

## **ВОЕННО-РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ИМПУЛЬСНОГО ГАММА-НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Резюме.** С целью оптимизации радиологических принципов войсковой системы радиационной безопасности в работе анализируются возможные способы учета пространственного распределения поглощенной дозы путем оценки коэффициента неравномерности облучения.

Проведена сравнительная оценка отношения доз нейтронного и гамма-излучения, а также получены зависимости коэффициента неравномерности и индекса снижения биологического эффекта от расстояния до центра взрыва для боеприпасов разного типа. В целом облучение тела человека в поле излучения импульсного гамма-нейтронного излучения нейтронных боеприпасов оказывается значительно более равномерным, чем в случаях облучения при термоядерном взрыве. Функционал объемного распределения дозовой нагрузки зависит от соотношения  $\gamma/n$  компонентов, которое зависит от расстояния до центра ядерного взрыва, от наличия рассеянного излучения; спектральных особенностей типа боеприпаса (наличие захватного гамма-излучения в воздухе и грунте); ориентации человека в поле гамма-нейтронного излучения; экранирования тела человека.

**Ключевые слова:** гамма-нейтронный поток проникающей радиации, неравномерность облучения.

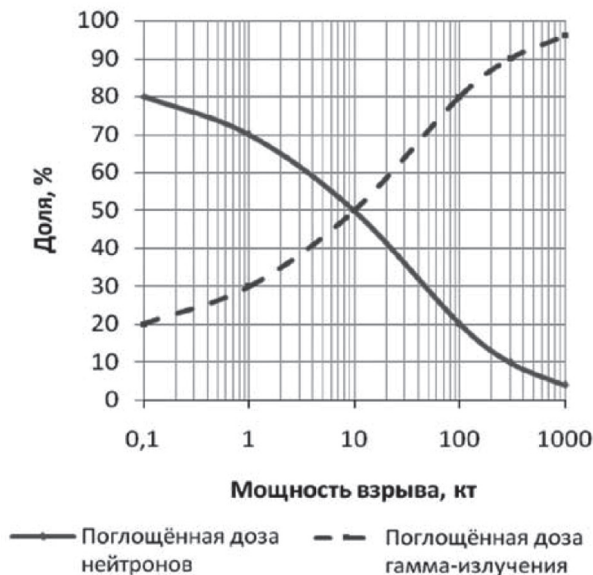
Одним из путей получения оперативной и достоверной информации о степени тяжести радиационных поражений личного состава в условиях воздействия проникающей радиации (ПР) ядерного взрыва является прогнозирование дозовых нагрузок посредством совокупного анализа радиационных характеристик гамма-нейтронного излучения, особенностей размещения и экранирования элементов боевого порядка подразделений и частей. В условиях сложного, варьирующего во времени и пространстве радиационного воздействия такой подход, на наш взгляд, выступает единственным способом приведения параметров такого сценария облучения, например, от гамма-нейтронных источников (продолжительного характера воздействия при авариях на ядерных энергетических установках или импульсного воздействия ПР) к неким стандартным условиям радиационного воздействия, хорошо проработанного в современной радиологии через понятие равноценной дозы [4, 5, 6, 9]. Очевидно, что одной и той же равноценной дозе (доза в условиях «стандартного» — остро, равномерного — облучения) соответствует бесконечное множество вариантов неравномерного облучения, определяемое спецификой импульсного гамма-нейтронного воздействия и условиями размещения подразделений и частей на местности. Игнорирование указанных модифицирующих факторов приводит к получению некорректных результатов в оценке степени радиационного поражения.

Считается, что неравномерность облучения (ситуация, при которой различие в дозах, поглощенных различными областями тела, превышает 10–15 %) снижает поражающее действие радиации более чем в 3 раза по сравнению с равномерным облучением при одинаковой максимальной эквивалентной дозе [10].

В то же время с удалением человека от источника изменяется спектрально-угловое распределение излучения, возрастает вклад рассеянных нейтронов. Это должно сказываться и на распределении дозовой нагрузки по телу, по крайней мере, в тех случаях, когда вклад нейтронного компонента существенен. За счет образования под действием быстрых нейтронов с  $E_n = 14$  МэВ вторичного (захватного) гамма-излучения, как в воздухе так и в грунте, возможно существование значительно большей равномерности облучения при нейтронном боеприпасе, чем при термоядерном. Однако в действующих методиках прогнозирования и оценки радиационной обстановки особенности такого воздействия не учитываются [7]. Это обуславливает необходимость разработки моделей, учитывающих влияние пространственной неравномерности радиационного воздействия на клинико-радиобиологический эффект, для корректной оценки последствий радиационного поражения.

В рамках специализированного исследования распределения тканевой дозы от внешнего гамма-нейтронного ( $\gamma/n$ ) излучения разного состава в модели тела человека были построены кривые

выживаемости человека при облучении с различным соотношением  $\gamma/n$  [5]. Эти эксперименты были проведены на небольших расстояниях без учета особенностей распространения импульсного (по [12] для нейтронных боеприпасов эффективная длительность импульса от 0,75–70 мкс) гамма-нейтронного излучения в атмосфере [11]. Согласно данным [12, 13], на расстояниях, где суммарная доза равна примерно 0,2–0,5 Гр при мощности взрыва  $10^{-1}$ – $10^3$  кт, вклад дозы нейтронов и гамма-излучения изменяется от 4 до 80 % и от 20 до 96 % соответственно. Причем, вклад доз осколочного и вторичного гамма-излучения изменяется от 7 до 56 % и от 13 до 40 % соответственно, что, с точки зрения автора, при раздельной регистрации доз должно учитываться при разработке, градуировке и проверке войсковых дозиметров. В работе [3] исследованы соотношения доз гамма-нейтронного излучений от мощности наземного ядерного взрыва (ЯВ) (рис. 1).



**Рис. 1.** Зависимость вклада поглощенной дозы нейтронов и гамма-излучения от мощности наземного ядерного взрыва при суммарных поглощенных дозах 0,2–0,5 Гр (цит. по [3])

Авторы показали, что соотношение доз нейтронного и гамма-излучений в условиях применения ядерного оружия, когда проникающая радиация рассматривается как основной поражающий фактор, составляет от 1:1 до 4:1. Однако данная модель в действительности не учитывает особенности воздействия быстрых нейтронов, характерных для нейтронных боеприпасов, особенно сверхмалой мощности (до 1 кт), а значит, изменения соотношения дозовых компонент, приведенные в данных исследованиях, невозможно корректно использовать для прогнозирования потерь от тактического ядерного оружия.

Таким образом, имеющаяся в открытой литературе информация по вопросу особенностей воздействия импульсного гамма-нейтронного излучения от различных типов ядерных боеприпасов, в частности в аспекте соотношения дозовых компонент

и учета неравномерности облучения при оценке радиационных потерь, довольно противоречива и требует уточнений.

**Цель работы:** в рамках создания модели радиационного поражения в основе обобщенного дозиметрического функционала проанализировать особенности пространственного распределения дозовой нагрузки импульсного гамма-нейтронного воздействия за счет соотношения дозовых компонент проникающей радиации от различных типов боеприпасов. Данное исследование частично выполнено в рамках плановой НИР: НАМН 03.16 номер госрегистрации 0116U001005 по модернизации радиологических основ войсковой системы радиационной безопасности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наиболее корректным подходом к оценке поражающего действия совместного гамма-нейтронного излучения на человека по критерию «тяжесть и исход заболевания» целесообразно принять подход к определению поражающей дозы [12]:

$$D_{\Sigma} = 1,7(\overline{D}_{\gamma} + \eta \cdot \overline{D}_n) \psi_d \psi_m, \quad (1)$$

где  $\overline{D}_{\gamma}(\overline{D}_n)$  — среднетканевые дозы гамма- и нейтронного излучений соответственно;  $\eta$  — коэффициент эффективности излучения для тела в целом (2,2–3,0);  $\psi_d$  и  $\psi_m$  — величины, характеризующие фактор эффективности распределения поглощенной дозы по длине и толщине туловища соответственно (0,45–1,00).

В работе [12] не даются пояснения использования данного модифицирующего фактора (эффективности распределения поглощенной дозы), однако он должен существенно влиять на тяжесть и исход заболевания.

Учет пространственного макрораспределения гамма-нейтронного излучения путем воспроизведения геометрических параметров контролируемой области тела, например кожи, а также учет конфигурации и размеров тела человека и его органов целесообразно проводить, используя понятие коэффициента неравномерности.

В модели, предложенной Г.М. Аветисовым [6], неравномерное облучение крупных биообъектов рассматривается как плавный переход от равномерного облучения к локальному. Основными параметрами модели являются коэффициент неравномерности облучения  $K_n$  и индекс выраженности снижения биологического эффекта  $I$ :

$$K_n = \frac{D_{\max}}{D_{\min}} \text{ и } I = \frac{D_{\max}}{D_p}, \quad (2)$$

где  $D_{\max}$  и  $D_{\min}$  — максимальная и минимальная поглощенные дозы в организме;  $D_p$  — доза в условиях равномерного облучения, при которой наблюдается та же выраженность биологического эффекта, что и при неравномерном облучении с данными значениями  $K_n$  и  $D_{\max}$ . В соответствии с основными закономерностями радиобиологии индекс  $I$  растет с увеличением неравномерности  $K_n$ . Сама модель представлена простой эмпирической зависимостью, связывающей

индекс биологического эффекта с коэффициентом неравномерности

$$I = A^{1 - \frac{1}{K_n}}, \quad (3)$$

где  $A$  — числовой коэффициент значение которого зависит от вида млекопитающего и направления перепада дозы по телу (вдоль продольной оси тела, по поперечной оси и т. п.). Для человека в случае облучения в направлениях, перпендикулярных продольной оси тела  $A = 2-5$ . С радиобиологических позиций коэффициент  $A$  отражает наибольшую степень снижения биологического эффекта, которую можно получить при применении данного способа неравномерного воздействия. В работе [6] приводятся ориентировочные данные коэффициента неравномерности с учетом угловой ориентации положения тела к воздействию гамма-нейтронному излучению.

В положении стоя грудью к источнику (рис. 2), максимальная доза приходится на переднюю поверхность тела с перепадом дозы грудь — спина, равным 2,4, и максимальным перепадом по телу  $K_n = 3,6$ . В положении стоя боком к источнику максимум дозы излучения локализуется на соответствующей боковой поверхности тела. Перепад дозы бок-бок равен 2,2, то есть немного меньше, а максимальный перепад  $K_n = 4,3$  — значительно больше, чем в случае облучения со стороны груди. В положении лежа боком к источнику излучения максимум дозы по поверхности тела  $K_n = 2,5$ , по объему тела — 4,3.

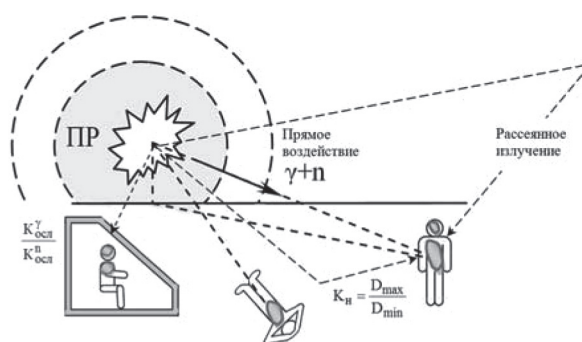


Рис. 2. Распределение дозовой нагрузки по телу военнослужащего за счет прямого и рассеянного гамма-нейтронного воздействия проникающей радиации

Однако в боевой обстановке чаще всего могут возникать сочетанные радиационные поражения с преимущественным воздействием на голову и развитием при достижении достаточной дозы церебрального и орофарингеального синдромов. На втором месте по вероятности возникновения стоят варианты с преимущественным облучением живота и развитием при соответствующей дозе модифицированного кишечного синдрома [2, 10].

Чтобы оценить возможный диапазон коэффициента неравномерности, вызванного соотношением дозовых компонент проникающей радиацией ( $\gamma/n$ ), проведем анализ особенностей последствий облучений гамма-нейтронным излучением на открытой местности на различных расстояниях от центра взрыва (табл. 1).

Таблица 1

**Ориентировочные дозы гамма-нейтронного облучения и их последствия на личный состав в зависимости от типа боеприпаса мощностью в 1 кт**

Расстояние (м)	Ядерный (термоядерный) боеприпас		Нейтронный боеприпас	
	$D_{\gamma+n}$ (Гр)	Последствия	$D_{\gamma+n}$ (Гр)	Последствия
500	6	ОЛБ крайне тяжелой степени тяжести, дееспособность существенно снижена или отсутствует	600–1200	немедленная смерть
700	2,5	ОЛБ средней степени тяжести, дееспособность частично снижена	160	немедленная и полная потеря незащищенным человеком способности к физической и умственной деятельности и предсмертная агония длится 1–2 дня
760	1,5	ОЛБ легкой степени тяжести, дееспособность сохранена или частично снижена	80	потеря дееспособности через несколько минут, смертельный исход наступает через 2–6 суток
1200	1	ОЛБ легкой степни тяжести, дееспособность сохранена или частично снижена	6,5	тяжелые функциональные нарушения в организме человека примерно через 1 час после взрыва, гибель наступает спустя 2–3 недели после облучения
1450	0,2	степень дееспособности сохранена	4,5	ОЛБ тяжелой степени, степень дееспособности существенно снижена
1550			2	ОЛБ средней степни тяжести, дееспособность частично снижена
1650			1	ОЛБ легкой степени тяжести, дееспособность сохранена или частично снижена
2300			0,15	возникновение злокачественных опухолей, лейкемии, дееспособность сохранена

Воспользуемся данными, приведенными в работах [3, 8, 12, 13], а также действующей градацией степени ОЛБ от дозы внешнего облучения [2, 4, 11].

Анализ данной таблицы показывает, что очаги поражения, вызванные нейтронными боеприпасами, отличаются значительно более высокими дозами излучения на личный состав, по сравнению с очагами, вызванными ядерными (термоядерными) боеприпасами той же мощности на одних и тех же расстояниях от центра взрыва, что отражается на степени дееспособности подразделений и частей. Невозможность станциям засечки параметров ядерных взрывов различить тип боеприпаса (термоядерный или нейтронный), безусловно, приведет к существенным ошибкам в оценке радиационного поражения подразделений и частей. На расстоянии 760 м разница в ожидаемой дозе может составить 53 раза, и соответственно различается прогноз: в одном случае дееспособность сохранена, в другом — потеря дееспособности через несколько минут, смертельный исход через 2–6 суток. В этой ситуации в случаях последствий более жесткого воздействия можно распознать только по медико-радиологическим признакам — более выраженной первичной реакции с частой рвотой в первые 3–5 часов (отсутствие видимого латентного периода), глубокой адинамией.

Соотношение между дозами нейтронов и гамма-излучения в суммарной дозе зависит от типа, мощности боеприпаса и расстояния от центра взрыва. На близких расстояниях от центра взрыва нейтронного боеприпаса в зоне смертельных и тяжелых поражений доза нейтронов значительно превышает дозу гамма-излучения, и только на границе легких поражений, по данным [3, 8] на расстоянии 1500–1800 м, их значения будут приблизительно одинаковыми.

Пользуясь расчетными значениями доз облучения при воздушном взрыве нейтронного боеприпаса мощностью 1 кт [3, 7, 8, 12], получим зависимость отношения доз от расстояния для разного типа боеприпаса (рис. 3).

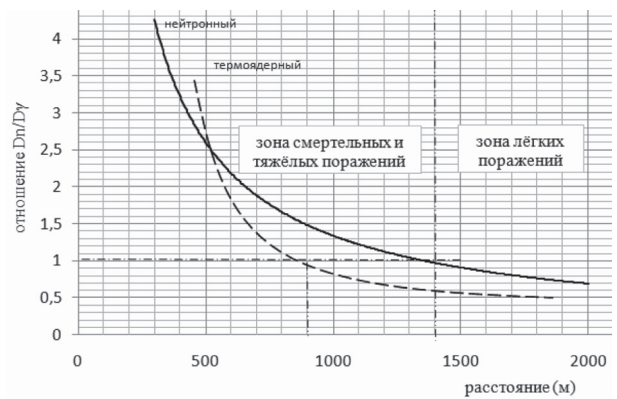


Рис. 3. Сравнительная оценка отношения доз нейтронного и гамма-излучения при воздушном взрыве ядерного боеприпаса

Для термоядерного взрыва граница дозового равновесия ( $D_n \approx D_\gamma$ ) смещается к центру взрыва и составляет примерно 800–900 м. Анализ полученной зависимости (рис. 3) показывает, что интересующая нас граница зоны смертельных и тяжелых поражений напрямую связана с преобладанием нейтронной составляющей (до 4 раз), а также биологической эффективностью нейтронного излучения ( $\eta$ ), зависящего от характерного спектра данного типа боеприпаса (см. выражение 1).

С другой стороны, основной вклад в поглощенную дозу вторичного гамма-излучения вносят процессы неупругого соударения и захвата быстрых нейтронов ( $E_n = 14$  МэВ), характерных для спектра нейтронного боеприпаса. Вклад различных компонентов во вторичное (захватное) гамма-излучение по данным [12] приведен в табл. 2.

Анализ представленных данных показывает, что на близком расстоянии от центра взрыва значительный вклад в дозу создается при взаимодействии нейтронов с элементами земли, но с увеличением расстояния вклад этой компоненты быстро уменьшается. На расстоянии порядка 1200 м вклад от взаимодействия

Таблица 2

**Вклад различных компонентов в процентах в дозу вторичного гамма-излучения при взрыве на высоте 15 м (по данным [12])**

Расстояние, м	Вклад нейтронов, взаимодействующих с воздухом		Вклад нейтронов, взаимодействующих с грунтом		
	Быстрые нейтроны	Промежуточные нейтроны	Тепловые нейтроны	Суммарный выход	Быстрые нейтроны
Источник нейтронов с энергией $E_n = 12,5\text{--}15$ МэВ					
50	54	1	0,5	55,5	40,0
200	79	1,8	1,1	81,9	11,4
400	81,4	2,1	2,0	85,2	7,0
800	82,5	1,7	3,0	87,5	5,0
1200	83,8	1,5	3,7	89,0	4,0
Источник нейтронов со спектром деления					
50	1,5	1,5	6,0	9,0	9,0
200	1,7	4,0	12,3	18,0	4,0
400	1,9	9,3	22,0	33,2	2,6
800	2,1	18,0	36,0	56,1	1,6
1200	2,1	22,0	49,0	73,1	1,1



быстрых нейтронов с грунтом составляет только 4 %, а от взаимодействия с элементами воздуха — 85 %. Второй по значению вклад в дозу вторичного гамма-излучения создается на этом расстоянии от радиационного захвата тепловых нейтронов, однако он не превышает 10 %. Поэтому можно предположить, что на расстояниях, представляющих практический интерес для оценки тяжести радиационного поражения, помимо потока нейтронной составляющей, значительное влияние оказывает именно вторичное (захватное) гамма-излучение высокой энергии (до 6,5 МэВ). Не подвергая сомнению коэффициент качества этого фотонного излучения проведем анализ возможного вклада данного излучения в создаваемую равномерность облучения на различных расстояниях от центра взрыва на открытой местности.

Используя экспериментальные данные зависимости коэффициента неравномерности (перепад дозовой нагрузки  $K_n = \frac{D_{\max}}{D_{\min}}$ ) от соотношения  $\gamma/n$  компонентов излучений, полученных в работе [5], и рассчитанных значений соотношения дозовых компонент для боеприпасов мощностью 1 кт, приведенные на рис. 3, проведем аппроксимацию значений коэффициента неравномерности облучения гамма-нейтронным воздействием на открытой местности (рис. 4а). Зависимость индекса I (см. выражение 2), выражающего снижение биологической эффективности от расстояния до центра взрыва, представлена на рис. 4б.

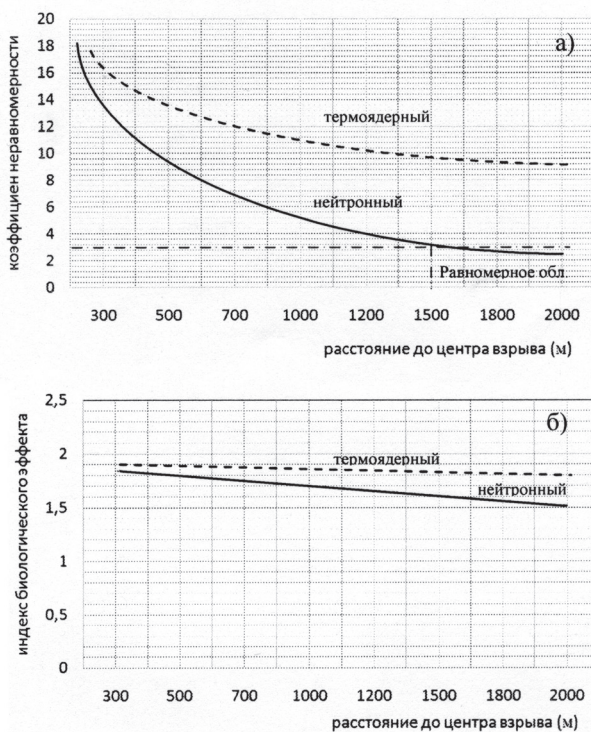


Рис. 4. Зависимости коэффициента неравномерности и индекса снижения биологического эффекта от расстояния до центра взрыва боеприпасов разного типа

Анализ полученных зависимостей (рис. 4), показывает, что коэффициент неравномерности снижается обратно квадрату расстояния до центра взрыва

не только за счет снижения нейтронной составляющей, но и за счет рассеянного излучения как для термоядерного, так и для нейтронного боеприпаса. Несмотря на доминирование нейтронной компоненты для нейтронного боеприпаса, на расстояниях до 1500 м (рис. 4а) снижения неравномерности происходит значительно быстрее за счет присутствия в спектре излучения быстрых нейтронов с  $E_n = 14$  МэВ, вызывающих при взаимодействии с воздухом и грунтом вторичное (захватное) гамма-излучение со средней энергией излучения порядка 6,5 МэВ [11, 12]. С расстояний порядка от 1500 м и больше для нейтронного боеприпаса 1 кт перепад дозовых нагрузок на открытой местности можно оценивать в диапазоне 1,5–3,0, что соответствует современным представлениям в радиологии [1, 2, 10] о равномерном облучении. Данная граница согласуется также с дозовым равновесием ( $D_n \approx D_\gamma$ ) (рис. 3), определяющим начало доминирования гамма-компоненты в смешанном излучении.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что коэффициент неравномерности, связанный с соотношением дозовых компонент проникающей радиации и ориентацией человека в поле гамма-нейтронного излучения, имеют примерно одинаковый порядок.

## ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ особенностей последствий облучений гамма-нейтронным излучением на открытой местности на различных расстояниях от центра взрыва ядерных боеприпасов различного типа. При взрыве нейтронного боеприпаса очень высока доля крайне тяжелых форм лучевой болезни (церебральная, кишечная, токсемическая), характеризующихся быстрым и практически одномоментным выходом пораженных из строя, в то время как доля поражений средней и легкой степени тяжести, когда выход пораженных из строя отсрочен от момента воздействия проникающей радиации на несколько часов, сравнительно мала.

2. Для точного прогноза исходов радиационных поражений важна информация о соотношении дозовых компонент гамма-нейтронного излучения в суммарной поглощенной дозе. Невозможность различать тип боеприпаса, а значит и распределение по различным видам излучений их спектрально-энергетических характеристик, приводит к катастрофическим ошибкам в оценке потерь радиационного поражения подразделений и частей.

3. Проведена сравнительная оценка отношения доз нейтронного и гамма-излучения, а также получены зависимости коэффициента неравномерности и индекса снижения биологического эффекта от расстояния до центра взрыва для боеприпасов разного типа. В целом облучение тела человека в поле излучения импульсного гамма-нейтронного излучения нейтронного боеприпаса оказывается значительно более равномерным, чем в случаях облучения при взрыве термоядерного боеприпаса. Сказываются большие расстояния от центра взрыва и накопление

рассеянного излучения, определяющего распределение дозовой нагрузки, а также вторичное (захватное) гамма-излучение.

4. Равноценная доза зависит от характеристик поля излучения, причем она не пропорциональна уровню облучения и не аддитивна для разных компонент проникающей радиации. Поэтому для определения равноценной дозы необходимо использовать фантомные измерения или расчеты распределения

дозовой нагрузки по телу человека. Функционал объемного распределения дозовой нагрузки зависит от соотношения  $\gamma/n$  компонентов, которое зависит от расстояния до центра ядерного взрыва, от наличия рассеянного излучения; спектральных особенностей типа боеприпаса (наличие захватного гамма-излучения в воздухе и грунте); ориентации человека в поле гамма-нейтронного излучения; экранирования тела человека.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Актуальные проблемы военной радиологии* / под. ред. Э. А. Нечаева. — М. : Воениздат : ЦВМУ МО, 1991.
2. *Бадюгин И. С.* Военная токсикология, радиология и защита от оружия массового поражения / И. С. Бадюгин. — М. : Воениздат, 1992.
3. *Васильев И. О.* Исследования полей нейтронного и гамма-излучений реактора с целью создания на нем рабочих эталонов единиц дозиметрических величин нейтронного и гамма-излучений / И. О. Васильев, Ю. В. Лопатин // *Вестн. метролога*. — 2015. — № 2. — С. 12–17.
4. *Гозенбук В. Л.* Дозиметрические критерии тяжести острого облучения человека / В. Л. Гозенбук, И. Б. Кеирим-Маркус. — М. : Энергоатомиздат, 1988. — 184 с.
5. *ГОСТ 25645.201-83.* Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Термины и определения.
6. *Дозовая нагрузка на человека в полях гамма-нейтронного излучения* / В. Л. Гозенбук, И. Б. Кеирим-Маркус, А. К. Савинский, Е. Н. Чернов. — М. : Атомиздат, 1978. — 168 с.
7. *Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения* : справочник / под ред. Г. П. Демиденко. — 2-е изд., перераб. и доп. — Киев : Вища шк ; Голов. изд-во, 1989. — 287 с.
8. *Защита от оружия массового поражения* / под. ред. В. В. Мясникова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Воениздат, 1989. — 389 с.
9. *Кеирим-Маркус И. Б.* Эквидозиметрий / И. Б. Кеирим-Маркус. — М. : Атомиздат, 1980. — 191 с.
10. *Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита* : учебник / С. А. Куценко, Н. В. Бутомо, А. Н. Гребенюк и др. / под ред. С. А. Куценко. — СПб. : Фолиант, 2004. — 528 с.
11. *Распространение ионизирующих излучений в воздухе* / В. А. Климанов, С. А. Коновалов, В. А. Кочанов и др. ; под ред В. И. Кухтевича и В. П. Машковича. — М. : Атомиздат, 1979. — 216 с.
12. *Тарасенко Ю. Н.* Ионизационные методы дозиметрии высокоинтенсивного ионизирующего излучения / Ю. Н. Тарасенко. — М. : Техносфера, 2013. — 264 с.
13. *Тарасенко Ю. Н.* Пепел Чернобыля. Сличения средств измерений ионизирующих излучений в зонах радиоактивного заражения после взрыва четвертого блока ЧАЭС / Ю. Н. Тарасенко. — М. : Техносфера, 2011. — 232 с.

Статья поступила в редакцию 23.03.2016.

І. Ю. ЧЕРНЯВСЬКИЙ, В. В. МАРУЩЕНКО

*НТУ «ХПИ», факультет військової підготовки ім. Верховної Ради України, Харків*

## ВІЙСЬКОВО-РАДІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ ПОГЛИНЕНОЇ ДОЗИ ІМПУЛЬСНОГО ГАММА-НЕЙТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

**Резюме.** З метою оптимізації радіологічних принципів військової системи радіаційної безпеки у роботі аналізуються можливі способи врахування просторового розподілу поглиненої дози шляхом оцінки коефіцієнта нерівномірності опромінення.

Проведена порівняльна оцінка відношення доз нейтронного і гамма-випромінювання, а також отримано залежності коефіцієнта нерівномірності та індексу зниження біологічного ефекту від відстані до центру вибуху для боеприпасів різного типу. В цілому опромінення тіла людини у полі випромінювання імпульсного гамма-нейтронного випромінювання нейтронних боеприпасів виявляється значно більш рівномірним, ніж у випадках опромінення під час термоядерного вибуху. Функціонал об'ємного розподілу дозового навантаження залежить від співвідношення  $\gamma/n$  компонентів, яке залежить від відстані до центру ядерного вибуху, від наявності розсіяного випромінювання; спектральних особливостей типу боеприпасу (наявність захватного гамма-випромінювання в повітрі і грунті); орієнтації людини у полі гамма-нейтронного випромінювання; екранування тіла людини.

**Ключові слова:** гамма-нейтронний потік проникаючої радіації, нерівномірність опромінення.

I. Yu. CHERNIAVSKYI, V. V. MARUSHENKO

*National Technical University «KhPI», Guards department of military training of the behalf of the Verhovna Rada of Ukraine, Kharkov*

### **MILITARY-RADIOLOGICAL ASPECTS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF THE ABSORBED DOSE OF PULSED GAMMA-NEUTRON RADIATION**

**Summary.** In order to optimize radiological principles of military radiation safety systems this paper examines possible ways of accounting the spatial distribution of the absorbed dose by assessment of the uneven irradiation rate.

A comparative evaluation of the doses ratio of neutron and gamma radiation was conducted, and obtained dependence of unevenness factor and the reduction index of biological effect which depended on distance from the center of the explosion of different types of ammunition. In general, irradiation of the human body in a field of pulsed gamma-neutron radiation of neutron ammunition is much more uniform than in the cases of irradiation in the explosion of thermonuclear ammunition. Functional of distribution of dose load depends on the ratio  $\gamma/n$  components, which is depends on the distance from the center of a nuclear explosion, on the presence of the scattered radiation; on the spectral features of the type of ammunition (the presence of capture gamma radiation in the air and soil); on human orientation in a field of gamma-neutron radiation; on the human body screening

**Keywords:** gamma-neutron flux of penetrating radiation, unevenness of irradiation.

#### **Контактная информация:**

Чернявский Игорь Юрьевич

канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры РХБз ФВП НТУ «ХПИ»

тел.: 038 (063) 247-2043

e-mail: igor.chern.71@mail.ru