

УДК 502.55:621.039.7

І.Ю. Чернявський, О.Ю. Чернявський, В.В. Марущенко

Національний технічний університет «ХПИ», Харків

## ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ РІВНІВ РАДІАЦІЇ – ПРИЧИНА ЗНИЖЕННЯ ПОВНОТИ ВИЯВЛЕННЯ РАДІАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ

Розглядаються основні інструментальні похибки вимірювання рівнів радіації існуючими засобами радіаційної розвідки, які значно знижують повноту (якість) виявлення радіаційної обстановки у сучасних умовах. Досліджується якість інформації, яка отримується від бортових приладів під час радіаційної розвідки місцевості.

**Ключові слова:** інструментальні похибки, радіаційна обстановка

### Вступ

**Постановка проблеми.** Наряду з оперативністю отримання розвідувальних даних [1, 2], одним з критеріїв, якості виявлення радіаційної обстановки є повнота ведення радіаційної розвідки [4, 5]. В технічному плані повнота пов'язана не тільки з вимірювальним діапазоном потужності дози, але і з урахуванням значимого енергетичного спектру того виду випромінювання, яке знижує боездатність військ.

В літературі [3] якість вимірювання бортовим приладом потужності дози пов'язана з динамічною похибкою приладу, похибкою за рахунок спектральної чутливості («хід з жорсткістю») та анізотропії чутливості блока детектування (БД). Майже всі дані похибки відносять до додаткових, але вони продиктовані їх винятковою специфічністю у польових умовах. В деяких випадках вони можуть бути за значенням більшими, ніж основна похибка (що визначається під час градування приладу у лабораторії). У першу чергу це стосується відмінності енергетичних характеристик іонізуючого випромінювання суміші аварійного викиду АЕС від випромінювання продук-

тів поділу пального ядерного боєприпасу. Таким чином існують специфічні вимоги до армійських приладів радіаційної розвідки, які на наш погляд, не знаходять своє відображення у сучасних розробках для ЗСУ.

Аналізу стану питань повноти метролого-технічних характеристик приладів радіаційної розвідки за рахунок інструментальних похибок вимірювання рівнів радіації і пов'язаний зміст даної роботи.

### Виклад основного матеріалу

#### 1. Повнота ведення радіаційної розвідки місцевості

Аналізуючи визначений порядок дій дозору РХБ розвідки, необхідно зазначити, що єдиний на цей час бортовий прилад радіаційної розвідки ИМД-21Б (при енергетичному діапазоні 80-2600 кеВ (табл. 1)), у дійсності починає вимірювання з 1 Р/год., що не дозволяє оперативно визначати під час радіаційної розвідки передню зону зараження згідно існуючим нормативним вимогам (0,5 Р/год. для ЯВ и 5 мрад/год. для АЕС).

Таблиця 1

Метролого-технічні характеристики (МТХ) основних приладів радіаційної розвідки та контролю України, Росії та НАТО

прилади	Країна								
	УКРАЇНА			РОСІЯ			НАТО		
МТХ	МКС-У	ИМД-21Б	ДРГ-Т	ИМД-2Б	ИМД-23	ИМ-174D/PD	AN/VDR-2	DOM DOR 309 LLR	SVG2
Діапазон вимірювання	0,1 мкЗв/год-100 Зв/год	1 Р/год-9999 Р/год	10 <sup>-5</sup> Р/год-10 <sup>3</sup> Р/год	10 <sup>-5</sup> Гр/год-10 <sup>3</sup> Гр/год	10 <sup>-4</sup> Гр/год-30 Гр/год	1 – 500 рад/год	0,1 мкЗв/год-9,99 Зв/год	0,1 мкГр/год-10 Гр/год	1 мкЗв/год-20 Зв/год
Енергетичний діапазон, кеВ	50-3000	80-2600	66-1250	50-3000	50-3000	80-3000	70-3000	50-3000	70-3000
Основна похибка вимірювань, %	± 15	± 20	± 15	± 30	± 15	± 15	± 20	± 20	± 20

Вирішення даного питання можливо за рахунок взяття на озброєння бортового приладу ДРГ-Т компанії «Спаринг-Віст» з прийнятним для розвідки як діапазоном вимірювання так і енергетичним діапазоном. Але відсутність інформації про анізотропію чутливості БД (з конструктивних особливостей побудови БД), особливостей встановлення його на броньований засіб РХБ розвідки (енергетична залежність  $\sigma_{\text{чс}} = \pm 25\%$  при основній похибці у 15%) – дозволяє також критично оцінювати повноту отриманої інформації з даного приладу.

## 2. Дослідження спектральної чутливості

При визначенні рівнів радіації бортовий прилад радіаційної розвідки (ИМД-21Б) здійснює вимірювання експозиційної потужності дози гамма-випромінювання у середині броньованого об'єкту за допомогою іонізаційної камери починаючи з 1 Р/год. В той же час автоматично врахований у приладі коефіцієнт послаблення гамма-квантів стінками броні, не враховує енергетичну залежність отриманих результатів. Прийнято вважати, що кратність послаблення гамма-квантів бронєю машини розвідки ( $K_{\text{посл}}=2-10$ ) характеризує лише ту частину потужності дози, яка не враховується під час вимірювання блоком детектування:

$$K_{\text{посл}} = \frac{e^{\eta d}}{B}, \quad (1)$$

де  $\eta$  – лінійний коефіцієнт послаблення поглинаючого шару товщиною  $d$  у місті розташування блока детектування;  $B$  – дозовий фактор накопичення (показує, у скільки разів збільшується потужність дози за рахунок розсіяних гамма-квантів).

Проведені дослідження показують, що для ма-

шини розвідки (БРДМ-2рхб) коефіцієнт послаблення за цезієм-137 ( $E_{\gamma}=0,661$  МеВ) дорівнює 4,3, за кобальтом-60 ( $E_{\gamma}=1,25$  та 1,7 МеВ) складає 2,04. В той же час при врахуванні послаблення гамма-квантів у даної машини РХБ розвідки  $K_{\text{посл}}$  приймають рівним 4, для усіх випадків.

Оцінимо даний параметр для інших груп енергій гамма-випромінювання рис. 1, а [3], який можливо буде діяти під час ведення радіаційної розвідки місцевості, шляхом пошуку для різних енергій даного параметра при товщини броні 10 – 15 мм (табл. 2).

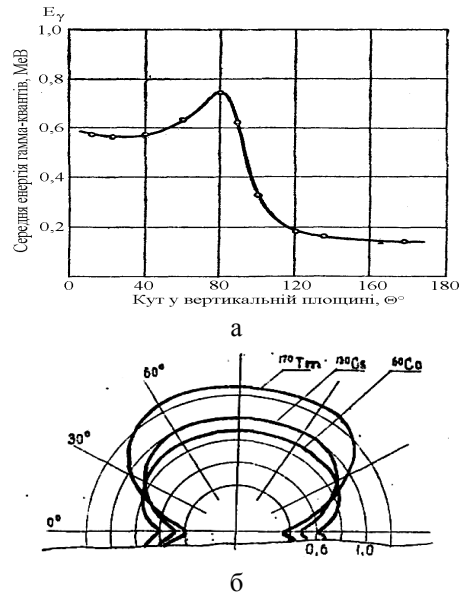


Рис. 1. Залежність:  
а – середньої енергії гамма-випромінювання продуктів ядерного вибуху від кута падіння в точку спостереження;  
б – чутливості БД приладу радіаційної розвідки від напрямку опромінювання

Таблиця 2

Залежність коефіцієнту послаблення корпусом БРДМ-2рхб від різних енергій гамма-випромінювання та гамма-сталю

Енергія гамма-випромінювання (МеВ)	0,1	0,2	0,3	0,5	0,661	1	1,5	2	3
Гамма-стала (Р·см <sup>2</sup> /год·мКі)	0,6	1,2	1,7	2,4	4,5	7	8	10	12
Коефіцієнт послаблення ( $K_{\text{посл}}$ )	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	70	8	4	2,5	1,9	1,5	1,3

Аналіз показав, що броня є фільтром для усього енергетичного спектру гамма-випромінювання, але іонізаційна камера блока детектування (БДМГ-36) ефективно реєструє тільки 0,661 МеВ (по якому відбувалося градування приладу ИМД-21Б). Але інші випромінювання будуть мати більший  $K_{\text{посл}}$ , що або узагалі не дозволить вимірювати потужність дози приладом ИМД-21Б, або буде значно збільшена основна похибка вимірювання (у діапазоні від 0,08 до 2,6 МеВ додатково до 20%). Реальна нечутливість блока детектування до гамма-полей визначеної енергії буде залежати від активності радіонуклідів, але при однакових умовах складові з  $K_{\text{посл}}$ : 10<sup>6</sup>, 10<sup>3</sup>, 70, а це енергії від 0,1 до 0,3 МеВ – не реєструються БДМГ-36. Якщо спектр радіоактивно зараженої міс-

цевості (під час ведення РР) складає  $n$  компонент, а  $q_i$  – відносний вклад  $i$ -ої компоненті у потужність дози ( $\sum_{i=1}^n q_i = 1$ ), то похибка спектральної чутливості дорівнює:

$$\delta_{\text{чс}} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{S_i}{S_{\text{ном}}} - 1 \right) \cdot q_i, \quad (2)$$

де  $S_{\text{ном}}$  – чутливість приладу (під час градування);

$S_i$  – чутливість приладу під час вимірювання  $i$ -ої енергетичної компоненті.

Більш коректно можливо вимірювати усі енергії гамма-випромінювання, за рахунок винесення бортового блока детектування за межі машини РХБ

розвідки, як це зроблено на розвідувальних машинах «ФОКС», КРПІ або РХМ-6.

### 3. Дослідження анізотропії чутливості

Існуючі приладі РР, часто мають значну похибку за рахунок неоднакового відносного кута падіння гамма-випромінювання (рис. 1, б).

За рахунок того, що детектори іонізуючого випромінювання мають лінійні розміри, то БД має

чутливість реєстрації випромінювання до різних напрямків. Ця похибка у літературі отримала назву – анізотропія чутливості БД.

Оцінимо дану похибку для деяких існуючих на озброєнні приладів РР (табл. 3) від Cs-137 на відстані 1 м, Am-241 та Sr-90 на відстані 5 см. Відсутність значень у деяких положеннях обґрунтовується чутливістю приладів до джерел іонізуючого випромінювання (різною радіаційною товщиною детектору).

Таблиця 3

Залежність потужності дози від кута падіння гамма-випромінювання у горизонтальній площині

Прилад		Кут падіння випромінювання								
		-90	-57,5	-45	-22,5	0	+22,5	+45	+57,5	+90
МКС-У № 0808014 (мкЗв/год)	Cs-137	1,91	4,30	4,88	4,69	5,1	4,73	5,03	4,29	2,30
	Am-241	0,31	0,52	0,60	0,76	0,82	0,62	0,45	0,30	0,28
	Sr-90	0,29	0,31	0,35	0,40	0,45	0,46	0,41	0,38	0,29
ИМД-12 № Л160235 (мкР/год)	Cs-137	290	352	373	441	481	472	433	345	208
	Am-241									
	Sr-90	33	36	47	42	61	53	50	44	27
ДКС № 0598631 (мкЗв/год)	Cs-137	0,43	0,37	0,43	0,45	0,54	0,45	0,46	0,37	0,40
	Am-241	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03
	Sr-90									

Аналіз отриманих результатів показав, що неточність (достовірність) вимірювань, за рахунок анізотропії БД для комбінованого блока детектування приладу МКС-У може скласти – до 0,37 (тобто  $\dot{X}_{\text{вим}} = 0,37 \cdot \dot{X}$ ), для ИМД-12-3 – до 0,6, для ДКС-0,95. Найменшу похибку під час ведення раді-

аційної розвідки можливо очікувати від приладу ДКС (Селвис) з напівпровідниковим детектором CdTe.

У табл. 4 приведені результати дослідження вертикальної чутливості БД приладу ИМД12-2 від кута впливу гамма-випромінювання.

Таблиця 4

Залежність потужності дози (мР/год) від кута падіння гамма-випромінювання у вертикальній площині

Прилад		Кут падіння випромінювання									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ИМД-12-2	Cs-137	0,2	0,33	0,47	0,6	0,63	0,66	0,61	0,6	0,65	0,55

Максимальна чутливість приладу буде, тільки при використанні усій площини детектору, що характерно під час перпендикулярного розташування БД до гамма-квантів (горизонтальному розташуванні його до землі на висоті 0,7-1 м). Але, при цьому кут падіння випромінювання залишається параметром випадковим. Тому конструктивно довершений детектор повинен мати кулеподібну конструкцію.

Таким чином, чутливість детектору виникає через відмінності форми детекторів від кулеподібної, а також через вплив на чутливість детектору елементів конструкції приладу, розташованих поблизу від детектора.

### 4. Інерційність бортового приладу РР

Відомо, що бортові прилади, які встановлюються у машині РХБ розвідки використовуються для отримання даних про рівень радіації під час ведення розвідки або маршруту висування військ або розвідки району розташування військ. Під час розвідки маршруту висування, вимірювання здійснюється з ходу, без зниження швидкості руху машини (до 40 км/год). У даному випадку бортовий прилад необ-

хідно розглядати як динамічну систему з двома ступенями свободи, які характеризуються незалежними параметрами: потужністю дози та швидкістю руху машини. Якщо вимірювальна величина залежить від часу:  $\dot{X}_{\text{вим}} = \dot{X}(t)$ , то ідеальний вимірювальний прилад не спотворює цю залежність

$$\dot{X}_{\text{вим}}(t) = s \cdot \dot{X}(t); \quad s = \text{const}, \quad (3)$$

де  $\dot{X}_{\text{вим}}(t)$  – вихідна величина, тобто показання приладу;  $s$  – його чутливість.

Але через наявність пружин у вимірювальних механізмах та індуктивностей і ємності у електричних ланцюгах, зазвичай  $s=s(t)$ . Проведені дослідження [3] показують, що показання вимірювачів потужності дози, за допомогою яких здійснюється розвідка, залежать від детального характеру випадіння радіоактивних опадів (локальна нерівномірність опадів – особливо під час аварій на АЕС, нерегулярності у щільності зараження місцевості).

Нехай градієнт потужності дози на маршруті руху постійний  $\frac{d\dot{X}}{dl} = a = \text{const}$ , іншими словами, прий-

метою лінійну апроксимацію вимірювання потужності дози за маршрутом у межах вибраної ділянки. Тоді рівень радіації (потужність дози на висоті 1 м від землі) у будь-якій точці вибраної ділянки руху

$$\dot{X}(t) = \dot{X}_0 + avt, \quad (4)$$

де  $\dot{X}_0$  – початкова потужність дози:  $\dot{X}(t) = \dot{X}_0$  при  $t=0$ ;  $v$  – швидкість руху машини РХБ розвідки. Враховуючи залежність чутливості приладу від часу, можливо розрахувати динамічну похибку  $\Delta_d = avt$ . Для  $t > t_{\text{вим}}$ , де  $t_{\text{вим}}$  – час вимірювання (встановлення показаний). Множення  $av$  реалізується фізично, та

пропорціональне швидкості зміни напруги або струму на виході реєструемого приладу. У приладі ИМД-21Б це зміна напруги на іонізаційній камері (ІК) об'ємом 200 см<sup>3</sup>, яка працює у режимі «заряд-розряд» ІК. Якщо  $(av) \cdot \text{const}$  швидкість виводу вимірювальної інформації на цифрове табло приладу, то множення  $avt$  показує запізнення виводу вимірювальної потужності дози.

Задаючись максимально допустимим значенням динамічної похибки та визначив максимальну величину швидкості зміни показань, отримуємо величину  $t_{\text{вим}}$  (табл. 5).

Таблиця 5

Вимоги до швидкодії бортового приладу РР

Швидкість зміни показань (значення у молодшому розряді/с)	Час вимірювання, с, при динамічній похибці, яка дорівнює		
	2,5%	5%	10%
1	1,5	3	6
0,5	3	6	12
0,2	7,5	15	30

Дослідження інерційності бортових приладів та системний підхід до метролого-технічних вимог до приладів, які плануються взяти на озброєння повинні стати пріоритетним напрямком для головного замовника озброєння та розробників приладів РР.

## Висновки

З метою отримання більш повної вимірювальної інформації від бортового приладу про рівні радіації на місцевості, за якою потім плануються дії особового складу, доцільно мати кулеподібну конструкцію БД та виносити блок детектування за межі машини розвідки. Дослідження інструментальних похибок бортових приладів, які визначають якість та повноту вимірювальної інформації – повинні стати пріоритетним напрямком у розробки перспективних зразків приладів радіаційної розвідки.

## Список літератури

1. Абрамсон А.Н. Обґрунтування необхідності удосконалення засобів військової дозиметрії / А.Н. Абрамсон, І.Ю. Чернявський, В.В. Марущенко // Збірник наукових праць. – К.: ЦНДІ ОБТ ЗС України. – 2014. – № 1 (52). – 352 с.

2. Чернявський І.Ю. Обґрунтування шляхів вдосконалення системи збору та обробки інформації про РХБ обстановку при виконанні завдань підрозділами та частинами у складі ОСШР щодо нейтралізації збройного конфлікту / І.Ю. Чернявський // Інформаційний бюлетень військ РХБ захисту. – Науково-інформаційне видання. – Х.: ХІТВ. – 2008. – № 6 (6). – С. 100-104.

3. Дозиметрия ионизирующих излучений ядерного взрыва / [Щербаков В.И., Фролов Ю.И., Мкрытычев М.Г., Фоломеев Ю.В. и др.]: под. ред. Б.А. Шестерикова. – М.: ВАХЗ, 1973. – 450 с.

4. Чернявський І.Ю. Повышение качества проведения радиационной разведки районов путем увеличения контролируемой площади бортовым прибором радиационной разведки / І.Ю. Чернявський, В.В. Марущенко // Механіка та машинобудування: наук.-техн. ж. – Х.: НТУ «ХПІ», 2010. – № 1. – С. 217-222.

5. Чернявський І.Ю. Увеличение контролируемой площади при ведении радиационной разведки местности / І.Ю. Чернявський // Механіка та машинобудування: наук.-техн. ж. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 1. – С. 220-225.

Надійшла до редколегії 21.04.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Стаховський, Факультет військової підготовки НТУ «ХПІ», Харків.

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЕЙ РАДИАЦИИ – ПРИЧИНА СНИЖЕНИЯ ПОЛНОТЫ ВЫЯВЛЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ

И.Ю. Чернявский, О.Ю. Чернявский, В.В. Марущенко

Рассматриваются основные инструментальные погрешности измерения уровня радиации существующими средствами радиационной разведки, которые значительно снижают полноту (качество) выявления радиационной обстановки в современных условиях. Исследуется качество информации, получаемая от бортовых приборов во время радиационной разведки местности.

**Ключевые слова:** инструментальные погрешности, радиационная обстановка.

## INSTRUMENTAL MEASUREMENT ERRORS OF RADIATION LEVELS – THE CAUSE OF REDUCING COMPLETENESS OF DETECTION OF RADIATION SITUATION

I.Y. Cherniavskiy, O.Y. Cherniavskiy, V.V. Marushenko

This article explores basic instrumental measurement errors in radiation levels by existing means of radiation reconnaissance which significantly reduces the completeness (quality) of detection of radiation situation in modern conditions. Also the quality of the information obtained from the on-board instrumentation during radiation reconnaissance is investigated in this article.

**Keywords:** instrumental measurement errors, radiation situation.