

## **ПИТАННЯ АДЕКВАТНОСТІ У ВІЙСЬКОВОЇ ДОЗИМЕТРІЇ**

Аналіз наслідків впливу Чорнобильської катастрофи на Збройні сили показує що існуюча система військової дозиметрії не спроможна вчасно та якісно забезпечити органи управління достовірними даними про радіаційну обстановку в умовах руйнування АЕС. В першу чергу це обумовлюється відмінністю енергетичних характеристик радіоактивного випромінювання суміші аварійного викиду АЕС від випромінювання продуктів поділу пального ядерного боєприпасу, а також великою долею радіоактивних речовин низької активності в суміші аварійного викиду АЕС, що забезпечує, при високій щільності радіоактивного зараження поверхонь, достатньо низький рівень радіоактивного випромінювання над ними, який в деяких випадках може бути нижче порогового значення виміру військових приладів радіаційної розвідки та контролю.

Не зважаючи на те, що метою оцінки отриманих радіаційних характеристик у системі військової дозиметрії залишається виконання бойового завдання військами, на нашу думку, дозиметричні вимірювання повинні бути адекватними умовам впливу та його очікуваним наслідкам. Як показує досвід ліквідації наслідків на ЧАЕС, у критичних ситуаціях виникає гостра необхідність достовірно і точно оцінювати радіаційну небезпеку саме по тим вимірюваним фізичним величинам, які характеризують біологічний ефект впливу іонізуючого випромінювання (ІВ).

Якісна сторона даної фізичної величини визначає «вид» величини (наприклад, активність радіонукліда  $A$ , потужність експозиційної дози  $\dot{X}$ , еквівалентна доза  $H$ ), а кількісна – її «розмір» (наприклад, активність конкретного зразка). Тому під терміном «вимірювання» будемо розуміти – знаходження значення фізичної величини ( $\Phi_i$ ) дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів (дозиметричної апаратури), а під терміном «визначення» - або величини які розраховуються, або прогнозуються за допомогою спеціальних методик.

Питання встановлення залежності між вимірюваними фізичними величинами та виходом радіаційно-індукованого ефекту ( $\eta$ ), де вихід радіаційно-індукованого ефекту є результат перетворення енергії випромінювання при його взаємодії з біологічним об'єктом ( $\eta = F(\Phi_i)$ ), достатньо широко висвітлені в науковій літературі [1,2,3].

Аналіз, який проведений у роботі [1] показав, у залежності від поставленої задачі необхідно визначати або поглинену енергію випромінювання у заданому об'ємі речовини, або розподіл цієї енергії по ЛПЕ (спектр лінійної передачі енергії), або спектр енергопоглинання в окремих випадках передачі енергії. Відповідні фізичні величини вимірювання  $\Phi_i$  автор відносить до деякого модельного об'єму, у якості якого виступає чутливий об'єм дозиметричного детектора. У роботі [2] проведений аналітичний огляд сучасних методів та детекторних систем вимірювання лінійної передачі енергії гамма-квантів у польових умовах. Огляд опублікованих робіт з цих питань свідчить, що найбільш ефективними методами отримання оперативної та достовірної інформації щодо радіаційної небезпеки є:

1. Застосування у блоках детектування приладів радіаційної розвідки та контролю фантомної моделі, яка імітує характеристики радіаційної взаємодії гамма-випромінювання з об'єктом, що опромінюється реально.

2. Застосування спектрометричних методів, які б дозволяли оперативно визначати енергетичний спектр ІВ (або якісно визначати радіонуклідний склад радіоактив-

*До обговорення*

них випадів від ЯВ або аварій АЕС, а також процентний вклад кожного з ідентифікованих радіонуклідів у загальну активність суміші радіоактивних продуктів).

Необхідно відмітити, що усі ці пропозиції стосуються особливостей інженерного, схемо-технічного отримання цих фізичних величин, а тому мають тільки загальну направленість, яка як правило відірвана від цілей та завдань військ РХБ захисту на сучасному етапі їх розвитку та переоснащення озброєння. Крім того опубліковані роботи не враховують специфіки проходження отриманих даних у системи прийняття рішень командиром. Заповнити цій пробіл, на нашу думку, допоможе аналітичний матеріал даної роботи.

Взагалі, якщо військову дозиметрію (ВД) розглядати, як комплекс злагоджених по місцю та часу ренгеметричних та радіометричних вимірів, які забезпечують своєчасну та достовірну оцінку боєздатності військ по радіаційному фактору, то виходом радіаційно-індукованого ефекту ( $\eta$ ) потрібно вважати вихід (%) з ладу особового складу на встановлений термін (табл.1,2), на гарантований термін протягом якого плануються бойові дії.

*Таблиця 1*

Очікувані наслідки одноразового гамма - опромінювання людини

Доза опромінювання, $P$	Вихід з ладу %				Смертність опромінених, %
	Усього	У тому числі протягом			
		перших двох днів	наступних двох тижнів	інших двох тижнів	
100	одиночні випадки	Одиночні випадки	0	одиночні випадки	0
150	15	Одиночні випадки	0	15	0
200	50	15	0	35	Одиночні випадки
250	85	50	35	0	10
300	100	85	15	0	20
350	100	100	0	0	30
400	100	100	0	0	40
450	100	100	0	0	50
500	100	100	0	0	70
600	100	100	0	0	100

*Таблиця 2*

Орієнтована групова оцінка боєздатності частин та підрозділів в умовах, пов'язаних з ризиком подальшого впливу ІВ

Ступінь боєздатності	Дози ( $P$ ) отримані протягом	
	чотирьох діб	1 місяця
Повністю боєздатне	До 50	До 100
Обмежено боєздатне 1 ступеня	До 150	До 250
Обмежено боєздатне 2 ступеня	До 250	До 400
Обмежено боєздатне 3 ступеня	Більш 250	Більш 400

Радіаційна характеристика – експозиційна доза опромінювання ( $X$ ), яка використовується у нормативних документах по оцінці боєздатності військ була отримана експериментально тільки для визначеного виду ядерного вибуху та визначеної потужності ядерного боєприпасу. Вона може повно характеризувати лише втрату енергію гамма – випромінювання і тільки у повітрі, та не може бути автоматично переведена у одиниці виміру еквівалентної дози, що нерідко робиться у літературі під впливом су-

часних вимог, та тим більш використовуватися під час оцінки радіаційної небезпеки при аваріях на АЕС, у силу значної відмінності ізотопного складу зараження, а значить і іншого енергетичного спектру випромінювання.

Розглянемо систему вимірювання фізичних величин, які використовуються на цей час при оцінці боєздатності військ за радіаційним фактором на тлі послідовності процесів, які призводять до радіаційно-індукованого ефекту (рис.1). Оскільки отримана інформація під час виконання різних завдань підрозділами військ РХБз використовується для прийняття оптимального рішення командира, для дії військ в умовах РХБ зараження, цінність такої інформації залежить не тільки від часу її проходження, але і від інших важливих характеристик, як повнота та точність. Так, в роботах [6,7] розглядається тільки час ( $T_{кр}$ ), по закінченню якого вимірювана підрозділами РХБ розвідки потужність експозиційної дози буде «знецінена» (використання отриманого значення при оцінці радіаційної обстановки вже не призведе до значного зменшення втрат військ, діючих в умовах зараження). Взагалі питання стоїть не в тому, як швидко вимірювати та передавати цю інформацію, а що вимірювати та наскільки ці дані будуть відповідати реальним біологічним ефектам на заданий час.

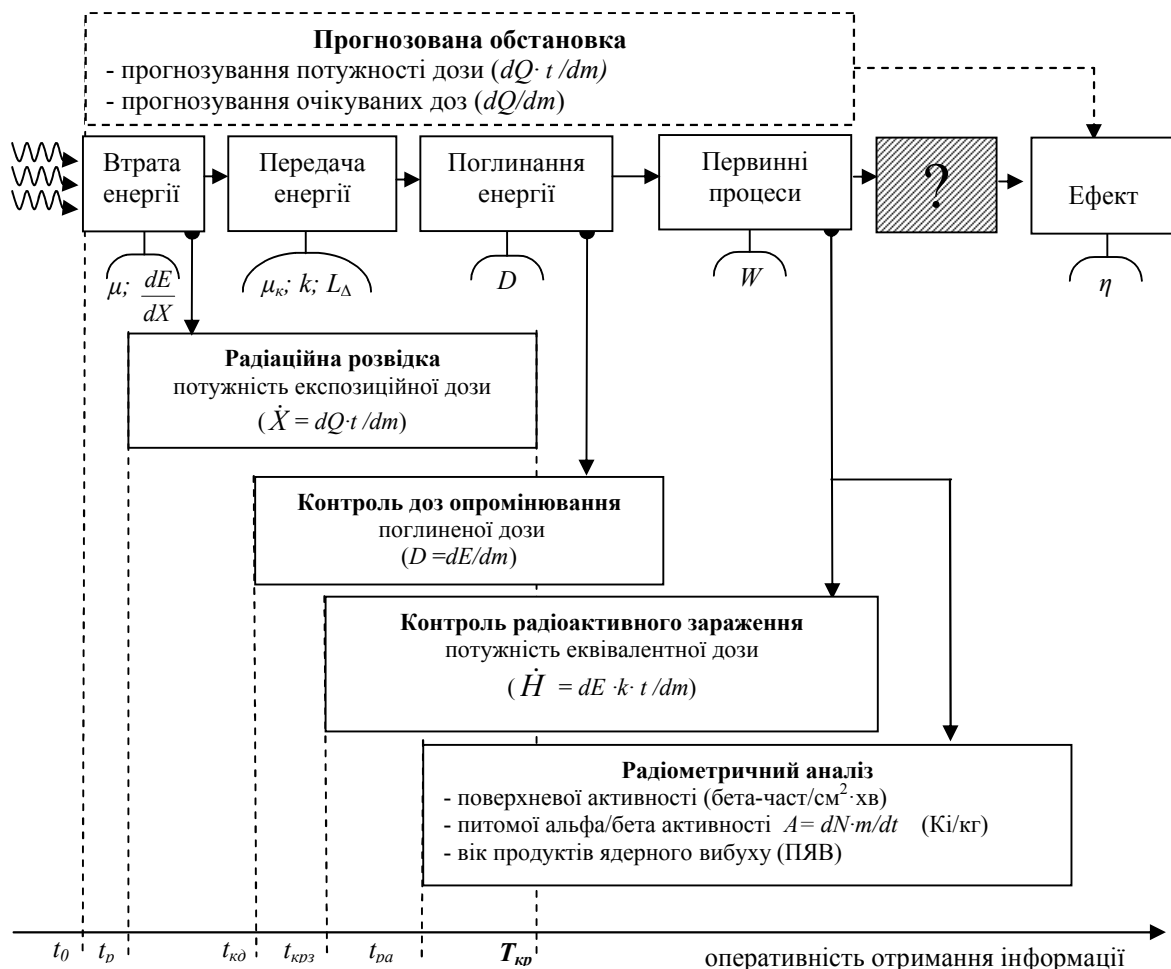


Рис. 1. Вимірювання та визначення фізичних величин у системі ВД

При цьому необхідно відмітити, що постійно змінюється радіонуклідний склад не тільки зараженої місцевості (рис.2), але відібраних проб для радіометричного аналізу, які також доставляють у радіометричні лабораторії підрозділи розвідки. Тому, на наш погляд, інформація повинна оновлюватися у реальному масштабі часу.

У даний час для оцінки втрат особового складу від радіоактивного зараження місцевості, за результатами вимірювань розраховуються значення характеристик вражаючого фактору (потужність експозиційної дози  $\dot{X}$ , дозу  $X$ ) в вказаних точках (районах) на заданий час та порівнюють їх з мінімальними (пороговими) величинами, які визначають досягнення заданого ступеня враження елемента, що розглядається [4].

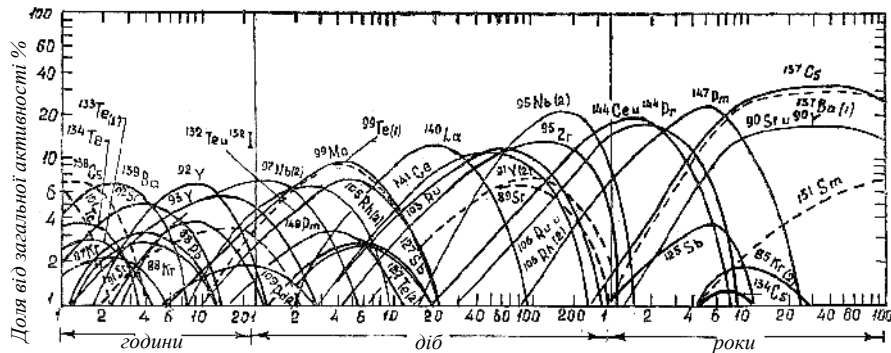


Рис. 2. Зміна відносного вкладу окремих продуктів ЯВ у загальну активність з часом для випадку поділу урану – 238 термоядерними нейтронами

На підставі результатів порівняння роблять висновки щодо стану об'єкта. Доза радіації на сліді радіоактивної хмари розраховується для заданих інтервалів часу, які відраховуються або від часу останнього ЯВ, або від початку аварії на АЕС. Розрахунки здійснюються по методикам, які приведені у [4]. В основі усіх відомих методик по прогнозуванню радіаційної обстановки лежить емпірично отримана (Веєм і Вігнером в 1948 році) закономірність спаду активності від радіоактивних продуктів при миттєвому поділі урану або плутонію, які використовуються у якості ядерного палива:

$$\frac{A_2}{A_1} = \left( \frac{t_1}{t_2} \right)^n, \quad (1)$$

де  $t_1$  і  $t_2$  – два різних моменти часу після розподілу з інтервалом  $\Delta t = t_2 - t_1$  між ними;  $A_1$  і  $A_2$  – величини активності, що відповідають моментам часу  $t_1$  і  $t_2$  після вибуху;  $n$  – показник ступеня.

Численні дослідження [5] показали, що використання даної залежності, при визначенні прогнозованих значень дози та потужності дози, може призводити до значних помилок у силу наступних причин:

1) Значення показника спаду активності (потужності дози)  $n = 1,2$ , яке залежить від багатьох факторів не буде постійним протягом часу і змінюється від 0,9 до 2,3. Помилка у визначенні прогнозованих значень (рис.1) доз опромінення (до 100 і більш відсотків).

2) Закон Вея і Вігнера справедливий тільки лиш для одного ЯВ, а у випадку накладення слідів від безлічі ЯВ будуть виникати додаткові помилки, тобто в цьому випадку та при аваріях АЕС поняття «вік» радіоактивних продуктів девальвується.

3) Значні помилки при прогнозі доз опромінювання будуть також виникати у тому випадку, якщо «вірогідний» супротивник буде використовувати нестандартні ядерні боєприпаси (боєприпаси з заданим періодом напіврозпаду радіоактивних речовин).

Крім того, необхідно ще враховувати і те, що у дійсний час методи дозиметрії і відповідні військові дозиметричні прилади дають достатньо надійні результати щодо потужності дози (доз) лиш у визначених інтервалах енергії ІВ: в основному 80 – 3000 кеВ, що не дозволяє ідентифікувати джерело радіації та отримати детальну інформацію

щодо спектрального розподілу поглиненої (еквівалентної) дози через помилки за рахунок ходу жорсткості. На рис. 3. наведена характерна залежність ефективності серійних газорозрядних лічильників від енергії гамма-випромінювання. Як видно із графіка, ефективність реєстрації невисока (не більше 2 %) і різко змінюється від енергії випромінювання, що реєструється (ефективність лічильника мінімальна в області енергії 0,1-0,5 MeV, а починаючи з енергії 0,5 MeV, майже лінійно зростає зі збільшенням  $E_\gamma$ ).

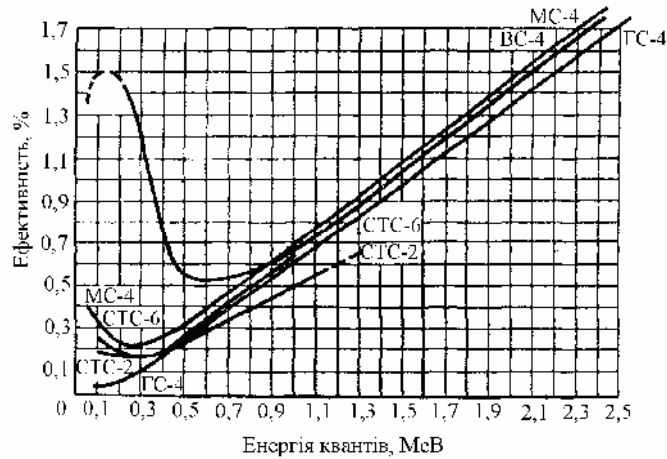


Рис. 3. Залежність ефективності газорозрядних лічильників від енергії випромінювання, що реєструється

Актуальність цього питання полягає перш за все у тому, що у військовій дозиметрії при встановленні характеристик радіоактивного зараження та визначення ступеню радіаційної небезпеки застосовується гамма-метод.

Сутність цього методу полягає в тому, що забруднення поверхонь військової техніки та іншого обладнання і матеріальних засобів, а також засобів захисту або незахищених ділянок шкіри особового складу визначається не по  $\beta$ - випромінюванню, яке є одним із факторів радіаційної небезпеки, а по супутньому  $\gamma$ - випромінюванню. Такий підхід дозволяє однотипними дозиметричними приладами вимірювати як рівень радіоактивного  $\gamma$  - фону та і ступінь зараження різних поверхонь та незахищених ділянок шкіри та використовувати переносні прилади, як для ведення радіаційної розвідки так і для контролю радіоактивного зараження різних поверхонь. При цьому вимірювати потрібно одну і ту саму фізичну величину – потужність дози гамма-випромінювання.

У той же час відомо, 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). 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.

Отримання так званих низьких енергій гамма-випромінювання можливо також при поглинанні гамма-квантів при заглибленні гамма-джерел у ґрунт і при утворенні завалів під час ядерного вибуху або руйнуванні ядерних об'єктів.

Отже, реєстрація гамма - квантів з низькими енергіями дозволяє зменшити похибку вимірювання потужності дози.

На жаль, перехід від експозиційної (прилади ДП-5В, ИМД-1Р) та поглиненої (прилад ИМД-5) потужності дози гамма – випромінювання на більш інформативну одиницю вимірювання біологічного ефекту – еквівалентну потужність дози  $\dot{H}(E_\gamma)$

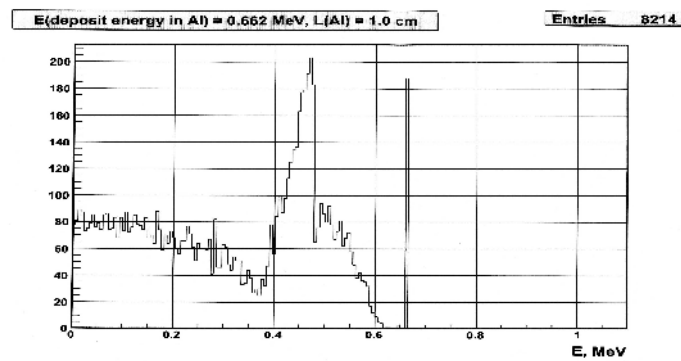


Рис 4. Спектр гамма-квантів від джерела Cs<sup>137</sup> з енергією 662 кеВ при проходженні шару алюмінію товщиною 1 см

(Зв та мЗв), здійснюється у рамках формального градування вимірювальних величин і не враховує енергетичний діапазон ІВ, а значить не враховується коефіцієнт якості (спектр ЛПЕ) [2].

Таблиця 3

Середні значення коефіцієнта якості  $\bar{k}$ , Зв/Гр

Вид іонізуючого випромінювання	$\bar{k}$	Вид іонізуючого випромінювання	$\bar{k}$
Фотони з енергією більше 350 кеВ	1,0	Нейтрони з енергією більше 100 МеВ	5,0
Фотони з енергією 150 – 350 кеВ	1,5	Нейтрони з енергією 0,03 – 100 МеВ	10
Фотони з енергією менше 150 кеВ	2,0	Нейтрони з енергією менше 30 кеВ	3,0
Електрони і позитрони з енергією більше 100 кеВ	1,0	Протони з енергією більше 50 МеВ <sup>1</sup>	2,5
Бета-випромінювання з граничною енергією більше 200 кеВ <sup>1</sup>	1,0	Протони з енергією більше 5 МеВ <sup>2</sup>	2,5
		Альфа-випромінювання з енергією менше 6 МеВ	20
		Важкі ядра	20

Проведені лабораторні дослідження [3] показали нечутливість приладу МКС-У до енергій 59 кеВ (Am<sup>241</sup>), що на наш погляд, наврядчи може бути пов'язано з перевищенням терміну градувальних повірок. При зменшенні порогу реєстрації енергій гамма - квантів і наявності Am<sup>241</sup>-Cs<sup>137</sup> забруднювачів, ідентичних паливним частинкам чорнобильського реактору, 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.

Дійсно вимірюючи експозицію у газонаповненому об'ємі (газорозрядних личильників) можливо отримувати потужність еквівалентної дози, але для цього потрібно, або знання енергетичного спектру (для врахування наприклад 3-х діапазонів коефіцієнта якості 1, 1,5, 2 табл.3), або використовувати фантомну модель взаємодії ІВ різного виду з критичним органом людини [2,3]. У останньому випадку при використанні потужності еквівалентної дози у деякій точці у середині фантома, який знаходиться у фотонному полі випромінювання, значення потужності експозиційної дози  $\dot{X}$  буде являтися базисною величиною і відноситися до заданої точки не збудженого радіаційного поля:

$$\dot{H}(E_\gamma) = c(E_\gamma) \cdot \dot{X}, \quad (2)$$

де  $c(E_\gamma)$  - переводний фантомно-залежний коефіцієнт. Перспектива майбутніх досліджень у визначенні параметрів такого коефіцієнту.

Особливо стоїть проблема з отриманням достовірної інформації під час ведення радіаційної розвідки (РР) бортовими вимірювачами потужності дози. Питання щодо обмеженої зони збору гамма - квантів блоком детектування (БД) бортового приладу викладені у роботі [7], у якій оцінюється радіус підконтрольної площі бортовим приладом РР при розташуванні БД на встановленій висоті від поверхні землі. Єдиний на цей час прилад ИМД -21Б здійснює вимірювання експозиційної потужності дози гамма- випромінювання (визначення рівнів радіації) у середині броньованого об'єкту за допомогою іонізаційної камери, а автоматично враховує коефіцієнт ослаблення гамма-квантів стінками броні, не враховує енергетичну залежність отриманих результатів. Перераховані вище причини призводять до пошуку шляхів, які забезпечують підвищення достовірності інформації щодо фактичної та прогнозованої радіаційної обстановки.

Одним з можливих шляхів підвищення достовірності інформації щодо прогнозованих рівнів потужності дози (дози) радіації є використання у системі військової дозиметрії гамма- спектрометричної апаратури, яка б дозволила експресно визначати радіонуклідний склад радіоактивних випадів як від ЯВ так і від аварій АЕС, а також відсотковий вклад кожного з ідентифікованих радіонуклідів в загальну активність суміші радіоактивних продуктів. Маючи у наявності від підрозділів розвідки дану інформацію, а також інформацію щодо значень потужності еквівалентних доз, вимірюваних за допомогою фантомної моделі, приладами радіаційної розвідки, можливо: по-перше, будувати електронні карти дозових полів, по-друге оперативно розрахувати яким чином буде змінюватися величини  $\dot{H}$ ,  $H$  протягом часу.

У цьому випадку відпадає необхідність у знанні «віку» радіоактивних продуктів та показника спаду  $n$  для здійснення більш достовірних (адекватних) оцінок прогнозу радіаційної обстановки. Даний спектральний канал (рис.5) потрібен саме для подальшого прогнозування радіаційних полів у даної точки місцевості на заданий час. Також його інформацію можливо використовувати і під час руху машини розвідки, з метою оптимальної швидкості ведення розвідки або точок зупинки для зняття карт дозових полів. Існуюча у дійсний час у військових радіометричних лабораторіях апаратура для контролю радіоактивної зараженості різного виду проб, а також визначення віку продуктів не дозволяє у повній мірі достовірно вирішувати важливі задачі радіаційної безпеки. Маючи на озброєнні сучасний комплекс апаратури, який включає в себе багатоканальний гамма-спектрометр, можливо визначати радіонуклідний склад радіоактивних випадів (РАВ), а відповідно, знаючи їх основні радіаційні характеристики, більш точно прогнозувати дозові навантаження на особовий склад, який знаходиться на зараженій місцевості.

Таким чином, суть нового підходу до підвищення достовірності інформації під час виявлення та оцінки фактичної радіаційної обстановки, а також подальшому її прогнозу полягає у тому, що наряду з визначенням рівнів потужності еквівалентної дози гамма - випромінювання за показаннями штатних приладів, визначається радіонуклідний склад РАВ на місцевості і будується більш достовірний прогноз щодо дозових навантажень на будь-який заданий інтервал часу. Природно, що точність даного прогнозу буде залежити від часу, який пройшов після радіоактивного зараження місцевості та точності визначення відносного вкладу радіонуклідів у загальну активність суміші. Основними інформативними параметрами при цьому є величини поверхневої активності ідентифікованих радіонуклідів, а також їх закономірності накопичення та радіоактивного розпаду.

До обговорення

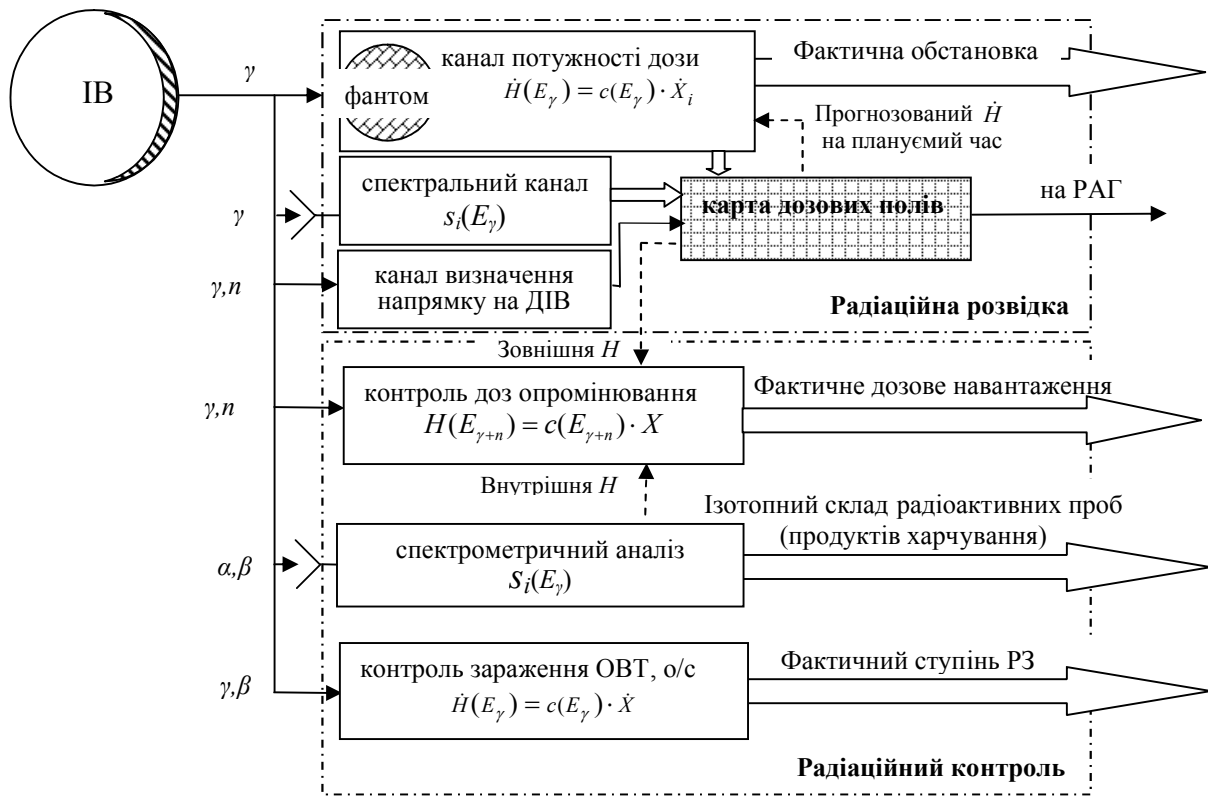


Рис. 5. Система вимірів військової дозиметрії

При прогнозі дозових навантажень на період часу більш 30 діб необхідно уточнювати дані прогнозу шляхом додаткових вимірювань.

Таким чином, при здійсненні прогнозу радіаційної обстановки в РАСт та РАГ, наряду с даними наземної радіаційної розвідки місцевості про рівні потужності дози, повинна поступати інформація щодо швидкості спаду  $\dot{H}$  (накопичення  $H$ ) у районах, де проводились вимірювання, або більш достовірні дані про показник спаду  $n$  із врахуванням реально ідентифікованих радіонуклідів на зараженій місцевості.

Це дозволить оперативно вносити певні корективи при складанні реальної картини радіоактивного зараження місцевості (карти дозових полів) після застосування ядерного зброї усіх поколінь, боєприпасів із збідненим ураном, брудних бомб, або аварій АЕС та видавати більш об'єктивні рекомендації по діям військ або мирного населення на радіоактивно зараженій місцевості.

**Література:** 1. Иванов В.И. Курс дозиметрии. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988.-202 с. 2. Научно-дослідна робота: «Розробка методики оцінки впливу гамма-випромінювання на організм людини у польових умовах» («ДОЗА»). ФВП НТУ «ХП», 2008.-55 с. 3. Марущенко В.В. Сучасний погляд на оцінку біологічного впливу гамма випромінювання в польових умовах. Науково-технічний журнал «Механіка та машинобудування» НТУ «ХП» – 2010. – Вип. 2. – С. –202-206. 4. Довідник офіцера військ РХБ захисту: Довідник. За загальною редакцією А.І. Баталова. – Харків: ХІТВ, 2005.- 276 с. 5. Дозиметрия ионизирующих излучений ядерного взрыва. / Под редакцией Шестерикова Б.А. – М.: ВАХЗ, 1973.-450 с. 6. 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 / Інформаційний бюлетень військ РХБ захисту № 6(6) 2008. Науково-інформаційне видання. – Харків: ХІТВ, 2008. -100 с. 7. Чернявський І.Ю., Марущенко В.В. Повышение качества проведения радиационной разведки районов путем увеличения контролируемой площади бортовым прибором радиационной разведки. Науково-технічний журнал «Механіка та машинобудування» НТУ «ХП» – 2010. – Вип. 2. – С. –217-222.



**Bibliography (transliterated):** 1. Ivanov V.I. Kurs dozimetrii. 4 e izd., pererab. i dop. – M.: Jenergoatomizdat, 1988.-202 s. 2. Naukovo-doslidna robota: «Rozrobka metodiki ocinki vplivu gamma-viprominjuvannja na organizm ljudini u pol'ovih umovah» (“DOZA”). FVP NTU «HPI», 2008.-55 s. 3. Maruwenko V.V. Suchasnij pogljad na ocinku biologichnogo vplivu gamma viprominjuvannja v pol'ovih umovah. Naukovo-tehnichnij zhurnal «Mehanika ta mashinobuduvannja» NTU «HPI» – 2010. – Vip. 2. – S. –202-206. 4. Dovidnik oficera vijs'k RHB zahistu: Dovidnik. Za zagal'noju redakciju A.I. Batalova. – Harkiv: HITV, 2005.- 276 s. 5. Dozimetrija ionizirujuvix izluchenij jadernogo vzryva. / Pod redakciej Shesterikova B.A. – M.: VAHZ, 1973.-450 s. 6. Chernjavs'kij I.Ju. Obruntuvannja shljahiv vdoskonalennja sistemi zboru ta obrobki informacii pro RHB obstanovku pri vikonanni zavdan' pidrozdilami ta chastinami u skladi OSShR wodo nejtralizacii zbrojnogo konfliktu / Informacijnij bjuleten' vijs'k RHB zahistu № 6(6) 2008. Naukovo-informacijne vidannja. – Harkiv: HITV, 2008. -100 s. 7. Chernjavs'kij I.Ju., Maruwenko V.V. Povyshenie kachestva provedenija radiacionnoj razvedki rajonov putem uvelichenija kontrolirujemoj plowadi bortovym priborom radiacionnoj razvedki. Naukovo-tehnichnij zhurnal «Mehanika ta mashinobuduvannja» NTU «HPI» – 2010. – Vip. 2. – S. –217-222.

Чернявский И.Ю., Бутейко Р.В.

#### ВОПРОСЫ АДЕКВАТНОСТИ В ВОЕННОЙ ДОЗИМЕТРИИ

В статье рассматриваются достоверность и точность измеряемых физических величин в системе войсковой дозиметрии, применительно к решаемым войсками РХБз задачам.

Chernyavsky I.Y., Butenko R.V.

The article deals with the reliability and accuracy of the measured physical quantities in the system of military dosimetry, as applied to problems solved NBCD troops.

---