

УДК 502.55:621.039.7

И.Ю. Чернявский<sup>1</sup>, В.В. Марущенко<sup>1</sup>, А.В. Матъкин<sup>2</sup><sup>1</sup> *Национальный технический университет «ХПИ», ФВП, Харьков*<sup>2</sup> *ОК «Юг», Днепропетровск*

## ОЦЕНКА СТЕПЕНИ РАДИАЦИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ ПУТЁМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК ПО ДАННЫМ ДАТЧИКА БОЕСПОСОБНОСТИ

*В работе анализируются методологический аппарат создания датчиков выявления боеспособности подразделений и частей в радиационном отношении. Оценивается возможность оперативного прогнозирования степени радиационного поражения, для реализации ситуационного управления в системе войсковой дозиметрии.*

**Ключевые слова:** *гамма-нейтронный поток проникающей радиации, прогнозирование дозовой нагрузки.*

### Введение

**Постановка проблемы.** Степень влияния последствий воздействия радиационного фактора на элементы боевого порядка подразделений и частей оценивается путём прогнозирования (составление прогноза), сбора фактической информации или комбинированно.

Информацию, полученную от средств засечки, используют, в первую очередь, для оперативной оценки состояния боеспособности подразделений, с которыми потеряна связь. При этом точность определения координат ядерных взрывов различными источниками информации может изменяться в широких пределах (светотехническими средствами – 0,2 км, радиотехническими средствами – до 1 км, постами визуального наблюдения – до 1,5 км). Однако все они морально устарели и сняты с производства.

Как показали исследования, при невозможности идентифицировать тип боеприпаса (ядерный, термо-ядерный, нейтронный) возникают значительные ошибки в оценке радиационного поражения подразделений и частей за данными прогноза, так как именно от типа боеприпаса зависит распределение выделяемой энергии по различным видам излучений, а также их спектрально-энергетические характеристики.

Отсутствие в Украине в армейском звене технических средств засечки параметров ЯВ (малых и сверхмалых калибров нейтронных боеприпасов), заставляет всерьёз обратиться к проблеме измерения необходимых и достаточных параметров импульсного воздействия с целью оперативного выявления боеспособности подразделений и частей.

Применение таких технических средств [1] в каждом структурном подразделении оправдано для случая анизотропного распределения поля проникающей радиации (т.е. величина дозы на одних и тех же расстояниях зависит от направления на центр взрыва). Это характерно, в первую очередь, для тех боеприпасов (нового поколения), где массы конструктивных элементов распределены неравномерно вокруг ядерно-

го взрывчатого вещества, в результате чего и возможно появление резкой анизотропии излучения. Предполагается, что для изотропного поля проникающей радиации возможно не только измерения дозовых нагрузок, но и прогнозирование (пересчёт) их на интересующие нас подразделения. Кроме того, для точности прогнозирования дозовых нагрузок актуален вопрос влияния равновесного спектра излучения на расстояниях, представляющих практический интерес с точки зрения биологического действия нейтронов.

**Цель работы.** В данной работе анализируются методологический аппарат создания таких датчиков выявления боеспособности подразделений и частей в радиационном отношении. Особое место занимает обоснование возможности оперативного прогнозирования степени радиационного поражения для реализации ситуационного управления в системе войсковой дозиметрии.

### Основной раздел

#### 1. Анализ характеристик гамма-нейтронного излучения проникающей радиации

С точки зрения предъявления требований к войсковой дозиметрии важными характеристиками проникающей радиации являются спектральное распределение, амплитудно-временные параметры, накопление дозы во времени и пространственно-угловое распределение гамма-нейтронного излучения высокой интенсивности (до  $10^{10}$  рад/с) [2, 3]. Указанные характеристики изменяются в широких пределах в зависимости от целого ряда факторов, таких как вид ядерного горючего, тип боеприпаса, вид взрыва, мощность взрыва, расстояние от центра взрыва и т.п.

Как было уже упомянуто, от типа боеприпаса зависит распределение по различным видам излучений, образующихся при взрыве, а также их спектрально-энергетические характеристики.

Амплитудно-временное и спектральное распределение гамма-излучения проникающей радиации обусловлено мгновенным (0,03-6 МэВ), захват-

ным (1,6-10,8 МэВ) и осколочным компонентами, а также гамма-излучением, возникающим при неупругих соударениях быстрых нейтронов, и подробно обсуждалось в работах [3 – 6, 9,13].

Если рассматривать процесс формирования импульса гамма-излучения ЯВ во времени, то мгновенные нерассеянные кванты в течение нескольких наносекунд достигают максимальной мощности дозы, длительность импульса обычно составляет около 10 нс, а затем рассеянные кванты формируют спадающий в течение 10 – 20 нс импульс с длинным «хвостом», образованным также рассеянными гамма-квантами, осколочным и захватным гамма-излучениями [4]. Мгновенное гамма-излучение является основным фактором, определяющим мощность дозы гамма – импульса ЯВ. При этом захватные и осколочные гамма-кванты обладают повышенной, примерно на 50% по сравнению с мгновенными гамма-квантами, проникающей способностью. При распространении в воздухе форма гамма-импульса изменяется, причём увеличивается его длительность из-за рассеивания их в воздухе. Изменяется спектр мгновенного излучения, причём на расстояниях до 500 м преобладает низкоэнергетическая группа фотонов (1,25 МэВ), а на расстояния более 500 м начинает преобладать высокоэнергетическая группа фотонов (~ 4 МэВ).

В исследованиях начала 1960-х гг., посвящённых проблеме распространения нейтронов термоядерного взрыва в атмосфере, американские специалисты анализировали характеристики пространственного распределения моноэнергетических нейтронов с начальной энергией 4 и 14 МэВ. В более поздних работах [5, 6] спектр нейтронов источника принимался соотношением из 83% нейтронов деления с энергией выше 0,4 МэВ и 17% нейтронов, равномерно распределённых в интервале от 12 до 16 МэВ (рис. 1).

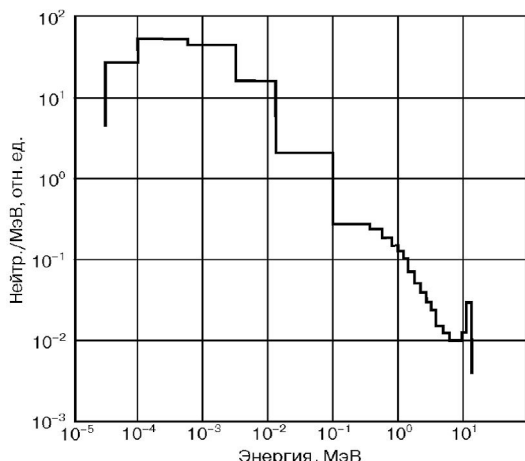


Рис. 1. Энергетическое распределение нейтронов, возникающих при взрыве термоядерного боеприпаса среднего калибра

В работах [4 – 6, 12] принято считать, что для боеприпасов, действующих по принципу деление-синтез-

деление (термоядерные), спектр простирается до 14 МэВ и имеет три максимума с энергиями 800 кэВ, 4 МэВ, 14 МэВ, для боеприпасов типа деление – синтез (нейтронный боеприпас) – 14 МэВ. Соотношение между различными группами нейтронов может значительно изменяться в зависимости от доли мощности в энергетическом балансе взрыва, приходящейся на деление и на термоядерные реакции, а также конструкции боеприпаса. Нейтроны, освобождающиеся при ЯВ в процессе деления или синтеза, распространяются в пространстве со скоростью, зависящей от их энергии. Все нейтроны, испускаемые в процессе синтеза, и свыше 90 % нейтронов, испускаемых в процессе деления (мгновенные), освобождаются с момента начала взрыва через 1 мкс. Менее 1 % нейтронов деления испускается с некоторым запаздыванием относительно мгновенных [4]. Спектр нейтронов при ядерном взрыве также изменяется во времени. Во времена до  $1,4 \cdot 10^7$  с спектр несколько жёстче спектра деления плутония-239, а при  $t=36 \cdot 10^8$  с он становится мягче спектра деления и имеет значительный компонент с энергией ниже 26 кэВ. В табл. 1 проанализированы ожидаемые спектрально-временные параметры воздействующих излучений проникающей радиации.

Таблица 1

Спектрально-временные параметры проникающей радиации

Вид излучения	Тип излучения	Средняя энергия излучения E (МэВ)	Время действия $t_{дейс}$ (с)
нейтроны	мгновенные	2/14*	~ 10 <sup>-6</sup>
	запаздывающие	0,6	до 50
гамма-излучения	мгновенное	1,3	10 <sup>-11</sup> -10 <sup>-9</sup>
	захватное	6,5	0,3
	осколочное	2	~ 10

Примечание: \* в числителе средней энергии мгновенных нейтронов указано значение для ядерных боеприпасов, в знаменателе – для термоядерного и нейтронного боеприпаса.

## 2. Основы измерения параметров гамма-нейтронного излучения проникающей радиации

Рассмотрим особенности фиксации факта воздействия такого импульсного гамма-нейтронного излучения с возможностью измерения необходимых параметров импульса для определения дозовых характеристик.

Современное состояние развития методов дозиметрии высокоинтенсивных излучений, активационных методов дозиметрии нейтронов, применения спектрометрических методов обработки информации и в целом ядерной электроники позволяет уже сейчас выйти на решение задачи измерения импульса проникающей радиации (рис. 2, а) с достаточно хорошей точностью.

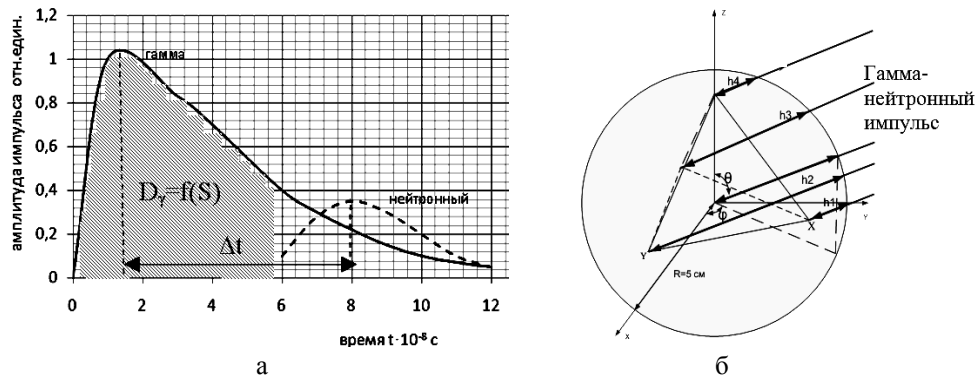


Рис. 2. Форма гамма-нейтронного импульса и способ определения поглощённой дозы и расстояния до источника – а; размещение детекторов в шаровом поглотителе и направления приёма основного потока проникающей радиации – б

Из-за различия в скорости распространения гамма-квантов и нейтронов между временем их воздействия на детекторы существует определённый временной интервал, оценивая который, возникает возможность определять дальность до центра взрыва  $R_{изм}$ :

$$\Delta t = R_{изм} \left( \frac{t}{1,38 \cdot 10^4 E_{п\max}^{0.5}} - \frac{1}{c} \right), \quad (1)$$

где  $R_{изм}$  – расстояние до центра взрыва, м;  $c \approx 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света;  $E_{п\max}$  – максимальная энергия нейтронов, эВ.

На рис. 3 в логарифмическом масштабе построена зависимость такой задержки от расстояния для нейтронов с максимальными энергиями, характерными для различных типов боеприпасов. Анализируется задержка по времени на наиболее вероятных расстояниях, при которых может производиться измерение дальности до эпицентра взрыва ( $R_{изм} = 400 - 2500$  м).

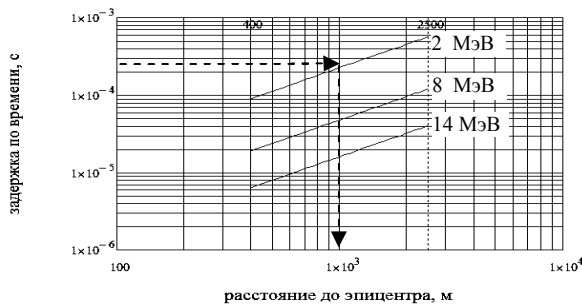


Рис. 3. Зависимость задержки прихода нейтронной компоненты по отношению к гамма-излучению от расстояния до эпицентра для  $E_n = 2; 8; 14$  МэВ

Для ядерного взрыва отставание нейтронов относительно импульса гамма-квантов в среднем достигает порядка 0,28 мс на расстоянии 1 км. Поэтому ошибка в быстроедействии датчика боеспособности в 1 мкс может не превышать нескольких метров. Во время термоядерного взрыва, где первичная скорость нейтронов превышает скорость нейтронов ядерного взрыва в несколько раз, временной интервал отставания нейтронов будет значительно меньшим.

Так как при распространении проникающей радиации в пространстве существуют особенности перераспределения дозовых компонент [8], то измерение отношения  $D_n/D_\gamma$  даёт возможность не только определять расстояние до центра взрыва, но и идентифицировать тип боеприпаса и его мощность.

Накопление дозы проникающей радиации происходит постепенно, поэтому фактор времени может быть использован и при защите от излучения, путём своевременной регистрации самого факта применения ядерного оружия.

На рис. 4 приведена зависимость дозы гамма-излучения от времени для мощности:

$q = 20$  кт ( $R = 800$  м) и  $5$  Мт ( $R = 2400$  м) [9].

Из графиков (рис. 4) и табл. 2 видно, что накопление 50% общей дозы происходит за время от 2,5 до 8 секунд для  $q = 2-2000$  кт. При наличии датчика регистратора факта применения ядерного оружия и его направления на каждом бронее объекте целесообразно, доворачивать машину в сторону центра взрыва, защищая бронее объект от ударной волны, и, тем самым, подставлять таким образом наиболее защищённую часть бронее объекта под действие проникающей радиации, снижая таким образом суммарную дозу гамма-нейтронного облучения экипажа. Точное определение направления на центр ЯВ в пространстве (угол места и азимут) может быть получено благодаря достаточно хорошо, на наш взгляд, проработанных методов определения направления на источник проникающего излучения [10]. Для однозначного определения направления в пространстве на импульсный источник, в шаровом поглотителе предлагается использовать систему из четырёх блоков детектирования, размещённых в по-

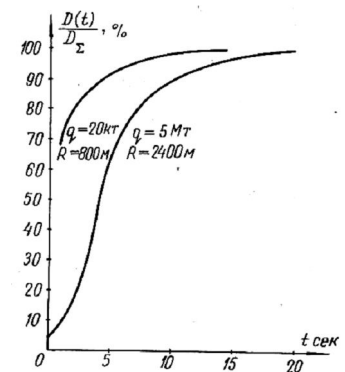


Рис. 4. Зависимость дозы гамма-излучения от времени

глотителе на глубине 10 мм в вершинах пирамиды, в основе которой лежит правильный треугольник (рис. 2, б). Определение положения источника гамма-нейтронного излучения в пространстве производится

по отношениям плотности потока гамма-излучения регистрируемые от детекторов с различными по толщине поглотителями и распределению зарегистрированных гамма-квантов по энергии.

Таблица 2

Особенности скорости накопления дозы

Тротиловый эквивалент q кг	2	20	200	2000	2000
Расстояние, м	500	1000	1500	2500	4000
Время накопления 50 % дозы, сек	2,5	2,5	4	7	8
Доза дозы, накопления за 2 сек, %	45	45	35	10	2
Доза от захватного излучения, %	20	30	27	7	0,15

В случае применения графитового поглотителя как тканеэквивалентного материала возникает возможность регистрировать дозу быстрых нейтронов проникающей радиации  $D_n$ . Измерение нейтронного импульса возможно обеспечить тем же детектором гамма-квантов в кольцевом поглотителе, если этот поглотитель изготовить из урана-238 или отдельно ввести канал измерения быстрых нейтронов.

На рис. 5 приведена логическая последовательность измерения необходимых параметров проникающей радиации и прогнозирования доз облучения при использовании датчика боеспособности.

Весь процесс определения степени боеспособности условно целесообразно разделить на этап первичных измерений датчиком (поглощённых доз гамма и нейтронного излучения, запаздывание прихода нейтронного излучения, энергии излучения, расстояния до взрыва) и непосредственно прогнозирование поглощённых доз гамма-нейтронного излучения в интересующих нас подразделениях с учётом базовых данных.

### 3. Основы реализации прогнозирования радиационного поражения

Для прогнозирования дозовых нагрузок наземных целей, которые не могут заметно смещаться за время действия проникающей радиации относи-

тельно центра взрыва, поле достаточно характеризовать зависимостью  $D=D(R)$  на открытой местности. Однако, в действительности проникающая радиация, испускаемая из зоны взрыва, создаёт радиационное поле, параметры которого изменяются во времени и пространстве. Величина дозы будет пропорциональна потоку проникающей радиации, достигшего точки, где расположен облучаемый объект, если принимать следующие допущения [9]:

- на значительном удалении от центра взрыва область, излучающую проникающую радиацию, можно рассматривать как источник, близкий к точечному;
- рассматривается боеприпас, основанный на схеме деления-синтез-деления (деление-синтез), поэтому активность взрыва определяется не только продуктами деления, но и захватным излучением до 30%;
- считаем атмосферу однородной, изменение плотности воздуха за счёт ударной волны не учитываем;
- энергию излучения полагаем усреднённой по спектру.

С учётом принятых допущений, применительно к ядерным взрывам, доза гамма-излучения примет вид:

$$D_\gamma = 1,65 \cdot 10^{13} \frac{q}{R^2} \int_{t_1}^{t_2} \int_0^{E_{max}} \mu_a(E) B(E) \cdot e^{-\mu(E)R} u(t) dt dE, \quad (2)$$

где q – мощность взрыва, кг; R – расстояние от центра взрыва, м;  $\mu_a$  – линейный коэффициент поглощения гамма-излучения воздействующего в нормальной плоскости (характеризует долю энергии, теряемую квантом на ионизацию при прохождении пути в 1 см); E – энергия излучения, МэВ; B – дозовый фактор накопления для средней энергии (показывает, во сколько раз увеличивается доза за счёт рассеянных гамма-квантов);  $u(t)$  – гамма-актив-

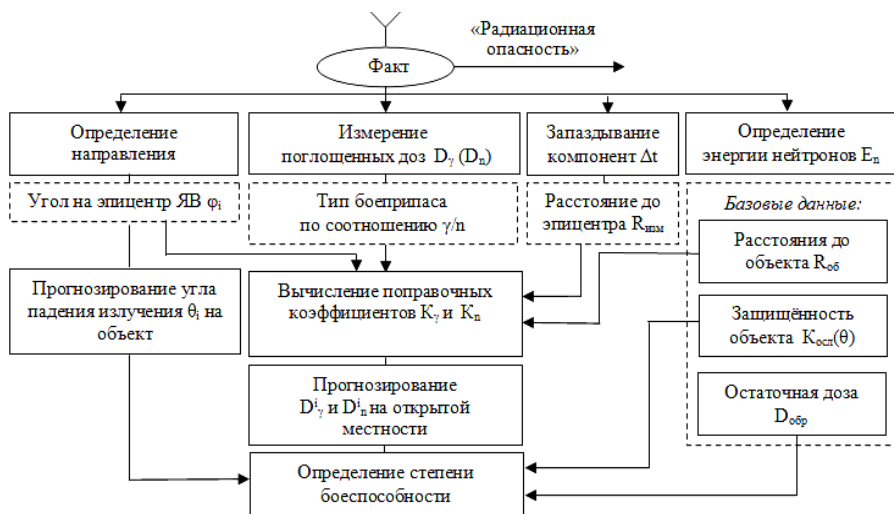


Рис. 5. Суть способа выявления радиационного поражения по данным датчика боеспособности

ность осколков (скорость испускания энергии гамма-излучения, МэВ/сек.дел.);  $\mu$  – коэффициент ослабления излучения для средней энергии.

Если учесть изменение размеров излучающей области и её перемещение, а также изменение плотности, связанное с прохождением ударной волны, та выражение (1) настолько усложняется, что не может быть использовано для инженерных расчётов. Поэтому в практике применяют полуэмпирическое выражение, предложенное в работе [9]:

$$D_\gamma = \frac{K_\gamma \cdot K_\pi}{R^2} \cdot e^{-\mu R} = \frac{K_\gamma \cdot K_\pi}{R^2} \cdot e^{-\frac{R \cdot \rho}{\lambda_\gamma \rho_0}}, \quad (3)$$

где  $K_\gamma \approx 1,65 \cdot 10^{13} \text{ккал} \int_0^{t_{\text{изл}}} u(t) dt$  для мощности

$q=1$  кт величина  $K_\gamma \approx 2,8 \cdot 10^9$  (коэффициент, учитывающий особенности распространения гамма-излучения данного типа боеприпаса).

В некоторых работах данный коэффициент определён ещё более упрощённой формулой:

$K_\gamma = 1,4 \cdot 10^9 q \cdot (1 + 0,2(aq)^{0,65})$ , где  $a=2$  для наземного и  $a=1$  для воздушного ЯВ;  $K_\pi$  – коэффициент пересчёта дозы для боеприпасов различной мощности;  $\rho/\rho_0$  – относительная плотность воздуха (летом в большинстве случаев близко 0,9, в зимнее время 1,1, горы – 0,8);  $\lambda_\gamma$  – эффективная длина свободного пробега осколочно- и захватного гамма-излучения в приземном слое атмосферы ( $\lambda_\gamma=230\text{-}250$  м).

В работе [11] при выводе формул, подобных (3), так называемый гидродинамический эффект также учтён путём задания среднего свободного пробега  $\lambda_\gamma=1070+1,5q^2$  и эффективной амплитуды источника  $\alpha=(1+6q^2)/(1+0,03q^2+0,005q^3)$  в зависимости от энергии заряда:

$$D_\gamma = \frac{7 \cdot 10^{13} q \alpha \exp^{-R\rho/\lambda_\gamma}}{2R^2}. \quad (4)$$

Данная эмпирическая формула охватывает большинство данных с точностью до множителя 2 для зарядов от 1 кт до 10 Мт и для высот взрыва от 1000 до 20 000 фут. Более точные выражения для оценки доз гамма-излучения  $D_\gamma=D_{\text{мгн}}+D_3+D_{\text{оск}}$  (мгновенного, захватного и осколочного) приведены в работе [2, 3]:

$$D_{\text{мгн}} \approx \frac{2,58 \cdot 10^{11} q \cdot e^{-R/\lambda_\gamma}}{R^2} \cdot \tau_{\text{и}}; \quad (5)$$

$$D_3 \approx \frac{1,3 \cdot 10^5 q \cdot e^{-\frac{R \cdot \rho}{410 \rho_0}}}{R^2}; \quad (6)$$

$$D_{\text{оск}} \approx \frac{3,6 \cdot 10^5 q (1 + 0,2q^{0,65})}{R^2} \cdot e^{-\frac{R \cdot \rho}{300 \rho_0}}. \quad (7)$$

Проведённый анализ, показал, что основной сложностью точной оценки дозы гамма-излучения

проникающей радиации является отсутствие данных от типа и конструктивных особенностей самого боеприпаса, а также сложный учёт особенностей распространения (поглощения) гамма-квантов различной энергии под влиянием движущегося за ударной волной поглощающего воздуха.

Процесс распространения нейтронов в воздухе также является весьма сложным, и аналитическое решение задачи по определению дозы нейтронов на различных расстояниях представляет большие трудности. Прогнозирование дозовых нагрузок на различных расстояниях от регистрации нейтронной дозы в пункте управления (рис. 5) рассматривалось долгое время как несостоятельный подход из-за существенного изменения начального распределения количества нейтронов в определённом энергетическом диапазоне.

Однако экспериментально установлено [12, 13], что энергетический спектр потока нейтронов почти не зависит от конструкции боеприпаса и остаётся одинаковым на расстояниях от центра взрыва, которые представляют наш интерес с точки зрения биологического действия нейтронов (рис. 6).

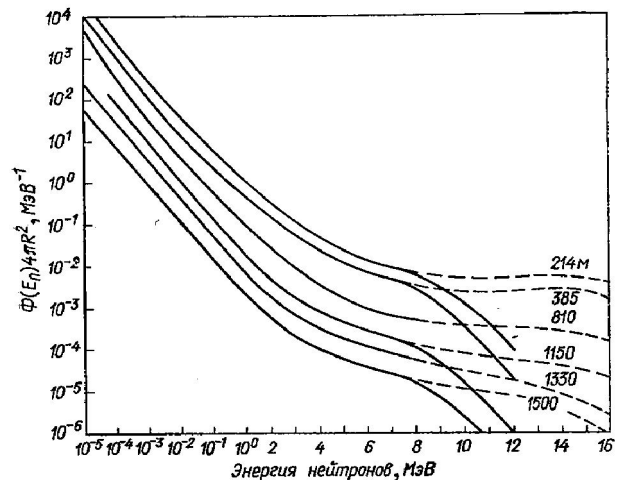


Рис. 6. Спектры нейтронов источников ядерного деления (—) и синтеза (---) на открытой местности на разных расстояниях от источника

Из рисунка видно, что, начиная с некоторого расстояния от точки взрыва, спектр ядерного боеприпаса мало изменяется. Нарушение параллельности между спектральными кривыми свидетельствует о небольшой трансформации спектра с ростом расстояния от центра взрыва. Энергетическое распределение нейтронов термоядерного взрыва с начальным спектром, состоящим из нейтронов деления (17%) и нейтронов, равномерно распределённых в интервале энергий 12 – 16 МэВ, получено в результате расчёта.

Как видно из рисунка, с увеличением расстояния до центра термоядерного взрыва наблюдается существенное смягчение спектра в области 10 – 16 МэВ. Однако ниже 8 – 9 МэВ интегральный спектр быстрых нейтронов деформируется слабо. Логично будет предположить, что спектр нейтронного боеприпаса (14 МэВ), из-за отсутствия оболоч-

ки из урана-238 (термоядерный боеприпас), также можно считать равновесным.

Нейтроны, вышедшие за пределы оболочки боеприпаса, при энергиях 0,2 МэВ полностью поглощаются азотом воздуха. До расстояний 300 – 400 м основной вклад вносится нейтронами меньше 1 кэВ. На расстоянии 500 м вклад нейтронов с такими энергиями не превышает 10 %, и на больших расстояниях основной вклад вносится нейтронами с высокими энергиями. За пределами  $R > 500$  м справедлив экспоненциальный закон ослабления, а доза нейтронов может быть определена по формуле [9]:

$$D_n \approx \frac{1,35 \cdot 10^{10} q}{R^2} \cdot e^{-R/190}, \quad (8)$$

где  $\lambda_n$  – усреднённая по спектру средняя длина пробега нейтронов (190 м). Данное значение отличается от значения, приведённого в работе [11], ( $\lambda_n = 780$  м), на наш взгляд, учётом запаздывающих нейтронов. Хотя их количество примерно составляет  $5 \cdot 10^{-3}$  от общего числа нейтронов ЯВ, вклад запаздывающих нейтронов на различных расстояниях от центра взрыва может быть значительным ( $N_{зап}/N_{мгн}$  на расстоянии 1000 м и  $q = 64$  кт может достигать 37%). Доза медленных нейтронов (до 0,5 эВ) в пределах нейтронной области ( $R < 400-500$  м) оценивается с  $\lambda_n = 50$ , за пределами нейтронной области ( $R > 400-500$  м) предлагается использовать среднюю длину пробега, равную 140 м. В обоих случаях, поток таких нейтронов будет убывать лишь из-за устранения из него нейтронов, поглощаемых воздухом вдоль пути распространения:  $D_m = k \cdot \exp(-R/\lambda_n)$  где  $k$  – коэффициент, учитывающий мощность боеприпаса. Доза быстрых и сверхбыстрых нейтронов оценивается с использованием  $\lambda_n = 250$  и 400 м соответственно. Причём учёт дозы со сверхбыстрыми нейтронами используется только для боеприпасов типа деление-синтез. Проведённый анализ показал, что во многих случаях инженерных расчётов используются параметры и соотношения, установленные экспериментально. Величина дозы нейтронов  $D_n$  для всего спектра нейтронов:

$$D_n = k \cdot k_3 \cdot 10^{16} q \cdot R^{-2} \cdot e^{-\frac{R}{\lambda_n \rho_0}}, \quad (9)$$

где  $k$  – множитель, учитывающий выход нейтронов при взрыве боеприпаса данного типа;  $k_3$  – коэффициент, учитывающий влияние поверхности земли на дозу. Нейтроны, падающие на поверхность земли, взаимодействуют с грунтом, в результате чего происходит поглощение и отражение в основном уже замедленных нейтронов. Степень влияния поверхности определяется совокупностью трёх факторов: высоты взрыва  $H$ , высоты положения объекта  $h$  и расстояния  $R$ .

Для решения практических задач, связанных с вычислением дозы нейтронов, в

специальной литературе используют графики для контактного взрыва мощностью 1 кт. При других значениях мощности дозы взрыва доза нейтронов изменяются пропорционально величине  $q$ . Найденные значения умножаются на коэффициенты, учитывающие высоту взрыва  $H$  и высоту расположения объекта.

Таким образом, и для нейтронной составляющей при оценке дозы существует множество поправочных коэффициентов, являющихся для нас случайными параметрами, или, как минимум, не подлежащие предварительной оценке, особенно при применении противником нестандартных боеприпасов (боеприпасов нового поколения).

Однако при возможности точного определения расстояния до источника проникающей радиации ( $R_{изм}$ ) и раздельного измерения дозовых компонент ( $D_\gamma, D_n$ ) на пункте управления появляется возможность «вычислять» все эти поправочные характеристики ( $K_\gamma, K_n$ ) с тем, чтобы их в последствии учитывать при прогнозировании дозовых нагрузок ( $D_\gamma^i, D_n^i$ ) на других объектах, удалённых от пункта управления (рис. 7).

На основании теоремы косинусов, имея заранее известные расстояния до подчинённых подразделений  $R_{об}^i$ , получим полуэмпирические зависимости для оперативного пересчёта дозовых компонент  $D_\gamma^i$  ( $D_n^i$ ) на интересующие нас подразделения:

$$D_\gamma^i = \frac{K_\gamma \cdot e^{-\frac{R_{изм} \rho}{230 \rho_0}}}{\sqrt{R_{об}^2 + R_{изм}^2 - 2R_{об}R_{изм} \cdot \cos\varphi_i}}; \quad (10)$$

$$D_n^i = \frac{K_n \cdot e^{-\frac{R_{изм} \rho}{210 \rho_0}}}{\sqrt{R_{об}^2 + R_{изм}^2 - 2R_{об}R_{изм} \cdot \cos\varphi_i}}, \quad (11)$$

где  $\varphi_i$  – угол между центром взрыва и направлениям на подчинённое подразделение (рис. 7). Базовым принципом реализации выражений (10), (11) является наличие достоверных данных о месте стояния подразделений.

Для корректной оценки дозовых нагрузок личного состава внутри инженерных сооружений, либо бронетехники, необходимо учитывать эффективную

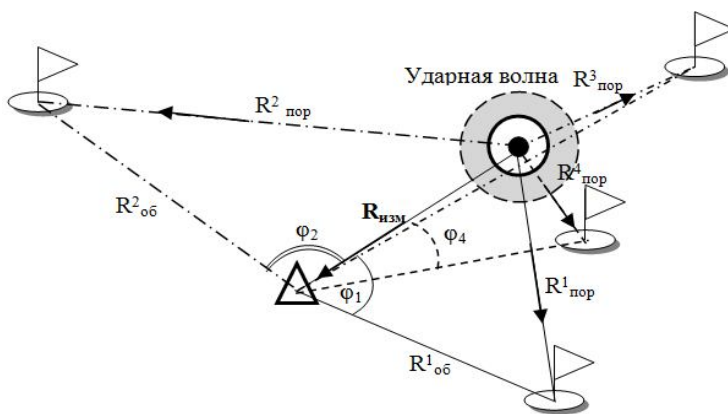


Рис. 7. Определение и перерасчёт дозовых компонент на заданные расстояния

толщину защиты, которая зависит от угла падения  $\theta_i$  с верхней полусферы пространства импульса проникающей радиации (рис. 8).

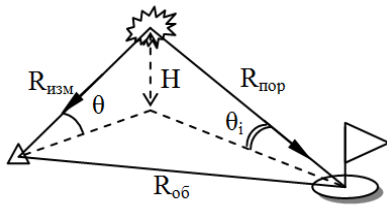


Рис. 8. Прогнозирование угла падения проникающей радиации на заданный объект

Прогнозирование данного параметра предполагается за счёт измерения угла  $\theta$  падения в шаровом поглотителе датчика боеспособности на пункте управления. Кроме того, оценка боеспособности предполагает знание остаточных доз облучений от предыдущих воздействий радиационного фактора.

## Выводы

1. Одним из важнейших параметров оценки степени радиационного поражения по данным датчика боеспособности необходимо считать кинетическую энергию нейтронов (гамма-квантов), которая совместно с параметром количества нейтронов (гамма-квантов) используется для описания спектрально-энергетических характеристик полей излучений. Пространственно – временные параметры определяются геометрией (расстоянием до источника) и параметрами среды, в которой распространяется излучение, а также изменением активности источника.

2. Предложенный подход к определению степени боеспособности включает этап первичных измерений датчиком (поглощённых доз гамма и нейтронного излучения, запаздывание прихода нейтронного излучения, энергии излучения, расстояния до взрыва) а также этап непосредственно прогнозирования поглощённых доз гамма-нейтронного излучения в интересующих нас подразделениях с учётом базовых данных.

3. Прогнозирование дозовых нагрузок на различных расстояниях от регистрации дозы в пункте

управления возможно благодаря существующей изотропии поля проникающей радиации а также равновесного спектра излучения на расстояниях, представляющих практический интерес с точки зрения биологического действия нейтронов.

## Список литературы

1. Чернявский И.Ю. Войсковая дозиметрия как система выявления и оценки радиационной обстановки. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2015. – № 4(21). – С. 126-133.
2. 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.
3. Тарасенко Ю.Н. Ионизационные методы дозиметрии высокоинтенсивного ионизирующего излучения / Ю.Н. Тарасенко. – М.: Техносфера, 2013. – 264 с.
4. Действие ядерного оружия: пер. с англ. – М.: Воениздат, 1965. – 683 с.
5. Ricketts L.W. Fundamental of Nuclears Hardening of Electronic Equipment. – John. – 1972. – P. 548.
6. Davis R. Industry Rushes New Rad Hardened Microcircuits to Sceptical Missile Planners // Electronic Warfare/Defence Electronics. – 1978. – P. 3-78.
7. Григор'єв О.М., Біологічний захист екіпажів бронетехніки від нейтронної зброї. Інформаційний бюлетень військ РХБ захисту / О.М. Григор'єв, О.В. Сакун. – № 2(11) 2009. – Х.: ФВП НТУ ХП, 2009.
8. Защита от оружия массового поражения / под ред. В.В. Мясникова. – М.: Воениздат, 1989. – 389 с.
9. Зыков И.К. Радиоактивные излучения ядерного взрыва. – Л.: ЛВИА им. Можайского, 1970. – 105 с.
10. Визначення напрямку на джерело проникаючих ядерних випромінювань. Інформаційний бюлетень військ РХБ захисту №1 (5) 2007. – Х.: ХІТВ, 2007.-112 с.
11. Действие ядерного взрыва // Сборник переводов под ред. С.С. Григоряна и Г. С. Шапиро. – М.: Изд «Мир», 1971.
12. Дозиметрия ионизирующих излучений ядерного взрыва: учебн. / Под ред. Шестерякова. – М.: ВАХЗ, 1976. – 455 с.
13. Дозовая нагрузка на человека в полях гамма-нейтронного излучения / В.Л. Гозенбук, И.Б. Кеирим-Маркус и др. – М.: Атомиздат, 1978. – 168 с.

Поступила в редакцию 21.01.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.В. Стаховський, Национальный технический университет «ХПИ», ФВП, Харьков.

## ОЦІНКА СТУПЕНЮ РАДІАЦІЙНОГО УРАЖЕННЯ ШЛЯХОМ ПРОГНОЗУВАННЯ ДОЗОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗА ДАНИМИ ДАТЧИКА БОЄЗДАТНОСТІ

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

У роботі аналізується методологічний апарат створення датчиків виявлення боєздатності підрозділів та частин у радіаційному відношенні. Оцінюється можливість оперативного прогнозування ступеню радіаційного ураження, для реалізації ситуаційного управління у системі військової дозиметрії.

**Ключові слова:** гамма-нейтронний потік проникаючої радіації, прогнозування дозового навантаження.

## ASSESSMENT OF RADIATION INJURY BY PREDICTING DOSE LOADINGS ACCORDING TO COMBAT CAPABILITY SENSOR

I.Y. Cherniavskiy, V.V. Marushenko, A.V. Matykin

This work is analyzing methodological apparatus of creating combat capability sensors of units and parts in terms of radiation. Also assessing the possibility of predicting the degree of radiation injury for the implementation of situational management in the military dosimetry.

**Keywords:** gamma-neutron flux of penetrating radiation, forecasting of dose loading.