ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов Л.М. Методологические основы теории эффективности / Л.М. Морозов, Г.Б. Петухов, В.Н. Сидоров. — Л.: ВИКИ, 1982. — 236 с.
2. Вилков А.В. Формализованное описание процесса функционирования системы радиационного и химического наблюдения для определения ее вероятностно-временных характеристик // Доклады Академии военных наук, 2019, № 2 (85). — С. 114–117 с.

REFERENCES

1. Morozov L.M. Methodological foundations of efficiency theory/ L.M. Morozov, G.B. Petukhov, V.N.Sidorov. — Leningrad: WIKI, 1982. — 236 p.
2. Vilkov A.V. Formalized description of the process of functioning of the radiation and chemical surveillance system to determine its probabilistic and temporal characteristics // Reports of the Academy of Military Sciences, 2019, № 2 (85). — P. 114–117.

УДК 614.8.01

В.А. КУЛГАНОВ, *д.м.н., профессор, vka@mil.ru;*
К.В. МАТЮШЕНОК, *к.т.н., доцент, vka@mil.ru;*
Е.А. ХАРИТОНОВА, *к.м.н., xaritonova_ea@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный университет
V.A. KULGANOV, *doct. of Medical Sc., professor, vka@mil.ru;*
K.V. MATIUSHENOK, *cand. of Eng. Sc., associate professor, vka@mil.ru;*
E.A. KHARITONOVA, *cand. of Medical Sc., xaritonova_ea@mail.ru*
State University, St. Petersburg

ОЦЕНКА ПОРАЖАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА

Рассмотрены особенности воздействия воздушной ударной волны на животных и человека. Проведена оценка повреждаемости систем организма в результате действия избыточного давления в фазе сжатия, метательного действия ударной волны и образующихся летящих осколков и обломков. Сформулированы количественные закономерности, обладающие алгоритмической отражаемостью на множество исходных данных по моделированию поражаемости человека в результате действия ударной волны. Выявленные закономерности могут быть применены в качестве основы для разработки принципов защиты и прогнозирования масштабов ущерба от действия ударной волны. Предложен ряд защитных мероприятий, снижающих повреждаемость систем организма ударной волной.

Ключевые слова: *ударная волна, избыточное давление, скоростной напор, удельная повреждаемость, порог повреждаемости, безопасность жизнедеятельности.*

ASSESSMENT OF THE DAMAGING EFFECT OF A SHOCK WAVE ON HUMANS AND ANIMALS BY INDICATORS OF DAMAGE TO BODY SYSTEMS

The article discusses the features of the impact of an air shock wave on animals and humans. The assessment of the damage to the body's systems as a result of the action of excessive pressure in the compression phase, the propellant effect of the shock wave and the resulting flying fragments and debris. Quantitative regularities with algorithmic reflectivity on a set of initial data on modeling human infectability as a result of the action of a shock wave are formulated. The revealed patterns can be applied as a basis for the development of protection principles and criteria for prediingthe extent of damage caused by the impact of a shock wave. A number of protective measures have been proposed to reduce the damage to the body's systems by a shock wave.

Keywords: *shock wave, overpressure, high-speed pressure, specific damage, damage threshold, safety of vital functions.*

Современное состояние нашей цивилизации характеризуется высоким уровнем развития техники и технологических процессов. Безусловно, это положительно сказывается на повышении благосостояния человечества, увеличении объема получаемых материальных благ и, как след-

ствие, улучшении качества жизни. Однако наличие энергонасыщенных производств, оборот радиоактивных и химических активных веществ повышают вероятность возникновения техногенных катастроф. Наряду с радиационными (Чернобыль, 1986; Фокусима, 2010) и химическими (Бхопал, 1984) катастрофами, опасность представляют аварии, сопровождающиеся мощными взрывами. Хроника последнего времени свидетельствует о том, что они на сугубо гражданских предприятиях могут приводить к значительным человеческим жертвам. Так, пожар на борту французского судна «Гранкан», груженного 2 тыс. т аммиачной селитры, 16 апреля 1947 г. в порту города Тексас-Сити (США) привел к взрыву и гибели 581 чел., поражения получили более 5000 чел. Взрыв в порту Тяньцзиня на складе фирмы «Жуйхай» 12 августа 2015 г. унес жизни 160 чел., не менее 400 чел. были ранены. И, наконец, в результате взрыва, произошедшего 4 августа 2020 г. в порту Бейрута, погибли 207, а ранения получили более 6500 чел. И это далеко не полный список. Причиной, приведшей к многочисленным жертвам во всех перечисленных катастрофах, явилась сформированная при взрыве воздушная ударная волна (УВ).

К сожалению, в настоящее время в доступных источниках нет достаточно полных обобщений относительно биофизических особенностей повреждающего действия УВ. Однако по отдельным публикациям представляется возможным дать качественную характеристику биофизического механизма действия УВ на человека применительно к отдельным вариантам его укрытости.

Человеку воздушная УВ может наносить поражение непосредственно и косвенно. В первом случае она мгновенно охватывает тело человека, подвергая его сжатию. Деформация сжатия, распространяясь внутри тела, из-за различия акустической жесткости биологических тканей может вызывать их разрыв (разрушаются кровеносные сосуды, мышечные ткани) [4].

Воздух, находящийся под высоким давлением в фазе сжатия УВ, проникая через дыхательные пути в бронхи и альвеолы легких, приводит к их разрушению [1]. Основной причиной смерти, наступающей непосредственно в момент ее воздействия на человека, является удушье, обусловленное кровоизлиянием в легкие, либо попаданием воздуха в разрушенные легочные кровеносные сосуды (воздушная эмболия). Действие повышенного давления во внутренних областях органов слуха может вызвать разрыв барабанных перепонок и повреждение других элементов этих органов [6].

Воздействие УВ на человека приводит к поражениям различной степени тяжести при следующих значений избыточного давления:

– смертельные — при $\Delta p_ф > 0{,}1$;
– тяжелые — при $\Delta p_ф = (0{,}06...0{,}10)$;
– средние — при$\Delta p_ф = (0{,}03...0{,}06)$;
– легкие — при $\Delta p_ф = (0{,}015...0{,}03)$ МПа.

При $\Delta p_ф = 0{,}01$ МПа УВ не представляет опасности для людей, находящихся на открытой местности.

Помимо избыточного давления, человек, находящийся в фазе сжатия УВ, подвергается воздействию скоростного напора, при этом он может быть подхвачен воздушным потоком в направлении его течения и получить травмы при падении на землю [2].

Косвенное поражение заключается в воздействии на человека не непосредственно УВ, а образующихся при взрыве обломков зданий, техники, деревьев и других предметов, движущихся со скоростью, соизмеримой со скоростью осколков авиабомб и артиллерийских снарядов. Поэтому летящие осколки и обломки играют немаловажную роль в получении травм.

Исходя из указанных воздействий УВ на человека, различают три основных вида поражений, вызываемых УВ: непосредственные (первичные), вторичные и третичные [3]. Первые возникают в результате поглощения энергии, связанной с импульсом избыточного давления в фазе сжатия УВ. Вторичные поражения объединяют травмы от ударов летящими осколками и обломками. Под третичными поражениями принято понимать травмы за счет ударов самого тела человека о грунт и другие преграды на пути движения отбрасываемого человека..

Первичные поражения возможны при расположении человека (как биологического объекта) на открытой местности при условии мгновенного нарастания давления ($\tau_н = 0$). При этом степень поражения будет зависеть от миделевого сечения тела человека.

В табл. 1 приведены обобщенные данные о частоте возможных летальных исходов для человека при условиях мгновенного нарастания давления и длительности действия ударной волны ($\tau_+ = 400$ мс) для двух вариантов: макси-

мального (что соответствует положению человека «стоя») и минимального (положение «лежа») воздействия. Данные получены путем экстраполяции эмпирических зависимостей «воздействие-эффект», полученных для восьми различных видов животных. При экстраполяции воздействия, вызывающего определенный эффект с вероятностью 1, 50 и 99%, его рассматривали в функции логарифма от массы животных. Поэтому можно считать, что приводимые в табл. 1 данные относятся к абстрактному животному массой 70 кг, характерному для «среднего» человека, в чем убеждают и другие фактические оценки [7].

Для оценки воздействия УВ на человека приняты такие показатели повреждаемости систем организма, как *удельная повреждаемость* и *порог повреждаемости*.

Под удельной повреждаемостью систем организма понимается среднее число поврежденных систем, приходящихся на единицу воздействующего поражающего фактора, и определяется как отношение среднего значения распределения величин воздействующего фактора, приводящих к поражению организма данной степени тяжести, к дисперсии распределения.

Порог повреждаемости, или пороговый уровень повреждаемости систем организма, характеризует пороговое (минимальное) число систем организма, травмирование которых ведет к определенному поражению. Определяется как отношение квадрата среднего значения распределения величин воздействующего фактора, приводящих к поражению организма данной степени тяжести, к дисперсии распределения.

Таблица 1

Повреждаемость систем организма животного массой 70 кг при первичных поражениях ударной волной в условиях мгновенного нарастания давления при τ_+ 400 мс

Характеристика поражения	Величина показателей при:	
	минимальном воздействии (положение «лежа»)	максимальном воздействии (положение «стоя»)
Избыточное давление(кг/см^2), вызывающее летальность:		
1%	2,1 – 2,95	0,77 – 1,05
50%	2,95 – 4,00	1,05 – 1,26
99%	4,00 – 5,6	1,33 – 1,69
Удельная повреждаемость систем, кг/см^2	1,56	7,24
Порог повреждаемости систем, усл.ед.	80	80

В табл. 1 приведены рассчитанные показатели повреждаемости систем организма. Видно, что величина порога повреждаемости одинакова в случаях как минимального, так и максимального воздействия. Это свидетельствует о том, что между первичными поражениями, возможными от действия УВ при различных вариантах положения человека, существует сходство по критерию порогового уровня повреждаемости внутренних органов организма.

В условиях мгновенного нарастания давления в случае увеличения длительности действия (τ_+) УВ, соответствующей возрастанию мощности взрыва, уменьшается величина избыточного давления, вызывающего определенный эффект. Такая закономерность имеет место при $\tau_+ < 400$ мс. По расчетам, удельная повреждаемость систем организма при этом возрастает, а порог повреждаемости систем остается неизменным (табл. 2).

Это дает основание заключить, что между первичными поражениями животных, возможными от действия ударной волны взрывов различной мощности, существует сходство по критерию порогового уровня повреждаемости систем организма. С округлением до целого десятка порог повреждаемости систем организма будет составлять 80 усл. ед.

Таблица 2

Повреждаемость систем организма животного массой 70 кг при первичных поражениях ударной волной различной длительности действия (τ_+)

Показатели повреждаемости систем организма	τ_+, мс					
	0,3	0,5	10	2·10	6·10	3·10²
Среднелетальная величина давления, кг/см²	30	13	8	5,0	4,6	4,2
Удельная повреждаемость систем, кг/см²	2,5	5,8	11,3	15,9	17,4	18,0
Порог повреждаемости систем, усл .ед.	76	75	77	80	80	76

В условиях постепенного нарастания давления ($\tau_н > 0$), например, при проникновении УВ в сооружения через входы, окна или отверстия, уровень поражаемости от непосредственного действия ударной волны уменьшается. Так, при изучении воздействия на крыс УВ с длительностью $\tau_+ = 40$ с и различными временными интервалами нарастания $\tau_н$ определено, что порог повреждаемости систем их организма оставался неизменным и равным 55 усл. ед. при средне-летальных величинах давления в 5,043 и 3,7 МПа. Это дает основание полагать, что между первичными поражениями, возможными от действия ударной волны с различным временем нарастания давления (или, что то же самое, между первичными поражениями биологических объектов, расположенных открыто на местности и в сооружениях с возможностью затекания волны) существуют отношения сходства по критерию порогового уровня повреждаемости систем организма.

При вторичных поражениях УВ основными определяющими физическими воздействиями, обусловливающими поражаемость, являются скорость и масса летящих осколков и обломков. При изучении возможных значений скорости летящих стеклянных осколков различной массы, проникающих в брюшную полость человека с вероятностью 1, 50, 99%, определены показатели повреждаемости систем организма (табл. 3) [7].

Они свидетельствуют о том, что между вторичными поражениями животных от воздействия летящих предметов различной массы существуют отношения сходства по критерию порогового уровня повреждаемости систем организма. Действительно, порог повреждаемости систем организма с точностью до 10 усл. ед. равен 30.

Таблица 3

Возможная повреждаемость систем организма человека при вторичных поражениях ударной волной (по критерию проникновения осколков стекла в брюшную полость)

Показатели	Масса осколков, г				
	0,05	0,1	0,5	1,0	10,0
Среднеэффективное значение скорости осколка, м/с	174	125	84	75	55
Удельная повреждаемость систем, $(м/с)^{-1}$	0,162	0,240	0,349	0,394	0,563
Порог повреждаемости систем, усл.ед.	28	30	29	30	31

Третичные поражения УВ возможны вследствие метательного действия. При этом в качестве определяющего воздействия для оценки повреждаемости систем организма следует считать скорость соударения человека о поверхность грунта. Так, у животных массой в 70 кг могут наступать смертельные исходы с вероятностью 1; 50 и 99% при следующих значениях скорости соударения животного с железобетонной плитой: 6; 7,9 и 9,0 м/с, соответственно. Удельная повреждаемость систем организма в этом случае составляет: 9,1 $(м/с)^{-1}$, а порог повреждаемости — 72 усл. ед.

Значения порога повреждаемости систем организма для животного массой 70 кг при первичных и третичных смертельных поражениях равны 80 (табл. 1 и 2) и 72 усл. ед., соответственно, и существенно не различаются при 5%-й точности определения показателей. Это дает основание говорить о том, что между первичными и третичными поражениями одинаковой степени тяжести при действии УВ существует сходство по критерию порогового уровня повреждаемости систем организма.

Представляет также интерес значение порога повреждаемости систем организма человека по критерию смертельных исходов. По имеющимся данным [7], о смертности животных различных видов в течение первых суток после воздействия моделированной ударной волны $\tau_+ = 400$ мс могут быть определены значения порога повреждаемости систем.

Существует закономерность, свидетельствующая о том, что отношение логарифма порога повреждаемости систем организма по критерию смертности к средне-летальной дозе ионизирующими излучениями есть постоянная величина для различных видов животных. Было высказано предположение о наличии аналогичной закономерности и для воздействия УВ. Однако последовательность мест по радиорезистентности в ряду животных обратно пропорциональна последовательности мест по их устойчивости к воздействию УВ. Это позволило уточнить предположенную закономерность. А.П. Ширенко, Г.К. Максимов [7] полагают, что отношение логарифма порога повреждаемости к величине, обратной средне-летальному избыточному давлению, или, что то же самое, произведение логарифма порога повреждаемости систем на средне-летальное избыточное давление постоянно для различных видов животных:

$$lg\, r_{\text{см}j} \cdot \bar{x}_{\text{см}j} = const,$$

где $\bar{x}_{\text{см}}$ — средне-летальное избыточное давление; j — вид животных; $r_{\text{см}}$ — величина порога повреждаемости систем.

Применительно к использованным данным произведение указанного типа составило, по нашим расчетам, в среднем 60 усл. ед. для всех видов животных. С учетом этой величины определены другие показатели повреждаемости систем организма. Они позволили осуществить соответственную аппроксимацию моделью гамма — распределения частоты летальных исходов (табл. 4), что свидетельствует о правомерности предположенной закономерности.

Между тем некоторое исключение составляют показатели, касающиеся кроликов. В этом случае модель может быть принята с учетом погрешности, не превышающей 5%, так как рассчитанное значение среднего квадратичного отклонения (3,0 пси) существенно не отличается от фактического (5,0 пси) при условии указанной точности их измерения.

Таблица 4

Повреждаемость систем организма животных и человека при действии генерированной ударной волны с $\tau_+ = 400$ мс

Вид животных	Средне летальное давление, пси*	Порог повреждаемости систем, усл.ед.	Удельная повреждаемость систем, пси$^{-1}$	Число животных	χ^2 факт.	χ^2 95
Мыши	31,0	86	2,774	140	3,1	7,8
Крысы	36,5	44	1,205	164	5,7	7,8
Свинки	34,5	55	1,594	96	2,8	6,0
Кролики	30,0	100	3,333	104	18,5	7,8
Собаки	47,5	18	0,378	35	5,2	6,0
Козы	53,0	14	0,264	30	3,0	6,0
Человек	59,2	10	0,169	-	-	-

* 1 пси = 0,007 МПа

Для человека величина порога повреждаемости составляет примерно 10 усл.ед., если в качестве средне-летальной величины избрать исчисленный специалистами показатель в 59,2 пси (0,414 МПа).

Таким образом, настоятельно необходимо обращать внимание на закономерности, количественно характеризующие поражаемость животных и человека при действии УВ.

Приведенные выше фактические данные о величине критериев повреждаемости систем организма животных УВ позволяют сформулировать определённые закономерности.

При формальном определении существа закономерностей будем пользоваться формой записи, принятой в логике предикатов, то есть функция — значения 0 («ложь») или 1 («истина»). Предикат называется *n*-местным ($n = 1, 2, \ldots$), если соответствующая функция есть функция от *n* аргументов. Приведём примеры предикатов. Пусть x — переменная на множестве действительных чисел. Зададим одноместный предикат $P(x)$ уравнением $x + 1 = 0$, то есть положим $P(-1) = (-1 + 1) = 0$). Имеем: $P(0) = (-1 + 1 = 0) = 1$(«истина»), $P(0) = (0 + 1 = 0) = 0$ («ложь»), $P(\sqrt{2}) = (\sqrt{2} + 1 = 0) = 0$(«ложь»).

Предикат называется:

– тождественно истинным, если для любого набора значений аргументов его значение равно единице;

– тождественно ложным, если для любого набора значений его аргументов его значение равно нулю;

– выполнимым, если существует хотя бы один набор значений аргументов, для которого его значение равно единице.

Выражения, с помощью которых будем формулировать количественные закономерности для тяжести поражений, будут относиться к разряду тождественно истинных предикатов, или выполнимых, в связи с чем не будем указывать значение истинности формулы, полагая, что оно равно единице.

Будем использовать также операции навешивания кванторов, обозначаемых $\forall y$ и $\exists y$, где y — переменная.Символ $\forall$ называется квантором общности, символ $\exists$ — квантором существования. Выражения $\forall y$ и $\exists y$ называются соответственно квантором общности по переменной y и квантором существования по переменной y.

Пусть $P(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ некоторый *n*-местный предикат, применяя к нему кванторы $\forall x_i$ и $\exists x_i$, получим соответственно предикат, обозначаемый $\forall x_i P(x_1, \ldots, x_n)$, который читается «для любого $x_i P(x_1, \ldots, x_n)$», и $\exists x_i P(x_1, \ldots, x_n)$, который читается: «существует такое x_i, что $P(x_1, \ldots, x_n)$».

Представленные выше данные позволяют сформулировать ряд количественных закономерностей тяжести механических поражений. Эти закономерности, на наш взгляд, могут являться основой для моделирования ряда показателей тяжести поражений УВ у человека по комплексу возможных условий их формирования.

Представленный класс количественных закономерностей следует рассматривать как обладающий алгоритмической отражаемостью на множество исходных данных по моделированию поражаемости человека. В силу этого получаем следующие закономерности.

Функция поражения УВ может быть представлена уравнением гамма-распределения величины воздействующего фактора с параметрами $\lambda^{(УВ)}$ и $r^{(УВ)}$, идентифицируемыми как статистические критерии тяжести поражений и именуемые соответственно удельной повреждаемостью систем организма и порогом повреждаемости систем организма:

$$F(\Delta P_ф) = P(\Delta P_ф < \Delta p_ф, \lambda^{(УВ)} = a, r^{(УВ)} = b),$$

где a и b – конкретные значения параметров.

Закономерность сходства поражений различной степени тяжести: между функциями механических поражений различной степени тяжести, возможными при воздействии УВ, существуют сходства по критерию удельной по-

вреждаемости систем организма и различия — по критерию уровня повреждаемости системы.

В символической форме такая закономерность записывается следующим образом:

$$\forall i \forall k P(\lambda_i = \lambda_{i+k}),\ k = 0, 1, 2, \ldots, k \le n,$$

где $i = \overline{1, n}$ — степень тяжести поражения. K — степень удельной повреждаемости систем организма.

Эта закономерность справедлива при следующих видах поражений (l):

– при первичных поражениях в условиях мгновенного нарастания давления при минимальном (положение «лежа» — $l = 1$) и максимальном (положение «стоя» — $l = 2$) воздействиях;

– при первичных поражениях в условиях постепенного нарастания давления — $l = 3$;

– при вторичных поражениях за счет действия летящих осколков и обломков — $l = 4$;

– при третичных повреждениях от метательного действия ударной волны — $l = 5$.

Следовательно, закономерность может быть звыражена следующим образом:

$$\forall l\ P(\lambda_1^{(l)} = \ldots = \lambda_l^{(l)} = \ldots = \lambda_n^{(l)}),$$

где $l = \overline{1,5}$ — перечисленные выше виды поражения.

Закономерность сходства поражений данного вида одинаковой степени тяжести: между функциями первичных поражений одинаковой степени тяжести в условиях мгновенного нарастания давления, возникающими (у животных) при различной длительности действия УВ, существуют отношения сходства по критерию порогового уровня повреждаемости систем организма.

Приведённая закономерность в символах записывается следующим образом:

$$\exists l \forall \tau_k\ P(r_i^{(l)}(\tau_1) = r_i^{(l)}(\tau_2) = \ldots = r_i^{(l)}(\tau_\xi));\ l = 1,2,$$

где $\{\tau_k\}$, $k = \overline{1, \xi}$ — множество фиксированных значений длительности действия ударной волны.

Закономерность справедлива при минимальном ($l = 1$) и максимальном воздействиях ($l = 2$).

Между функциями первичных поражений одинаковой степени тяжести в условиях постепенного нарастания давления (при различных значениях времени его повышения) существуют отношения сходства только по критерию порогового уровня повреждаемости систем организма:

$$\exists i \forall t_\alpha\ P(r_i^{(3)}(t_1) = r_i^{(3)}(t_2) = \ldots = r_i^{(3)}(t_\nu)).$$

где $\{t_\alpha\}$, $\alpha = \overline{1, \nu}$ — множество фиксированных значений времени нарастания давления.

Между функциями вторичных поражений одинаковой степени тяжести, возможными за счет действия летящих осколков и обломков различной массы, существуют отношения сходства по критерию порогового уровня повреждаемости систем организма:

$$\exists i \forall m_c\ P(r_i^{(4)}(m1) = r_i^{(4)}(m2) = \ldots = r_i^{(4)}(ms)),$$

где $\{m_c\}$, $c = \overline{1, s}$ — множество значений масс летящих осколков и обломков.

На основе приведенных частных закономерностей можно сформулировать следующую общую закономерность сходства поражений одинаковой степени тяжести: между функциями поражений одинаковой степени тяжести, возможными при действии УВ по механизму первичных поражений в условиях мгновенного нарастания давления, при максимальном или минимальном отражении давления и различных значениях длительности действия УВ, или по механизму первичных поражений в условия постепенного нарастания давления при различных значениях времени нарастания, или по механизму вторичных поражений при действии осколков и обломков различной массы, или по механизму третичных поражений существуют отношения сходства по критерию порогового уровня повреждаемости систем организма.

В символической форме общая закономерность записывают следующим образом:

$$\exists i \forall \tau_k \forall t_\alpha \forall m_c\ P(r_i^{(1)}(\tau_k) = r_i^{(2)}(\tau_k) =$$
$$= r_i^{(3)}(t_\alpha) = r_i^{(4)}(m_c) = r_i^{(5)}).$$

Полученные закономерности отражают повреждаемость систем различной сложности в организме как биологической интеграции. Они, на наш взгляд, составляют часть тех исследований, результаты которых могут служить для специалистов, занимающихся проблемой поражения УВ, основой для выявления количественных закономерностей, необходимых для разработки принципов защиты и критериев прогнозирова-

ния масштабов ущерба поражения от действия УВ.

Представленные данные свидетельствуют о необходимости принятия защитных мер при воздействии УВ на население и, в том числе, военнослужащих.

Основной метод защиты от поражения ударной волной — изоляция человека от действия избыточного давления и скоростного напора. Для этого могут использоваться различные защитные сооружения. Их защитная способность зависит от механической прочности применяемых материалов, толщины ограждающих защитных оболочек, степени заглубления [8].

Для защиты как гражданского населения, так и военнослужащих широко применяются защитные фортификационные сооружения открытого и закрытого типов.

Простейшими сооружениями открытого типа являются окопы, щели, траншеи и ходы сообщения. Наиболее надежную защиту обеспечивают сооружения закрытого типа — блиндажи, убежища легкого и тяжелого типов, специальные фортификационные сооружения (СФС). полузаглубленные или заглубленные сооружения [5].

Простой, но эффективный способ защиты человека, находящегося на открытой территории, — в момент визуального определения вспышки взрыва быстро лечь на землю лицом вниз в направлении, противоположном взрыву. В сравнении со скоростью света скорость распространения УВ незначительна — от 500 до 330 м/с, поэтому всегда имеется в запасе несколько секунд, чтобы выполнить это действие. В таком случае миделево сечение тела, на которое действует УВ, уменьшается в десятки раз, что приводит к соответствующему снижению нагрузки на него.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варющенко С.Б. Безопасность жизнедеятельности / С.Б. Варющенко, С.В. Косырев, В.А. Кулганов и др. — М.: КНОРУС, 2017. — С. 73–75.

2. Безопасность жизнедеятельности / Под ред. Л.А. Михайлова. — СПб.: Питер, 2013. — С. 133–147.

3. Варющенко С.Б. Безопасность жизнедеятельности и медицина катастроф / С.Б. Варющенко, Н.М. Киршин, В.А. Котловин и др. — М.: ИЦ «Академия», 2019. — С. 44–51.

4. Кулганов В.А. Радиационная, биологическая, химическая и биологическая защита. Ч. 2: Основы медицинского обеспечения / В.А.Кулганов, Н.В Зрянина, О.Н Ковальчук. — СПб: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2017. — С. 26–37.

5. Варющенко С.Б. Оценка обстановки при авариях (разрушениях) на потенциально опасных объектах в мирное время / С.Б. Варющенко, А.В. Вилков, В.А. Кулганов и др. — СПб: Изд. СПбГУ, 2017. — С. 32–39.

6. Варющенко С.Б.Радиационная, химическая, биологическая защита. Ч. 2: Защита войск и объектов / С.Б. Варющенко, В.И. Гуменюк, В.А Кулганов и др. — СПб: ВИКУ имени А.Ф. Можайского, 2002. — С. 44–50.

7. Ширенко А.П. Основы теории оценивания комплексной поражаемости личного состава. Ч. 1: Гипотезы, модели, критерии и информационное обеспечение оценивания /А.П.Ширенко, Г.К Максимов. — М.: МО СССР, 1978. — С. 67–77.

8. Ястребов Г.С. Безопасность жизнедеятельности и медицина катастроф. — М.: Феникс, 2014. — 416 с.

REFERENCES

1. Varyushchenko S.B. Life safety / S.B. Varyushchenko, S.V. Kosyrev, V.A. Kulganov and oth. — Moskow: KNORUS, 2017. — P. 73–75.

2. Life safety / Ed. by L.A. Mikhailov. — St. Petersburg: Peter, 2013. — P. 133–147.

3. Varyushchenko S.B. Life safety and disaster medicine: / B.S. Varyushchenko, N.M. Kirshin, A.V. Kotlovin and oth. — Moskow: Publ. center «Academy», 2019. — P. 44–51.

4. Kulganov V.A. Radiation, biological, chemical and biological protection. Part 2. Fundamentals of medical support./ V.A.Kulganov, N.V Zryanina, O.N. Kovalchuk, — SPb.: MSA named after A. F. Mozhaisky, 2017. — P. 26–37.

5. Varyushchenko S.B. Assessment of the situation in case of accidents (damage) potentially dangerous objects in peacetime / S. B. Varyushchenko,

A.V. Vilkov, V. A. Kulganov and oth. — SPb: Publ. house of St. Petersburg state University, 2017. — P. 32–39.

6. Varyushchenko S.B. Radiation, chemical, biological protection Part 2: Protection of troops and objects / S.B. Varushchenko, V.I. Gumenyuk, V.A. Kulganov and oth. — St. Petersburg: VIKU named after A.F. Mozhaisky, 2002. — P. 44–50.

7. Shirenko A.P. Fundamentals of the theory of assessment of complex damage of personnel. Part 1. Hypotheses, models, criteria and information support of assessment /A.P.Shirenko,G.K. Maksimov. — Moskow; Ministry of Defense of the USSR, 1978. — P. 67–77.

8. Yastrebov G.S. Life safety and disaster medicine. — Moscow: Phoenix, 2014 — 416 p.