# Оглавление

Цель работы

[Завалы, образующиеся при разрушении зданий](#_Toc59933336)

Расчет завалов

[Дальность разлета обломков](#_Toc59933338)

Высота завалов

[Потери населения](#_Toc59933340)

Взрыв конденсированных ВВ

[Структура и объемно-массовые характеристики завалов](#_Toc59933342)

Структура завалов

[Показатели обломков](#_Toc59933344)

Расчетная часть

[Пример задания](#_Toc59933346)

Варианты задач

[Результаты расчетов](#_Toc59933348)

# Цель работы

Разработать методику прогнозирования и оценки последствий завалов.

Ежегодно в мире происходит множество чрезвычайных ситуаций различного характера и происхождения: ураганы, землетрясения, цунами, наводнения, оползни, взрывы, обвалы и др. Они приводят к разрушению жилых и производственных зданий, степень разрушения которых зависит от силы воздействия, от типа здания и качества его постройки. Разрушения наносят не только вред экономике, требуя затрат на расчистку и на восстановление, но и вызывают потери среди населения.

Вот почему важной проблемой становится умение противостоять различным чрезвычайным ситуациям. Первым шагом является прогнозирование. Необходимо выяснить когда, где и какой силы произойдет землетрясение, какие районы могут пострадать от наводнения и т.д. Далее идет предупреждение чрезвычайной ситуации. Необходимо по возможности предотвратить или хотя бы минимизировать их разрушительное действие. И, наконец, третий шаг – ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций. Нужно по возможности оперативно ликвидировать опасность, спасти уцелевших и восстановить стабильное существование данного региона.

А для этого необходимо уметь рассчитывать возможные размеры завалов и потери среди населения при различных чрезвычайных ситуациях, для различных зданий и сооружений.

**Завалы, образующиеся при разрушении зданий**

При воздействии поражающих факторов взрывов, землетрясений, цунами и разрушения плотин здания могут получить ту или иную степень разрушения. Анализ характера разрушений зданий при чрезвычайных ситуациях показал, что здания при полном разрушении практически полностью превращаются в обломки, образуя завалы. При разрушении зданий на ступень ниже полной в расчетах можно принять, что объем завалов составляет примерно 50% от объемов завалов зданий в случае их полного разрушения.

Завалы различных типов зданий характеризуются показателями. Показатели завалов зданий являются определяющими параметрами при выборе технологии спасательных работ. Показатели можно свести к двум группам:

– показатели, непосредственно характеризующие завал;

– показатели, характеризующие обломки завала.

К показателям, непосредственно характеризующим завал, можно отнести:

– дальность разлета обломков;

– высоту завала;

– объемно-массовые характеристики завалов;

– структуру завалов по весу обломков, составу строительных элементов и арматуры.

К показателям, характеризующим обломки завала, относят.

– вес обломков;

– геометрические размеры;

– структуру и содержание арматуры.

# 

# Расчет завалов

На основании анализа материалов натурных завалов зданий установлено, что завалы зданий можно упрощенно представить как обелиски – геометрические фигуры с прямоугольными основаниями, расположенными в параллельных плоскостях (рис.1). Противоположные боковые грани обелиска наклонены к основанию. Основными данными для построения этой фигуры являются размеры основания здания А и В, высота завала h и дальность разлета обломков L. Характерными геометрическими показателями завала также являются длина и ширина завала.

Длина завала – геометрический размер завала в направлении наибольшего размера А здания:

AЗАВ = 2L + A (1)

Ширина завала – геометрический размер завала в направлении наименьшего размера В здания

BЗАВ = 2L + B (2)

где L - дальность разлета обломков, L = Н/2 … Н.

Расчетные схемы завалов зависят от воздействия поражающего фактора. Принимается, что при аварии со взрывом внутри здания, обломки разлетаются в стороны равномерно, а при взрыве вне здания обломки смещаются по направлению действия воздушной ударной волны.

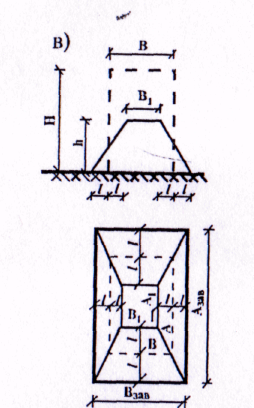
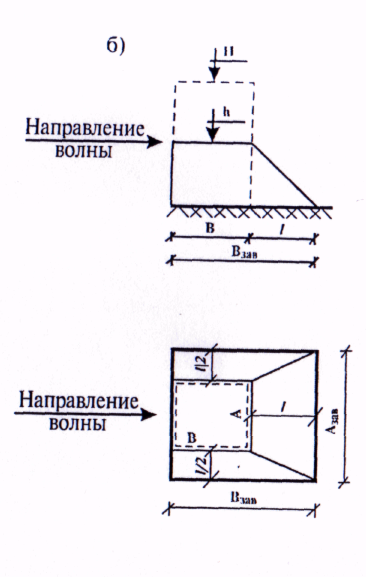
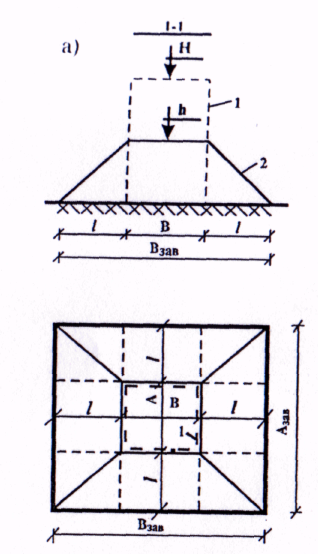


Рис. 1. Расчетные схемы завалов: а – при взрыве внутри здания; б – при взрыве вне здания; в – при землетрясении.

h – высота завала;

l – дальность разлета обломков;

А, В, Н – длина, ширина, высота здания;

АЗАВ, ВЗАВ – длина, ширина завала;

------ 1 - контур здания до разрушения;

—— 2 - контур завала.

Характерный размер завала по направлению действия воздушной ударной волны в последнем случае равен

BЗАВ = B + L или AЗАВ = A + L (3)

Верхняя грань расчетного обелиска при авариях со взрывом принимается равной площади основания здания. При землетрясениях площадь верхней грани обелиска по размерам меньше площади основания здания. Длина и ширина верхней грани обелиска, для этого случая, соответственно равна:

A1 = A – 2L; B1 = B – 2L. (4)

## 

## Дальность разлета обломков

**завал разрушение обломок взрыв**

Дальность разлета обломков при взрывах:

Рассмотрим методику определения дальности разлета обломков при взрывах, приняв следующие предпосылки:

– волна мгновенно обтекает обломки вследствие их небольших размеров;

– вращения обломков при разлете и изменения за счет этого лобовой площади FЛ (миделя) не происходит.

Дальность разлета обломков (L) – расстояние от контура здания до основной массы обломков.

Смещение обломков можно описать уравнениями движения в горизонтальном и вертикальном направлениях. Рассмотрим сначала горизонтальное движение обломков с учетом сопротивления воздуха.

Силу, создаваемую скоростным напором воздушной ударной волны действующим на обломок, вычисляют по формуле

, (5)

где СХ – коэффициент лобового сопротивления, который для обломков принимают равным 1,5;

ρФ(t) и UФ(t) – плотность и скорость воздушного потока в момент времени t;

FЛ – площадь лобового сечения обломков.

По мере увеличения скорости обломков возрастает сопротивление воздушного потока горизонтальному движению обломка

, (6)

где х (t) - горизонтальная скорость обломка в момент времени t.

Теперь рассмотрим вертикальное движение обломков с учетом сопротивления воздуха. Нагрузка, создаваемая силой тяжести, составит

P = FЛ\*d\*r\*g, (7)

где d – толщина стены здания;

r – плотность материала;

g – ускорение свободного падения.

Сопротивление воздушного потока вертикальному движению можно описать зависимостью

, (8)

где Су – коэффициент сопротивления (Су = СХ);

FH – площадь горизонтального сечения обломка;

y2(t) – вертикальная скорость обломка в момент времени t.

Тогда движение обломка можно описать системой уравнений

, (.9)

где m = FЛ \* d \* r – масса обломка.

Расчеты по формуле (9) и данные натурных завалов показывают, что дальность разлета обломков при минимальном давлении, вызывающем полное разрушение стен зданий, приближенно составляет

, (Н - высота здания).

**Дальность разлета обломков при землетрясениях**

При землетрясениях дальность разлета обломков рассчитывается из условия, что угол наклона боковых сторон обелиска равен углу естественного откоса. Исходя из этого условия, дальность разлета обломков составляет

, м (Н- высота зданий).

Подведя итоги, можно рекомендовать, при оперативном прогнозировании заваливаемости улиц и подъездных путей, дальность разлета обломков принимать равной (м):

при авариях со взрывом – L = H; (10)

при землетрясениях – L = H/3. (11)

## Высота завалов

**Высота завалов при взрывах.**

Высота завала (h) - расстояние от уровня земли до максимального уровня обломков в пределах контура здания.

Основными факторами, определяющими высоту завала, являются этажность здания и величина действующего давления во фронте воздушной ударной волны. Чем больше давление, тем дальше разлетаются обломки, что приводит к уменьшению высоты завала (рис.2). Максимальной по величине высота завала будет в том случае, если на здание действует минимальное давление, вызывающее разрушение стен здания. За минимальное давление обычно принимают ΔРФ = 0,05 МПа.

Высоту завала можно определить из условия равенства объема образовавшегося завала

, (12)

и объема обелиска

, (13)

где А, В, Н – длина, ширина и высота здания;

у – объем завала на 100 м3 объема здания;

h – высота завала;

L – дальность разлета обломков;

АЗАВ, ВЗАВ – длина и ширина завала

АЗАВ = A + 2L; BЗАВ = B + 2L (при взрыве внутри здании)

AЗАВ = A + L; BЗАВ = B + L (при взрыве вне здания) (14)

При расчете высоты завала по формуле (2.13) дальность разлета обломков для аварий со взрывом рекомендуется принимать равной половине высоты здания (L = Н/2).

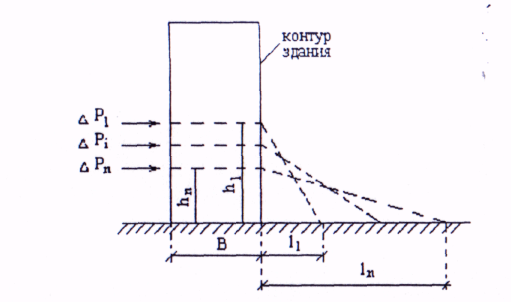


Рис. 2. Расчетная схема образования завала при различных давлениях во фронте воздушной ударной волны

Н1, hn, 11, 1n – соответственно высота и длина завала;

ΔP1, ΔPi, ΔPn – значения давлений (ΔP1 < ΔPi < ΔPn);

В – размер здания.

Высота завала на различных расстояниях *х*: от здания зависит от высоты завала в пределах контура здания и дальности *l* разлета обломков



Показатель γ в формуле (12) при ориентировочных расчетах рекомендуется принимать равным:

– для промышленных зданий γ = 20 м3;

– для жилых зданий γ = 40 м3.

Более точные значения показателей γ, с учетом различных типов и конструктивных решений зданий, приведены в табл. 1. Эти данные получены на основе статистической обработки соответствующих показателей натурных завалов.

Таблица 1. Объемно-массовые характеристики завала.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип здания | Пустотность (α), м3 | Удельный объем (γ), м3 | Объемный вес (β), т/м3 |
| Производственные здания: | | | |
| одноэтажное легкого типа | 40 | 14 | 1,5 |
| одноэтажное среднего типа | 50 | 16 | 1,2 |
| одноэтажное тяжелого типа | 60 | 20 | 1 |
| Многоэтажное | 40 | 21 | 1,5 |
| Смешанного типа | 45 | 22 | 1,4 |
| Жилые дома бескаркасные: | | | |
| Кирпичное | 30 | 36 | 1,2 |
| Мелкоблочное | 30 | 36 | 1,2 |
| Крупноблочное | 30 | 36 | 1,2 |
| Крупнопанельное | 40 | 42 | 1,1 |
| Жилые здания каркасные: | | | |
| со стенами из навесных панелей | 40 | 42 | 1,1 |
| со стенами из каменных материалов | 40 | 42 | 1,1 |

Примечания:

1. Пустотность завала (α) – объем пустот на 100 м3 завала, используется при подготовке предложений по технологии спасательных работ, в частности, при проходке галерей в завалах. Анализ информации по разрушению зданий показал, что пустотность завалов промышленных зданий может быть почти в два раза больше жилых.

2. Удельный объем завала (γ) – объем завала на 100 м3 строительного объема. Этот показатель используется при определении высоты завала (4) и объема завала (1).

3. Объемный вес завала (β) – вес в т 1 м3 завала.

На основании обобщения расчетов получена формула для определения высоты завала при оперативном прогнозировании

, м (15)

где Н – высота здания в м;

γ – объем завала на 100 м3 объема здания;

k – показатель, принимаемый равным:

для взрыва вне здания k = 2; для взрыва внутри здания k = 2,5.

**Высота завалов при землетрясениях**

При землетрясениях высота завала рассчитывается по тем же формулам, но с учетом поправки на расчетную схему завала (рис. 2.1). Объем обелиска в этом случае равен

 (16)

где АЗАВ, ВЗАВ – размеры нижних граней обелиска (длина и ширина завала);

AЗАВ = A + 2L; BЗАВ = B + 2L;

А1 и В1 – размеры верхних граней обелиска;

A1 = A – 2L; B1 = B – 2L.

При оперативном прогнозировании высоту завала для землетрясения рекомендуется определять по формуле (15), в которой показатель К принимается равным К=0,5.

## 

## Потери населения

Для ориентировочного определения безвозвратных потерь населения (персонала) вне зданий и убежищ можно использовать формулу:

 (17)

где Р – плотность населения (персонала), тыс. чел./км2;

Gтнт – тротиловый эквивалент, т.

Санитарные потери принимают равными:

 (18)

Общие потери:

 (19)

Таблица 2. Потери персонала на объекте, Сi (%).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Степень | Степень защищенности персонала | | | | | |
| Разрушения | Не защищен | | В зданиях | | В защитных сооруж. | |
| Зданий | Общие | Безвозвр. | Общие | Безвозвр | Общие | Безвозвр |
| Слабая  Средняя  Сильная  Полная | 8  12  80  100 | 3  9  25  30 | 1,2  3,5  30  40 | 0,4  1,0  10  15 | 0,3  1,0  2,5  7,0 | 0,1  0,3  0,8  2,5 |

При определении потерь среди персонала объекта экономики необходимо учитывать степень его защищенности в зданиях и сооружениях и степень разрушения последних:

, чел, (20)

где Ni – количество персонала на объекте , чел;

n – число зданий (сооружений) на объекте;

Сi – процент потерь, % (табл. 2)

## 

## Взрыв конденсированных ВВ

Для определения зависимости избыточного давления на фронте ударной волны ΔPф, кПа, от расстояния R, м, до эпицентра взрыва конденсированного взрывчатого вещества наиболее часто используют формулу М.А. Садовского, применимую для наземного взрыва, а также для воздушного взрыва на R > 8h (h – высота взрыва)

, (21)

Таблица 3.Степень разрушения объектов в зависимости от избыточного давления ΔРф, кПа

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Объект | Давление ΔРф ,кПа, соответствующее степени разрушения | | | |
|  | Полное | Сильное | Среднее | Слабое\* |
| **Здания** | | | | |
| **Жилые** | | | | |
| кирпичные многоэтажные | 30…40 | 20…30 | 10…20 | 8…10 |
| кирпичные малоэтажные | 35…45 | 25…35 | 15…25 | 8…15 |
| Деревянные | 20…30 | 12…20 | 8…12 | 6…8 |
| **Промышленные** | | | | |
| с тяжелым метал. или ж/б каркасом | 60…100 | 40…60 | 20…40 | 10…20 |
| с легким метал. каркасом или бескаркасные | 80…120 | 50…80 | 20…50 | 10…20 |
| **Промышленные объекты** | | | | |
| ТЭС | 25…40 | 20…25 | 15…220 | 10…15 |
| Котельные | 35…45 | 25…35 | 15…25 | 10…15 |
| трубопроводы наземные | 20 | 50 | 130 | – |
| трубопроводы на эстакаде | 20…30 | 30…40 | 40…50 | – |
| трансформаторные подстанции | 100 | 40…60 | 20…40 | 10…20 |
| ЛЭП | 120…200 | 80…120 | 50…70 | 20…40 |
| водонапорные башни | 70 | 60…70 | 40…60 | 20…40 |
| Станочное оборудование | 80…100 | 60…80 | 40…60 | 25…40 |
| Кузнечно-прессовое оборудование | 200…250 | 150…200 | 100…150 | 50…100 |
| **Резервуары, трубопроводы** | | | | |
| стальные наземные | 90 | 80 | 55 | 35 |
| газгольдеры и емкости ГСМ и хим. Веществ | 40 | 35 | 25 | 20 |
| частично заглубленные для нефтепродуктов | 100 | 75 | 40 | 20 |
| Подземные | 200 | 150 | 75 | 40 |
| Автозаправочные станции | – | 40…60 | 30…40 | 20…30 |
| Перекачивающие и компрессорные станции | 45…50 | 35…45 | 25…35 | 15…25 |
| резервуарные парки (заполненные) | 90…100 | 70…90 | 50…80 | 20…40 |
| **Транспорт** | | | | |
| металлические и ж/б мосты | 250…300 | 200…250 | 150…200 | 100…150 |
| ж/д пути | 400 | 250 | 175 | 125 |
| тепловозы с массой до 50 т | 90 | 70 | 50 | 40 |
| Цистерны | 80 | 70 | 50 | 30 |
| Вагоны цельнометаллические | 150 | 90 | 60 | 30 |
| Вагоны товарные деревянные | 40 | 35 | 30 | 15 |
| автомашины грузовые | 70 | 50 | 35 | 10 |

Примечание:\* Слабые разрушения - повреждение или разрушение крыш, оконных и дверных проемов. Ущерб – 10 – 15% от стоимости здания.

Средние разрушения – разрушения крыш, окон, перегородок, чердачных перекрытий, верхних этажей. Ущерб – 30 – 40%.

Сильные разрушения – разрушение несущих конструкций и перекрытий. Ущерб – 50%. Ремонт нецелесообразен.

Полное разрушение – обрушение зданий.

При вероятностном методе поражающее действие ударной волны определяется как избыточным давлением на фронте ударной волны ΔРф, кПа, так и импульсом фазы сжатия ударной волны I+, кПа.с.

Величину импульса фазы сжатия I+, кПа.с на расстоянии R, м от эпицентра взрыва для ориентировочных расчетов можно определить по приближенной формуле

(22)

Здесь Gтнт – «тротиловый эквивалент», равный массе тринитротолуола (тротила), при взрыве которой выделяется такое же количество энергии, как и при взрыве рассматриваемого взрывчатого вещества G, кг. Величина Gтнт, кг, определяют по формуле

 (23)

где Qv,вв и Qv,тнт , кДж/кг, – энергии взрыва, соответственно, рассматриваемого взрывчатого вещества и тротила, приведенные в табл. 4.

Таблица 4. Энергии взрыва конденсированных взрывчатых веществ.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Взрывчатое вещество | Qv ,кДж/ кг | Взрывчатое вещество | Qv ,кДж/ кг |
| Индивидуальные  Тротил (ТНТ)  Гексоген  Октоген  Нитроглицерин  Тетрил  Гремучая ртуть | 4520  5360  5860  6700  4500  1790 | Смеси  Амматол 80/20 (80% нитрата + 20% ТНТ)  60%нитроглицериновый динамит  Торпекс (42% гексогена + 40%ТНТ +18%Al)  Пластическое ВВ (90% нитроглицерина + 8% нитроцеллюлозы + 1% щелочи+0,2% Н2О) | 2650  2710  7540  4520 |

Таблица 5. Выражения пробит-функций для разных степеней поражения (разрушения).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Степень поражения (разрушения) | Пробит-функция |
| Поражение человека | | |
| 1 | Разрыв барабанных перепонок |  |
| 2 | Контузия | , где m – масса тела, кг |
| 3 | Летальный исход |  |
| Разрушение зданий | | |
| 4 | Слабые разрушения |  |
| 5 | Средние разрушения |  |
| 6 | Cильные разрушения |  |

Таблица 6. Зависимость степени поражения (разрушения) от пробит-функции.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рпор,% | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 |  | 2,67 | 2,95 | 3,12 | 3,25 | 3,38 | 3,45 | 3,52 | 3,59 | 3,66 |
| 10 | 3,72 | 3,77 | 3,82 | 3,87 | 3,92 | 3,96 | 4,01 | 4,05 | 4,08 | 4,12 |
| 20 | 4,16 | 4,19 | 4,23 | 4,26 | 4,29 | 4,33 | 4,36 | 4,39 | 4,42 | 4,45 |
| 30 | 4,48 | 4,50 | 4,53 | 4,56 | 4,59 | 4,61 | 4,64 | 4,67 | 4,69 | 4,72 |
| 40 | 4.75 | 4.77 | 4.80 | 4.82 | 4.85 | 4.87 | 4.90 | 4.92 | 4.95 | 4.97 |
| 50 | 5,00 | 5,03 | 5,05 | 5,08 | 5,10 | 5,13 | 5,15 | 5,18 | 5,20 | 5,23 |
| 60 | 5,25 | 5,28 | 5,31 | 5,33 | 5,36 | 5,39 | 5,41 | 5,44 | 5,47 | 5,50 |
| 70 | 5,52 | 5,55 | 5,58 | 5,61 | 5,64 | 5,67 | 5,71 | 5,74 | 5,77 | 5,82 |
| 80 | 5,84 | 5,88 | 5,92 | 5,95 | 5,99 | 6,04 | 6,08 | 6,13 | 6,18 | 6,23 |
| 90 | 6,28 | 6,34 | 6,41 | 6,48 | 6,55 | 6,64 | 6,75 | 6,88 | 7,05 | 7,33 |
| 99 | 7,33 | 7,37 | 7,41 | 7,46 | 7,51 | 7,58 | 7,65 | 7,75 | 7,88 | 8,09 |

# Структура и объемно-массовые характеристики завалов

Структура завалов влияет как на способы выполнения спасательных работ, так и на состав сил и средств, привлекаемых для ликвидации последствий землетрясения. Основными показателями, характеризующими структуру завала, являются распределение обломков по весу, составу элементов (материала) и содержанию арматуры.

Таблица 7. Структура завала по весу обломков, (%).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип здания | Тип обломков по весу | | | |
| Очень крупные, больше 5 т. | Крупные, от 2 до 5 т. | Средние, от 0,2 до 2 т. | Мелкие до 0,2 т. |
| Производственное одноэтажное | 60 | 10 | 20/5 | 10/25 |
| Производственное многоэтажное и смешанного типа | 10 | 40 | 40/10 | 10/40 |
| Жилое здание бескаркасное | 0 | 30 | 60/10 | 10/60 |
| Жилое здание каркасное | 0 | 50 | 40/10 | 10/40 |

Примечание: в числителе – значения для стен из крупных панелей, в знаменателе – значения для стен из каменных материалов (кирпича, мелких обломков).

Структура завала по весу обломков – процентное содержание в завалах различных типов обломков – определяется по табл. 7. Эти показатели получены на основе анализа информации о завалах зданий, разрушенных при авариях и катастрофах, а также при проведении ряда натурных испытаний. При определении состава сил и средств следует иметь в виду, что очень крупные и крупные обломки весом более 2-х т, перемещаются с использованием инженерной техники, средние – весом до 2-х т, могут быть перемещены с помощью ручных лебедок, а мелкие – весом до 0,2 т, могут быть перемещены спасателями вручную.

Структура завала по составу элементов – процентное содержание в завалах обломков из различного материала – определяется по табл. 8. Эти показатели могут быть использованы при оценке объемов и видов работ.

Таблица 8. Структура завала по составу элементов (%) при разрушении зданий.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Состав элементов | Здания жилые со стенами | | Здания производственные со стенами | |
| из кирпича (каменных материалов) | из крупных панелей | из кирпича | из крупных панелей |
| Кирпичные глыбы, битый кирпич | 50 | – | 25 | – |
| Обломки железобетонных и бетонных конструкций | 15 | 75 | 55 | 80 |
| Деревянные конструкции | 15 | 8 | 3 | 3 |
| Металлические конструкции (включая станочное оборудование) | 5 | 2 | 10 | 10 |
| Строительный мусор | 15 | 15 | 7 | 7 |

Структура завала по составу арматуры – содержание арматуры в различных сечениях завала.

В настоящее время, в литературе отсутствуют какие-либо сведения по содержанию арматуры в сечениях завала. Эти показатели получены на основе анализа проектов производственных и жилых зданий. Результаты обобщения материалов приведены в табл. 6. Содержание арматуры в завале за пределами контура здания определяется по формуле

, см2,

где Fa – содержание арматуры в пределах контура здания (табл. 4);

х – рассматриваемое расстояние от контура здания;

l – дальность разлета обломков.

Показатели по содержанию арматуры в завале могут быть использованы при планировании распределения технических средств, используемых для резки металла.

## 

## Показатели обломков

К показателям, характеризующим крупные обломки завалов, отнесены максимальный вес, размеры и структура обломка по составу арматуры. Максимальный вес обломков необходимо знать, для подбора грузоподъемности крана, а их размеры – для подбора транспортных средств. Эти показатели получены на основе анализа проектом производственных и жилых зданий и могут быть приняты для производственных зданий по табл. 9, для жилых – по табл. 10.

Как видно из таблиц, для выполнения спасательных работ при разборке завалов производственных зданий может возникнуть потребность в кранах грузоподъемностью свыше 30-ти т. При ведении работ в районах размещения жилых зданий достаточно иметь грузоподъемные средства до 4-х тонн.

Таблица 9. Вес основных конструктивных элементов производственных зданий и содержание арматуры.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип здания | Конструктивные элементы и их размеры, м | Вес, т | Содержание арматуры, кг |
| Одноэтажное легкого типа | Н = 3,6  Н = 7,2  Балки покрытия:  l = 6  l = 12  l = 18  Плиты покрытия:  6 х 1,5  6 х 3  12 х 1,5  12 х 3  Полосовые панели наружных стен:  6 х 1,2  6 х 1,8 | 1  4  3  5  12  1  2  3,5  7  2  3 | 80  300  200  300  1200  130  250  200  400  60  100 |
| Одноэтажное среднего типа | Колонны:  Н = 8,4  Н = 10,8  Фермы покрытия:  l = 18  l = 24 | 5  12  8  20 | 300  600  500  1500 |
| Одноэтажное тяжелого типа | Колонны:  Н = 10,8  Н = 18  Фермы покрытия:  l = 24  l = 36  Плиты покрытия:  12 х 3 | 10  20  20  35  7 | 600  1500  1200  2500  300 |
| Многоэтажное | Колонны:  Н = 6,2  Н = 10  Н = 14,8  Балки перекрытий:  l = 5  l = 9  Плиты перекрытий:  6 х 0,75  6 х 2,5 | 3  5  10  4  7  0,5  1 | 660  1200  150  400  700  65  130 |
| Смешанного типа | Строительная система включает элементы многоэтажного здания и одноэтажного среднего типа |  |  |

Таблица 10. Вес основных конструктивных элементов жилых зданий и содержание арматуры.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип здания | Конструктивные элементы | Вес, т | Содержание арматуры, кг |
| Бескаркасное | | | |
| Кирпичное  Мелкоблочное  Крупноблочное  Крупнопанельное | Максимальный вес обломков стен  Максимальный вес обломков стен  Максимальный вес обломков стен  Панели наружных стен | 1,5  1  2  4 | —  —  —  140 |
| Каркасное | | | |
| Со стенами из навесных панелей | Панели наружных стен | 3 | 100 |
| Со стенами из каменных материалов | Максимальный вес обломков стен  Колонны:  Н = 8 м сечением 30 х 30 см  (до 5 этажей)  Н = 8 м сечением 40 х 40 см  (5 – 12 этажей)  Ригели каркаса 40 х 45 см  Плиты перекрытий 6 х 1 м | 1  2  2,5  2  2,5 | —  150  200  150  150 |

# Расчетная часть

## Пример задания

**Исходные данные.** На складе взрывчатых веществ произошел взрыв 40 т нитроглицерина. На расстоянии R1 = 250 м от склада находится производственный объект – одноэтажное здание среднего типа механических мастерских размеров 20х20х5 м3, на расстоянии R2 = 700 м – поселок с многоэтажными кирпичными зданиями. В здании мастерских во время взрыва находились n = 20 человек, плотность персонала на территории объекта экономики Р = 1200 чел./км2.

Определить степень разрушения зданий на объекте экономики и в населенном пункте, потери людей, размеры завалов от разрушенных зданий. Найти радиусы зон летального поражения, контузии и безопасной для человека. Сделать выводы.

**Решение.**

1. С использованием данных табл. 4 по формуле 23 находим величину тротилового эквивалента Gтнт

Gтнт = (6700 / 4520) 40000 = 59292 кг

1. Избыточные давления на фронте ударной волны ΔРф на расстояниях R = 250 м и R = 700 м найдем по формуле 21

ΔРф250 = 95 х 592921/3 / 250 + 390 х 592922/3 /2502 + 1300 х 59292/ 2503 = 29,24 кПа

ΔРф700 = 95 х 592921/3 / 700 + 390 х 592922/3 / 7002 + 1300 х 59292/ 7003 = 6,73 кПа

1. Как следует из табл. 3 при избыточном давлении на фронте ударной волны ΔРф = 29,24 кПа здание механической мастерской получит средние разрушения, а многоэтажные кирпичные здания в населенном пункте (ΔРф = 6,73 кПа) получат слабые разрушения.
2. Население поселка получит легкие поражения (ушибы, потеря слуха), персонал механической мастерской получит различные поражения (ушибы, переломы, порезы,) а на объекте экономики потери персонала вне зданий определим по формулам 17 – 19.

Nбезв= 1,2 х 59,2922/3 = 18 человек

Nсан = 4 х 18 = 72 человека

Nобщ = 18 + 72 = 90 человек

1. Согласно табл. 2 при среднем разрушении здания механической мастерской из 30 работников пострадает 1 человек, никто не погибнет.
2. Радиусы зон летального поражения, контузии и безопасной для человека определим графическим путем. Для этого найдем величину избыточного давления на фронте ударной волны на расстоянии R = 200 м.

ΔРф500 = 95 х 592921/3 / 500 + 390 х 592922/3 / 5002 + 1300 х 59292/ 5003 = 10,4 кПа

ΔРф150 = 95 х 592921/3 / 150 + 390 х 592922/3 / 1502 + 1300 х 59292/ 1503 = 73,89 кПа

Графически зависимость ΔРф = f(R) представлена на рис. 3.

Как следует из графика на рис. 3. радиус зоны летального поражения (ΔРф = 100 кПа) равен Rлет = 120 м, контузии (ΔРф = 70 кПа) Rконт = 150 м и безопасной зоны (ΔРф = 10 кПа) Rбез = 500 м.

1. Проверим вероятность 100% гибели персонала на границе зоны летального поражения (ΔРф = 100 кПа, Rлет = 120 м).

По формуле 22 найдем импульс фазы сжатия ударной волны

I+165 = 0,4 х (59292)2/3х (120)-1/2 = 55,52 кПа.с.

По формуле 3 для определения пробит-функции для летального поражения человека табл. 5 найдем



В соответствии с табл. 6 значению Pr = 7,58 соответствует вероятность (поражающий фактор) летального поражения 99,5 %.

1. Определим вероятность различного разрушения зданий в населенном пункте (R = 700 м, ΔР = 6,73 кПа)

I+500 = 0,4 х (59292)2/3 х (700)-1/2 = 22,99 кПа.с

По формуле 4 из табл. 5 находим значение пробит-функции для случая слабого разрушения зданий

,

чему, согласно табл. 6, соответствует вероятность 65 %.

Вероятность сильного разрушения зданий будет равна (форм. 6 табл. 5)

,

чему соответствует вероятность 2 %.

Таким образом, вероятностный метод прогнозирования последствий взрыва дает более точное представление о возможных последствиях техногенной аварии.

1. При внешнем взрыве длина завала составит (формулы 1, 2)

Азав = 20 + 5/2 = 22,5 м

ширина завала Взав = 20 + 5/2 = 22,5 м

высота (формула 15) h = 20 х 5 / (100 + 2 х 5) = 0,91 м.

Выводы:

Завал представляет собой обелиск с квадратным основанием 22,5 х 22,5м. и высотой 0,91 м.

Пустотность завала при разрушении одноэтажного производственного здания среднего типа будет равна (табл. 1) α = 0,5 м3/м3, удельный объем γ = 0,16 м3/ м3, объемные вес β = 1,2.т/м3.

Рассматривая структуру завала можно сказать: (исходя из таблицы 7) что 60 % завала составят очень крупные обломки (от 5 т.), 10 % – крупные (от 2 до 5 т.), 5 % – средние (от 0,2 до 2 т.), 25 % – мелкие (до 0,2 т.); (исходя из таблицы 8) что большую часть завала (80 %) составят обломки бетонных конструкций и кирпича. Поэтому при расчистке завалов понадобится инженерная техника, способная передвигать тяжелые обломки.

Несмотря на то, что в здании мастерских пострадавших будет немного, необходимо по возможности удалить здание от взрывоопасных объектов на случай взрыва большего объема взрывчатого вещества.

## 

## Варианты задач

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Вещество | GВВ , т. | R1, м. | n, чел. | A x B x h, м. | R2, м. | P, чел/км2 |
| 1 | Тротил | 20 | 100 | 10 | 20 х 30 х 5 | 500 | 500 |
| 2 | Гексоген | 20 | 100 | 10 | 20 х 30 х 5 | 500 | 600 |
| 3 | Октоген | 20 | 100 | 10 | 20 х 30 х 5 | 500 | 700 |
| 4 | Нитроглицерин | 20 | 100 | 10 | 20 х 30 х 5 | 500 | 800 |
| 5 | Тетрил | 20 | 100 | 10 | 20 х 30 х 5 | 500 | 900 |
| 6 | Тротил | 30 | 200 | 15 | 30 х 30 х 4 | 700 | 1000 |
| 7 | Гексоген | 30 | 200 | 15 | 30 х 30 х 4 | 700 | 1100 |
| 8 | Октоген | 30 | 200 | 15 | 30 х 30 х 4 | 700 | 1200 |
| 9 | Нитроглицерин | 30 | 200 | 15 | 30 х 30 х 4 | 700 | 1300 |
| 10 | Тетрил | 30 | 200 | 15 | 30 х 30 х 4 | 700 | 1400 |
| 11 | Тротил | 40 | 400 | 20 | 20 х 40 х 4 | 900 | 1500 |
| 12 | Гексоген | 40 | 400 | 20 | 20 х 40 х 4 | 900 | 1600 |
| 13 | Октоген | 40 | 400 | 20 | 20 х 40 х 4 | 900 | 1700 |
| 14 | Нитроглицерин | 40 | 400 | 20 | 20 х 40 х 4 | 900 | 1800 |
| 15 | Тетрил | 40 | 400 | 20 | 20 х 40 х 4 | 900 | 1900 |
| 16 | Тротил | 50 | 600 | 30 | 30 х 40 х 5 | 1000 | 2000 |
| 17 | Гексоген | 50 | 600 | 30 | 30 х 40 х 5 | 1000 | 2100 |
| 18 | Октоген | 50 | 600 | 30 | 30 х 40 х 5 | 1000 | 2200 |
| 19 | Нитроглицерин | 50 | 600 | 30 | 30 х 40 х 5 | 1000 | 2300 |
| 20 | Тетрил | 50 | 600 | 30 | 30 х 40 х 5 | 1000 | 2500 |

## 

## Результаты расчетов

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | GТНТ, кг. | ΔРФ1, кПа | ΔРФ2, кПа | Nбезв., чел. | Nсан., чел. | Nобщ., чел. | Rлет., м. |
| 1 | 20000 | 80,52 | 6,51 | 3 | 12 | 15 | 50 |
| 2 | 23717 | 90,32 | 6,99 | 5 | 20 | 25 | 70 |
| 3 | 25929 | 95,99 | 7,26 | 6 | 24 | 30 | 100 |
| 4 | 29646 | 105,3 | 7,68 | 7 | 28 | 35 | 110 |
| 5 | 19911 | 80,28 | 6,5 | 6 | 24 | 40 | 70 |
| 6 | 30000 | 29,04 | 5,1 | 9 | 36 | 45 | 30 |
| 7 | 35575 | 31,95 | 5,46 | 11 | 44 | 55 | 40 |
| 8 | 38894 | 33,6 | 5,66 | 13 | 52 | 65 | 50 |
| 9 | 44469 | 36,29 | 5,97 | 16 | 64 | 80 | 100 |
| 10 | 29867 | 28,97 | 5,09 | 13 | 52 | 65 | 70 |
| 11 | 40000 | 11,78 | 4,24 | 17 | 68 | 85 | 60 |
| 12 | 47434 | 12,75 | 4,53 | 21 | 84 | 105 | 90 |
| 13 | 54858 | 13,66 | 4,8 | 24 | 96 | 120 | 100 |
| 14 | 59292 | 14,17 | 4,95 | 27 | 108 | 135 | 100 |
| 15 | 39823 | 11,76 | 4,24 | 22 | 88 | 110 | 50 |
| 16 | 50000 | 7,6 | 4,09 | 27 | 108 | 135 | 100 |
| 17 | 59292 | 8,18 | 4,37 | 31 | 124 | 155 | 110 |
| 18 | 64823 | 8,5 | 4,53 | 35 | 140 | 175 | 120 |
| 19 | 74115 | 9,0 | 4,77 | 40 | 160 | 200 | 95 |
| 20 | 49779 | 7,59 | 4,09 | 33 | 132 | 165 | 70 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Rконт., м. | Rбез., м. | Рлет., % | Рслаб., % | Рсил,. % | Азав., м. | Взав., м. | hзав, м. |
| 1 | 120 | 330 | 94 | 64 | 2 | 22,5 | 32,5 | 0,9 |
| 2 | 150 | 350 | 92 | 66 | 2 | 22,5 | 32,5 | 0,9 |
| 3 | 130 | 320 | 88 | 68 | 2 | 22,5 | 32,5 | 0,9 |
| 4 | 160 | 430 | 90 | 70 | 3 | 22,5 | 32,5 | 0,9 |
| 5 | 110 | 320 | 88 | 64 | 2 | 22,5 | 32,5 | 0,9 |
| 6 | 80 | 310 | 99,5 | 54 | 1 | 32 | 32 | 0,74 |
| 7 | 100 | 350 | 99,5 | 57 | 1 | 32 | 32 | 0,74 |
| 8 | 105 | 350 | 99,3 | 58 | 1 | 32 | 32 | 0,74 |
| 9 | 130 | 450 | 97 | 60 | 1 | 32 | 32 | 0,74 |
| 10 | 110 | 420 | 96 | 54 | 1 | 32 | 32 | 0,74 |
| 11 | 130 | 420 | 99 | 48 | 1 | 22 | 42 | 0,74 |
| 12 | 140 | 430 | 98 | 49 | 1 | 22 | 42 | 0,74 |
| 13 | 150 | 460 | 99 | 52 | 1 | 22 | 42 | 0,74 |
| 14 | 110 | 510 | 99 | 53 | 1 | 22 | 42 | 0,74 |
| 15 | 90 | 420 | 99,3 | 21 | 1 | 22 | 42 | 0,74 |
| 16 | 110 | 520 | 98 | 45 | 1 | 32,5 | 42,5 | 0,9 |
| 17 | 130 | 560 | 99 | 48 | 1 | 32,5 | 42,5 | 0,9 |
| 18 | 150 | 570 | 99 | 49 | 1 | 32,5 | 42,5 | 0,9 |
| 19 | 130 | 570 | 99,6 | 51 | 1 | 32,5 | 42,5 | 0,9 |
| 20 | 110 | 550 | 99,3 | 45 | 1 | 32,5 | 42,5 | 0,9 |