

# ДО ОБГОВОРЕННЯ

---

УДК 504.064.38 + 504.064.36:574

Марущенко В.В.

## СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД НА ОЦІНКУ БІОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ГАММА ВИПРОМІНЮВАННЯ В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

Одним із важливих завдань військової дозиметрії, пов'язаних з впливом гамма-випромінювання на особовий склад, є встановлення залежності між вимірюваними фізичними величинами та виходом радіаційно-індукованого ефекту, де вихід радіаційно-індукованого ефекту є результат перетворення енергії випромінювання при його взаємодії з біологічним об'єктом.

Досвід визначення дози опромінення особового складу гамма випромінюванням, отриманий під час випробувань ядерної зброї [1,2] та в результаті техногенних аварій довів, що військові прилади радіаційної розвідки та контролю, у багатьох випадках не забезпечують еквівалентності між значенням вимірюваної дози та біологічною дією, що також відмічалось у роботі [3].

Проведений аналіз метрологічних характеристик приладів, які стоять на озброєнні військ РХБ захисту свідчить про те, що ці прилади мають обмежений енергетичний діапазон вимірювання (від 50 кеВ до 3 МеВ). Через обмеженість порогу вимірювань енергій  $\gamma$ -квантів цими приладами та невідповідність характеру іонізації детекторів процесам, що відбуваються в біологічних тканинах, похибка визначення біологічної дії може бути значною.

З іншого боку одиниці вимірювання поглиненої дози є чітко визначеними фізичними величинами [4], які не залишають можливостей для дискусій. Еквівалентна доза на відмінну від поглиненої включає в себе величину коефіцієнту якості, який був схвалений МКРЗ. Однак розрахунок коефіцієнту якості заснований на експериментальних даних, що дає можливість для деякого сумніву у ступені його точності. З 1990 року рекомендовано замість коефіцієнту якості для гамма-випромінювання ( $k = 1$ ) вводити коефіцієнт якості, який залежить від ефективності біологічної дії гамма-випромінювання. Процес передачі енергії характеризується лінійним коефіцієнтом передачі енергії (ЛПЕ), який залежить від енергії гамма-квантів. Тобто якщо вимірювати розподілення дози опромінення по ЛПЕ іонізуючих частинок, можна кількісно визначити біологічний ефект.

Для оцінки радіоактивного забруднення місцевості все частіше використовується поняття «амбієнтна доза», яка враховує специфіку поглинання гамма - випромінювання біологічною тканиною та розподіл енергетичного навантаження всередині організму. Але для її визначення, необхідно враховувати кутові щільності потоків гамма - випромінювання, що передбачає використання спеціальних пристроїв для визначення напрямку на джерело випромінювання. Для військової дозиметрії цей спосіб є необґрунтовано складним.

У роботі запропонований підхід до оцінки біологічної дії гамма випромінювання на основі поняття польової дози, яка не потребує визначення напрямку на джерело випромінювання, виготовлено лабораторну установку і проведено експериментальні дослідження лабораторної установки для визначення польової дози, а також проведено по-

рівняння її технічних характеристик з технічними характеристиками штатних приладів.

Згідно [5] польова поглинена доза – поглинена доза в центрі кулі радіусом 1 см (рис. 1) з певної речовини, сполученої із точкою поля іонізуючого випромінювання (ІВ), у якій визначається доза. Як робочу речовину використовують речовини, еквівалентні м'якій біологічній тканині стандартного складу ( $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ ). Радіус для біологічної тканини рівний 10 мм, тобто мінімальній глибині залягання основних критичних органів.

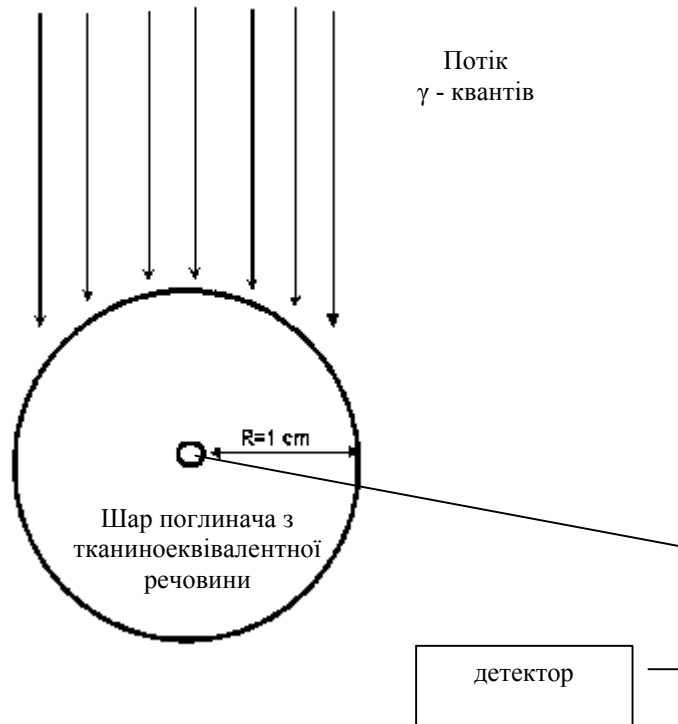


Рис. 1. Визначення польової поглиненої дози

Слід зазначити, що польова доза забезпечує оцінку максимальної дози навантаження на критично-важливі органи. Для визначення польової дози слід визначити спектр енергій гамма-квантів, який залежить як від спектру гамма-випромінювачів, так і від кількості поглиначів між біологічним об'єктом та джерелом випромінювання.

Відомо [6,7], що при проходженні гамма-квантів через речовину енергія гамма-квантів за рахунок комптон-ефекту зменшується, і тому їх біологічна дія збільшується (щільність іонізації в біологічних тканинах збільшується за енергій менше 100 кеВ в 2 – 3 рази). Поглинання гамма-випромінювання може виникати при заглибленні гамма-джерел у ґрунт і при утворенні завалів під час ядерного вибуху або руйнуванні потужних ядерних об'єктів.

Пропонується для визначення потужності польової поглиненої дози гамма-випромінювання використовувати блок детектування на основі високочутливого напівпровідникового детектора CdTe у рахунковому режимі, який розміщується в центрі кулі, виготовленої з тканино-еквівалентної речовини (парафін, віск, поліетилен). Оцінку радіаційного навантаження гамма-квантів на критично важливі органи слід проводити вимірюванням кількості гамма-квантів, які пройшли через шар тканиноеквівалентного поглиначів. Інформативність даного методу є обґрунтованою і достатньою для оцінки біологічного впливу ІВ. В рамках роботи було проведено експеримент, в ході якого було проведено порівняння показань штатних приладів радіаційної розвідки та контролю, до яких відносяться: ДП-5В, МКС-У, МКС-05 «ТЕРРА» та розробленої лабораторної установки. Для проведення експерименту використовували наступні матеріали: точкові

До обговорення

джерела гамма – квантів  $\text{Am}^{241}$  -  $\text{Cs}^{137}$  і  $\text{Cs}^{137}$  (59,6 кеВ та 662 кеВ відповідно). Вимірювання кількості гамма-квантів або потужності експозиційної (еквівалентної) дози здійснювали при розміщенні джерела гамма-випромінювання на відстані 3 см від детекторів приладів із встановленням між ними тканино-еквівалентного поглиначача та без поглиначача (рис.3). Кожне вимірювання повторювалось три рази. Результати вимірювань зведені в (табл.1.).

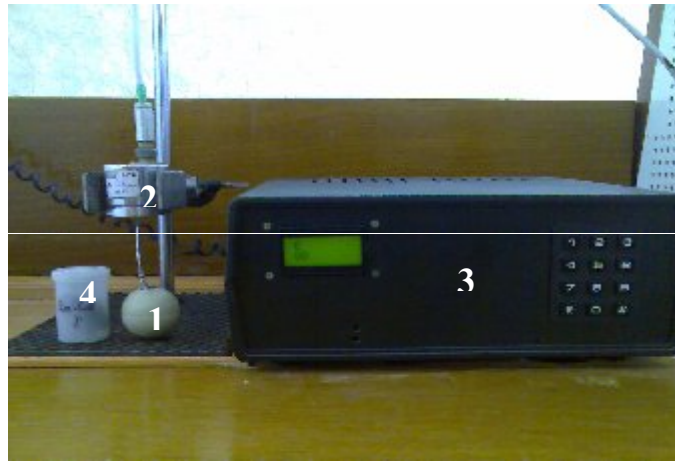


Рис. 2. Лабораторна установка для визначення польової дози  
1 - телурид-кадмієвий детектор розміром 5×5×3 мм розміщений в центрі кулі, виготовленої з тканино-еквівалентної речовини;  
2- підсилювач електричного сигналу з детектора з порогом дискримінації по енергії 40 кеВ; 3- блок реєстрації гамма-квантів в лічильному режимі;  
4- точкові джерела гамма – квантів  $\text{Am}^{241}$  -  $\text{Cs}^{137}$  (59,6 кеВ, 662 кеВ).



Рис. 3. Вимірювання потужності дози за допомогою приладів від джерела  $\text{Cs}^{137}$  (662 кеВ) з поглиначачем ( парафін товщиною 1 см): а) МКС-У; б) ДП-5В; в) МКС-05 «Терра»; г) Лабораторна установка

Таблиця 1

№ з/п	Прилад	Джерело ІВ			
		Am <sup>241</sup> -Cs <sup>137</sup>		Cs <sup>137</sup>	
		З екраном	Без екрана	З екраном	Без екрана
1	ДП-5В	0,075мР/г	0,075мР/г	0,4·100мР/г	0,4·100мР/г
		0,070мР/г	0,108мР/г	0,6·100мР/г	0,5·100мР/г
		0,1мР/г	0,075мР/г	0,5·100мР/г	0,6·100мР/г
2	МКС-05 «Терра»	0,78мкЗв/г	1,02мкЗв/г	538,1мкЗв/г	548,5мкЗв/г
		0,71мкЗв/г	0,97мкЗв/г	540,0мкЗв/г	536,0мкЗв/г
		0,73мкЗв/г	0,97мкЗв/г	541,2мкЗв/г	550,2мкЗв/г
3	МКС-У	0,77мкЗв/г	0,7мкЗв/г	515,5мкЗв/г	518,5мкЗв/г
		0,76мкЗв/г	0,75мкЗв/г	532,5мкЗв/г	521,5мкЗв/г
		0,75мкЗв/г	0,77мкЗв/г	525,3мкЗв/г	531,2мкЗв/г
4	Лабораторна установка (кількість зареєстрованих частинок за 45 сек.)	81 част.	118 част.	59900 част.	62882 част.
		79 част.	114 част.	59704 част.	61291 част.
		77 част.	114 част.	60610 част.	62070 част.
	* Для кулеподібного поглинач	98 част.*		59777 част.*	
		83 част.*		59998 част.*	
		107 част.*		60128 част.*	

\*Вимірювання з використанням кулеподібного парафінового поглинач

Експериментальні дослідження вимірювання потоків гамма-квантів з двох джерел: (Am<sup>241</sup>-Cs<sup>137</sup>, Cs<sup>137</sup>) при використанні штатних приладів МКС-05 „Терра”, ДП-5В, МКС-У та діючого макету лічильника гамма-квантів з енергіями вище ніж 40 кеВ показали:

1. При вимірюванні гамма-квантів Cs<sup>137</sup> результати практично (в межах похибки вимірювання) не відрізняються при застосуванні тканино-еквівалентного поглинач та без нього.
2. При опроміненні Am<sup>241</sup>-Cs<sup>137</sup> джерелом окремі прилади зафіксували відмінність значень потужності дози при застосуванні тканино-еквівалентного поглинач та при його відсутності.

Так, прилад МКС-05 „Терра” показав, що при застосуванні поглинач потужність еквівалентної дози зменшується на 32%. На приладах ДП-5В та МКС-У відмінностей значень потужності експозиційної дози та еквівалентної дози не було помітно, таким же чином як і при застосуванні джерела Cs<sup>137</sup>. Цей факт означає, що прилади ДП-5В та МКС-У не реєструють гамма-кванти з енергію нижче за 59 кеВ (Am<sup>241</sup>). Нечутливість МКС-У до енергій 59 кеВ (Am<sup>241</sup>) може бути пов'язана з перевищенням терміну градувальних перевірок (остання перевірка проводилась в 2003 році).

Як і прилад МКС-05 „Терра”, діючий макет зафіксував зменшення кількості гамма-квантів при застосуванні поглинач на 46% при опроміненні його комбінованим дже-

релом  $\text{Am}^{241}$  -  $\text{Cs}^{137}$ . Відмінність відносних вимірів МКС-05 „Терра” та діючим макетом може свідчити про більш низький поріг вимірювання енергії гамма - квантів у другого.

Таким чином, при зменшенні порогу реєстрації енергій гамма - квантів і наявності  $\text{Am}^{241}$ - $\text{Cs}^{137}$  забруднювачів, ідентичних паливним частинкам чорнобильського реактора, точність вимірювання потужності дози гамма - випромінювання підвищується більш як на 30-45%. Це значення може бути ще більшим через пониження енергії гамма - квантів за рахунок комптон-ефекту.

Методом Монте-Карло були проведені розрахунки зменшення енергії гамма - квантів з початковою енергією 662 кеВ, які пройшли крізь поглинач з алюмінію товщиною 1 см. Як видно з рис. 4, значна частина гамма - квантів втратила частину енергії. Таким самим буде зменшення енергії гамма - квантів при проходженні шару повітря товщиною 25-30 м. Отже, реєстрація гамма - квантів з низькими енергіями дозволяє зменшити похибку вимірювання потужності дози.

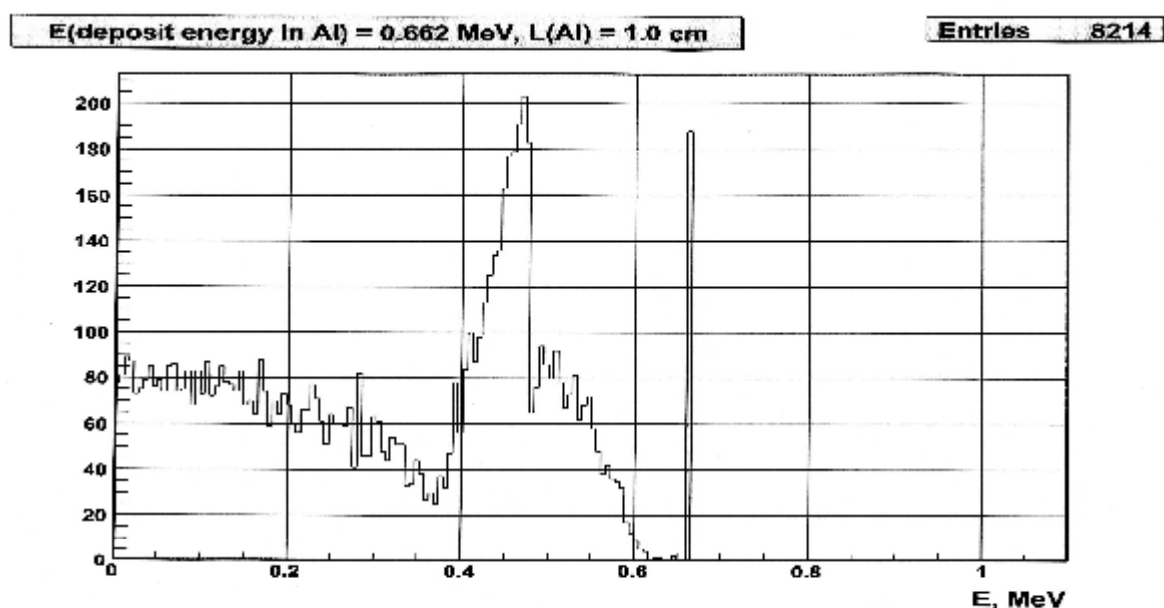


Рис 4. Спектр гамма-квантів від джерела  $\text{Cs}^{137}$  з енергією 662 кеВ при проходженні шару алюмінію товщиною 1 см

**Висновки:** Для коректного та ефективного прогнозу біологічного впливу гамма випромінювання на особовий склад необхідно враховувати властивості взаємодії ІВ з біологічними об’єктами. Оцінку біологічного впливу доцільно проводити за визначеною методикою, що дає змогу визначати ступінь радіаційного навантаження на критично важливі органи. Спосіб вимірювання польової поглиненої дози, яка визначає максимально можливе дозове навантаження на критичні органи, є достатньо інформативним та обґрунтованим для використання у військовій практиці.

Литература: 1. Кухтевич В.И., Горячев И.В., Трыков Л.А. Защита от проникающей радиации ядерного взрыва. – М.: Атомиздат, 1967 - 276с. 2. Дозиметрия ионизирующих излучений ядерного взрыва. / Под редакцией Шестерикова Б.А. – М.: ВАХЗ, 1973-450с. 3. Садовников Р.Н., Манец А.И. Анализ возможности учёта погрешности измерения мощности дозы гамма- излучения за счёт энергетической зависимости чувствительности прибора на основе знания средней энергии излучения // Экологические системы и приборы.- 2005.-№3 – С.37-40. 4. Иванов В.И. Курс дозиметрии. 4-е изд., перераб.

и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988- 256с 5. Методические указания. Внедрение и применение ГОСТ 8.417-81 «ГСИ. Единицы физических величин» в области ионизирующих излучений. РД 50-454-84. –М.: Издательство стандартов, 1984; 1990, с изменениями. 6. Григорьев А.Н., Кареев А.Г., Жадан Т.А. Применение полупроводниковых детекторов для регистрации электромагнитных и корпускулярных излучений в полевых условиях // Збірник наукових праць „Системи обробки інформації”.– Харків: ХВУ.– Вип.5(15).– 2001. – С.29 – 32. 7. Экспериментальная ядерная физика / Под ред. Э. Серге. Пер. с англ. Т. 3. – М.: Изд-во иностр. лит., 1961. – 684 с.

Марущенко В. В.

СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА ОЦЕНКУ БИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
ГАММА – ИЗЛУЧЕНИЯ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Предложен подход к оценке биологического воздействия гамма излучения на основе понятия полевой дозы, не требующей определения направления на источник излучения. Рассматривается устройство действующего макета прибора а также результаты сравнительной оценки энергетической чувствительности приборов.

Marushchenko V.V.

MODERN APPROACH TO ESTIMATION OF BIOLOGICAL EFFECT OF GAMMA  
RADIATION IN FIELD CONDITIONS

An approach towards estimation of biological effect of gamma radiation based upon the field doze concept is suggested which does not need determination of direction to the radiation source. A laboratory installation as well as the results of comparative estimation of power sensitivity of the equipment are discussed.

---