І.Ю. Чернявський

Військовий інститут танкових військ НТУ "ХПИ", Харків, Україна

РЕЄСТРАЦІЯ ТА АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ У СИСТЕМІ ВИЯВЛЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЯДЕРНОЇ ОБСТАНОВКИ

Аналізуються існуючі залежності, які визначають особливості оцінки потужності дози миттєвого та вторинного гамма-випромінювання, зміни часових та спектральних характеристик імпульсу гамма-випромінювання різних типів ядерних боєприпасів. Обґрунтовується можливість класифікації типу боєприпасу на основі фіксації спектрального розподілу миттєвих гамма-квантів проникаючої радіації ядерного вибуху, а також тривалості імпульсу за отриманою формою імпульсу потужності дози миттєвого та вторинного гамма-випромінювання. Проведена апробація реєстрації CdTe детекторами виділених параметрів імпульсу гамма-випромінювання медичного лінійного прискорювача Varian Clinac 600C

Ключові слова: реєстрація та аналіз параметрів, миттєве, вторинне гамма- випромінювання

Вступ

Постановка проблеми. Зміна поглядів на ведення збройних конфліктів, відмова від масованого застосування ядерної зброї [1], розвиток систем озброєння, в першу чергу, високоточного зі спеціальними бойовими частинами, тактичної ядерної зброї для ураження ударних військових угруповань спричиняє необхідність зміни підходів до оцінки ситуації, що склалася і прогнозування обстановки в осередках ядерного ураження. Проведені дослідження [2; 8] показали, що значні помилки в оцінці ядерної обстановки за даними прогнозу виникають в результаті відсутності достовірної інформації не тільки про потужність вибуху, але і про тип застосованого ядерного боєприпасу (ЯБП). Неврахування спектрального складу проникаючої радіації, що визначає тип ядерного боєприпасу, призводить до неприпустимих помилок в оцінках доз гамма-нейтронного опромінення особового складу.

Крім того, від типу боєприпасу (атомний, термоядерний або нейтронний) залежить розподіл енергії між уражаючими факторами ядерного вибуху (ЯВ), що зумовлює особливості осередку ядерного ураження. Безумовно, існує зв'язок між потужністю ЯБП і його типом [3]: тактичні ЯБП (атомні) – від 10 т до 10 кт; нейтронні – від 0,5 кт до 5 кт; термоядерні (комбіновані) – від 100 кт до 10 Мт. Однак інтенсивні спроби зробити боєприпаси більш "чистими" [4] потужністю від 20-30 т (Mini Nukes), нейтронні боєприпаси потужністю до 10 кт роблять проблему ідентифікації типу ЯБП ще більш гострою і актуальною для систем виявлення та оцінки ядерної обстановки в сучасних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У той же час удосконалюються і методи світлової, акустичної та електромагнітної засічки параметрів

ЯВ [3; 5–7]. Дослідження в області моніторингу параметрів ведуться як з удосконалення методів автоматичного визначення необхідних і достатніх параметрів на основі реєстрації різноманітними датчиками світлового і миттєвого гамма-нейтронного випромінювання, так і зі створення ефективних алгоритмів роботи таких систем. Теоретично класифікація типу ЯБП може полягати в аналізі відсоткового складу спектра нейтронної компоненти [8]. Однак через недосконалі методи реєстрації нейтронів на даний момент розвитку ядерного приладобудування реалізація такого підходу викликає значні труднощі навіть у лабораторних умовах. Більш доступним з точки зору апаратної реалізації є підхід на основі реєстрації та аналізу різних параметрів гамма-випромінювання проникаючої радіації ЯВ напівпровідниковими детекторами. Часовий та енергетичний розподіл цієї компоненти проникаючої радіації при виході з ядерного вибухового пристрою істотно залежить саме від типу і конструкції пристрою [9]. Таким чином, інтенсивність миттєвих гамма квантів для нейтронного боєприпасу на порядок вище, ніж у атомного і термоядерного боєприпасу (2/3 квантів мають енергію від 1 до 4 MeV). Незважаючи на те, що на миттєву компоненту припадає менше 1% від повної енергії вибуху, внаслідок короткого часу випускання потужність дози становить значну величину на великих відстанях від місця вибуху. У миттєвому імпульсі реалізується максимальна інтенсивність (потужність дози P_γ) гамма-випромінювання (для термоядерного вибуху потужністю 20 кт на відстані 1600 м прогнозується максимальна потужність дози у 10^6 Гр/с), що дає підстави використовувати даний параметр в оцінках стійкості радіоелектронної апаратури. У роботах В.І. Кухтевича [10] досліджується енергетичний спектр, що виникає в ура-

ні ^{238}Pu під дією нейтронів з енергією 14 MeV, а також енергетичний спектр миттєвих гамма-квантів, що випускаються при поділі урану-235 (плутонію-239) тепловими нейтронами. Отримано форми імпульсу потужності дози, проведені оцінки залежності потужності дози гамма-випромінювання від часу, що пройшов з моменту вибуху ЯБП потужністю 2 і 20 кт. для різних відстаней від центру ЯВ.

Аналіз відкритої літератури показує наявність як досить спрощених залежностей, що дозволяють оцінити параметри імпульсу потужності дози гамма-випромінювання [3; 10; 11], так і досить складні апроксимації форми імпульсу гамма-випромінювання [4]. Так, у роботі Л.О. Мирово і А.З. Чепіженко [11], присвяченій забезпеченню стійкості апаратури зв'язку до іонізуючого і електромагнітного випромінювання, наводиться орієнтовний вираз для оцінки потужності експозиційної дози миттєвого гамма-випромінювання (без урахування типу ЯБП):

$$P_{\gamma} \approx \frac{2,58 \cdot 10^{11} q}{R^2} e^{-\frac{R}{\lambda_{ef}}} \quad (1)$$

де q – потужність ядерного вибуху, т; R – відстань до центру ядерного вибуху, м; $\lambda_{ef} = \frac{1}{\mu_{\lambda}}$ – ефективна довжина пробігу гамма-квантів, тобто відстань, на якому гамма-випромінювання послаблюється в e раз ($e=2,718$), залежить від енергії гамма-випромінювання (E_{γ}) і лінійного коефіцієнта послаблення середовища (μ_{λ}). В роботі [3] додатково враховується відносна щільність повітря. У роботі [4] максимальний вихід миттєвих гамма-квантів оцінюється у $N_{\gamma \max} = 7 \cdot 10^{30}$ (квант/(с·кт)) із тривалістю гамма-імпульсу на напіввисоті в 28 нс, що призводить до дещо інших результатів в оцінках максимальної потужності дози і форми імпульсу в цілому.

З іншого боку, у роботі [9] зазначається, що імпульс миттєвого гамма-випромінювання практично зберігає часову форму на всіх відстанях від центру вибуху, що пов'язано з внеском вторинних квантів в загальну дозу, який, в свою чергу, сильно залежить від спектра нейтронів, умов і виду вибуху. Для атомних і термоядерних боєприпасів основною складовою вторинного гамма-випромінювання є захватне випромінювання (45% у ґрунті та 50% у повітрі), а для нейтронних боєприпасів – гамма-випромінювання непружного розсіювання (80% у повітрі).

Імовірно саме дана особливість може позначитися на формах імпульсу для різних типів ЯБП. Як відзначають фахівці [9], тимчасова форма миттєвого випромінювання атомного вибуху має однопікову структуру (рис. 1). Там же розглянуті особливості тимчасової структури миттєвого випромінювання термоядерного вибуху: двопіковість (або більше) з

інтервалом між піками в кілька мікросекунд і співвідношенням амплітуд гамма-випромінювання в піках приблизно 10.

Рис. 1. Часова форма гамма-випромінювання висотного (суцільна лінія) і наземного (штрихова лінія) атомного вибуху:

- 1 – миттєвий компонент;
- 2 – гамма-випромінювання, народжене в актах непружного розсіювання нейтронів;
- 3 – ізомерне випромінювання;
- 4 – випромінювання, народжене в актах захоплення нейтронів;
- 5 – осколкове випромінювання

При цьому аналіз відкритої літератури показує, що не є дослідженим методологічний апарат класифікації типу ЯБП за реєстрацією та аналізом необхідних і достатніх параметрів гамма-випромінювання. Аналітичні залежності, що визначають максимальну потужність дози, форму результуючого імпульсу гамма-випромінювання (рис. 1), тривалість імпульсу для кожного типу ЯБП в літературі висвітлені недостатньо. Для обґрунтування можливості класифікації типу ЯБП необхідна попередня оцінка здатності реєстрації та аналізу зазначених параметрів вискоефективними детекторами гамма-випромінювання.

Мета статті: теоретична перевірка можливості класифікації типу ЯБП за характерним імпульсом гамма-випромінювання проникаючої радіації ЯВ шляхом виділення необхідних і достатніх параметрів імпульсу для кожного типу ЯБП, оцінки можливості діапазону зміни даних параметрів, а також апаратної реалізації реєстрації зазначених параметрів, використовуючи новітні досягнення ядерного приладобудування.

Виклад основного матеріалу

Для виявлення необхідних і достатніх параметрів гамма-випромінювання проникаючої радіації ЯВ скористаємося підходом, запропонованим у роботах [10; 11]. Повний потік гамма-квантів, утворений декількома складовими, кожна з яких має свій характерний час спаду, і ймовірно залежить від типу ЯБП, представлений на (рис. 2).

Рис. 2. Повний розподіл інтенсивностей джерела гамма-випромінювання для випадку наземного ЯВ потужністю 1 Мт

Якщо аналізувати процес формування імпульсу гамма-випромінювання ЯВ в часі, то доречно зазначити, що миттєві нерозсіяні кванти (1) протягом декількох наносекунд досягають максимальної потужності дози, тривалість імпульсу становить зазвичай близько 10 нс, а потім розсіяні кванти (2) формують спадаючий протягом 10-20 нс імпульс з довгим “хвостом”, утвореним також розсіяними гамма-квантами, осколковим (5) і захватним гамма-випромінюванням землі (3), повітря (4).

Оскільки щільність повітря нижче, ніж щільність землі, інтенсивність захватного випромінювання в цьому випадку менше, а процес довший. Чим вища висота вибуху, тим більшим є зсув між захватним випромінюванням на землі та в повітрі.

Спектр миттєвих гамма-квантів поділу [10] в діапазоні від 1-7 MeV може бути представлений простою експонентою $\Phi(E_\gamma) = 8,0 \cdot e^{-1,1E_\gamma \text{ MeV}^{-1} \text{ MeB}^{-1}}$ з точністю $\pm 40\%$, а в області енергій від 1 до 4,5 MeV помилка менше $\pm 15\%$.

У роботі відзначається, що гамма-кванти низьких енергій (до 1 MeV) легко поглинаються оболонкою боєприпасу і тому є незначним джерелом випромінювань.

Найбільш повно проаналізовано спектр миттєвого гамма-випромінювання в діапазоні енергій 0,5-8 MeV для ядерних боєприпасів [4].

У роботі відзначається, що при поширенні в повітрі змінюється спектр миттєвого випромінювання, причому на відстанях від центру вибуху $R \leq 500$ м переважає низькоенергетична група фотонів ($E_\gamma \sim 1,25$ MeV), а на $R > 500$ м починає переважати високоенергетична група фотонів ($E_\gamma \sim 4$ MeV).

Це дає можливість стверджувати, що для різних типів ЯБП на заданій відстані від центру вибуху буде спостерігатися різниця в спектральному розподілі миттєвих гамма-квантів (табл. 1).

Таблиця 1

Енергетичний розподіл миттєвого гамма-випромінювання у відсотках [8; 9]

$E_\gamma \text{ MeB}$	Атомний	Термоядерний	Нейтронний
4-8	4,4	3,6	10,3
2-4	23,6	22,4	23,5
2-1	43	43	33,2
0,5-1	29	31	33

Найбільша різниця в розподілі миттєвих гамма-квантів у відсотках на $R > 500$ спостерігається в діапазоні енергій 4-8 MeV, що дозволило виділити даний параметр, як маркер для класифікації типу ЯБП за реєстрованим спектром миттєвих гамма-квантів.

Знаючи загальний потік гамма-випромінювання для заданої потужності і типу ЯБП, можна перейти до потоку енергії гамма-випромінювання на заданій відстані від центру вибуху і більш точно оцінити максимальну потужність дози (Р/с) для далекої зони ($R > 500 \Delta$).

Отримати повний аналітичний вираз, що описує форму імпульсу, видається можливим при використанні залежності, запропонованій у роботі [9], що визначає характер спаду основного імпульсу при проходженні його в просторі:

$$P_\gamma^{\text{мит}}(t) = \frac{K_M \cdot 10^{12} \cdot q}{R^2} \cdot e^{\frac{-R \cdot \Delta}{\lambda_{\text{эф}}}} \cdot \left(\frac{t - \frac{R}{c}}{t_M} \right)^{-1,4} \quad (2)$$

де K_M – коефіцієнт типу ЯБП, що враховує особливості питомого виходу миттєвих гамма-квантів в даному типі ЯБП (табл. 2); R – відстань до центру ядерного вибуху, м при відносній щільності повітря – Δ , що залежить від висоти ЯВ (влітку в більшості випадків значення Δ близько до 0,9, а в зимовий час – до 1,1); c – швидкість світла.

В роботі [9] питомий вихід миттєвих гамма-квантів оцінюється для атомного боєприпасу – $(2-10) \cdot 10^{22}$ (γ-квантів/тис.т), с $t_i = 30-100$ нс для термоядерного $\approx 6 \cdot 10^{22}$ (γ-квантів/тис.т) с $t_i = 10-30$ нс.

Таблиця 2

Параметри для оцінки форми імпульсу потужності дози миттєвого гамма-випромінювання

Параметр	Атомний	Термоядерний	Нейтронний
K_M	7,4	4,2	$1,8 \cdot 10^{-2}$
$\lambda_{\text{эф}}$	230	230	260
t_M	10^{-8}	10^{-8}	10^{-9}

Для ближньої зони ($R \leq 500 \cdot \Delta$) ефективну довжину миттєвих гамма-квантів доцільно оцінювати в значеннях 190-200 для всіх типів ЯБП.

Аналіз змодельованої форми імпульсу миттєвого гамма-випромінювання для нейтронного боєприпасу на відстані 1000 м для типових потужностей нейтронних боєприпасів (0,2-5 кт), показує, що тривалість імпульсу на рівні 0,5 від максимального значення може становити близько 3-5 нс, що приблизно в 10 разів менше, ніж для термоядерного заряду. Особливості форми імпульсу вторинної компоненти доцільно оцінити, використовуючи вираз:

$$P_{\gamma}^{\text{втор}}(t) = \frac{3 \cdot 10^{11} \cdot K_{\text{втор}} \cdot q}{R^2} \cdot e^{\frac{-R \cdot \Delta}{320}} \cdot \left(\frac{t}{3 \cdot 10^{-8} R} \right)^{-3,4}, \quad (3)$$

де $K_{\text{втор}}$ – коефіцієнт, що враховує тип ядерного боєприпасу (для атомного – 0,05; термоядерного – 0,13; нейтронного – 4,2).

Розтягування фронту і спаду імпульсу вторинного гамма-випромінювання призводить до збільшення тривалості результуючого імпульсу:

$$P(t) = P_{\gamma}^{\text{мим}}(t) + P_{\gamma}^{\text{втор}}(t).$$

Проведена оцінка тривалості результуючого імпульсу (рис. 3) показує, що на відстані 1000 м від центру ядерного вибуху тривалість імпульсу на рівні 0,1 від максимального значення може становити

для атомного і термоядерного боєприпасу близько 0,1 мкс, для нейтронного – 0,01 мкс.

Рис. 3. Форма імпульсу потужності дози миттєвої і вторинної компоненти гамма-випромінювання проникаючої радіації різних типів ЯБП

Реєстрацію енергетичного розподілу миттєвої складової гамма-випромінювання (табл. 1), а також форми імпульсу потужності дози доцільно здійснювати на основі CdTe детекторів, розміщених у кульовому поглиначі (рис. 4) спільно з комплексом апаратно-програмних засобів автоматизації, розроблених для визначення напрямку на фотонне джерело, описане в роботах [5–6].

Рис. 4. Розміщення детекторів у кульовому поглиначі товщиною h перед детекторами в напрямку джерела гамма-випромінювання

CdTe детектори розташовані по ребрах правильного багатогранника і є електронним перетворювачем, з внутрішньої сторони яких розташований захисний екран, що дозволяє досягти максимальну чутливість. Розміри блоків детектування складають 20 мм в довжину і 10 мм в діаметрі, що обумовлено розташуванням в них CdTe детекторів розміром $5 \times 5 \times 2$ мм разом з попереднім підсилювачем розмі-

ром $8 \times 8 \times 1,5$ мм під шаром сталі товщиною $d=10$ мм. Детектори були розміщені в поглиначі на відстані одного сантиметра від його поверхні в вершинах правильної піраміди, що забезпечує їх максимальне віддалення один від одного (рис. 4). Для визначення інформації, що надходить з детектора, застосовується закон експоненціального послаблення гамма-випромінювання в матеріалах:

$$I_i = I_0 \cdot e^{-\mu h_i} \quad (4)$$

де I_i – інтенсивність гамма-випромінювання, що доходить до i детектора через поглинач h_i ; μ – лінійний коефіцієнт послаблення поглиначу, см^{-1} (рис. 5).

Рис. 5. Залежність коефіцієнта послаблення фотонів для різних матеріалів від початкової енергії фотонів

Знаючи лінійний μ або масовий μ_m , коефіцієнти (рис. 5) поглинання енергії гамма-випромінювання в сталі Fe , і товщину поглиначу h_i (рис. 4) з'являється можливість оцінити і енергетичний розподіл миттєвого гамма-випромінювання (табл. 1), а значить і класифікувати тип ЯБП.

Моделювання енергетичного спектра гамма-випромінювання проникаючої радіації ЯВ пов'язано з певними труднощами.

Аналіз показав, що з існуючих потужних імпульсних джерел, що володіють жорсткими спектрально-часовими характеристиками, схожими із характеристиками гамма-випромінювання проникаючої радіації, доцільно виділити лінійні прискорювачі електронів, де для отримання високоінтенсивних і високоенергетичних впливів використовується гальмівне випромінювання.

Для апробації розробленої апаратури був використаний медичний лінійний прискорювач Varian Clinac 600C відділення променевої терапії Інституту медичної радіології ім. С.П. Григор'єва НАМН України.

Відповідно до технічної документації середня енергія фотонів гальмівного випромінювання даного прискорювача становить 1-6 MeV (рис. 6) із середньою енергією близько 1,49 MeV.

Прискорювач на відстані 100 см від фокуса формує стандартне прямокутне поле 40x40 см в місці розташування CdTe детектора.

Симетрія і рівномірність поля опромінення становить не більше 1,5%. Потужність випромінювання 400 MU/min, що відповідає потужності дози в місці розташування детектора (6,6 P/c).

Рис. 6. Спектральний розподіл фотонного випромінювання лінійного прискорювача Varian Clinac 600C

Тривалість окремого імпульсу і період проходження імпульсів, вимірюючи осцилографом SDS1000CML/CNL/DL, склали 3,5 мкс (рис. 7) і 18 мс (рис. 8) відповідно.

Рис. 7. Імпульс струму навантаження на мішені прискорювача

Рис. 8. Частота проходження імпульсів з прискорювача

Експериментальна оцінка часової роздільної здатності випромінювання, форми імпульсу потужності дози гамма-випромінювання проводилася шляхом автоматичного підрахунку кількості імпульсів з інтервалами між вимірами 200 мкс комплексом апаратних і програмних засобів автоматизації вимірювань ITM (версія 4.4.1.2).

Основою комплексу (рис. 9) є комп'ютерний вимірювальний прилад - електронний блок (5), що включає шістнадцяти-розрядний аналого-цифровий перетворювач (АЦП) з часом перетворення 200 нс, мікроконтролер, інтерфейс сполучення з комп'ютером. До електронного блоку через підсилювачі (4) підключаються CdTe детектори (2) розміром 5x5x2 мм, що працюють:

– в струмовому режимі для вимірювання амплітудно-часового розподілу високоінтенсивного гамма-випромінювання, що генерується лінійним прискорювачем (3);

– в імпульсному режимі для вимірювання форми імпульсу потужності дози гамма-випромінювання.

Рис. 9. Експериментальна установка реєстрації параметрів імпульсного гамма-випромінювання з енергією до 6 MeV з кульовим поглиначем (1) і чотирма блоками детектування (2) із застосуванням медичного прискорювача (3) Varian Clinac 600C; підсилювачами для детекторів (4); 16-ти розрядним АЦП (5)

При реєстрації гальмівного випромінювання потужністю дози 6,6 Р/с, CdTe детектор спільно з АЦП реєструє амплітуду імпульсу випромінювання (рис. 10) і час між імпульсами (рис. 11).

Рис. 10. Форма імпульсу потужності дози гамма-випромінювання (робота CdTe детектора в імпульсному режимі)

Із рис. 10 видно, що потужності дози 6,6 Р/с відповідає амплітуда в 18000 відносних одиниць. Нестабільність амплітуди сигналу обумовлена властивостями прискорювача. Отриманий період проходження імпульсів (рис. 11) відповідає виміряному значенню на цифровому осцилографі (рис. 8) з виходу лінійного прискорювача. В даному випадку

Рис. 11. Амплітудно-часовий розподіл імпульсів гамма-випромінювання за час вимірювання 10 с (робота CdTe детектора в струмовому режимі)

реєструються всі імпульси, які приходять від прискорювача, оскільки між ними встановлений період проходження 18 мс. Даний факт дозволить реєструвати імпульси гамма-випромінювання не тільки від одиночних, але і від серії ядерних вибухів окремо, що є гідною перевагою розробленої системи виявлення та оцінки ядерної обстановки.

Висновки

1. Проведений аналіз спектрів миттєвих гамма-квантів показує можливість класифікації типу бое-

припасу шляхом реєстрації та аналізу числа імпульсів в діапазоні енергій від 4 до 8 MeV. Для атомного боеприпасу 4,4%, для термоядерного 3,6%, для нейтронного 10,3%. Запропоновано параметри для аналітичної залежності, що характеризують форму імпульсу для різних типів ЯБП, що дозволяють змодельовувати форму імпульсів потужності дози. Встановлено, що форма імпульсу потужності дози миттєвого і вторинного гамма-випромінювання проникаючої радіації в повітрі визначається особливостями ядерного вибухового пристрою.

2. Оцінка тривалості результуючого імпульсу показує, що на відстані 1000 м від центру ядерного вибуху тривалість імпульсу на рівні 0,1 від максимального значення може становити для атомного і термоядерного боеприпасу близько 0,1 мкс, для нейтронного – 0,01 мкс. Тривалість імпульсу миттєвого гамма-випромінювання для атомного вибуху може скласти 30-100 нс; для термоядерного 10-30 нс; для нейтронного 3-5 нс, що також може служити маркером для класифікації типу ЯБП.

3. Проведено апробацію можливості реєстрації CdTe детекторами в кульовому поглиначі з Fe спектра миттєвих гамма-квантів (підключення детекторів в струмовому режимі) і форми імпульсу потужності дози миттєвого і вторинного гамма-випромінювання (підключення детекторів в імпульсному режимі) на моделюючій установці Varian Clinac 600 C, що забезпечує необхідні спектрально-часові характеристики гамма-випромінювання ЯВ. Часова роздільна здатність застосовуваного АЦП дозволяє реєструвати всі імпульси, які приходять від прискорювача. Підтверджено можливість вимірювання тривалості імпульсу на рівні 0,1 від максимального значення потужності дози.

4. Класифікація типу ядерного боеприпасу повинна більшою мірою сприяти оперативній і достовірній оцінці ситуації, що склалася в осередку ядерного ураження, бути достатньою для коректної оцінки специфіки ураження особового складу та подальшого розвитку ситуації в осередку ядерного ураження.

Список літератури

1. Левшин В.И. О применении ядерного оружия для деэскалации военных действий / В.И. Левшин, А.В. Неделин, М.Е. Сосновский // Военная мысль. – 1999. – № 3(5-6). – С. 34-37.
2. Чернявский И.Ю. Войсковая дозиметрия как система выявления и оценки радиационной обстановки / И.Ю. Чернявский // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 4(21). – С. 126-133.
3. Днепроvский А.П. Оружие массового поражения и защита авиационных подразделений / А.П. Днепроvский. – ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1983. – 358 с.
4. Тарасенко Ю.Н. Ионизационные методы дозиметрии высокоинтенсивного ионизирующего излучения / Ю.Н. Тарасенко. – М.: Техносфера, 2013. – 264 с.
5. Визначення напрямку на імпульсне гамма-джерело з використанням сферичного поглиначя / Ю.В. Литвинов, О.М. Григор'єв, З.В. Білик, М.Є. Полянський, О.В. Сакун, В.В. Марущенко // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Електроенергетика та перетворювальна техніка. – 2017. – № 4(1226). – С. 89-94.
6. Деякі аспекти створення приладу визначення напрямку на точкові джерела гамма-випромінювання / Ю.В. Литвинов, О.М. Григор'єв, З.В. Білик, М.Є. Полянський, О.В. Сакун, В.В. Марущенко // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Електроенергетика та перетворювальна техніка. – 2017. – № 4(1226). – С. 82-89.
7. Шкиренко А.К. Светотехническая станция засечки ядерных взрывов К-611-0 / А.К. Шкиренко. – Севастополь: Севастопольское высшее военно-морское инженерное училище, 1990. – 146 с.
8. Информационно-логическая модель учёта необходимых и достаточных параметров для оценки дозы гамма-нейтронного излучения проникающей радиации / И.Ю. Чернявский, С.Ю. Петрухин, В.Б. Матыкин, В.Е. Гайдабука, В.В. Тютюник // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2018. – № 2(48). – С. 126-134.
9. Физика ядерного взрыва. Развитие взрыва / Б.В. Замышляев, Е.П. Маслин, В.М. Лоборев, Б.А. Шилобреев. – М.: Наука, 1997. – 528 с.
10. Кухтевич В.И. Защита от проникающей радиации ядерного взрыва / В.И. Кухтевич. – М.: Атомиздат, 1970. – 192 с.
11. Мырова Л.О. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям / Л.О. Мырова, А.З. Чепиженко. – М.: Радио и связь, 1988. – 296 с.
12. Абрамов А.И. Основы экспериментальных методов ядерной физики / А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич. – М.: Атомиздат, 1970. – 560 с.

References

1. Levshin, V.I., Nedelin, A.V. and Sosnovskij, M.E. (1999), "O primenenii yadernogo oruzhiya dlya deescalacii voennyh dejstvij" [On the use of nuclear weapons for the de-escalation of hostilities], *Military thought*, No. 3, pp. 34-37.
2. Cherniavskiy, I.Y. (2015), "Vojskovaya dozimetriya kak sistema vyvayleniya i ocenki radiacionnoj obstanovki." [Military dosimetry as a system for detecting and assessing the radiation situation], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 4(21), pp. 126-133.
3. Dneprovskij, A.P. (1983), "Oruzhie massovogo porazheniya i zashita aviacionnyh podrazdelenij" [Weapons of mass destruction and protection of aviation units], Zhukovskiy Air Force Engineering Academy, Moscow, 358 p.
4. Tarasenko, Y.N. (2013), "Ionizatsionnye metody dozimetrii vysokointensivnogo ioniziruyushhego izlucheniya" [Ionization methods for dosimetry of high-intensity ionizing radiation], Technosphere, Moscow, 264 p.
5. Cherniavskiy, I.Y., Litvinov, Y.V., Grigorev, A.N., Bilyk, Z.V., Polyanskij, M.E., Sakun, O.V. and Marushenko, V.V. (2017), "Viznachennya napryamku na impulsne gamma-dzherelo z vikoristannyam sferichnogo poglinacha" [Determination of the direction of the impulse gamma source using a spherical absorber], *Bulletin of the NTU "KhPI". Collection of scientific*

works. *Series Power and conversion technology*, No. 4(1226), pp. 89-94.

6. Cherniavskiy, I.Y., Litvinov, Y.V., Grigorev, A.N., Bilyk, Z.V., Polyanskiy, M.E., Sakun, O.V. and Marushenko, V.V. (2017), "Deyaki aspekti stvorenniya priladu viznachenniya napryamku na tochkovy dzhherela gamma-viprominyuvannya" [Some aspects of creating a device for determining the direction of point sources of gamma radiation], *Bulletin of the NTU "KhPI". Collection of scientific works. Series Power and conversion technology*, No. 4(1226), pp. 82-89.

7. Shkirenko, A.K. (1990), "Svetotekhnicheskaya stanciya zasechki yadernykh vzryvov K-611-0" [Lighting Station of detection of nuclear explosion K-611-0], Sevastopol Higher Naval Engineering School, Sevastopol, 146 p.

8. Cherniavskiy, I.Y., Petruhin, S.Y., Matykin, V.B., Gajdabuka, V.E. and Tyutyunik, V.V. (2018), "Informacionno-logicheskaya model' uchjota neobhodimyyh i dostatochnyyh parametrov dlja ocenki dozy gamma-nejtronnogo izlucheniya pronikajushhej radiacii" [An information-logical model for taking into account the necessary and sufficient parameters for estimating the dose of gamma-neutron radiation from penetrating radiation], *Management, Navigation and Communication Systems*, No. 2(48), pp. 126-134.

9. Zamyshliaev, B.V., Maslyn, E.P., Loborev, V.M. and Shylobreev, B.A. (1997), "Fizika yadernogo vzryva. Dejstvie vzryva" [Physics of the nuclear explosion. The effect of the explosion], Science, Moscow, 256 p.

10. Kuhtevich, V.I. (1970), "Zashhita ot pronikajushhej radiacii yadernogo vzryva" [Protection against penetrating radiation from a nuclear explosion], Atomizdat, Moscow, 192 p.

11. Myrova, L.O. and Chepizhenko, A.Z. (1988), "Obespechenie stojkosti apparatury svyazi k ioniziruyushim i elektromagnitnym izlucheniym" [Ensuring the durability of communication equipment to ionizing and electromagnetic radiation], Radio and communication, Moscow, 296 p.

12. Abramov, A.I., Kazanskij, Y.A. and Matusevich, E.S. (1970), "Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoj fiziki" [Fundamentals of experimental methods in nuclear physics], Atomizdat, Moscow, 560 p.

Надійшла до редколегії 30.01.2020

Схвалена до друку 10.03.2020

Відомості про автора:

Чернявський Ігор Юрійович

кандидат технічних наук доцент

професор кафедри

Військового інституту танкових військ НТУ "ХПІ",

Харків, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-2785-0617>

Information about the author:

Igor Cherniavskiy

Candidate of Technical Sciences Associate Professor

Professor of Department of Military Institute

of Tank Forces the National Technical University "KhPI",

Kharkiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-2785-0617>

РЕГИСТРАЦИЯ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ВЫЯВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ ЯДЕРНОЙ ОБСТАНОВКИ

И.Ю. Чернявский

Анализируются существующие зависимости, определяющие особенности оценки мощности дозы мгновенного и вторичного гамма-излучения, изменения временных и спектральных характеристик импульса гамма-излучения различных типов ядерных боеприпасов. Обосновывается возможность классификации типа боеприпаса на основе фиксации спектрального распределения мгновенных гамма-квантов проникающей радиации ядерного взрыва, а также длительности импульса по полученной форме импульса мощности дозы мгновенного и вторичного гамма-излучения. Проведена апробация регистрации CdTe детекторами выделенных параметров импульса гамма-излучения медицинского линейного ускорителя Varian Clinac 600C.

Ключевые слова: регистрация и анализ параметров, мгновенное, вторичное гамма-излучение.

REGISTRATION AND ANALYSIS OF GAMMA RADIATION PARAMETERS IN THE SYSTEM OF DETECTION AND EVALUATION OF NUCLEAR SITUATION

I. Cherniavskiy

The work examines the methodological apparatus for classifying a type of nuclear munition by recording and analyzing the gamma radiation parameters of the penetrating radiation of a nuclear explosion. The existing dependences are analyzed that determine the characteristics of the dose rate of instant and secondary gamma radiation, changes in the temporal and spectral characteristics of the gamma radiation pulse of various types of nuclear munitions. The possibility of classifying the type of ammunition based on fixing the spectral distribution of instant gamma rays of the penetrating radiation of a nuclear explosion, as well as the pulse duration according to the obtained pulse shape of the dose rate of instant and secondary gamma radiation are substantiated. The analysis of the spectra of instant gamma rays shows the possibility of classifying the type of ammunition by recording and analyzing the number of pulses in the energy range from 4 to 8 MeV. For nuclear weapons, 4.4%, for thermonuclear 3.6%, for neutron 10.3%. An estimate of the duration of the resulting pulse shows that at a distance of 1000 m from the center of a nuclear explosion, the pulse duration at the level of 0.1 from the maximum value can be on the order of 0.1 μ s for atomic and thermonuclear munitions, and 0.01 μ s for a neutron. The pulse duration of instant gamma radiation for an atomic explosion can be 30-100 ns; for thermonuclear 10-30 ns; for neutron 3-5 ns, which can also serve as a marker for classifying the type of nuclear munition. The possibility of registering CdTe detectors in a spherical absorber from the Fe spectrum of instant gamma quanta (connecting detectors in the current mode) and the pulse shape of the dose rate of instant and secondary gamma radiation (connecting detectors in pulsed mode) was tested on a VarianClinac 600C simulator that provides the necessary spectrally - time characteristics of nuclear gamma radiation. The time resolution of the used ADC(Analog to digital converter) allows you to register all the pulses that come from the accelerator. Confirmed the ability to measure the pulse duration at the level of 0.1 of the maximum dose rate. Classification of the type of nuclear munitions used should contribute more to the operational and reliable assessment of the current situation in the nuclear lesion focus, sufficient for the correct assessment of the specifics of the damage and further development of the situation.

Keywords: registration and analysis of parameters, instantaneous and secondary gamma radiation.