

УДК 69.059.22

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ОБЫЧНЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ

¹Казаков В.Ю., ²Соколов И.В., ²Кравченко И.Н., ³Ивановский В.С.

¹Академия гражданской защиты МЧС России, Химки;

²Военно-технический университет, Балашиха;

³Военная академия материально-технического обеспечения, Санкт-Петербург,
e-mail: vk_86@inbox.ru, kravchenko-in71@yandex.ru

В статье описываются методика прогнозирования взрывоустойчивости зданий при действии обычных средств поражения, которая позволяет определять степени разрушения зданий, моделированием локальных разрушений строительных конструкций зданий путём их удаления из расчётной схемы, и впервые определены виды и количество элементов несущих конструкций типовых панельных, кирпичных и монолитных зданий, разрушение которых приводит к их прогрессирующему обрушению.

Ключевые слова: здания и сооружения, методика, обычные средства поражения

DEFINITION OF BUILDINGS UNDER THE INFLUENCE SHATTER CONVENTIONAL WEAPONS

¹Kazakov B.Y., ²Sokolov I.V., ²Kravchenko I.N., ³Ivanovsky V.S.

¹Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia; Khimki;

²Military-Technical University, Balashikha;

³Military Academy of logistics, Saint-Petersburg,
e-mail: vk_86@inbox.ru, kravchenko-in71@yandex.ru

This article describes the method of forecasting Explosion Proof buildings under the action of conventional weapons, which allows to determine the extent of damage to buildings, damage modeling local structures of buildings by removing them from the design scheme, and for the first time defines the types and number of items bearing structures typical panel, brick and monolithic buildings, the failure of which leads to their progressive collapse.

Keywords: building, technique, conventional weapons

Анализ локальных войн и вооруженных конфликтов, имевших место после второй мировой войны, показывает, что основным содержанием действий сухопутных войск становится борьба за города. Зарубежные военные специалисты считают, что наступательные действия по овладению городами в современной войне будут довольно частым явлением и станут неотъемлемой составной частью операции объединений, соединений и частей сухопутных войск на любом театре военных действий. В связи с этим все более востребованными для нашего государства и общества становятся мероприятия гражданской обороны и защиты населения от различных угроз и вызовов военного времени. Авторами статьи проведены исследования по применению жилых зданий в качестве укрытия населения для защиты от опасностей, возникающих при ведении военных действий.

Сложность принятия решения на выбор здания для укрытия населения обуславливается тремя основными факторами. С одной стороны на эффективность защиты пострадавших в здании оказывает влияние его прочность, с другой стороны, чем прочнее здание, тем больше трудозатраты на его приспособление под укрытие. Особое зна-

чение имеет также расположение здания в условиях городской застройки.

Наиболее важным вопросом в выборе зданий для укрытия населения является обоснование его взрывоустойчивости – свойства объекта противостоять воздействию поражающих факторов взрыва обычных средств поражения (ОСП), которые способны вызвать прогрессирующее обрушение здания или сооружения от локальных разрушений отдельных несущих конструкций [2].

Количественно величину взрывобезопасности здания можно охарактеризовать значением вероятности не разрушения здания при воздействии наиболее часто используемых ОСП (в вооруженных конфликтах последних лет). Вероятность не разрушения от воздействия обычных средств поражения здания определяется по формулам, выведенным автором из основных положений теории вероятностей [1, 3].

Представим себе следующую ситуацию. Имеется здание с несущими элементами, обозначенными N_o . Для разрушения всего здания необходимо разрушить N_k элементов. Имеется группа несовместных гипотез

$H_1 = \{\text{элементы разрушены}\};$

$H_2 = \{\text{элементы не разрушены}\}.$

Априорные вероятности этих гипотез до опыта известны и равны соответственно

$$P(H_1) = \frac{N_k}{N_o} \text{ и } P(H_2) = \frac{N_o - N_k}{N_o}. \quad (1)$$

Произведён опыт, в результате которого наблюдается появление некоторого события $A = \{\text{разрушен один элемент}\}$.

Условные вероятности события A при гипотезах H_1 и H_2

$$P(A/H_1) = (1-q), P(A/H_2) = q, \quad (2)$$

где q – вероятность не разрушения элемента.

Для того, чтобы найти условную вероятность $P(H_1/A)$ для гипотезы H_1 после опыта воспользуемся теоремой гипотез или формулой Байеса

$$P(H_1/A) = \frac{P(H_1) P(A/H_1)}{P(H_1) P(A/H_1) + P(H_2) P(A/H_2)} = \frac{\frac{N_k}{N_o}(1-q)}{\frac{N_k}{N_o}(1-q) + \frac{N_o - N_k}{N_o}q}. \quad (3)$$

После сокращений и замены буквенных обозначений, имеем:

– для расчётной схемы с несущими элементами из колонн

$$Q_k = 1 - \frac{N_k(1-q_k)}{N_k(1-q_k) + (N_o - N_k)q_k}; \quad (4)$$

– для расчётной схемы с несущими элементами из стен

$$Q_c = 1 - \frac{L_c(1-q_c)}{L_c(1-q_c) + (L_o - L_c)q_c}; \quad (5)$$

– для расчётной схемы с несущими элементами из колонн и стен

$$Q_{kc} = 1 - \frac{N_k(1-q_k)}{N_k(1-q_k) + (N_o - N_k)q_k} \cdot \frac{L_c(1-q_c)}{L_c(1-q_c) + (L_o - L_c)q_c}, \quad (6)$$

где N_k – количество критических элементов (типа колонна), разрушение которых приводит к полному разрушению здания, шт.; N_o – общее количество критических элементов здания (типа колонна), шт.; L_c – общая длина всех критических элементов (типа стена), разрушение которых приводит к полному разрушению здания, м; L_o – общая длина несущих стен здания, м; q_k, q_c – вероятность не разрушения одного критического элемента.

Для определения количества критических элементов (N_k, L_c), разрушение которых приводит к полному разрушению здания, необходимо провести расчёт здания на прогрессирующее обрушение в зависимости от типа конструкции согласно условию – устойчивость здания против прогрессирующего обрушения обеспечена, если для любого элемента соблюдается условие

$$F \leq S, \quad (7)$$

где F и S – соответственно усилие в конструктивном элементе, найденное из выполненного расчета, и его расчетная несущая способность.

Устойчивость здания против прогрессирующего обрушения проверяется рас-

четом на особое сочетание нагрузок и воздействий, включающее постоянные и временные длительные нагрузки, а также воздействие гипотетических локальных разрушений несущих конструкций. Постоянная и временная длительная нагрузка должна определяться по [5].

Подсчёт критических элементов выполняется при соблюдении условий

$$N_k \geq \sum_{i=1}^n N_i, \text{ при } n=1 \dots N_{общ}; \quad (8)$$

$$L_c \geq \sum_{i=1}^n L_i, \text{ при } n=1 \dots L_{общ}, \quad (9)$$

Для определения количества критических элементов, разрушение которых приводит к полному разрушению конкретного типа здания, вследствие прогрессирующего обрушения была выполнена серия расчётов по алгоритму, представленному на рис. 1. При этом решались следующие задачи:

анализ существующих зданий, построенных за последние 50 лет в России, с целью выбора типового проекта зданий;

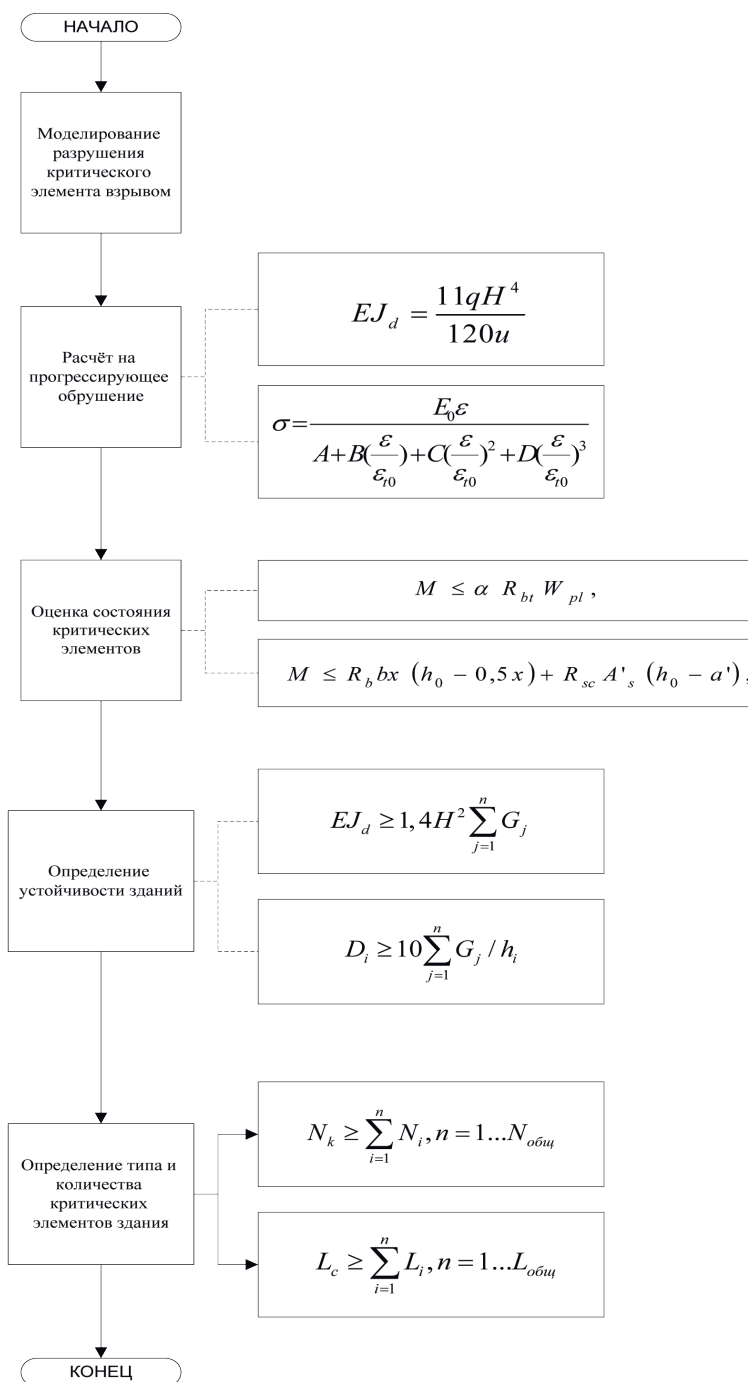


Рис. 1. Алгоритм прогнозирования взрывоустойчивости зданий

разработка программы-методики компьютерных вычислений (выполнение расчётов по оценке ожидаемых параметров прогрессирующего обрушения здания и применение ожидаемых параметров для дальнейших испытаний);

моделирование расчётной схемы зданий и выполнение машинного расчёта;

определение после каждого расчёта состояние конечных элементов конструкции, используя отчёт о состоянии элементов;

обработка и анализ полученных результатов.

Расчет здания на аварийные воздействия проводился с применением расчетного комплекса «ПК ЛИРА-САПР R3» в нелинейной стадии с учетом принятого армирования плит перекрытий, колонн и вертикальных конструкций, т.е. с учётом физической и геометрической нелинейности [4]. Моделирование разрушения критического элемента здания выполняется путём удаления его из

расчётной схемы, после чего определяются параметры напряжённо-деформированного состояния всего здания.

Результатом расчёта являются усилия, напряжения и перемещения на каждом из этапов приложения нагрузки, картины трещин в стенах и плитах, места образования пластических шарниров, информация об элементах, разрушающихся в первую очередь. Также имеется возможность определить нагрузку, при которой разрушается первый элемент конструкции, и по ней судить об имеющихся запасах по несущей способности.

В результате выполненных расчётов для выбранных типовых проектов панельного (проект под серий 1-515), кирпичного (проект под серий 1-511) и монолитного (проект под серий И-1737) зданий впервые установлено, что их прогрессирующее обрушение наступает при разрушении 40 из 105 п.м. несущей стены панельного здания, 51 из 92 п.м. несущей стены кирпичного здания, 8 колонн из 12 и 58 из 158 п.м. несущей стены монолитного здания.

Вероятность неразрушения критического элемента определяется по формулам [6]:

– при авиационном бомбометании по зданию:

$$q_i = e^{-n_{РБ} F_{П_i}}, \quad (10)$$

где $F_{П_i}$ – площадь поражения i -го элемента при действии РБ, м²; $n_{РБ}$ – плотность воздействия РБ, шт./м²;

– при артиллерийском обстреле по зданию:

$$q_i = 1 - \frac{\arctg(\ln K_i - 3) + \frac{\pi}{2}}{\pi}, \quad (11)$$

где K_i – коэффициент, зависящий от количества снарядов, наяранных для обстрела здания, геометрических размеров здания и площадей поражения i -х критических элементов конструкции зданий.

Коэффициент K_i определяется по формуле:

$$K_i = \frac{N \cdot F_{П_i}}{E'_{ДО} \cdot E'_{НО}}, \quad (12)$$

где N – количество снарядов, наяранных для обстрела здания, снаряд/зд; $F_{П_i}$ – площадь поражения критических элементов при действии РБ, м²; $E'_{ДО}$, $E'_{НО}$ – срединные отклонения, зависящие от сведенных срединных ошибок, соответственно по дальности и направлению и размеров обстреливаемого здания по глубине и фронту ($\Gamma_{ц}$, $\Phi_{ц}$).

Величины $E'_{ДО}$ и $E'_{НО}$ определяются по формулам

$$E'_{ДО} = E_{ДО} \sqrt{1 + 0,152 \left(\frac{0,5 \cdot \Gamma_{ц}}{E_{ДО}} \right)^2}, \quad (13)$$

$$E'_{НО} = E_{НО} \sqrt{1 + 0,152 \left(\frac{0,5 \cdot \Phi_{ц}}{E_{НО}} \right)^2}, \quad (14)$$

где $E_{ДО}$, $E_{НО}$ – срединные вероятные отклонения (сведенные срединные ошибки) по дальности и направлению, зависящие от количества батарей, ведущих стрельбу по зданию, а также от расстояния до цели (табл. 1).

Таблица 1

Значения $E_{ДО}$, $E_{НО}$

Дальность стрельбы, км	Сведенные срединные ошибки по дальности и направлению (м)			
	При стрельбе одной батареей		При стрельбе тремя батареями	
	$E_{ДО}$, м	$E_{НО}$, м	$E_{ДО}$, м	$E_{НО}$, м
152 мм Г (155 – мм Г)				
4	51	40	43	34
6	58	41	52	35
8	68	42	62	36
10	74	45	67	39
12	87	48	75	42
14	101	53	89	47
16	118	60	106	54

Для расчёта вероятности не разрушения критических элементов конструкции при артиллерийском обстреле используются данные для стрельбы на расстоянии 16 км.

Вероятность полного разрушения зданий определяется на воздействие двух независимых выбранных расчётных боеприпасов.

Для авиационного бомбометания используется – ФАБ 250 фн Мк-81, а при артиллерийском обстреле используется

155 мм НАС М107. Основные расчётные характеристики боеприпасов представлены в табл. 2 и 3 соответственно.

Для определения площади поражения критического элемента в качестве исходных данных используется расчётное удаление взрыва (радиус разрушения R_p) от неуправляемого артиллерийского снаряда (НАС) калибра 155 мм и фугасной авиационной бомбы (ФАБ) калибра 250 фн.

Таблица 2

Тактико-технические характеристики Мк-81

Исходные данные		
Название	Обозначение	Значение
Расчётный боеприпас		
Мк-81		неуправляемая фугасная авиационная бомба
Калибр, <i>фунт</i>		250
Вес, <i>кгс</i>	P	118
Общая длина, <i>м</i>	L	1,88
Диаметр снаряда, <i>м</i>	$d_{сн}$	0,22
Отношение длины заряда к диаметру	$l_{сн}/d_{сн}$	8,5
Отношение головной части к диаметру	$l_3/d_{сн}$	2,5
Вес снаряжения, <i>кгс</i>	C	45
Тип снаряжения		тротонал
Удельный тротилловый эквивалент	$K_{эф}$	1,639
Расчётная скорость встречи, <i>м/с</i>	v_0	350
Расчётный угол падения, <i>град</i>	β	60

Таблица 3

Тактико-технические характеристики М107

Исходные данные		
Название	Обозначение	Значение
Расчётный боеприпас		
М 107		неуправляемый артиллерийский снаряд
Калибр, <i>мм</i>		155
Вес, <i>кгс</i>	P	43,1
Общая длина, <i>м</i>	L	0,7
Диаметр снаряда, <i>м</i>	$d_{сн}$	0,155
Отношение длины заряда к диаметру	$l_{сн}/d_{сн}$	4,5
Отношение головной части к диаметру	$l_3/d_{сн}$	2
Вес снаряжения, <i>кгс</i>	C	6,6
Тип снаряжения		тротил
Удельный тротилловый эквивалент	$K_{эф}$	1
Расчётная скорость встречи, <i>м/с</i>	v_0	350
Расчётный угол падения, <i>град</i>	β	60

За площадь поражения каждого критического элемента, принимается площадь вокруг элемента, при попадании в которую, хотя бы одним боеприпасом, элемент выходит из строя или достигает полной степени разрушения.

Площадь поражения F_n определяется по формулам:

– для колонн

$$F_n = (a + 2R_{pk})(b + 2R_{pk}), \quad (15)$$

– для стен

$$F_n = 0,8R_{pc}(t + 2R_{pc}), \quad (16)$$

где a – длина критического элемента, м; b – ширина критического элемента, м; R_{pk} – радиус разрушения отдельно стоящих колонн,

м (определяется по); R_{pc} – расчётное удаление взрыва от критического элемента, м; t – толщина стены, м.

Так для разрушения кирпичных, каменных, бетонных и железобетонных конструкций типа колонн, столбов, балок и т.п. при ширине их, не превышающей удвоенную толщину, радиус разрушения рассчитывается по формуле

$$R_{pk} = \sqrt{\frac{C}{AB}}, \quad \text{м}, \quad (17)$$

где C – масса заряда, кг; A – коэффициент, зависящий от свойств разрушаемого материала и применяемого ВВ; B – коэффициент, зависящий от расположения заряда.

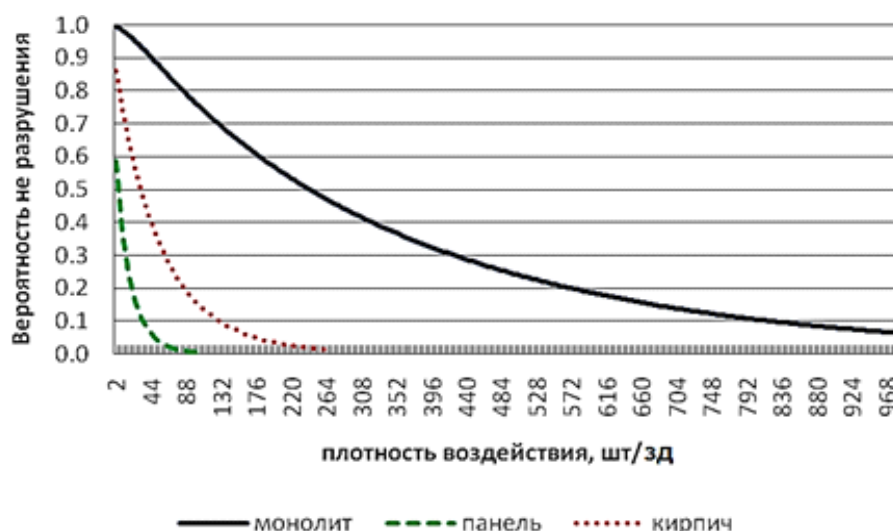


Рис. 2. График зависимости вероятности разрушения зданий от плотности воздействия 250 фн ФАБ

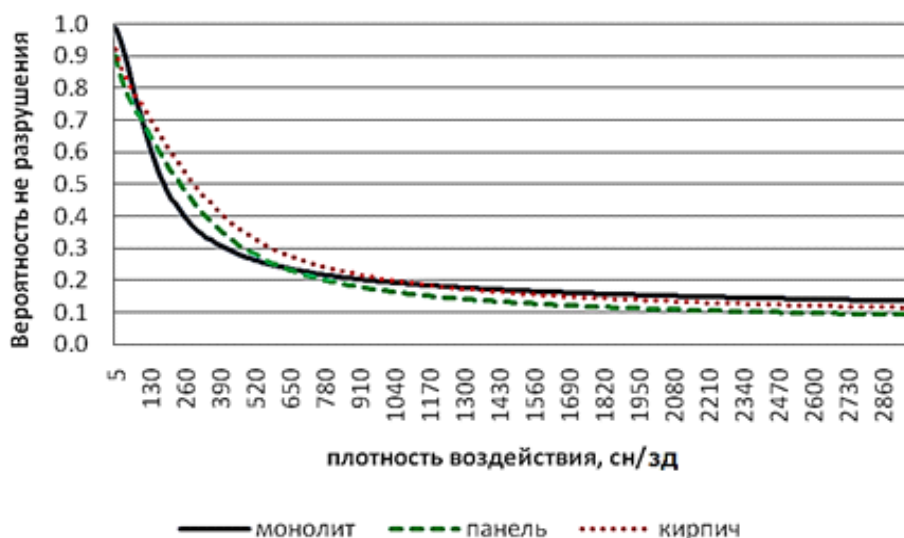


Рис. 3. График зависимости вероятности разрушения зданий от плотности воздействия 155 мм НАС

Радиус разрушения R_{pc} кирпичных и железобетонных стен при воздействии 155 мм НАС определяется из равенства

$$R_{pc} = R_{om} - t, \quad (18)$$

где R_{om} – радиус воронки откола; t – толщина стены, м. По результатам расчёта построены графические зависимости вероятности не разрушения от плотности воздействия расчётного боеприпаса по монолитному зданию (рис. 2 и 3).

В результате выполненных расчётов установлено, что для типовых проектов панельного, кирпичного и монолитного зданий прогрессирующее обрушение наступает при разрушении 40% стен панельного здания, 60% стен кирпичного здания, 67% колонн и 36% стен монолитного здания. При этом достоверность расчётов

подтверждается достаточной сходимостью (93...96%) результатов расчётов по предложенной методике.

Список литературы

1. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. – 12-е изд., перераб. – М.: Юрайт, 2012. – 480 с.
2. Гражданская защита. Понятийно-терминологический словарь // Под общ. ред. Ю.Л. Воробьева – М.: Издательство «Флайст», Информационно-издательский центр «Геополитика» 2001. – 240 с.
3. Колмогоров А.Н. Основные понятия теории вероятностей. – Изд. 4-е. – М.: ФАЗИС, 2013. – 120 с.
4. Потапов В.Д., Александров А.В., Косицын С.Б., Долотказин Д.Б. Строительная механика. Кн. 1. Статика упругих систем. – М.: Высшая школа, 2007. – 512 с.
5. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. – М.: Росстандарт, 2011. – 80 с.
6. Убежища гражданской обороны: Конструкции и расчет // В.А. Котляревский, В.И. Ганушкин, А.А. Костин и др.; Под ред. В.А. Котляревского. – М.: Стройиздат, 1989. – 606 с.