REFERENCES

1. A.I. Abramov, Yu.A. Kazansky, E.S. Matusevich. *Scintillation Method in Radiometry* (Moskva, 1961). (Rus)
2. *ДКС-90У dosimeter. Technical Description and Operating Instructions* (Zhelyte Vody, "Elektron" plant, 1992). (Rus)
3. *Radiometer Dosimeter МКС 01Р1. Passport ЖШ.289.201.ПС* (Narva, "Baltiys" plant, 1991). (Rus)
4. *identiFINDER NGH. User's manual. Ma-identiFINDER-NGH/1.1/en/02.07.*
5. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusevich. *Fundamentals of Experimental Methods of Nuclear Physics. 3-rd ed.* (Moskva: Energoatomizdat, 1985) 489 p. (Rus)
6. V.K. Lyapidevskiy. *Radiation Detection Methods. Textbook* (Moskva: Energoatomizdat, 1987) 408 p. (Rus)
7. V.P. Mashkovich, A.V. Kudryavtseva. *Protection Against Ionizing Radiation. Manual. 4-th ed.* (Moskva: Energoatomizdat, 1995) 496 p. (Rus)

Надійшла/Received 12.11.2020