

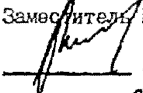
МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
по атомной энергии

ПРАВИЛА И НОРМЫ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

СОГЛАСОВАНО

Госатомнадзор России
№ 14-05/253 от 6.07.95

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Министра
 Е.А. Решетников

" 20 " февраля 1996 г.

СОГЛАСОВАНО

Начальник ГУ развития
атомной энергетики

 А.Л. Лапшин

" 20 " февраля 1996 г.

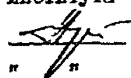
РУКОВОДСТВО

по определению параметров ударных волн при внешних
взрывах и нагрузках на строительные конструкции АС

РД 95 10528-96 .

Дата введения 01.09.96

Главный инженер
института "Атомэнергопроект"

 В.Н. Крушельницкий

" " _____ 1996 г.

Москва 1995

РУКОВОДСТВО

ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ УДАРНЫХ ВОЛН ПРИ ВНЕШНИХ
ВЗРЫВАХ И НАГРУЗОК НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ АС

Руководство по определению параметров ударных волн
при внешних взрывах и нагрузок на строительные конструк-
ции АС: Московский Государственный строительный универ-
ситет. - М., МГСУ. 1995 г.

В "Руководстве ..." разработаны методики расчета параметров воздействия и нагрузок на строительные конструкции АС при возможных четырех типах аварийных взрывов: конденсированных ВВ, детонационных и дефлаграционных взрывов газо- и паровоздушных смесей и сосудов, работающих под давлением.

Настоящее "Руководство ..." предназначено для использования при изысканиях и проектировании атомных станций.

Составители - ст.научн.сотр., докт.техн.наук В.А.Горев,
ст.научн.сотр., канд.техн.наук Д.З.Хуснутдинов,
мл.научн.сотр. Н.В.Трнин

СО Д Е Р Ж А Н И Е

	стр.
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	8
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	10
ОСНОВНЫЕ УСЛОВИЯ ОБОЗНАЧЕНИЯ	21
Часть 1	
1. ОБЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ	35
1.1. назначение документа	35
1.2. Задачи, решаемые с помощью руководства	36
1.3. Область действия документа	37
2. МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ВОЗМОЖНОГО СЦЕНАРИЯ ВЗРЫВНОЙ ОПАСНОСТИ	38
2.1. Определение типа, места расположения потенциальных источников взрывной опасности	38
2.2. Оценка количества потенциально опасных горючих веществ и их	39
2.3. Возможность образования огневых и огненных шаров	40
2.4. Оценка доли вещества, участвующего во взрыве	40
3. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДАЛЬНОСТИ ДРЕЙФА ОБЛАКОВ ГОРЮЧЕЙ СМЕСИ И ПЕРЫСКИХ ИЛИ МАССЫ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ	42
3.1. Оценка дальности распространения облака	42
3.2. Определение массы горючего вещества, способного участвовать во взрыве	43
3.3. Определение первоначального размера взрывоопасного облака	45
4. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УДАРНЫХ ВОЛН ПРИ ВЗРЫВАХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВВ НА РАЗЛИЧНЫХ РАСТОЯНИЯХ ОТ ЦЕНТРА ВЗРЫВА	46
4.1. Исходные данные для выполнения расчетов	46

4.2. Соотношения между параметрами на фронте ВУВ и за ее фронтом52

Б. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ И ВОЗДУШНОЙ ВОЛНЫ ДЕТОНАЦИОННЫХ ВЗРЫВОВ ГАЗО- И ПАРОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ (ГПЭС)56

Б.1. Условия возникновения детонационных взрывов
Исходные данные для выполнения расчетов56

Б.2. Определение параметров детонационной волны.....59

Б.3. Параметры воздушной ударной волны, генерированной детонационным взрывом, на различных расстояниях от центра взрыва60

6. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УДАРНЫХ ВОЛН ПРИ ВЗРЫВАХ ЗАГАЗОВАННЫХ ЕМКОСТЕЙ И СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ 65

6.1. Исходные данные для выполнения расчетов65

6.2. Определение начальных параметров ВУВ на границе с взорвавшейся емкостью67

6.3. Параметры ВУВ на различных расстояниях при взрыве герметичных сосудов, работающих под давлением70

7. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНЫХ ВОЛН ДЕБАГРАЦИОННЫХ ВЗРЫВОВ74

ЧАСТЬ II

8. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ НАГРУЗОК ПРИ ВЗРЫВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ :.....77

8.1. Основные положения77

8.2. Схематизация нагрузок....88

8.3. Совмещение нагрузок во времени. Определение интегральных равнодействующих сил и моментов89

9. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВУВ С СООРУЖЕНИЯМИ АС РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ91

9.1. Определение нагрузок на сооружения, имеющие форму кругового цилиндра	97
9.2. Определение нагрузок на сооружения, имеющие форму эллипсоида вращения	99
9.3. Определение нагрузок на сооружения, имеющие форму параллелепипеда	99
9.4. Определение нагрузок на легкообтекаемые и легкопроницаемые сооружения	109
10. МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ ДЕФЛАГРАЦИОННОГО ВЗРЫВА С СООРУЖЕНИЯМИ АС РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ	110
10.1. Нагрузки на сооружения в виде параллелепипеда	110
10.2. Сооружения полусферической формы	111
10.3. Сооружения в виде вертикального цилиндра	112
10.4. Прокходы между зданиями равной высоты	113
ЧАСТЬ III	
11. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВУВ И ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВЗРЫВНОЙ ОПАСНОСТИ	114
11.1. Пример расчета параметров ВУВ при взрыве ВВ	114
11.2. Пример расчета параметров ВУВ при детонационном взрыве ЦПВС	116
11.3. Пример определения параметров ВУВ при взрыве загазованной емкости	119
11.4. Пример определения параметров взрывной волны при дефлаграционном взрыве ЦПВС	123
12. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА НАГРУЗОК НА СООРУЖЕНИЯ АС РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВУВ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВЗРЫВОВ	126
12.1. Пример определения нагрузок на поверхности параллелепипеда при воздействии ВУВ взрыва ВВ	126

12.2. Пример определения нагрузки на поверхности купола FO в виде эллипсоида вращения при воздействии БУВ детонационного взрыва ГПВС	132
12.3. Пример расчета нагрузки на поверхности обсервации цилиндрической формы при воздействии взрывной волны дефлаграционного взрыва ГПВС	140
ПРИЛОЖЕНИЯ	140
Приложение П1. Безопасные расстояния в м при имевших место максимальных авариях без учета дрейфа облаков ГПВС	142
Приложение П2. Безопасные расстояния в м при возможных взрывах на площадке АЭС	143
Приложение П3. Пример табличного расчета нагрузок на параллелепипед, ориентированный длинной стороной перпендикулярно к направлению распространения БУВ.....	145
Приложение П4. Пример определения нагрузки на фронтальную стену параллелепипеда в зоне воздействия огненного шара дефлаграционного взрыва.....	151

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- МСА - международная стандартная атмосфера
 ИВО - источник взрывной опасности
 РИИВО - радио выведенных источников взрывной опасности
 ЦВ - центр взрыва
 ВВ - взрывчатое вещество
 ГС - горючая смесь
 ГВС - газозоуддушная горючая смесь
 ГПВС - газо-парозоуддушная смесь
 СТХ - стехиометрическая концентрация
 НКПВ - нижний концентрационный предел воспламенения
 НКПД - нижний концентрационный предел детонации
 ВКПВ - верхний концентрационный предел воспламенения
 ВКПД - верхний концентрационный предел детонации
 АС - атомная станция
 СРПД - сосуд, работающий под давлением
 ПВ - продукты взрыва
 ОШ - огненный шар
 СВШ - огневой шар
 ВУВ - воздушная ударная волна
 ИТД - научно-технический документ
 ОПБ-88 (ПН АЭ Г-1-011-89) - Общие положения обеспечения безопасности атомных станций
 ПНАЭ-Б.6 - Правила и нормы в атомной энергетике
 ПНАЭ Г-03-33 - Размещение атомных станций. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности. Введены 01.01.94 г.
 СНП 24-86 МВД - Отраслевые нормы технологического проектирования

Руководство 50-56-55 МАГАТЭ - Чрезвычайные события, вызываемые деятельностью человека

СНЭП 2.01.02-85 - Нагрузки и воздействия

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1. Взрывная авария - авария, причиной которой является взрыв.
2. Сценарий взрывной аварии - предлагаемая последовательность развития событий и явлений, приводящая к взрывной аварии. Разработка профессионально обоснованного сценария взрывной аварии есть условие выработки эффективных мер по снижению ущерба от взрывной аварии.
3. Консервативный подход - подход при разработке сценария взрывной аварии, при котором для параметров и характеристик принимаются значения и пределы, заведомо приводящие к более неблагоприятным результатам. Консервативный подход обязателен при объективном недостатке научных знаний о закономерностях рассматриваемых явлений, о свойствах веществ, о значимости влияющих факторов.
4. Взрыв - быстротекущее физико-химическое явление, связанное с быстрым освобождением потенциальной энергии и переходом ее в энергию движущихся слатых газов, которые создают волну сжатия или одну из ее форм - ударную волну. Наиболее распространены следующие типы взрывов: химические взрывы в виде детонационных и дефлаграционных взрывов, физические взрывы в виде взрывов СРЦД и взрывы масс льда на полярных реках, электродинамические взрывы.
5. Конденсированные ВВ - твердые, пластичные, жидкие ВВ, способные взрываться без химического соединения с кислородом воздуха, например, под водой.
6. Горючая смесь - смесь горючего газа (газов) с воздухом (кислородом). Типы горючих смесей - ГВС, ГВС. Горючая смесь называется бедной, если горючей компоненты в ней меньше, чем

может быть окислено имеющимся воздухом, и, наоборот, называется богатой, при обратном соотношении горючего вещества и воздуха. ГС называется стехиометрической при точном соответствии горючего и воздуха.

7. Взрывчатая смесь - горючая смесь, образовавшаяся до момента воспламенения и способная к взрывному горению.
8. Горение - экзотермическая реакция соединения горючего газа (горючей компоненты) с кислородом воздуха параллельно с образованием горючей смеси. Скорость горения, так называемая, нормальная скорость горения, индивидуальна для каждого вида горючей смеси. Скорость распространения пламени горения (видимая скорость пламени) сильно зависит от скорости образования горючей смеси.
9. Взрывное горение - распространение пламени в заранее образовавшейся (подготовленной) горючей смеси. Скорость распространения пламени зависит от вида взрывного горения: детонационного, либо дефлаграционного.
10. Детонационное взрывное горение (детонационный взрыв) - характеризуется сверхзвуковой скоростью распространения пламени (1600 ... 3000 м/с) и совместным движением ударной волны и химической зоны горения во взрывчатой смеси; создает высокие избыточные давления (1400 ... 2000 кПа) и скоростной напор.
Каждому виду взрывчатой смеси - соответствует своя постоянная скорость распространения детонационного пламени.
11. Дефлаграционный взрыв - характеризуется дозвуковой скоростью распространения пламени. Фронт пламени является проникаемым перешлем, создающим при своем движении впереди себя волну сжатия, избыточное давление в которой увеличивается от фронта волны к фронту пламени. Фронт волны сжатия распространяется

со скоростью звука. Скорость распространения фронта пламени дефлаграционного взрыва зависит от большого числа факторов (нормальной скорости горения, интенсивности иницирования горения, турбулизации горючей смеси перед фронтом пламени, массы горючей смеси, формы облака горючей смеси, распределения концентрации горючей компоненты в смеси, от места воспламенения облака). Как правило, скорость пламени дефлаграционного взрыва меняется во времени, может иметь несколько локальных максимумов. Максимальные значения избыточного давления и скоростного напора достигаются перед фронтом пламени.

Анализ взрывных аварий показывает, что около 90% всех аварийных взрывов в промышленности, являются дефлаграционными взрывами.

12. Огненный шар (ОШ) химического взрыва. В процессе распространения фронта пламени в среде, состоящей из взрывчатой смеси за ним возникает светящаяся сфера (полусфера), состоящая из раскаленных ПВ. При детонационном взрыве границы огненного шара расширяются со скоростью детонационной волны, до достижения радиуса свежей ГС, в последующем радиус ОШ увеличивается со снижающей скоростью и достигает в 1,8 ... 2 раза большего значения, чем радиус свежей смеси.

При дефлаграционном взрыве ОШ расширяется с переменной скоростью и достигает значения двойного радиуса свежей ГС. Образование ОШ сопровождается интенсивным тепловым излучением и распространением ударной волны высокой интенсивности.

13. Огневой шар (ОВШ) физического взрыва, возникает вследствие разбрасывания капель горючего вещества при разрушении емкостей с горючими веществами, при нагревании пожаром. Горючая смесь создается в процессе горения на поверхности капель. Скор-

рость пламени зависит от скорости образования горючей смеси и, как правило, имеет невысокие значения (около 30-50 м/с). Образование огневого шара сопровождается невысоким давлением (до 10 кПа) в волне сжатия, но тепловое излучение значительное, хотя слабее, чем при образовании огненного шара. В иностранной литературе образование огневого шара получило наименование "явление BLEVE".

14. Перегретая горючая жидкость - горючая жидкость, хранящаяся под давлением при температуре более высокой, чем температура кипения при нормальном атмосферном давлении.
15. Криогенная горючая жидкость образуется в результате сильного охлаждения горючих газов и перевода их в жидкое состояние. С целью предупреждения вскипания хранится под повышенным давлением и пониженной температуре.
16. Объемная концентрация - отношение объема горючего газа (пара) к объему смеси ГПВС в условиях МКА, выражаемое обычно в, так называемых, объемных процентах и обозначаемое (об%).
17. Массовая концентрация - масса горючего газа (пара), содержащаяся в 1 м³ ГПВС, измеряемая обычно в г/м³.
18. Стехиометрическая концентрация - содержание горючей компоненты в ГПВС, строго соответствующее, для обеспечения полного сгорания, содержанию воздуха в ГПВС. Стехиометрическая концентрация может выражаться как в объемных процентах, так и в г/м³.
19. Нижний концентрационный предел воспламенения (НКПВ) - минимальное содержание горючего газа (пара) в ГПВС, необходимое для воспламенения и устойчивого взрывного горения. Выражается либо в (об%), либо в г/м³.
20. Верхний концентрационный предел воспламенения (ВКПВ) - макси-

- максимальное содержание горючего газа (пара) в ГПВС, при котором возможно воспламенение и устойчивое горение ГПВС.
21. Нижний концентрационный предел детонации (НЦПД) - минимальное содержание горючего газа (пара) в ГПВС, необходимое для начала и устойчивого поддержания детонационного процесса.
 22. Верхний концентрационный предел детонации (ВЦПД) - максимальное содержание горючего газа (пара) в ГПВС, при котором может начаться и устойчиво продолжаться детонационный процесс.
 23. Взрывоопасная концентрация горючего газа - такая концентрация горючего газа в ГС, которая находится в пределах от НЦПД до ВЦПД.
 24. Облако ГПВС - объем, состоящий из ГПВС, принимающий в зависимости от соотношения плотности ГПВС и атмосферного воздуха, скорости ветра и скорости образования, различные формы: полусферические; вытянутые, блиновидные, а по признаку близости к земной поверхности: восходящие и стелющиеся. Наиболее опасны стелющиеся облака ГПВС.
 25. Дрейф облака ГПВС - перемещение облака ГПВС по ветру и рассеивание по пути движения. Дрейф облака сопровождается постоянным изменением концентрации горючей смеси. Дальность дрейфа измеряется от места образования облака ГПВС до места, на котором сохраняются взрывоопасные концентрации горючей смеси. Основные факторы определяющие дальность дрейфа: масса горючего вещества в облаке, состояние атмосферы и свойства ГПВС.
 26. Взрывная волна - перемещающаяся от ЦВ чередующаяся области повышенного давления воздуха (или другой среды распространения) и пониженного давления (относительно атмосферного давления), а также увлекаемые взрывной волной частицы воздуха

(средн), которые создают скоростной напор.

27. Воздушная ударная волна (ВУВ) - взрывная волна, давление и скоростной напор в которой возрастает на ее фронте скачкообразно, достигая там максимальных значений. На (во) фронте воздушной ударной волны (ВУВ) происходящие газодинамические процессы подчинены адиабате Гюгонио, а за фронтом ударной волны - адиабате Пуассона. Область повышенного давления в ВУВ - называется положительной фазой или фазой сжатия, а область пониженного давления - отрицательной фазой или фазой разрежения. При взрывах больших количеств ГПС, могут образоваться два и более как положительных, так и отрицательных фаз. В расчетной практике важны I-я положительная и I-я отрицательная фазы.
- 27а. Слабая ВУВ - в настоящем "Гукеведстве ..." принята условно, что слабая ВУВ имеет максимальное избыточное давление не более 30 кПа.
28. Волна сжатия - взрывная волна, не имеющая ударного фронта, характеризуется постепенным повышением значений избыточного давления и скоростного напора до максимума.
29. Волна разрежения - волна снижения избыточного давления и скоростного напора. Для волны разрежения характерно, что скорость частиц направлена в ней противоположно направлению распространения волны разрежения. В области, охватываемой волной разрежения, могут быть как избыточные давления, так и давления ниже атмосферного давления.
30. Параметры ВУВ - количественные величины, характеризующие ВУВ. К важнейшим из них относятся:
- избыточное (над атмосферным) давление в положительной фазе в различные моменты времени $\Delta p (t)$; важнейшей величи-

ной является избыточное давление на фронте ВУВ Δp_{ϕ} или избыточное давление в момент прихода ВУВ на заданное расстояние;

- скорость распространения фронта ВУВ, D_{ϕ} ;
 - скорость движения частиц воздуха в различных частях ВУВ, часто называемая массовой скоростью, u ;

- плотность воздуха в различных частях ВУВ, ρ ;
 - скоростной напор q (часто называемый динамическим давлением) - это давление движущихся частиц воздуха на единицу поверхности, расположенной перпендикулярно направлению движения частиц воздуха. Количественно определяется как

$$q = 0,5 \cdot \rho \cdot u^2 ;$$

- удельный импульс избыточного давления в положительной фазе I_+ , количественно определяемый как

$$I_+ = \int_0^{\tau_+} \Delta p(t) dt$$

- это импульс, приходящийся на единичную площадку, расположенную параллельно движению ВУВ;

- длительность действия положительной фазы ВУВ τ_+ -

- это время действия избыточного давления;

- длительность действия отрицательной фазы τ_- - это время действия давления разрежения (относительно атмосферного давления);

- закон изменения избыточного давления во времени

$$\Delta p(t) = \Delta p_{\phi} (1 - t/\tau_+)^n$$

- закон изменения скоростного напора во времени

$$q(t) = q_{\phi} (1 - t/\tau_+)^m$$

Приведенные параметры ВУВ - параметры ВУВ деленные (отношенные):

- при расчете ВУВ от взрывов ВВ на $\sqrt[3]{K_{\Phi} C_{ВВ}}$;
- при расчете ВУВ от детонационных взрывов ПВС на $\sqrt[3]{K_{\Phi} E_{ув}}$;
- при расчете взрывных волн от дефлаграционных взрывов.

на $R_{ПВ}$ - радиус огненного шара, образованного продуктами взрывов.

Приведенное расстояние (\bar{R} или R^0) - критерий подобия. При взрывах различной мощности, но одного и того же типа (одной и той же природы) при выполнении условий геометрического, кинематического и динамического подобия на одинаковых приведенных расстояниях равны:

- избыточное давление Δp_{Φ} ;
- скоростной напор q_{Φ} ;
- массовая скорость U_{Φ} ;
- скорость распространения ВУВ D_{Φ} ;
- плотность газа ρ_{Φ} ;
- приведенная длительность действия волны \bar{t}_{+} ;
- приведенный удельный импульс давления \bar{L}_{+} ;
- приведенный удельный импульс скоростного напора \bar{J}_{+} ;
- показатель спада давления n ;
- показатель спада скоростного напора m .

31. Параметры волны сжатия - количественные величины, характеризующие волну сжатия (в данном руководстве волну сжатия, создаваемую дефлаграционным взрывом). К важнейшим из них относятся:

- максимальное избыточное давление Δp_{max} перед фронтом пламени;
- максимальное избыточное давление на расстояниях вне максимального радиуса огненного шара, Δp_m ;
- время нарастания давления до максимального значения

$$\Delta P_{\text{max}} \text{ или } \Delta P_{\text{обн}}^{\text{max}}, \quad \tau_{\text{H}};$$

- время спада избыточного давления до нуля (относительно атмосферного давления) $\tau_{\text{оп}}$.

- максимальное значение скоростного напора перед фронтом пламени q_{max} ;

- максимальное значение скоростного напора $q_{\text{м}}$ вне максимального радиуса огненного шара,

32. Сосуды, работающие под давлением (СРЦД), - сосуды, в рабочем состоянии хранятся сжаты до высоких давлений газы, либо сосуды (емкости, баллоны, резервуары, цистерны), в которых давление возрастает в результате внешнего нагрева или в результате воспламенения образовавшейся горячей смеси внутри сосуда.
33. Произвольный разрыв - разрыв количественных значений параметров состояния газов по разные стороны контактной поверхности, например, разные значения плотности и температуры газов.
34. Распад произвольного разрыва - перераспределение значений параметров газа по обе стороны от контактной поверхности после возникновения произвольного разрыва, например, после разрушения оболочки СРЦД. В I-ю очередь по обе стороны контактной поверхности выравниваются избыточные давления и массовые скорости, другие параметры газа по обе стороны устанавливаются в определенном соотношении, которое может быть рассчитано путем решения задачи о распаде произвольного разрыва.
35. Горячая пробка - часть объема газа, расположенная между фронтом образовавшейся ВУВ при распаде произвольного разрыва, и контактной поверхностью. Газ в горячей пробке имеет те же значения параметров, что и на фронте ВУВ, т.е. нагрет более, чем газ перед фронтом ВУВ.

36. Холодная пробка - часть объема газа, расположенная между контактной поверхностью и газом высокого давления. Газ в холодной пробке имеет меньшие значения параметров, чем в газе высокого давления, заполнявшего СРПД, в частности, существенно меньшую температуру, чем в газе высокого давления (отсюда название).
37. Условия совместности - одинаковые значения давления и массовой скорости на контактной поверхности между холодной и горячей пробками. Условия совместности обеспечивают неразрывность течения газа на контактной поверхности.
38. Взрывная нагрузка - нагрузка, создаваемая в результате взаимодействия взрывной (ударной) волны с ограждающей поверхностью сооружения.
39. Виды взаимодействия ВУВ с сооружением:
- нормальное и косоое отражение;
 - дифракция - отгибание контура сооружения неустановившимся потоком частиц воздуха, переносимых ВУВ;
 - обтекание контура сооружения частицами воздуха в ВУВ по установившимся траекториям;
 - затекание ВУВ за тыльную сторону сооружения или внутрь сооружения через имеющиеся или вскрывшиеся проемы.
40. Коэффициент отражения ($K_{отр}$) - отношение значений отраженного избыточного давления к значению избыточного давления в проходящей ВУВ.
41. Коэффициент давления (критерий Эйлера) (C_p) - отношение значения избыточного статического давления на поверхность сооружения к значению скоростного напора в ВУВ.
42. Коэффициент лобового сопротивления (C_x) - отношение разности давлений, действующих на фронтальную и тыльную стороны тела,

находящегося в потоке газа, к величине скоростного напора в этом потоке.

43. Общий нуль отсчета времени - момент подхода к ближайшей от ЦВ точке поверхности сооружения, с.
44. Локальный нуль отсчета времени - момент подхода фронта волны к конкретной точке поверхности сооружения.
45. Местная скорость звука - скорость звука C_m в заданной точке сооружения, м/с.

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

1. Параметры состояния атмосферы

МСА - международная стандартная атмосфера:

P_0 - значение атмосферного давления на уровне моря, 101,325 кПа

T_0 - стандартная температура, 288,15°K;

ρ_0 - плотность воздуха, при условиях стандартной атмосферы,
равная 1,225 кг/м³;

c_0 - скорость звука при условиях стандартной атмосферы,
равная 340 м/с.

2. Термодинамические характеристики воздуха

R_g - удельная газовая постоянная 287 Дж/(кг·K)·ед

M_g - молекулярная масса воздуха, 28,97 кг/моль
- объем одного моля газа в условиях МСА, 22,64 м³/моль

C_p - удельная теплоемкость при постоянном давлении,
равная 1,0034 кДж/(кг·K)

C_v - удельная теплоемкость при постоянном объеме, равная
0,7164 кДж/(кг·K)

K - показатель адиабаты Пуассона (изэнтропы) равный 1,4.

3. Параметры состояния и дрейфа облаков ГПВС

X_d - расстояние, на котором сохраняются взрывоопасные
свойства ГПВС, м

S_n - площадь течи, м²;

C_{H_2} - объемная концентрация горючего в (об%) при НДПВ;

P_I - начальное давление истекающего газа, кПа;

T_I - начальная абсолютная температура истекающего газа (°K);

M_I - молекулярная масса истекающего газа;

P_a - давление окружающего воздуха, кПа;

T_a - температура окружающего воздуха, °K;

- M_a - молекулярная масса окружающего воздуха;
 T_r - температура хранения перегретой жидкости, $^{\circ}\text{K}$;
 T_k - температура кипения горючей жидкости при давлении, равном атмосферному, $^{\circ}\text{K}$;
A и **B** - константы, характеризующие состояние атмосферы и определяемые по шкале Паскуилла
 C_H^m - массовая концентрация горючего в ПВС при НПВ;
 ρ_k - начальная плотность горючего газа при температуре кипения T_k после испарения, кг/м^3 ;
 ρ_r - плотность горючего газа в ПВС при температуре окружающей среды, кг/м^3 ;
 M_g - масса пролитой жидкости, кг ;
 M_o - масса газа, участвующая во взрыве, кг ;
 $Z = M_o/M_g$ - доля горючего газа, участвующая во взрыве;
 α - скрытая теплота парообразования, Дж/кг ;
 δ_A - площадь жидкого слоя, м^2 ;
 M_r - масса газа, истекающая из сосуда под давлением, кг ;
 X_m - минимальное расстояние дрейфа облака ПВС, м ;
 $C_{\text{стх}}^o$ - стехиометрическая объемная концентрация горючего газа в смеси, ($\text{об}\%$);
C $c_{\text{стх}}$ - стехиометрическая массовая концентрация горючего газа в ПВС, г/м^3 .

4. Воздушная ударная волна

- $\Delta p_{\text{ф}}$ - избыточное давление на фронте ВУВ, кПа ;
 $C_{\text{ВВ}}$ - масса ВВ, кг ;
 $Q_{\text{ВВ}}$ - теплота взрывчатого превращения, кДж/кг ;
 R - расстояние от ЦВ, м ;
 \bar{R} - приведенное расстояние от ЦВ, $\text{м/кг}^{1/3}$.

- $K_{эф}$ - коэффициент эффективности ВВ по образованию ВУВ;
 K_B - коэффициент вида взрыва (наземного, воздушного);
 $K_{пл}$ - коэффициент плотности укладки ВВ;
 $K_{п}$ - коэффициент поднятия заряда над уровнем грунта;
 $\alpha = Q_{ВВ}/2420$ - отношение теплоты взрывчатого превращения
 конкретного ВВ к теплоте взрывчатого превращения
 тротила;
- P_0, ρ_0, t_0, a_0 - параметры невозмущенной атмосферы перед ВУВ;
 $\Delta p(t)$ - значение избыточного давления в ВУВ в некоторый
 момент времени $0 \leq t \leq \tau_+$, кПа;
 τ_+ - длительность положительной фазы, с;
 n - показатель спада избыточного давления в ВУВ во
 времени в период $0 \leq t \leq \tau_+$;
 $\bar{\tau}_+$ - приведенная длительность положительной фазы, с/кг^{1/3};
 \bar{I}_+ - приведенный импульс положительной фазы, кПа·с/кг^{1/3};
 q_ϕ - значение скоростного напора на фронте ВУВ, кПа;
 $q(t)$ - значения скоростного напора в ВУВ в моменты време-
 ни $0 \leq t \leq \tau_+$, кПа;
 m - показатель спада скоростного напора в ВУВ во вре-
 мени в период $0 \leq t \leq \tau_+$;
 \bar{J}_+ - приведенный импульс скоростного напора в положи-
 тельной фазе, кПа·с/кг^{1/3};
 $\Delta p_{отр}^n$ - максимальное значение отраженного избыточного дав-
 ления при нормальном отражении, кПа;
 ω_{max} - угол встречи при косом отражении, при котором воз-
 никает максимальное отражение при заданном значе-
 нии Δp_ϕ , градусы;
 $K_{отр}^{max}$ - максимальное значение коэффициента отражения при
 заданном Δp_ϕ при косом отражении;

- $K_{отр}$ - значение коэффициента отражения при заданном угле отражения ω , при косом отражении;
 $K_{отр}^n$ - коэффициент нормального отражения;
 D_{ϕ} - скорость распространения фронта ВУВ, м/с;
 U_{ϕ} - скорость потока частиц воздуха (массовая скорость) на фронте ВУВ, м/с;
 ρ_{ϕ} - плотность воздуха на фронте ВУВ, кг/м³;
 T_{ϕ} - абсолютная температура воздуха на фронте ВУВ, °К;
 O_{ϕ} - скорость распространения ^{звука} на фронте ВУВ, м/с;
 $\rho(t)$ - плотность воздуха за фронтом ВУВ, кг/м³;
 $U(t)$ - скорость частиц воздуха за фронтом ВУВ, м/с;
 $a(t)$ - скорость звука за фронтом ВУВ, м/с.

5. Параметры детонационного взрыва

- M - масса горючей компоненты в ПВС, кг;
 Z - доля детонирующей части горючего газа в ПВС;
 q_m - удельная энергия, выделяющаяся при детонации одного кг ПВС, кДж/кг;
 $C_{стх}$ - стехиометрическая массовая концентрация горючей компоненты в ПВС, г/м³;
 $R_{\mathcal{D}}$ - радиус предетонирующего облака ПВС, м;
 - скорость распространения детонационной волны, м/с;
 $K_{\mathcal{D}}$ - показатель адиабаты Пуассона в ПВ;
 $\Delta p_{\mathcal{D}}$ - избыточное давление на фронте детонационной волны, кПа;
 $\mathcal{P}_{\mathcal{D}}$ - скоростной напор на фронте детонационной волны, МПа;
 $U_{\mathcal{D}}$ - скорость движения ПВ на фронте детонационной волны, м/с;
 E - полная энергия, выделяющаяся при детонационном взрыве, кДж;

$E_{ув}$ - энергия взрыва, затраченная на образование ВУВ, кДж;

η - коэффициент перехода энергии взрыва в ВУВ;

\bar{R} - приведенное расстояние до ВУВ, м/кДж^{1/3}.

Параметры ВУВ, генерированной детонационным взрывом, обозначаются также, как и параметры ВУВ, генерированных взрывами конденсированных ВВ.

6. Параметры ВУВ, возникающей при взрывах сосудов, работающих под давлением (СРПД)

Δp_3 - максимальное избыточное давление, которое может развиться внутри СРПД к моменту взрыва, кПа;

δ_k - временное сопротивление стали разрыву при температуре КСА, кПа;

δ - толщина стенок, м;

r - радиус сосуда, м;

ρ_3 - плотность газа в СРПД, кг/м³;

T_3 - температура газа в СРПД в момент ее разрушения, °К;

K_3 - показатель адиабаты в газе, заключенном в СРПД;

R_T - удельная газовая постоянная газа, заключенного в СРПД, Дж/кг·град; $R_T = 8314/\mu_T$;

K - показатель адиабаты атмосферного воздуха, 1,4;

$M_1 = D_T / a_0$ - отношение скорости распространения ВУВ к скорости звука в невозмущенной атмосфере;

p_3 - полное давление внутри СРПД в момент ее разрушения, кПа;

Δp_{Φ}^H - начальное избыточное давление на фронте ВУВ на границе СРПД, кПа;

V_3 - объем СРПД перед разрушением, м³;

R_{II} - радиус приведенного к полусфере, объема газа в СРПД, м;

- R_{II} - приведенный радиус СРЦД в момент разрушения;
 E - потенциальная энергия сжатых газов, заключенных в СРЦД;
 P_0 - атмосферное давление, 101,325 кПа;
 R - расстояние от ЦВ, м;
 R^0 - приведенное расстояние от ЦВ, б/р;
 m - показатель степени при R^0 в формуле (6.20).

7. Параметры взрывной волны при дефлаграционных взрывах

- w - видимая скорость распространения пламени, м/с
 $\alpha = w / a_0$;
- Δp_{II} - максимальное избыточное давление в взрывной волне дефлаграционного взрыва, вне ОШ, кПа;
- R_0 - радиус полусферического облака ГПВС, м;
- $R_{пр}$ - радиус расширившихся продуктов взрыва, $R_{пр} = 2R_0$, м;
- τ_1 - время нарастания давления во взрывной волне от нуля до Δp_{II} , с;
- τ_2 - время спада давления от Δp_{II} до нуля, с;
- Δp_- - максимальное разрежение (относительно атмосферного давления) в взрывной волне, кПа;
- τ_3 - время спада давления от 0 до Δp_- , с;
- τ_4 - время нарастания давления от Δp_- до 0, с.

8. Общие закономерности образования нагрузок (см. рис. 3.1 и 3.2, 3.3)

- $t_{обр}$ - время установления давления обтекания, с;
- $\Delta p_{отр}(t)$ - значения величины отраженного давления в период времени $0 \leq t \leq t_{обр}$, с;

- $\Delta p_{\text{обт}}(t)$ - значение величины давления обтекания в период времени $t_{\text{обт}} \geq t \leq t_+$, с;
- C_p - коэффициент давления, зависящий от угла встречи ω ;
- $l_{\text{обт}}$ - кратчайшее расстояние от данной точки до теневой поверхности, м;
- $C_{\text{отр}}$ - скорость звука в отраженной волне, м/с;
- $\Delta p_{\text{отр}}$ - избыточное отраженное давление, кПа;
- $\rho_{\text{отр}}$ - плотность воздуха на фронте отраженной волны, кг/м³;
- $\pi_1 = P_{\phi}/P_0$
- $\pi_2 = P_{\text{отр}}/P_{\phi}$
- P_{ϕ} - полное давление на фронте ВУВ, кПа;
- $P_{\text{отр}}$ - полное давление на фронте отраженной ВУВ, кПа;
- $t_{\text{зат}}$ - время установления максимума давления затекания в затекающей за остывающую сторону сооружения взрывной волне, с;
- $l_{\text{зат}}$ - кратчайшее расстояние до границы освещенной поверхности, м;
- $\Delta p_{\text{зат}}(\dot{t})$ - текущее избыточное значение давления затекания в данной контрольной точке, с момента прихода затекающей волны к ней, кПа;
- $\Delta p_{\text{обт}}^{\text{max}}$ - максимальное значение избыточного давления обтекания в момент установления режима обтекания, кПа;
- $\Delta p_{\text{зат}}^{\text{max}}$ - максимальное значение затекшей за теневую (тыльную) грань избыточного давления в данной контрольной точке, кПа;

- $\Delta p_{\text{бок}}^{\text{max}}$ - максимальное значение избыточного давления на боковой поверхности (а также на покрытии) параллелепипеда в данной контрольной точке, МПа ;
- C_M - местная скорость звука в заданной точке поверхности сооружения, м/с ;
- Δt - интервал времени, с ;
- R_T - расстояние по лучу от ЦВ до данной точки сооружения, м ;
- R_0 - расстояние от ЦВ до ближайшего вертикального ребра сооружения по горизонтали, м (см.рис. 8.2);
- R_T - расстояния до дальних освещенных вертикальных ребер сооружения по горизонтали, м ;
- S_M - расстояние по горизонтали до горизонтальной проекции контрольной точки M (см.рис. 9.2);
- $\tau_{\text{эф}}$ - эффективное время действия ВУВ, при замене действительного закона спада давления на линейный, но при сохранении равенства удельных импульсов.

9. Геометрические характеристики при расчете нагрузок на круговой цилиндр

(см.рис.9.1)

- M - имя контрольной точки, расположенной в произвольной точке на поверхности сооружения;
- M_1 - проекция точки M на горизонтальную поверхность, проходящую через ЦВ;
- O - центр координат, расположенный на вертикальной оси цилиндра на высоте h от основания цилиндра;
- O_1 - центр координат, совпадающий с ЦВ;
- h - высота расположения контрольной точки M на-

- горизонтальной поверхностью, проходящей через ЦВ;
- r - полярное расстояние, м;
- γ - полярный угол, градусы;
- x_0, y_0, z_0 - декартовы координаты точки М в системе координат, с центром в точке O , м;
- x_1, y_1, z_1 - декартовы координаты точки М в системе координат, с центром в точке O_1 , м;
- R_0 - расстояние по горизонтали от ЦВ до ближайшей точки поверхности цилиндра, м;
- ω - угол встречи, радианы;
- R_T - расстояние от ЦВ до контрольной точки М, м.

Ю. Геометрические характеристики при расчете нагрузок на эллипсоид вращения

(см. рис. 9.16)

- М - иная контрольная точка, расположенная в любой точке поверхности эллипсоида вращения (купола);
- M_2 - проекция точки М на горизонтальную поверхность основания купола;
- O - центр координат, расположенный на пересечении вертикальной оси эллипсоида вращения с плоскостью сопряжения с цилиндром;
- O_1 - центр координат с началом в ЦВ;
- O_2 - центр координат с началом, расположенным в точке пересечения нормали N к поверхности эллипсоида в точке М;
- r - полярное расстояние с полюсом в точке O_1 ;
- γ - полярный угол, считываемый в горизонтальной плоскости против часовой стрелки (от оси X к оси Y);

- a - горизонтальная полуось вращаемого эллипса;
 b - вертикальная полуось вращаемого эллипса;
 x_0, y_0, z_0 - декартовы координаты точки M в системе координат с началом в точке O ;
 x_N, y_N, z_N - декартовы координаты точки M в системе координат с началом в точке O_2 ;
 φ - угол между плоскостью основания эллипсоида и нормалью N ;
 x_0, y_0, z_0 - декартовы координаты точки M в системе координат с началом в точке O_1 ;
 ω - угол встречи луча, проведенного от ЦВ, с площадкой, касательной к поверхности эллипсоида вращения в точке M .

II. Геометрические характеристики при расчете нагрузок на параллелепипед, общий случай $90^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$
 (см. рис. 9.2. а, б, в)

- M - имя контрольной точки;
 O - начало координат, связанная с сооружением, выбирается на единичном расстоянии от граней a или b , на высоте h_M ;
 O_1 - начало координат, совпадающая с ЦВ;
 R_0 - расстояние от ЦВ до ближайшего вертикального ребра сооружения на горизонтали, м;
 a - грань сооружения, расположенная слева от ребра A ;
 b - грань сооружения, расположенная справа от ребра A ;
 δ - расстояние по горизонтали вдоль грани a от ребра A до точки M на освещенной стороне, либо расстояние по горизонтали параллельно грани a от ребра A

- до точки M на теневой стороне, м;
- b_v - расстояние по горизонтали вдоль грани b от ребра A до точки K на освещенной стороне, либо расстояние по горизонтали параллельно грани b до точки K на теневой стороне;
- N - нормаль единичной длины от точки $M(K)$ к грани $a(b)$, м;
- h_M - превышение точки $M(K)$ над основанием сооружения, м;
- x_M, y_M, z_M - декартовы координаты точки $M(K)$ с началом координат в точке O , м;
- x_B, y_B, z_B - декартовы координаты точки $M(K)$ с началом координат в ЦВ (O_T);
- R_T - расстояние по дуге от точки $M(K)$ до ЦВ, м;
- γ - угол между направлением от ребра A до ЦВ и стороной a сооружения;
- $\varphi = 3\pi/2 - \gamma$
- α - угол между направлением O_1B и стороной a ,
- α_M - угол между направлением x_c и стороной a
- β - угол между направлением O_1D и стороной b
- β_K - угол между направлением x_c и стороной b
- SP - расстояния от ЦВ до дальних освещенных ребер B и D сооружения, м;
- $\angle F_1$ - угол между направлением O_1B и BC ;
- $\angle F_3$ - угол между направлением O_1A и DC ;
- ω - угол встречи луча O_1M с гранью a , или луча O_1K с гранью b , (см. рис. 9.2b);
- e - кратчайшее расстояние до ближайшего ребра параллелепипеда (горизонтального или вертикального).

12. Геометрические характеристики при расчете нагрузок на параллелепипед в особом случае

$$\arccos\left(\frac{a}{R_c}\right) \leq \gamma \leq 90^\circ$$

- θ - угол между направлениями O_1A и $O_1B - B$;
 $\angle F_2$ - угол между направлениями O_1A и AD ($F_2 = 90^\circ + \gamma$)
 θ_n - угол, когда одна из главных осей параллелепипеда направлена на ЦО ($\theta_n = \arcsin\left(\frac{a}{2R_c}\right)$)

13. Нагрузки на легкообтекаемые сооружения

- $F(t)$ - текущие значения силы скоростного напора во времени, кН;
 $q(t)$ - текущие значения давления скоростного напора, кПа;
 C_x - коэффициент лобового сопротивления;
 $S_{мс}$ - площадь миделева сечения сооружения.

14. Условные обозначения

к определению нагрузок на сооружения от дефлаграционных взрывов

- R - расстояние от центра облака (ЦО) до фронтальной стены, м;
 L - длина сооружения, м;
 B - ширина сооружения, м;
 H - высота сооружения, м;
 $\Delta P_{фр}$ - максимальное избыточное давление на фронтальной стене, кПа;
 K - коэффициент взаимодействия, зависящий от $\Delta P_{фр}$

- Δp_m - максимальное избыточное давление в проходящей волне, кПа;
- τ_1 - время нарастания давления во взрывной волне от нуля до Δp_m ; с;
- τ_p - время пробега звуковой волны меньшего из расстояний $B/2$ или H , с;
- U - скорость частиц воздуха, м/с;
- W_m -
- $\Delta p_{-фр}$ - максимальное давление разрежения (относительно атмосферного давления) на фронтальной стене, кПа
времена $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ - (см. параметры дефлаграционной волны), с;
- $\Delta p_x(t)$ - текущее давление на тыльной стене;
- $t_{пр}^t$ - время пробега звуковой волны длины сооружения;
- R_0 - радиус сооружения полушарической формы, м;
- R - расстояние от центра полусферы до ЦВ, м;
- φ - угол в горизонтальной плоскости, между прямой, соединяющей ЦВ с центром полусферы, и прямой, соединяющей центр полусферы с проекцией точки на горизонтальную плоскость;
- θ - угол, лежащий в вертикальной плоскости, между плоскостью основания полусферы, и прямой, соединяющей центр полусферы с точкой на поверхности;
- $\Delta p_m^{nc}(\varphi, \theta)$ - распределение максимального избыточного давления по поверхности полусферы.

1Б. Вертикальный цилиндр

- $\Delta p_m^{nc}(\varphi)$ - распределение максимального избыточного давления по поверхности цилиндра;

R^x - расстояние по лучу от ЦВ до точки на поверхности цилиндра, м;

r_0 - радиус цилиндра, м;

λ - протяженность положительной фазы волны, м.

РУКОВОДСТВО
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ УДАРНЫХ ВОЛН ПРИ ВНЕШНИХ
ВЗРЫВАХ И НАГРУЗКАМ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ АС

ЧАСТЬ I

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1. Назначение документа

I.1.1. "Руководство ..." предназначено для определения параметров ударных волн при внешних взрывах и нагрузках на строительные конструкции зданий и сооружений АС от следующих типов внешних по отношению к основным сооружениям АС взрывов:

- конденсированных ВВ (твердых, пластичных и жидких);
- детонационных взрывов облаков ПВС;
- взрывов сосудов, работающих под давлением (СРВД): баллонов, цистерн, ресиверов, газгольдеров, емкостей и т.п.;
- дефлаграционных взрывов облаков ПВС.

I.1.2. "Руководство ..." разработано в развитие п. I.1.2 ОПБ-88.

I.1.3. При пользовании "Руководством ..." следует учитывать положения и требования НТД более высоких уровней в соответствии с областью их распространения: Постановление Правительства РФ № "О создании российской системы предупреждения и действий в условиях чрезвычайных ситуаций (РСЧС)", ОПБ-88, РД Г-03-33-93 - п. I.4 I, СПИНАЭ-87, Пин АЭ-5.6, ОНП 24-86 МВД, Руководство МАГАТЭ №50- SG - 55, СНП 2.01.02-85.

I.1.4. Использование положений настоящего "Руководства ..." обязательно при разработке разделов "Технического обоснования безопасности АС" (ТОб АС) и "Декларации о безопасности предприятия", посвященных безопасности АС при воздействии внешних взрывов.

1.2. Задачи, решаемые с помощью "Руководства ..."

1.2.1. Основная и конечная цель "Руководства ..." состоит в определении особых, согласно СНиП 2, 01.02-85, динамических нагрузок на основные сооружения АС от воздействия ВУВ от указанных в п.1.1.1 типов внешних взрывов. Для достижения этой цели "Руководство ..." содержит методики для решения следующих промежуточных задач:

- разработка сценария возможной взрывной аварии в окрестностях и на площадке АС;
- определение предельных масс взрывоопасных веществ для данного типа взрыва;
- расчета объемов взрывоопасных облаков, возможных расстояний их дрейфа и изменения концентрации горючих веществ в облаке в процессе его дрейфа;
- подготовки исходных данных для расчета параметров проходящей взрывной волны;
- определение параметров проходящей взрывной волны, включая динамические и временные характеристики;
- определение параметров динамической нагрузки на сооружения простых форм, на которые при расчете расчленяются сооружения сложных форм.

1.2.2. При решении указанных в п.1.2.1 задач, при объективном недостатке научных знаний, использовании приближенных зависимостей, неопределенности исходных данных, вероятном или сильно изменчивом характере условий, следует применять консервативный подход. Следует иметь в виду, что необоснованное применение консервативного подхода ведет к удорожанию строительства и неконкурентоспособности конечного продукта.

1.3. Область применения "Руководства ..."

1.3.1. Приведенные в "Руководстве ..." расчетные зависимости обеспечивают возможность определения динамических нагрузок при максимальной интенсивности проходящей ВУЗ до 100 кПа для всех типов рассматриваемых взрывов.

1.3.2. В настоящем "Руководстве ..." приведены методы определения динамических нагрузок, т.е. нагрузок, изменяющихся во времени, а не статически эквивалентных нагрузок, поэтому в расчетных зависимостях не используется понятие "коэффициент динамичности", которое всегда связано с частотной характеристикой конкретной рассчитываемой конструкции. Однако, "Руководство ..." обеспечивает возможность определения коэффициентов динамичности при известных значениях частот колебаний.

1.3.3. В "Руководстве ..." принято, что все рассматриваемые типы взрывов являются наземными, а ударные волны - полусферическими. Учитывается специфика слабых ударных волн, приводящая к повышенным значениям давлений отражения при косом отражении по сравнению с нормальным отражением. Расчетные нагрузки приложены нормально к ограждающим конструкциям, независимо от их ориентации в пространстве и от направления распространения ВУЗ.

2. МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ВОЗМОЖНОГО СЦЕНАРИЯ ВЗРЫВНОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ АС

2.1. Определение типа, места расположения потенциальных источников взрывной опасности

2.1.1. Для разработки возможного сценария взрывной опасности следует рассмотреть источники взрывной опасности, расположенные в окрестности АС в радиусе 5км, и при наличии складов боеприпасов в радиусе 10 км, и на площадке АС.

При разработке сценария взрывной опасности следует учитывать требования и положения ИТД Г-03-33-93 в соответствии с областью его распространения.

Рекомендуется также использовать данные приложений П1 и П2 к настоящему "Руководству ...".

Сценарий взрывной опасности следует строить в виде древа событий и явлений, и отбирать наиболее опасные ветвивразвития событий, используя консервативный подход.

Профессионально обоснованный сценарий является необходимым условием для:

- выбора последовательности расчетов значений параметров взрывной опасности;
- разработки мер по снижению взрывной опасности.

2.1.2. В окрестности АС должны быть рассмотрены на ситуационном плане привязки АС к местности:

- трассы прокладки газо- и продуктопроводов;
- трассы железнодорожных и водных путей сообщения;
- трассы автомобильных дорог;
- места размещения складов ВВ и ГСМ;
- места размещения предприятий с взрывоопасными производствами;

- места расположения на местности ложи и понижений на возможном пути дрейфа облаков, где могут скапливаться горючие смеси тяжелее воздуха;

- места возможных источников воспламенения облаков ГПЭС (факалы, трассы электрифицированных дорог, молниеотводы, фабричные трубы, места сжигания мусора и т.п.).

2.1.3. Следует изучить розы ветров для данной местности.

2.1.4. После определения источников взрывной опасности следует непосредственно в районе строительства уточнить виды взрывоопасных и горючих веществ и оценить возможность образования облаков ГПЭС, особенно, тяжелее воздуха.

2.1.5. При изучении источников взрывной опасности, расположенных на площадке АС, следует рассмотреть объекты, которые могут стать взрывоопасными вследствие предварительно возникшего пожара, а также места и объекты, которые могут оказаться загазованными горючими смесями тяжелее воздуха (подземные галереи, потеры и т.п.).

К объектам, которые могут стать взрывоопасными вследствие предварительно возникшего пожара относятся:

- мазутохозяйство пускорезервной котельной;
- газовое хозяйство; хозяйство дизельного топлива;
- ацетиленовая станция; ресиверы водорода;
- склад гидразина; склады ГСМ.

2.2. Оценка количества потенциально опасных горючих веществ и ВВ

2.2.1. При оценке количества потенциально опасных горючих веществ и ВВ, следует за расчетное количество принимать только такое их количество, которое может взорваться одновременно. Поэтому следует выделить наиболее крупные единичные хранилища ВВ или горючих

веществ, способных образовывать ГПЭС, на данном складе или производстве. Следует учитывать, что вероятность одновременного взрыва (в интервале 1 секунды) двух или нескольких хранилищ очень мала (равна произведению вероятностей взрывов на каждом из них и составляет менее 10^{-7}).

Не следует суммировать количества взрывоопасных веществ (или материалов) имеющихся на данном складе или производстве.

В случае возможности возникновения цепных взрывов с интервалом более 1 секунды, за расчетные принимать наиболее крупные хранилища.

2.2.2. Если разрушения хранилищ с горючими веществами происходят без немедленного воспламенения с образованием облаков ГПЭС, то в этом случае возможно образование суммарного облака, и только в этом случае следует суммировать количества горючих веществ, например, при крушении поезда, составленного из цистерн с горючими веществами.

2.3. Возможности образования огневых и огненных шаров

2.3.1. При взрывах на складах ГСМ и хранилищах сжиженных и криогенных газов, в результате воздействия возникшего пожара, возможно образование огневых шаров, состоящих из испаряющихся крупных каплевидных частиц жидкого горючего. В этом случае вследствие поверхностного горения переобогащенной смеси исключается возможность образования взрывной волны с интенсивностью более 10 кПа на границе огневого шара.

2.3.2. Огненные шары образуются при взрывах предварительно образовавшихся облаков ГПЭС. В этом случае возможно образование на границе огненного шара, значительных давлений (см. раздел 7).

2.4. Оценка доли вещества, участвующего во взрыве

2.4.1. Конденсированные ВВ при взрывах взрываются полностью,

поэтому доля вещества Z , участвующего во взрыве равна 1.

2.4.2. При взрывах облаков ГИЖ (детонационных и дефлаграционных) доля вещества, участвующего во взрыве, зависит от времени, прошедшего после образования облака до воспламенения, скорости ветра, вида горючего вещества (тяжелее или легче воздуха), количества горючего в облаке. При экспресс оценках, на стадии изыскательских работ, оценка величины Z может быть произведена для облаков, содержащих более 1 т горючего вещества следующим образом. При скорости ветра до 3 метров в секунду, в периоды времени

до 5 мин	$Z = 0,5$
от 5 до 20 мин	$Z = 0,25$
от 20 до 40 мин	$Z = 0,1$

2.4.3. Для более строгого определения величины Z и проходного облаком пути следует использовать методику, приведенную в разделе 3.

3. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ДАЛЬНОСТИ ДРЕЙФА ОБЛАКОВ
ГОРЮЧЕЙ СМЕСИ И ПЕРЕНОСИМЫХ ИМИ МАСС
ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ

3.1. Оценка дальности распространения горючей смеси

3.1.1. Случай, когда горючий газ истекает из сосуда под давлением. Расстояние, на котором сохраняются его взрывоопасные свойства, X_d определяется по формуле:

$$X_d = 3 \left(\frac{S_{пл}}{C_{H_2O}^0} \frac{P_1 T_1 M_a}{P_a T_a M_1} \right)^{0,6}, \text{ м} \quad (3.1)$$

где $S_{пл}$ - площадь течи, м^2 ;
 $C_{H_2O}^0$ - объемная концентрация на нижнем пределе воспламенения, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

P_1, T_1, M_1 - начальные давления, температура и молекулярная масса истекающего газа, $\text{кПа}, \text{К}, \text{кг/моль}$;

P_a, T_a, M_a - давление, температура и молекулярная масса окружающего воздуха, $\text{кПа}, \text{К}, \text{кг/моль}$.

Дрейф в данном и последующих случаях происходит по ветру.

3.1.2. Случай выброса перегретой горючей жидкости с мгновенным ее вскипанием. ($T_0 > T_K$ при $P = P_a$), когда температура хранения горючей жидкости T_0 выше температуры кипения T_K при давлении окружающей среды ($P = P_a$). Для углеводородных топлив, используемых при крупнотоннажном производстве, используя консервативный подход (категория состояния атмосферы по Паскуиллу F) получим

$$X_d = 50 \cdot M_0^{1/3}, \text{ м} \quad (3.2)$$

где M_0 - масса горючего, участвующая в образовании горючей

смеси, кг

$$k_0 = 2 \left\{ 1 - \exp \left[C_p (T_k - T_0) / L \right] \right\} \cdot M_B, \text{ кг} \quad (3.3)$$

M_B - масса выброшенной в атмосферу горячей жидкости, кг

T_k - температура кипения вещества при давлении окружающей среды, К ;

T_0 - исходная температура хранения, К ;

C_p - удельная теплоемкость горячего вещества при постоянном давлении, приводимая в химических справочниках, кДж/кг·К.

L - скрытая теплота парообразования, Дж/кг.

3.1.3. Случай выброса криогенной горячей жидкости в атмосферу.

Для оценок следует пользоваться следующей формулой

$$\alpha_d = 43 \cdot k_0^{1/3} \text{ м}, \quad (3.4)$$

$$M_0 = 20 \cdot S_d / \kappa \text{ кг} \quad (3.5)$$

где

S_d - площадь жидкого слоя в м², определяемая из конкретных условий пролива и обычно ограничиваемая облавкой. Если получается, что $M_0 > M_B$, то берется

$$M_0 = M_B ;$$

M_B - масса всей пролитой жидкости, кг ;

ρ_k - начальная плотность газа после испарения при $T = T_k$, кг/м³.

3.2. Определение массы вещества, способного участвовать во взрыве

3.2.1. Случай, когда горячий газ истекает из сосуда под давлением. Доля газа, способная участвовать во взрыве определяется по зависимости

$$Z = M_{\Gamma} / M_{\text{в}} , \quad (3.6)$$

где $M_{\text{в}}$ - масса газа, выброшенная в атмосферу, кг
 M_{Γ} - масса газа, способная участвовать во взрыве, определяемая по зависимости (3.7)

$$M_{\Gamma} = \frac{110 (\int_{\text{м}} P_1 / P_{\text{ат}})^{3/2}}{\mu_{\Gamma}^{1/2} \cdot (23 + 1,4 \mu_{\Gamma}) C_{\text{H}}^{\text{O}_2}} , \text{ кг} \quad (3.7)$$

Обозначения те же что и в (3.1).

3.2.2. Случай выброса перегретой жидкости:

1. Определяется масса горючего, участвующего в образовании взрывоопасной смеси

$$M_0 = 2 \left\{ 1 - \exp \left[C_p (T_k - T_0) / L \right] \right\} M_{\text{в}} , \text{ кг} \quad (3.8)$$

если $M_0 > M_{\text{в}}$, то $M_0 = M_{\text{в}}$.

2. Определяются величины $X_m = 28(M_0)^{1/3}$ и $X_d = 50(M_0)^{1/3}$

M_0 - кг; X_m и X_d в м,

где X_m - максимальное расстояние, до которого горючая смесь находится в обогащенном состоянии, м.

3. Определяется масса газа M_{Γ} , способная к взрыву,

если $X < X_m$, $M_{\Gamma} = 0,5 M_0$; (3.9)

если $X_m < X < X_d$, $M_{\Gamma} = 0,5 \frac{X_d - X}{X_d - X_m} M_0$ (3.10)

если $X > X_d$, $M_{\Gamma} = 0$. (3.11)

3.2.3. Случай выброса криогенной горючей жидкости:

1. Определяется масса газа M_0 , участвующего в образовании взрывоопасной смеси:

$$M_0 = \frac{25 \cdot J_{\text{в}}}{\rho_{\text{к}}} , \text{ кг} \quad (3.12)$$

S_d - площадь испарения - λ^2 ,

если S_d - неизвестно, то $M_0 = M_B$

если $M_0 > M_B$, то $M_0 = M_B$

M_B - масса всей вытекшей жидкости. $Z = M_r / M_B$.

$$2. \text{ Определяются величины } X_m = 22(M_0)^{1/3} \quad (3.13)$$

$$\text{и } X_d = 43(M_0)^{1/3} \quad (3.14)$$

M_0 - кг, X_m и X_d - м.

3. Определяется масса газа M_r , способного участвовать во взрыве на расстоянии X - м от места пролива:

$$\text{если } X < X_m, \quad M_r = 0,5 M_0 \quad (3.15)$$

$$\text{если } X_m < X < X_d, \quad M_r = 0,5 \frac{X_d - X}{X_d - X_m} M_0 \quad (3.16)$$

$$\text{если } X > X_d, \quad M_r = 0. \quad (3.17)$$

3.3. Определение первоначального размера взрывоопасного облака

3.3.1. Облако принимается полусферическим, взрыв начинается в центре облака, смешение с воздухом в стехиометрическом соотношении:

$$R_0 = 0,782 \left(\frac{M_r}{C_{\text{стх}}^m} \right)^{1/3} \quad \text{м} \quad (3.18)$$

$$R_0 = 0,782 \left(\frac{M_r}{C_{\text{стх}}^0 \rho_r} \right)^{1/3} \quad \text{м} \quad (3.19)$$

$C_{\text{стх}}$ - стехиометрическая массовая концентрация горючего с воздухом - кг/м^3 ;

ρ_r - плотность чистого горючего газа при температуре окружающей среды - кг/м^3 ;

$C_{\text{стх}}^0$ - объемная стехиометрическая концентрация горючего с воздухом - $\text{м}^3/\text{м}^3$.

4. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УДАРНЫХ ВОЛН
ПРИ ВЗРЫВАХ ПОГЛУЩАЮЩИХ ВВ НА РАЗЛИЧНЫХ
РАССТОЯНИЯХ ОТ ЦЕНТРА ВЗРЫВА

4.1. Исходные данные для выполнения расчетов

4.1.1. До выполнения расчетов должны быть подготовлены следующие исходные данные:

- $C_{ВВ}$ - масса ВВ в кг и вид его упаковки (в ящиках, в крафтмешках);
- вид ВВ и его теплота взрывчатого превращения Q , либо должно быть известно отношение α теплоты взрыва ВВ к теплоте взрыва тротила (принимаемой равной 4240 кДж/кг);
 - вид взрыва (наземный, воздушный, приземный);
 - виды грунтов под зарядом ВВ (скальный, плотный глинистый, песчаный);
 - высота взрыва над землей при взрывах на железнодорожных и автомобильных платформах;
 - плотность укладки ВВ.

4.1.2. Избыточное давление во фронте ΔP_{Φ} определяется по формуле

$$\Delta P_{\Phi} = \frac{62,4}{\bar{R}} + \frac{265}{\bar{R}^2} + \frac{667}{\bar{R}^3}, \text{ кПа.} \quad (4.1)$$

При практических расчетах рекомендуется использовать формулу (4.1), записанную в форме Горнера

$$\Delta P_{\Phi} = \frac{I}{\bar{R}} \left[62,4 + \frac{I}{\bar{R}} \left(265 + \frac{I}{\bar{R}} 667 \right) \right], \text{ кПа} \quad (4.2)$$

где \bar{R} - приведенное расстояние до центра взрыва, определяемое по зависимости

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{K_{эф} \cdot C_{ВВ}}} \quad \text{м/кг}^{1/3}. \quad (4.3)$$

$C_{ВВ}$ - масса заряда ВВ в кг;

$K_{эф}$ - коэффициент эффективности заряда ВВ по образованию ВУВ.

$$K_{эф} = K_{в} \cdot K_{пу} \cdot K_{г} \cdot K_{п} \cdot \alpha \quad (4.4)$$

где

$K_{в}$ - коэффициент вида взрыва, учитывает высоту расположения заряда ВВ относительно земли, равный 1 - для воздушных взрывов и 2 - для наземных взрывов;

$K_{пу}$ - коэффициент плотности укладки ВВ в заряде, учитывает плотность заряда, зернистость ВВ (для чешуированных ВВ), равный 1 при укладке ВВ в ящиках без пустот, - 0,9 при укладке в мешках;

$K_{г}$ - коэффициент плотности грунтов при наземных взрывах, учитывает затраты энергии на образование воронки и рыхление грунта. Принимается равным 0,9 - для скальных грунтов; 0,6 - для плотных глинистых грунтов (грунты 3-ей категории); 0,7 - для рыхлых грунтов;

$K_{п}$ - коэффициент поднятия заряда над уровнем грунта, учитывает уменьшение затраты энергии на образование воронки. При взрывах на железнодорожных и автомобильных платформах принимается равным 1,0;

α - коэффициент, учитывающий отношение теплоты взрывчатого превращения ВВ к теплоте взрывчатого превращения тротила.

Значения α приведены в табл.4.1.

4.1.3. Закон изменения избыточного давления во времени определяется по зависимости

$$\Delta P(t) = \Delta P_{ф} \left(1 - \frac{t}{\tau_{+}} \right)^n \quad (4.5)$$

где τ_{+} - длительность положительной фазы, определяемая по зави-

Таблица 4.1

значения α		для ряда ВВ	
Виды ВВ	α	Виды ВВ	α
Тротил	1	Тринитроанилин	0,961
Динитробензол	0,66	Изкрат аммония	0,792
Тринитробензол	1,066	Аммонийная селитра	0,396
Октоген	1,276	Аммотол 60/20	0,991
Тэн	1,376	Нитроксилин	1,03
Дымный порох	0,656	Гексоген	1,306
Тринитрохлорбензол	1	Оксиликвити (поглотители)	0,991

симости

$$\tau_+ = \bar{\tau}_+ \sqrt[3]{k_{\text{эф}} \cdot C} \quad , \quad \text{с} \quad (4.6)$$

здесь

$\bar{\tau}_+$ - приведенное время длительности положительной фазы ВУВ, определяемое по формуле

$$\bar{\tau}_+ = 1,5 \cdot 10^{-3} \sqrt{R} \quad \text{с/кг}^{1/3} \quad (4.7)$$

n - показатель спада избыточного давления, вычисляемый по зависимости

$$n = 1 + \left(\frac{\Delta P_{\text{ф}}}{P_0} \right)^\gamma \quad (4.8)$$

где γ - показатель степени, равный при $5 \leq \Delta P_{\text{ф}} \leq 1000$ кПа

$$\gamma = \begin{cases} 0,6 & \text{при } \Delta P_{\text{ф}} > P_0 \\ 0,4 & \text{при } \Delta P_{\text{ф}} \leq P_0 \end{cases} \quad (4.9)$$

здесь P_0 - атмосферное давление, равное 101,325 кПа.

4.1.4. При взрывах ВВ имеет место подобие явлений, которое выражается в следующем. При двух геометрически подобных взрывах различной энергии на одинаковых приведенных расстояниях от центра

взрыва равны

- значения избыточных давлений ΔP_{Φ} ;
- значения скоростных напоров q_{Φ} ;
- значения массовых скоростей u_{Φ} ;
- приведенные времена положительной фазы τ_{+} ;
- приведенные удельные импульсы положительной фазы \bar{I}_{+} , \bar{J}_{+} ;
- показатели спада избыточного давления n и скоростного напора m .

Это позволяет создавать универсальные таблицы значений параметров ВУВ, независимо от энергии их взрыва (см. табл. 4.2).

Приведенный удельный импульс положительной фазы избыточного давления определяется по зависимости

$$\bar{I}_{+} = \frac{\Delta P_{\Phi} \cdot \tau_{+}}{n+1} \quad \frac{\text{кПа} \cdot \text{с}}{\text{кг}^{1/3}} \quad (4.10)$$

Для перехода к натуральным значениям приведенных величин, последние следует умножить на $\sqrt[3]{K_{з\Phi} \cdot C}$.

4.1.5. Значение скоростного напора во фронте ВУВ вычисляется по формуле

$$q_{\Phi} = \frac{2,5 \Delta P_{\Phi}^2}{\Delta P_{\Phi} + 7 \cdot P_0} \quad \text{кПа} \quad (4.11)$$

4.1.6. Изменение скоростного напора во времени описывается приближенной зависимостью

$$q(t) = q_{\Phi} \left(1 - \frac{t}{\tau_{+}}\right)^m \quad \text{кПа} \quad (4.12)$$

где m - показатель спада скоростного напора, определяемый по эмпирическим зависимостям: при $\Delta P_{\Phi} \geq P_0$

$$m = 2,47 + 3 \cdot \left(\frac{\Delta P_{\Phi}}{P_0}\right)^{0,25} \quad (4.13)$$

Таблица 4.2

Параметры ВУВ конденсированных ВВ на различных
приведенных расстояниях

\bar{R}_K , м/кг ^{2/3}	ΔP_{Φ} , кПа	\bar{z}_+ , м/кг ^{1/3}	n	\bar{z}_+ , м/кг ^{1/3}	φ_{Φ} , кПа	m	\bar{J}_r , м/кг ^{1/3}	$\Delta P_{отр}^H$, кПа
1	1034	1,5	6,02	256	1534	-	-	5760
1,5	376	1,64	3,20	160	324	6,63	78,22	1536
2	193	2,12	2,47	117	103	5,99	32	636
2,5	119	2,37	2,10	90,9	42,9	5,57	15,63	342
3	82	2,59	1,92	72,7	21,4	4,696	9,396	216
3,5	61	2,80	1,61	60,6	12,15	4,279	6,443	151
4	47,9	3,00	1,74	52,4	7,57	3,898	4,636	114
4,5	38,9	3,18	1,68	46	5,06	3,640	3,467	90
5	32,5	3,35	1,63	41,3	3,57	3,458	2,682	74
5,5	27,6	3,52	1,59	37,7	2,63	3,326	2,140	62
6	24,3	3,67	1,56	34,7	2,00	3,228	1,736	53
6,5	21,5	3,82	1,54	32,4	1,57	3,150	1,445	46,7
7	19,2	3,97	1,51	30,3	1,26	3,087	1,223	41,4
7,5	17,3	4,11	1,49	28,5	1,03	3,036	1,049	37,1
8	15,8	4,24	1,46	27,0	0,86	2,994	0,913	33,6
8,5	14,5	4,37	1,46	25,7	0,72	2,959	0,796	30,7
9	13,4	4,50	1,44	24,6	0,62	2,929	0,710	28,2
9,5	12,4	4,62	1,43	23,5	0,53	2,902	0,627	26,1
10	11,6	4,74	1,42	22,7	0,46	2,861	0,562	24,3
10,5	10,8	4,86	1,41	21,8	0,41	2,860	0,516	22,7
11	10,2	4,97	1,40	21,1	0,36	2,844	0,466	21,3
11,5	9,6	5,09	1,39	20,4	0,32	2,828	0,425	20,0
12	9,1	5,19	1,38	19,8	0,29	2,815	0,3945	18,9

при $\Delta P_{\phi} < P_0$

$$M = 2,64 + 0,0227(\Delta P_{\phi} - 2,1)^{1,06} \quad (4.14)$$

4.1.7. приведенный импульс скоростного напора определяется по формуле

$$\bar{J}_+ = \frac{q_{\psi} \cdot \bar{v}}{m + 1} \quad \frac{\text{кПа} \cdot \text{с}}{\text{кг}^{1/3}} \quad (4.15)$$

4.1.8. При нормальном отражении от плоской преграды, возникающее отраженное давление определяется по зависимости

$$\Delta P_{\text{отр}}^H = 2 \Delta P_{\phi} + 2,4 \cdot q_{\psi} \quad (4.16)$$

4.1.9. При косом отражении от плоской преграды, при угле встречи фронта волны с плоскостью препятствия, большем критического угла встречи $\omega_{\text{кр}} \approx 50^\circ$, возникает головная волна, избыточное давление в которой зависит от давления в падающей волне и угла встречи ω . Угол встречи $\omega = \alpha - \varphi$, где φ - угол падения волны на преграду (см. рис. 4.1)

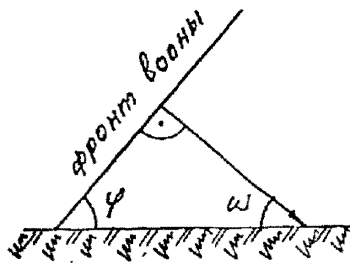


Рис. 4.1

Угол встречи ω_{max} , при котором возникает максимальное отражение при заданном давлении в пределах от 10 до 100 кПа на фронте волны, определяется по формуле

$$\omega_{\text{max}} = 17,44 \left(\frac{\Delta P_{\phi} - 10}{60} \right)^{0,433} + 28, \text{ градусы.} \quad (4.17)$$

Максимальное значение коэффициента отражения при ω_{max} определяется по зависимости

$$K_{отр}^{max} = 0,207 \left(\frac{\Delta P_{\phi} - 10}{60} \right)^{1,576} + 2,93. \quad (4.18)$$

Величины коэффициентов отражения в зависимости от углов встречи ω определяются по формулам

если $\omega \leq \omega_{max}$, то

$$K_{отр} = (K_{отр}^{max} - 1) \left(\frac{\omega}{\omega_{max}} \right)^{1,7} + 1, \quad (4.19)$$

если $\omega > \omega_{max}$, то

$$K_{отр} = (K_{отр}^{max} - K_{отр}^H) \left(\frac{\omega - \omega_{max}}{\omega - \omega_{max}} \right)^{6,5} + K_{отр}^H, \quad (4.20)$$

где $K_{отр}^H$ - коэффициент нормального отражения, определяемый по зависимости

$$K_{отр}^H = 2 + 6 \cdot \Delta P_{\phi} / (\Delta P_{\phi} + 709). \quad (4.21)$$

4.2. Соотношения между параметрами на фронте $\Delta \omega$ и за ее фронтом

4.2.1. Параметры $\Delta \omega$ на ее фронте связаны между собой соотношениями адиабаты Гамгоно, а за фронтом волны - соотношениями адиабаты Луассона. Это позволяет по известным значениям одних параметров находить другие, что важно при решении многих прикладных технических задач.

Наиболее часто встречается задача определения по известному значению ΔP_{ϕ} остальных четырех основных параметров D_{ϕ} , U_{ϕ} , ρ_{ϕ} , T_{ϕ} и иногда, α_{ϕ} .

4.2.2. Скорость распространения фронта $\Delta \omega$ - D_{ϕ}

$$D_{\phi} = a_0 \sqrt{1 + \frac{6}{7} \frac{\Delta P_{\phi}}{P_0}} \quad \text{м/с}, \quad (4.22)$$

где P_0 - атмосферное давление, равное согласно международной стандартной атмосфере (МСА) 101,325 кПа;

a_0 - 340 м/с - скорость звука при $T_0 = 288,15$ К.

4.2.3. Скорость потока частиц на фронте ВУВ, u_{ϕ}

$$u_{\phi} = \frac{\Delta P_{\phi} \cdot 10^3}{\rho_0 \cdot D_{\phi}} \quad \text{м/с}, \quad (4.23)$$

где ρ_0 - плотность воздуха стандартной атмосферы, равная $1,225 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ при $T_0 = 288,15$ К.

4.2.4. Плотность воздуха на фронте ВУВ

$$\rho_{\phi} = \rho_0 / (1 - u_{\phi} / D_{\phi}) \quad \text{кг/м}^3. \quad (4.24)$$

4.2.5. Температура воздуха на фронте ВУВ

$$T_{\phi} = \frac{P_{\phi} \cdot 10^3}{\rho_{\phi} \cdot R_B} \quad \text{К}, \quad (4.25)$$

где $P_{\phi} = \Delta P_{\phi} + P_0$ - полное давление (кПа) на фронте волны;

R_B - газовая постоянная для воздуха, равная 287 Дж/(кг·К).

4.2.6. Скорость звука на фронте ВУВ,

$$a_{\phi} = \sqrt{K \cdot P_B \cdot T_{\phi}} = \sqrt{K \frac{P_{\phi} \cdot 10^3}{\rho_{\phi}}} \quad \text{м/с}. \quad (4.26)$$

где K - показатель адиабаты для воздуха, равный 1,4 при

$T = 288,15^{\circ}\text{К}$; (см. табл. 6.1)

4.2.7. Параметры в ВУВ за фронтом определяются при помощи зависимостей изменения избыточного давления (4.5) и скоростного напора (4.12) во времени на заданном расстоянии R .

Плотность воздуха за фронтом ВУВ, $\rho(t)$

$$\rho(t) = \rho_0 \left(\frac{P(t)}{P_0} \right)^{1/\kappa} \quad \text{кг/м}^3 \quad (4.27)$$

4.2.8. Скорость потока воздуха за фронтом ВУВ, $u(t)$

$$u(t) = \sqrt{\frac{2 \cdot q(t) \cdot 10^3}{\rho(t)}} \quad \text{м/с.} \quad (4.28)$$

4.2.9. Скорость звука за фронтом ВУВ, $a(t)$

$$a(t) = \sqrt{\kappa \frac{P(t) \cdot 10^3}{\rho(t)}} \quad \text{м/с.} \quad (4.29)$$

величина $a(t)$ - используется при расчете обтекания сооружений. $\kappa = 1,4$.

В табл. 4.3 приведены значения параметров на фронте ВУВ. Эти данные справедливы для ударных волн любого происхождения (взрывы ВВ, детонация ГПС).

4.2.10. Параметры ВУВ в фазе разрежения определяются по формулам:

- максимальное значение давления разрежения, отсчитываемое от значения атмосферного давления

$$\Delta p_-^m = -32,18 / \bar{R}, \quad \text{кПа} \quad (4.30)$$

- длительность фазы разрежения

$$\tau_- = 0,013 \sqrt{M_{ВВ}}, \quad \text{с} \quad (4.31)$$

- закон изменения давления разрежения во времени

$$\Delta p_-(t) = 13,9 \Delta p_-^m \cdot \frac{t}{\tau_-} \left(1 - \frac{t}{\tau_-} \right) e^{-4 \frac{t}{\tau_-}}, \quad \text{кПа} \quad (4.32)$$

где t - отсчитывается от конца положительной фазы, с.

Значения параметров на фронте воздушной ударной волны

Таблица 4.3

$\Delta P_{\text{ст}}$ кПа	D м/с	$M_{\text{ст}}$ м/с	$\rho_{\text{ст}}$ кг/м ³	$q_{\text{ст}}$ м/с	$Z_{\text{ст}}$ кПа	$T_{\text{ст}}$ К	$K_{\text{стр}}$	$\bar{R}_{\text{ст}}$ м/кг ^{1/2}
10	354	23,0	1,31	345	0,347	236	2,08	11,16
12	357	27,4	1,33	346	0,499	237	2,10	9,74
14	369	32,0	1,34	347	0,677	239	2,11	8,71
16	362	36,1	1,36	347	0,882	301	2,13	7,92
18	364	40,2	1,38	348	1,114	302	2,15	7,31
20	368	44,4	1,39	349	1,371	303	2,16	6,81
22	370	48,5	1,41	350	1,654	304	2,16	6,39
24	373	52,5	1,43	351	1,964	306	2,19	6,04
26	375	56,5	1,44	352	2,30	308	2,21	5,74
28	378	60,4	1,46	352	2,668	309	2,23	5,48
30	381	64,3	1,47	353	3,043	310	2,24	5,26
35	387	73,8	1,51	355	4,114	314	2,26	4,79
40	393	83,0	1,55	357	5,34	317	2,32	4,43
45	399	91,9	1,59	359	6,71	320	2,36	4,14
50	406	100	1,63	361	8,23	323	2,39	3,90
60	417	117	1,70	364	11,7	330	2,47	3,54
70	429	133	1,78	367	16,7	336	2,54	3,26
80	440	148	1,86	371	20,3	342	2,61	3,04
90	451	163	1,92	374	25,3	347,8	2,66	2,87
100	462	177	1,98	377	30,9	354	2,74	2,72
200	556	299	2,58	406	110	407	3,32	1,96
300	639	363	3,06	429	223	458	3,73	1,66
400	712	459	3,44	451	361	507	4,16	1,46
500	778	525	3,77	472	517	556	4,48	1,33
600	838	584	4,06	493	687	604	4,75	1,24
700	894	639	4,28	512	889	651	4,98	1,16
800	946	689	4,43	530	1060	699	5,18	1,106
900	998	736	4,67	547	1258	747	5,36	1,066
1000	1046	781	4,83	565	1463	797	5,51	1,013

6. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ И ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ДЕТАНАЦИОННЫХ ВЗРЫВОВ ГАЗО- И ПАРОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ (ГПЭС)

6.1. Условия возникновения детонационных взрывов ГПЭС.

Исходные данные для выполнения расчетов.

6.1.1. Детонация - это взрывное горение горючей смеси, при котором пламя распространяется с постоянной для данной горючей смесью сверхзвуковой скоростью (1600-3000 м/с). Детонация может возникнуть при концентрации горючего в горючей смеси между нижним и верхним пределами детонации (НКПД и ВКПД). При расчетах следует брать стехиометрическую концентрацию согласно табл.6.1.

ГПЭС в открытом пространстве может детонировать:

- при возбуждении детонации взрывом специального заряда ВВ, имеющего массу не ниже критической массы, различной для каждого вида ГПЭС;
- при возбуждении мощным электрическим разрядом (молнией, вольтовой дугой);
- при возбуждении воздействием мощного лазерного луча на мишень, расположенную в среде ГПЭС;
- при возбуждении детонационной волной, возникшей в различных каналах, емкостях и т.п., вплотную контактирующих с облаком ГПЭС.

6.1.2. Исходные данные для выполнения расчетов должны включать: массу горючей компоненты M в горючей смеси; долю детонирующей части горючей смеси Z ; удельную энергию взрыва q_m ; стехиометрическую концентрацию горючего в смеси $C_{стх}$, г/м³; расстояние до центра взрыва R , м. Указанные исходные данные подготавливаются путем разработки сценария аварии и использования табл.6.1.

Физико-химические свойства горючих газов и

№ п/п	Горючая компонента взрывоопасной смеси	Молеку- лярная масса горючей компоненты M	Плотность горючей стехиометри- ческой смеси ρ кг/м ³	Концентра- горючего стехиомет смес	
				массовая $C_{\text{см}}$ г/м ³	
1	2	3	4	5	
1	Водород	H ₂	2,016	0,884	25,22
2	Метан	CH ₄	16,042	1,169	64,49
3	Этан	C ₂ H ₆	30,036	1,223	72,00
4	Пропан	C ₃ H ₈	44,094	1,246	75,19
5	Бутан	C ₄ H ₁₀	58,12	1,259	76,96
6	Ацетилен	C ₂ H ₂	26,036	1,211	85,36
7	Этилен	C ₂ H ₄	28,052	1,218	77,64
8	Пропилен	C ₃ H ₆	42,078	1,245	79,37
9	Бутилен	C ₄ H ₈	56,104	1,259	80,27
10	Бензол	C ₆ H ₆	78,108	1,277	90,01
11	Толуол	C ₇ H ₈	92,134	1,281	88,88
12	Циклогексанон	C ₆ H ₁₀ O	98,140	1,295	106,21
13	Метанол	CH ₄ O	32,042	1,237	166,46
14	Этанол	C ₂ H ₆ O	46,062	1,266	127,51
15	Ацетон	C ₃ H ₆ O	58,078	1,282	122,56
16	Стирол	C ₈ H ₈	104,144	1,285	90,60
17	Окись углерода	CO	28,01	1,209	350,47
18	Диэтилов.эфир	C ₄ H ₁₀ O	74,12	1,265	106,05
19	Дихлорэтан	C ₂ H ₄ Cl ₂	63,505	1,402	313,80
20	n-Пентан	C ₅ H ₁₂	72,146	1,267	78,08

Таблица 5.1

в при $t = 15^{\circ}\text{C}$ ($T = 288,15 \text{ K}$)

Свойской	Удельная энергия взрыва стехиометрической смеси (Q_V)		НП воспламенения	ВКП воспламенения	НП детонации	Температура взрыва стехиом. смеси T_V , К	Показатель адиабаты в продуктах взрыва K_g (C_p/C_v)
	массовая	объемная					
	об. % об. %	q_m кДж/кг	q_v кДж/м ³	об. % C_N^*	об. % C_A^*	об. % $C_{D,0}^*$	К
6	7	8	9	10	11	12	13
29,59	3420	3025	4	75	15	2955	1,250
9,506	2744	3207	5	15		2745	1,258
5,66	2798	3422	2,9	15	2,97	2830	1,257
4,03	2797	3485	2,1	9,5	2,57	2845	1,256
3,13	2797	3521	1,8	9,1	1,98	2845	1,262
7,75	3400	4117	2,5	81	9,7	3415	1,258
6,54	3005	3560	3,0	32,0	3,32	3030	1,258
4,46	2888	3596	2,2	10,4	3,35	2970	1,258
3,38	2887	3635	1,6	9,4		2970	1,257
2,84	2782	3553	1,4	7,1		2950	1,260
2,23	2654	3657	1,3	6,7		2970	1,260
2,28	2793	3618	1,2	10,6		2875	1,258
12,30	3232	3997	6,0	34,7		2800	1,249
6,54	2768	3535	3,6	19,0		2785	1,254
4,99	2888	3702	2,2	13,0		2840	1,256
2,058	2891	3715	1,06	5,2		3015	1,259
29,59	2932	3547	12,5	74,0		3085	1,259
3,38	2827	3633	1,7	49,0		2910	1,258
6,54	2449	3433	3,6	33,0		2785	1,262
2,559	2794	3540	1,47	7,8		2860	1,258

5.2. Определение параметров детонационной волны

5.2.1. Радиус прдетонировавшего облака K_g при наземном взрыве в I-ой фазе развития огненного шара

$$K_g = 0,782 \sqrt[3]{\frac{M \cdot Z}{C_{cm}^m}}, \text{ м} \quad (5.1)$$

Во 2-ой фазе развития огненного шара, прдетонировавшие продукты взрыва расширяются и радиус огненного шара увеличивается в 1,8... .. 2,1 раза в зависимости от концентрации и вида горючего.

5.2.2. Фронт детонационной волны распространяется со скоростью D_g , равной

$$D_g = \sqrt{2000(K_g^2 - 1) q_m}, \text{ м/с} \quad (5.2)$$

где K_g - показатель адиабаты в продуктах взрыва, определяемый по табл.5.1 или по таблицам термодинамических свойств газов, а также при ориентировочных расчетах по зависимости

$$K_g = \frac{1,3}{1,85 \cdot 10^{-5} (q_m - 1200) + 1} \quad (5.3)$$

q_m - удельная энергия взрыва стехиометрической смеси кДж/кг, определяемая по табл.5.1.

5.2.3. Избыточное давление на фронте детонационной волны ΔP_g

$$\Delta P_g = \frac{\rho_{cm} \cdot D_g^2}{K_g + 1} \cdot 10^{-3} \text{ кПа}, \quad (5.4)$$

где ρ_{cm} - плотность ГИЭС до взрыва, кг/м³, определяемая по табл.5.1.

5.2.4. Скоростной напор на фронте детонационной волны

$$q_g = \frac{\rho_{cm} \cdot D_g^2}{K_g \cdot (K_g + 1)} \cdot 10^{-3}, \text{ кПа}. \quad (5.5)$$

б.2.б. Скорость движения продуктов детонации на фронте детонационной волны

$$u_g = \frac{D_g}{K_g + 1} \quad \text{м/с.} \quad (5.6)$$

б.3. Параметры воздушной ударной волны, генерированной детонационным взрывом, на различных расстояниях от центра взрыва

б.3.1. Полная энергия, выделившаяся при детонационном взрыве ГПСС E

$$E = \frac{M \cdot Z \cdot q_v}{C_m} \quad , \text{ кДж} \quad (5.7)$$

где q_v - определяется по данным табл.б.1.

б.3.2. Энергия взрыва, затраченная на образование воздушной ударной волны $E_{ув}$

$$E_{ув} = E \cdot \eta \quad (5.8)$$

где η - коэффициент перехода энергии взрыва в ВУВ, принимаемый равным 0,4.

б.3.3. Приведенное расстояние до центра наземного взрыва \bar{R}

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{2E_{ув}}} \quad , \text{ м/кДж}^{1/3} \quad (5.9)$$

где R - расстояние до центра взрыва, м.

б.3.4. Значения избыточного давления ΔP_{Φ} на фронте ВУВ детонационного взрыва в зависимости от приведенных расстояний вычисляются по следующим формулам

а) в области $0,068 \leq \bar{R} \leq 0,31 \text{ м/кДж}^{1/3}$

$$\Delta P_{\Phi} = \frac{4,166}{\bar{R}^{1,7}} \quad \text{кПа} ; \quad (5.10)$$

б) в области $\bar{R} > 0,31 \text{ м/кДж}^{1/3}$

$$\Delta P_{\bar{\phi}} = \frac{4,96}{R} + \frac{0,974}{R^2} + \frac{0,146}{R^3} \quad \text{кПа} \quad (5.11)$$

или в более удобной для вычислений форме

$$\Delta P_{\bar{\phi}} = \frac{1}{R} \left[4,96 + \frac{1}{R} \left(0,974 + \frac{0,146}{R} \right) \right] \quad \text{кПа.} \quad (5.12)$$

5.3.5. Длительность действия положительной фазы избыточного давления определяется по зависимости

$$\tau_+ = \bar{\tau}_+^3 \sqrt{2 \cdot k_{ув}} \cdot 10^{-3}, \text{ с} \quad (5.13)$$

где $\bar{\tau}_+$ - приведенное время действия фазы сжатия, определяется по формулам:

а) в области $0,068 \leq \bar{R} \leq 0,434 \text{ м/кДж}^{1/3}$

$$\bar{\tau}_+ = 0,323 \cdot \sqrt{\bar{R}} \quad \text{мс/кДж}^{1/3} \quad (5.14)$$

б) в области $\bar{R} > 0,434 \text{ м/кДж}^{1/3}$

$$\bar{\tau}_+ = 0,323 \sqrt{\bar{R}} \cdot \left(1 - \frac{\bar{R} - 0,434}{6,2} \right)^{3/5} \quad \text{мс/кДж}^{1/3} \quad (5.15)$$

5.3.6. Удельный импульс фазы сжатия ВУВ \bar{i}_+ определяется по формуле

$$\bar{i}_+ = \bar{\tau}_+^3 \sqrt{2 k_{ув}} \quad \text{шг} \cdot \text{с}, \quad (5.16)$$

где $\bar{\tau}_+$ - приведенный удельный импульс, определяемый по формуле

$$\bar{\tau}_+ = \frac{0,694}{R} \quad \text{шг} \cdot \text{с/кДж}^{1/3} \quad (5.17)$$

5.3.7. Изменение избыточного давления во времени определяется по формуле

$$\Delta P(t) = \Delta P_{\Phi} \left(1 - \frac{t}{\tau_+}\right)^n \quad \text{кПа,} \quad (5.18)$$

где

n - показатель спада давления, вычисляемый по зависимости

$$n = \frac{\Delta P_{\Phi} \bar{v}_+}{\bar{L}_+} - 1. \quad (5.19)$$

Значения ΔP_{Φ} , \bar{v}_+ , n , \bar{L}_+ в зависимости от приведенных расстояний R приведены в табл.5.2.

5.3.8. Значение скоростного напора на фронте ВУВ определяется по зависимости

$$q_{\Phi} = \frac{2,5 \cdot \Delta P_{\Phi}^2}{\Delta P_{\Phi} + 7P_0} = \frac{2,5 \Delta P_{\Phi}^2}{\Delta P_{\Phi} + 709} \quad \text{кПа} \quad (5.20)$$

5.3.9. Изменение значений скоростного напора во времени определяется по формуле

$$q(t) = q_{\Phi} \left(1 - \frac{t}{\tau_+}\right)^m \quad (5.21)$$

где m - показатель спада скоростного напора, определяемый по формулам:

а) при $\Delta P_{\Phi} < P_0$

$$m = 2,64 + 0,0227 (\Delta P_{\Phi} - 2,1)^{1,05} \quad (5.22)$$

б) при $\Delta P_{\Phi} \geq P_0$

$$m = 2,47 + 3 \left(\frac{\Delta P_{\Phi}}{P_0}\right)^{0,25} \quad (5.23)$$

Таблица 6.2

Параметры ВУВ детонационного взрыва на
различных приведенных расстояниях

\bar{R}_r , м/кДж ^{1/3}	ΔP_{Φ} , кПа	\bar{z}_+ , мс/кДж ^{1/3}	n	\bar{z}_+ , Па·с/кДж ^{1/3}	q_{Φ} , кПа	m	\bar{J}_+ , Па·с/кДж ^{1/3}	$\Delta P_{отр}^H$, кПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,068	406	0,084	2,35	10,206	369	6,54	4,108	1699
0,072	364	0,087	2,274	9,639	308	6,43	3,606	1469
0,076	332	0,089	2,239	9,132	265	6,34	3,215	1299
0,080	304	0,091	2,206	8,675	229	6,25	2,875	1157
0,084	280	0,094	2,174	8,262	198	6,17	2,596	1036
0,088	259	0,096	2,145	7,886	173	6,10	2,341	933
0,092	240	0,098	2,117	7,544	152	6,02	2,121	844
0,096	223	0,100	2,091	7,229	134	5,95	1,927	767
0,100	208	0,102	2,066	6,940	118	5,90	1,747	700
0,150	104,5	0,125	1,627	4,627	33,5	5,32	0,654	289,7
0,200	64,1	0,144	1,669	3,470	13,5	4,370	0,362	160
0,250	43,9	0,161	1,552	2,776	6,39	3,783	0,215	103,1
0,300	32,2	0,177	1,461	2,313	3,49	3,450	1,388	72,7
0,35	25,5	0,191	1,460	1,983	2,21	3,262	0,099	56,4
0,40	20,6	0,204	1,445	1,735	1,45	3,126	0,072	45,1
0,45	17,4	0,216	1,440	1,542	1,04	3,038	0,055	37,4
0,50	15,0	0,225	1,426	1,388	0,77	2,972	0,0436	31,8
0,60	11,6	0,240	1,419	1,157	0,47	2,881	0,029	24,4
0,70	9,5	0,253	1,424	0,991	0,31	2,825	0,0205	19,8
0,80	8,0	0,264	1,434	0,868	0,22	2,786	0,0153	16,6
0,90	6,9	0,273	1,444	0,771	0,17	2,755	0,0123	14,2
1,00	6,1	0,280	1,451	0,694	0,13	2,737	0,0097	12,5
1,20	4,9	0,290	1,457	0,579	0,084	2,706	0,0065	10,0
1,40	4,1	0,296	1,448	0,495	0,06	2,60	0,0048	8,3
1,60	3,5	0,299	1,423	0,434	0,04	2,672	0,0032	7,1
1,80	3,1	0,298	1,384	0,386	0,03	2,65	0,0024	6,2
2,00	2,7	0,295	1,332	0,347	0,02	2,65	0,0016	5,5
2,50	2,1	0,278	1,153	0,278	0,02	2,64	0,0015	4,3

5.3.10. Удельный импульс скоростного напора j_+ определяется по формуле

$$j_+ = \bar{j}_+ \sqrt[3]{2E_{ув}} \quad \text{Па} \cdot \text{с} \quad (5.24)$$

где \bar{j}_+ - приведенный удельный импульс скоростного напора, равный

$$\bar{j}_+ = \frac{q_{\psi} \bar{v}_+}{m+1} \quad \text{ца} \cdot \text{с} / \text{кг} \cdot \text{м}^3 \quad (5.25)$$

Значения q_{ψ} , m , \bar{j}_+ в зависимости от приведенных расстояний приведены в табл.5.2.

Значения величин, приведенные в табл.5.2, при одинаковых приведенных расстояниях \bar{R} , не зависят от энергии взрыва, что является следствием закона подобия при взрывах.

6. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УДАРНЫХ ВОЛН ПРИ ВЗРЫВАХ ЗАГАЗОВАННЫХ ЕМКОСТЕЙ И СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

6.1. Исходные данные для выполнения расчетов

6.1.1. Взрывы сосудов, работающих под давлением, и загазованных емкостей возможны при воздействии пожара. При этом возможны следующие случаи.

1. Взрывы герметично закрытых сосудов:

- содержащих негорючие газы при нормальном атмосферном давлении, плотности и температуре;
- содержащих негорючие газы под давлением;
- содержащих горючие газовые смеси при нормальных условиях;
- содержащих горючие жидкости при нормальных условиях.

2. Взрывы сосудов с открытыми люками:

- содержащих горючие газовые смеси при нормальных условиях;
- содержащих горючие газы и горючие жидкости.

6.1.2. При решении задач о взрывах загазованных емкостей, следует соблюдать следующий порядок:

- определить давление при котором происходит разрушение стенок сосудов (емкостей);
- в общем случае, если нет готовых зависимостей для определения начальных давлений в ударной волне после разрыва сосуда на ее границе, подготовить исходные данные для решения задачи о распаде произвольного разрыва;
- решить задачу о распаде произвольного разрыва и определить начальные параметры ВУВ на границе сосуда (емкости);
- определить параметры воздушной ударной волны на заданных расстояниях.

6.1.3. Определение величин давлений, при которых разрушается стенка сосудов, может быть выполнено либо на основании технических условий на изготовление сосудов и клеймение, которые устанавливает значения рабочего и пробного давлений, либо расчетным путем.

6.1. 4. Величина давления, разрушающего сосуд при нормальной температуре, принимается равной 1,2 пробного давления. Величина пробного давления для баллонов, кроме баллонов для азотилама, составляет 1,5 рабочего давления. Значения пробных давлений приведены в справочнике (П.А.Долгин. Справочник по технике безопасности, 1982, М).

При воздействии пожара на баллоны, емкости и другие сосуды, работающие под давлением, временное сопротивление стали при расчетах на разрыв следует уменьшать в 3 раза.

Максимальное избыточное давление ΔP_3 , которое может развиться при пожаре внутри емкости к моменту разрыва, может быть вычислено для тонкостенных сферических и цилиндрических емкостей по безмоментной теории по формуле

$$\Delta P_3 = \frac{2 \cdot \sigma_u \cdot \delta^2}{3 \cdot r} \quad \text{кПа}, \quad (6.0)$$

где σ_u - временное сопротивление разрыву стали при нормальной температуре, кПа;

δ - толщина стенок, м;

r - радиус сосуда, м.

6.1.6. После определения давления разрушения ΔP_3 , остальные данные, необходимые для решения задачи о распаде произвольного разрыва определяются по следующим формулам.

Плотность газа в герметическом сосуде в момент ее разрушения остается постоянной, равной норме заполнения

$$\rho_3 = \text{const} \quad (6.1)$$

Температура газа в баллоне в момент ее разрушения определяется по закону Шарля

$$T_3 = T_H \frac{P_3}{P_H} \quad \text{К} \quad (6.2)$$

Показатель адиабаты K_3 в момент разрушения определяется по табл.6.1 по известной температуре T_3 :

Скорость звука в газе, заполняющем сосуд, в момент разрушения определяется по формуле

$$a_3 = \sqrt{K_3 R_T T_3} \quad \text{м/с} \quad (6.3)$$

R_T - удельная газовая постоянная, определяемая по зависимости $R_T = 8314/\mu$, где μ - молекулярная масса газа (табл.5.1).

6.2. Определение начальных параметров ВУВ на границе с взорвавшейся емкостью

6.2.1. Начальные параметры ВУВ определяются по зависимости, полученной решением задачи о распаде произвольного разрыва,

$$\frac{P_3}{P_0} = \frac{2K \cdot K_3^2 - (K-1)}{K+1} \left[1 - \frac{K_3 - 1}{K+1} \frac{a_0}{a_3} \left(M_I - \frac{1}{M_I} \right) \right]^{-\frac{2K_3}{K_3-1}} \quad (6.4)$$

где P_3 - полное давление разрушения сосуда, равное $(\Delta P_3 + P_0)$ кПа;

Таблица 6.1

Значения показателя адиабаты K , для ряда газов при различных температурах

t °C	T , °K	Газы				
		воздух	азот	кислород	водород	ацетилен
0	273,15	1,401	1,400	1,398	1,410	1,248
100	373,15	1,397	1,398	1,388	1,400	1,206
200	473,15	1,389	1,393	1,383	1,397	1,186
300	573,15	1,379	1,384	1,374	1,388	1,173
400	673,15	1,368	1,374	1,340	1,386	1,163
500	773,15	1,367	1,362	1,329	1,391	1,155
600	873,15	1,347	1,352	1,321	1,387	1,149
700	973,15	1,338	1,343	1,314	1,381	1,144
800	1073,15	1,331	1,335	1,309	1,375	1,139
900	1173,15	1,325	1,328	1,305	1,368	1,136
1000	1273,15	1,320	1,323	1,301	1,362	1,132
1100	1373,15	1,315	1,318	1,298	1,355	1,130
1200	1473,15	1,312	1,314	1,296	1,349	1,127
1300	1573,15	1,308	1,311	1,293	1,343	-
1400	1673,15	1,306	1,308	1,290	1,337	-
1500	1773,15	1,303	1,306	1,288	1,331	-
1600	1873,15	1,301	1,304	1,285	1,327	-
1700	1973,15	1,298	1,302	1,283	1,322	-
1800	2073,15	1,297	1,300	1,281	1,318	-
1900	2173,15	1,296	1,299	1,279	1,314	-
2000	2273,15	1,293	1,297	1,276	1,311	-
2100	2373,15	1,292	1,296	1,274	1,308	-
2200	2473,15	1,291	1,294	1,272	1,305	-
2300	2573,15	1,289	1,293	1,270	1,302	-
2400	2673,15	1,288	1,292	1,268	1,299	-
2500	2773,15	1,287	1,292	1,267	1,297	-
2600	2873,15	-	-	1,266	1,296	-
2700	2973,15	-	-	1,263	1,293	-

M_I - D/c_0 - отношение скорости фронта ВУВ к скорости звука в невозмущенной атмосфере;

k - показатель адиабаты воздуха в невозмущенной атмосфере, равный 1,4;

c_0 - скорость звука в атмосфере, 340 м/с;

k_3 - показатель адиабаты газа в сосуде.

Вычисление значений M_I , соответствующих заданному отношению P_Φ/P_0 , производится графически, либо по специальной программе, определяющей значение M_I методом итераций.

6.2.2. После определения M_I необходимые начальные параметры ВУВ на ее фронте определяются по формулам:

Скорость фронта ВУВ

$$D'' = c_0 \cdot M_I, \text{ м/с.} \quad (6.5)$$

Избыточное давление на фронте ВУВ ΔP_Φ

$$\Delta P_\Phi^* = P_0 \frac{2k}{k+1} (M_I^2 - 1), \text{ кПа} \quad (6.6)$$

Скорость частиц на фронте ВУВ u_Φ ,

$$u_\Phi'' = \frac{\Delta P_\Phi^* \cdot 1000}{\rho_0 \cdot D}, \text{ м/с} \quad (6.7)$$

Плотность частиц на фронте ВУВ, ρ_Φ

$$\rho_\Phi'' = \rho_0 / (1 - u_\Phi''/D) \quad \text{кг/м}^3. \quad (6.8)$$

Скоростной напор на фронте ВУВ q_Φ

$$q_\Phi'' = \frac{\rho_\Phi u_\Phi^2 \cdot 10^3}{2} = \frac{2,5 \cdot \Delta P_\Phi^*}{\Delta P_\Phi^* \cdot 1000}, \text{ кПа.} \quad (6.9)$$

6.2.3. В тех случаях, когда до нагревания пожаром герметично закрытых сосудов, давление, плотность и температура воздуха в них

были равны атмосферному (пустые незагазованные емкости, бочки, баллоны и т.п.), начальное избыточное давление на границе сосуда после разрыва сосуда определяется по формуле

$$\Delta P_{\Phi}^H \approx 0,484 \cdot \Delta P_3, \text{ кПа}, \quad (6.10)$$

где $\Delta P_3 < 300$ кПа (давление разрушения сосуда).

6.3. Параметры ВУВ на различных расстояниях при взрыве герметичных сосудов, работающих под давлением

6.3.1. При взрывах герметичных сосудов, содержащих негорючие (невоспламеняющиеся) газы, находящиеся под высоким давлением, величины избыточных давлений и скоростных напоров на различных расстояниях от центра взрыва определяются в следующей последовательности.

1) Определяют потенциальную энергию сжатых газов E внутри сосуда в момент взрыва по формуле

$$E = \frac{P_3 \cdot V_3}{K_3 - 1}, \text{ кДж} \quad (6.11)$$

где $P_3 = \Delta P_3 + P_0$. (6.12)

2) Объем емкости приводится к полусферической форме и рассчитывается радиус полученной полусферы по формуле

$$R_{II} = 0,782 \sqrt[3]{V_3} \quad \text{м}, \quad (6.13)$$

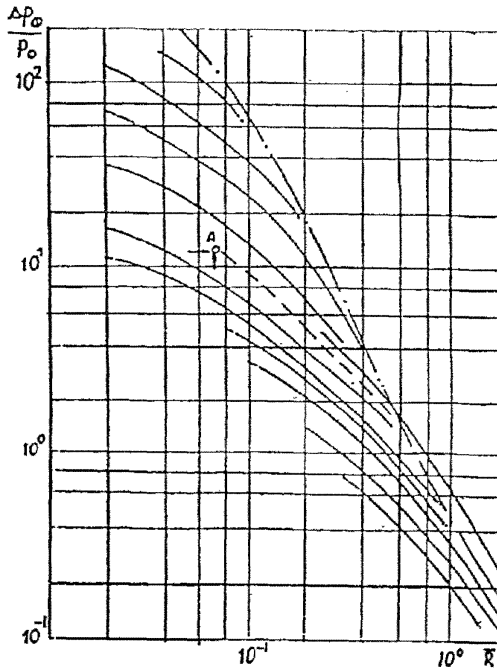
где V_3 - объем сосуда, м³

3) Находят значение приведенного радиуса сосуда в момент разрушения

$$\bar{R}_{II} = R_{II} / \sqrt[3]{2E / P_0} \quad (\text{б/р}). \quad (6.14)$$

4) Далее используется график на рис.6.1, на котором наносят точку с координатами \bar{R}_{II} и $\Delta P_{\Phi}^H / P_0$, где ΔP_{Φ}^H - начальное давление

Зависимость $\frac{\Delta P}{P_0}$ от $\bar{R} = \sqrt[3]{\frac{R}{2E/P_0}}$




- спад давления в ВУЗ при разрыве сосуда
- · - · - спад давления в ВУЗ при взрыве ВВ
-  — ключ для пользования графиком

Рис. 6.1

на фронте ΔP на границе сосуда, начиная с этой точки проводят кривую, сообразуясь с ходом соседних кривых, т.е. проводят линии "параллельную" соседним кривым.

б) Определяют приведенное расстояние до интересующей точки местности по формуле

$$\bar{R} = R / \sqrt[3]{2E / P_0} \quad (\text{б/р}). \quad (6.15)$$

б) по графику на рис.6.1 на построенной кривой по значению \bar{R} определяют значение $\Delta P_{\phi} / P_0$. Умножив эту величину на P_0 находят значение ΔP_{ϕ} в интересующей точке. Остальные параметры ВВ находят, пользуясь формулами (6.5) ... (6.9), учитывая, что скорость фронта D определяется по формуле

$$D = 340 \sqrt{1 + 8,46 \cdot 10^{-3} \Delta P_{\phi}} \quad , \text{ м/с} \quad (6.16)$$

6.3.2. При взрывах герметичных сосудов, содержащих горючие (воспламеняющиеся) газы, величины избыточных давлений и других параметров на фронте ΔP определяются в следующей последовательности.

1) приводят к полусферической форме объем сосуда и определяют радиус полусферы по формуле

$$R_{II} = 0,782 \sqrt[3]{V_3} \quad , \text{ м} \quad (6.17)$$

2) Определяют приведенное расстояние до интересующего пункта местности

$$R^c = R / R_{II}. \quad (6.18)$$

За центр взрыва принимается геометрический центр емкости.

3) при начальных избыточных давлениях на фронте волны на границе сосуда менее 100 кПа, избыточные давления на различных расстояниях в области $1 < R^c \lesssim 100$ определяют по формуле

$$\Delta P_{\Phi}(K^0) = \frac{\Delta P_{\Phi}^H}{K^0} \quad \text{кПа} \quad (6.19)$$

4) При значениях давлений $100 < \Delta P_{\Phi}^H \leq 600$ кПа на границе сосуда, давления на различных расстояниях определяют по зависимости

$$\Delta P_{\Phi}(K^0) = \frac{\Delta P_{\Phi}^H}{(K^0)^m} \quad \text{кПа} \quad (6.20)$$

где

$$m = 1 + \left(\frac{\Delta P_{\Phi}^H - 100}{3880} \right)^{0,553} \quad (6.21)$$

5) Остальные параметры ВУВ находят по формулам (6.5...6.9), учитывая, что скорость фронта ВУВ D определяется по формуле

$$D = 340 \sqrt{1,8,46 \cdot 10^{-3} \Delta P_{\Phi}^H} \quad \text{м/с} \quad (6.22)$$

6.3.3. При взрывах герметичных сосудов, содержащих частично горючие жидкости расчеты выполняются так же как и в п.6.3.2, при этом из общего объема вычитается объем, занятый горючей жидкостью.

После разрыва емкости, необходимо провести расчет параметров ВУВ, образующейся в результате выброса горючей жидкости и вторичного дефлаграционного взрыва в атмосфере испарившейся горючей жидкости. Расчет параметров дефлаграционного взрыва производится согласно указаниям раздела 7.

**7. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ
ПРИ ДЕЯВИИ РАЦИОННЫХ ВЗРЫВХ ГИЭС**

7.1. Считаем облако полусферическим, инициирование происходит в центре. Для расчетов необходимы:

- радиус облака R_0 ;
- тип горючего;
- вид источника инициирования горения;
- степень загроможденности пространства.

7.2. Величину максимальной скорости распространения пламени находим из табл.7.1.

Таблица 7.1

Горючее вещество	Загроможденность пространства	Иницирование детонацией или турбулентной струей	Скорость пламени, м/с
Водород	сильная	да/нет	детонация
Ацетилен	любая	да	детонация
Этилен	слабая	нет	300
Пропилен	отсутствует	нет	240
Прочие	сильная	да	детонация
	сильная	нет	240
углеводороды	слабая	да	240
	слабая	нет	200
	отсутствует	да	200
	отсутствует	нет	140

Загроможденность пространства считаем сильной в случаях, когда центр облака ГИЭС находится:

- в лесопосадках;
- на территории железнодорожной станции;
- вблизи от технологических установок химических и нефтехимических производств;
- на территориях промышленных объектов с высокой плотностью застройки.

Загроможденность пространства считаем слабой, если облако формируется на территории с низкой плотностью застройки.

7.3. Считаем, что пламя распространяется с постоянной скоростью, равной максимальной.

7.4. Максимальное избыточное давление на фронте пламени находим по формуле

$$\Delta P_{\text{фр}} = \left[\left(1 + 0,53 \frac{\alpha^2}{1 + \alpha} \right)^{3,5} - 1 \right] \cdot 101 \text{ кПа}$$

Здесь $\alpha = \frac{W_m}{340}$, W_m - скорость распространения пламени, м/с.

7.5. Максимальное избыточное давление ΔP_m в воде в зависимости от расстояния от центра взрыва R находим из табл.7.2.

Таблица 7.2

$R/R_{\text{пр}}^1$		ΔP_m , кПа								
1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1,5	6,7	13,4	16	20	24	27	32	36	36	36
2	5	10	12	15	16	21	24	27	30	30
3	3,3	6,7	8	10	12	14	16	18	20	20
4	2,5	5	6	7,5	9	10,6	12	13,5	15	15
5	2	4	4,6	6	7,2	8,4	9,6	10,6	12	12
10	1	2	2,4	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6	6
20	0,5	1	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3	3

Здесь $R_{\text{пр}} = 2R_0$,
 $R_0 = 0,782 \sqrt{M \lambda \cdot / C_{\text{ср}}^2} \cdot M$

7.6. время нарастания давления от нуля до ΔP_m τ_1 находим как

$$\tau_1 = \frac{k_{\text{пр}}}{W_m}, \quad \text{с.}$$

7.7. время спада давления от ΔP_m до нуля τ_2 находим как

$$\tau_2 = \frac{R_{\text{пр}}}{1000}, \quad \text{с.}$$

Здесь размерность $k_{\text{пр}}$ - метры.

7.8. амплитудное давление разрежения в волне

$$\Delta P_- = \frac{1}{2} \Delta P_m, \quad \text{кПа}$$

7.9. время спада давления от 0 до ΔP_- τ_3 находим как

$$\tau_3 = \frac{1}{2} \tau_2; \quad \text{с.}$$

7.10. время нарастания давления от ΔP_- до 0 τ_4 находим как

$$\tau_4 = 2 \tau_1 + \frac{3}{2} \tau_2, \quad \text{с.}$$

7.11. Давление во взрывной волне линейно нарастает от 0 до ΔP_m , затем линейно спадает от ΔP_m до ΔP_- .

ЧАСТЬ II

8. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ НАГРУЗОК

ПР. ВЗАИМНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

8.1. Основные положения

8.1.1. Нагрузки возникают при взаимодействии ВУЗ с поверхностью сооружения. Процесс взаимодействия в зависимости от формы сооружения может состоять из нескольких стадий: отражения, отгибания сооружения неустановившимся потоком частиц воздуха, переносимых ВУЗ (стадии дифракции, стадии квазистационарного обтекания (когда частицы воздуха движутся по установившимся траекториям, но скорость их движения уменьшается во времени), стадии затекания на теневую сторону сооружения, стадии отражения затекшей волны от поверхности грунта или же взаимного отражения двух встречных потоков, затекших через боковые поверхности сооружения.

При определении нагрузок следует различать нагрузки, действующие на освещенную взрывом и теневую поверхности сооружения. Следует также различать местные нагрузки, действующие на определенную часть ограждающей поверхности сооружения и общие нагрузки, действующие на все сооружение и стремящиеся вызвать сдвиг и опрокидывание сооружения.

8.1.2. На освещенной поверхности в момент подхода проходящей (набегающей) ВУЗ, взаимодействие начинается с процесса отражения. В зависимости от деления на фронте ВУЗ и угла встречи ВУЗ с поверхностью сооружения ω в каждой точке этой поверхности значения давления отражения в общем случае будут различны. Конкретные расчетные зависимости для значений ω будут приведены при описании методики определения нагрузок применительно к каждой характерной для АС формы сооружения.

в случае отражения от плоской поверхности, перпендикулярной к направлению движения фронта волны, от ближайшей грани (покрытия или боковых сторон) начинает распространяться по стене, нагруженной отраженным давлением, волна разрежения, к в то же время по самой грани, нагружаемая. продолжаясь вперед, начинает распространяться волна повышенного давления, которая охватывает, ослабевая, часть покрытия и боковых стен.

При взаимодействии БУЗ взрывов конденсированных ВВ и детонационных взрывов ГВЗ с отражающей поверхностью сооружения, после прохождения фронта набегающей волны, отраженное давление понижается в более быстром темпе, чем давление в проходящей волне. Это понижение продолжается до момента $t_{отт}$, когда установится давление обтекания.

Изменение значений избыточного давления отражения в период времени $0 < t \leq t_{отт}$ определяется по зависимости:

для кругового цилиндра

$$\Delta P_{отр}(t) = \Delta P(t) + (\Delta P_{отр}^{max} - \Delta P_{\phi}) (1 - t / t_{отт}) \cdot \cos \gamma ; \tag{8.1}$$

для эллипсоида вращения

$$\Delta P_{отр}(t) = \Delta P(t) + (\Delta P_{отр}^{max} - \Delta P_{\phi}) (1 - t / t_{отт}) (1 - z/B) \cdot \cos \gamma \tag{8.2}$$

для параллелепипеда

$$\Delta P_{отр}(t) = \Delta P_{отт} + (\Delta P_{отр}^{max} - \Delta P_{отт}) (1 - t / t_{отт}); \tag{8.3}$$

где

$$\Delta P_{отр}^{max} - \text{избыточное давление отражения}$$

$$\Delta P_{отр}^{max} = K_{отр} \cdot \Delta P_{\phi}; \tag{8.4}$$

γ - полярный угол с вершиной на продольной оси кругового цилиндра (см. рис. 8.1.);

К определению дуги беспречи ω

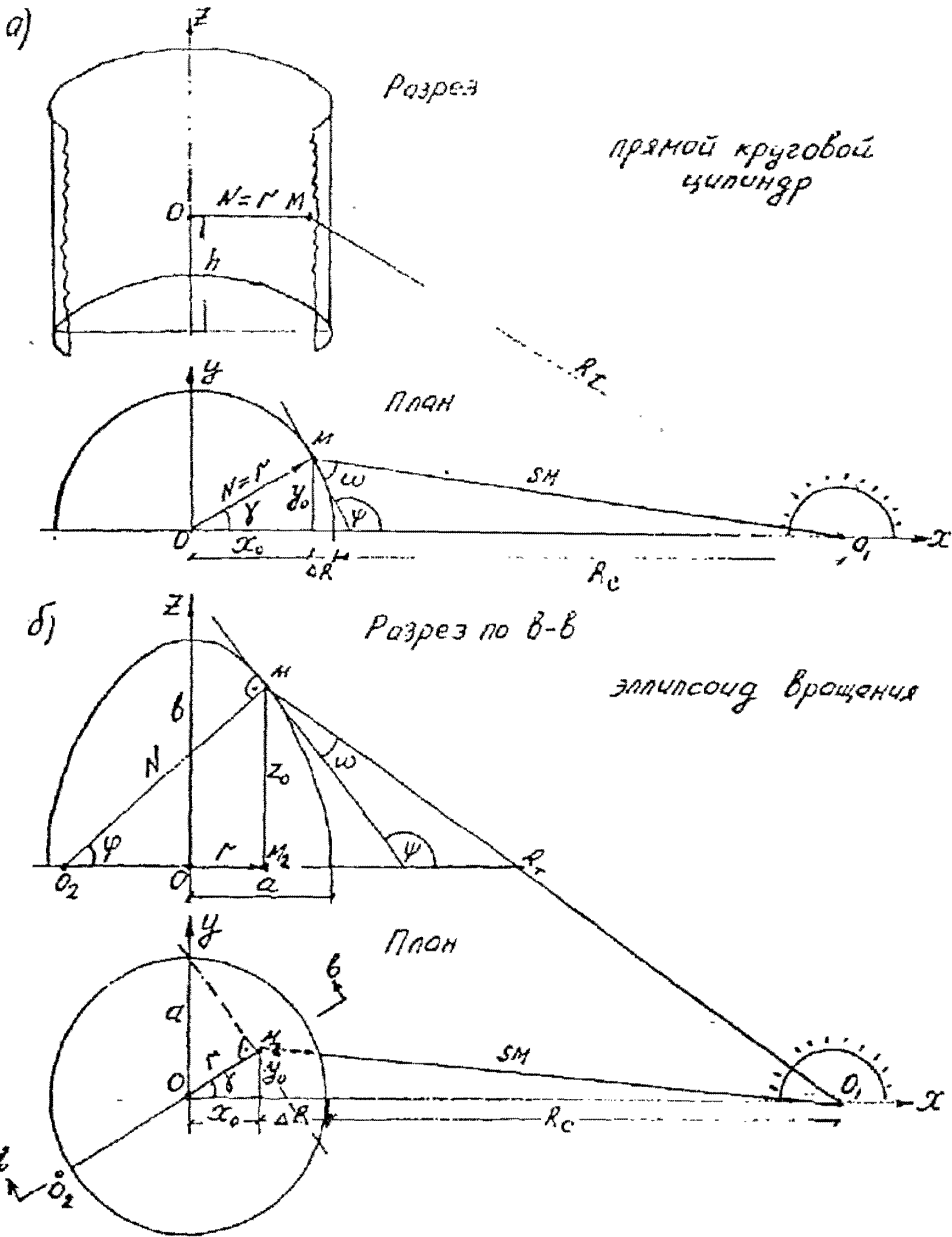


рис. 8.1

$t_{обт}$ - время установления давления обтекания, определяемое согласно п.8.1.3, с ;

$\Delta P_{обт}^{max}$ - максимальное значение давления обтекания, определяемое по формуле

$$\Delta P_{обт}^{max} = \Delta P_{\Phi} \left(1 - \frac{t_{обт}}{\tau_+} \right)^n + q_{\Phi} \left(1 - \frac{t_{обт}}{\tau_+} \right)^m \cdot \sin \omega \quad (8.5)$$

В тех случаях, когда $t_{обт} > \tau_+$, процесс взаимодействия завершается на стадии дифракции. В этом случае значения давления отражения определяются по тем же зависимостям (8.1, 8.2) для тел вращения, но только вместо $t_{обт}$ в них подставляется τ_+ .

Для параллелограмма при дифракции в формуле (8.3) подлагает вместо $t_{обт}$ время τ_+ , $\Delta P_{обт} = 0$ и изменение давления отражения во времени определяют по формуле

$$\Delta P_{отр}(t) = \Delta P_{отр}^{max} \left(1 - t / \tau_+ \right), \text{ кПа} \quad (8.3a)$$

8.1.3. При $t \geq t_{обт}$ до окончания действия проходящей волны в контрольной точке, избыточное давление обтекания $\Delta P(t)_{обт}$ в этой точке определяется по формуле

$$\Delta P_{обт}(t) = \Delta P(t) + C_p \cdot q(t), \text{ кПа} \quad (8.6)$$

где

$\Delta P(t)$ - избыточное давление в проходящей волне в момент времени $t \geq t_{обт}$, (кПа), определяемое по формулам (4.5 либо 5.18);

$q(t)$ - скоростной напор в проходящей волне в момент времени t , (кПа), определяемый по формулам (4.12 либо 5.21);

C_p - коэффициент давления, зависящий от угла встречи и принимаемый равным $\sin(\omega)$;

$t_{\text{обт}}$ - время наступления квазиустановившегося давления обтекания в данной точке, зависит от расстояния $l_{\text{обт}}$ от данной точки до границы с теневой стороны сооружения по кратчайшему направлению, и от местной скорости звука в отраженной волне:

- при расчете обтекания параллелепипеда

$$t_{\text{обт}} = 2 l_{\text{обт}} / c_{\text{отр}}, \text{ с} \quad (8.7)$$

- при расчете обтекания цилиндра и эллипсоида вращения

$$t_{\text{обт}} = \frac{x_0}{D_{\varphi}} + \frac{l_{\text{обт}}}{c_{\text{отр}}}, \quad (8.8)$$

$$l_{\text{обт}} = r (\pi/2 - \gamma), \text{ м} \quad (8.9)$$

где $x_0 = r \cdot \cos \gamma$; здесь r и γ - задаваемые в исходных данных полярное расстояние и угол (см. рис. 8.1);

$l_{\text{обт}}$ - кратчайшее расстояние на освещенной поверхности сооружения до теневой поверхности сооружения, м;

D_{φ} - скорость фронта проходящей ВВВ, определяемая по формуле (4.22);

$c_{\text{отр}}$ - скорость звука в отраженной волне, определяемая по зависимости

$$c_{\text{отр}} = \sqrt{K \frac{\Delta P_{\text{отр}} + P_0}{\rho_{\text{отр}}}} \cdot 10^3 \text{ м/с}; \quad (8.10)$$

здесь P_0 - давление в невозмущенной атмосфере, 101,325 кПа;

$\Delta P_{\text{отр}}$ - избыточное давление отражения, определяемое по зависимости

$$\Delta P_{\text{отр}} = K_{\text{отр}} \cdot \Delta P_{\text{ф}} \quad (8.11)$$

где

$k_{отр}$ - коэффициент отражения, зависящий от угла встречи ω и избыточного давления на фронте ВУВ, определяемый по формуле (4.20);

$\rho_{отр}$ - плотность воздуха в отраженной волне, определяемая по формуле

$$\rho_{отр} = \rho_{\Phi} \frac{6\pi_2 + 1}{\pi_2 + 6} \quad \text{кг/м}^3 \quad (8.12)$$

здесь $\pi_2 = (\Delta P_{отр} + P_0) / (\Delta P_{\Phi} + P_0)$; (8.13)

ρ_{Φ} - плотность воздуха во фронте проходящей волны, определяемая по формуле (4.24) либо по формуле (8.14)

$$\rho_{\Phi} = \rho_0 \frac{6\pi_1 + 1}{\pi_1 + 6} \quad , \quad \text{кг/м}^3 \quad (8.14)$$

здесь $\pi_1 = (\Delta P_{\Phi} + P_0) / P_0$; (8.15)

ρ_0 - плотность невозмущенной стандартной атмосферы, 1,225 кг/м³.

8.1.4. На теневой поверхности для сооружений удобообтекаемой формы (кругового цилиндра, купола в виде эллипсоида вращения) давления в контрольной точке принимается равными для:

- кругового цилиндра ($\frac{\pi}{2} \leq \gamma \leq \pi$)

$$\Delta P_{обт}(t) = \Delta P(t) - 0,2 \Delta P(t) \cos(\gamma) \quad \text{кПа}, \quad (8.16)$$

- эллипсоида вращения ($\frac{\pi}{2} \leq \gamma \leq \pi$),

$$\Delta P_{обт}(t) = P(t) - 0,2 \Delta P(t) \cdot \cos(\gamma) \cdot (1 - Z/B), \quad (8.17)$$

где $\Delta P_{обт}(t)$ - избыточное давление обтекания, кПа;

γ - полярный угол между направлением на ЦВ и радиусом-вектором (см. рис. 8.1);

Z - высота контрольной точки над основанием эллипсоида вращения, м; (см. рис. 8.1 б)

V - вертикальная полуось эллипсоида вращения, м.

У сооружений в виде параллелепипеда при воздействии сферической ВУВ под углом $\gamma \leq \frac{\pi}{2}$ на теневой стороне могут оказаться до 4-х поверхностей (две боковые, тыльная стена и покрытие), требующие специального подхода при расчетах.

С целью учета этого обстоятельства, целесообразно рассмотреть отдельно при расчете давлений взаимодействия на теневые стороны параллелепипеда следующие случаи:

а) общий случай (см. рис. 8.2), когда угол γ заключен в пределах $90 < \gamma < 180^\circ$;

б) особый случай (см. рис. 8.3), когда угол γ находится в пределах $\alpha \cos \alpha \left(\frac{a}{R_0} \right) \leq \gamma \leq 90^\circ$;

в) частный случай, (см. рис. ПЗ) когда одна из главных осей симметрии параллелепипеда направлена на ЦВ, а угол $\gamma = \alpha \cos \alpha \left(\frac{a}{2R_0} \right)$.

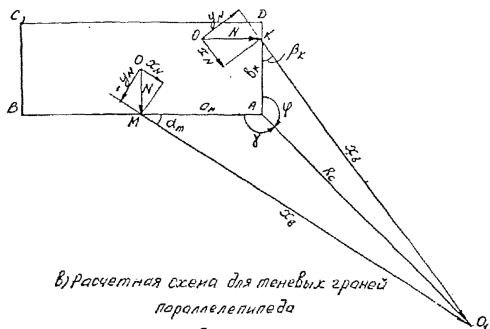
Расчет нагрузок на параллелепипед по последнему случаю наиболее распространен на практике. Однако, как показывают расчеты, эта ориентация не является наиболее неблагоприятной.

Указанные выше случаи полностью охватывают весь возможный диапазон ориентации параллелепипеда относительно ЦВ.

Теневые стороны рассчитываются на воздействие затекающей ВУВ, за исключением случая, когда угол γ между направлением на ЦВ и фронтальной стеной a меньше или равно $\frac{\pi}{2}$ (см. рис. 8.3).

В этом случае теневые боковые стороны и покрытие рассчитываются на взаимодействие с проходящей ВУВ с учетом повышения давления в

а) Расчетная схема для освещенных граней параллелепипеда



б) Расчетная схема для теневых граней параллелепипеда

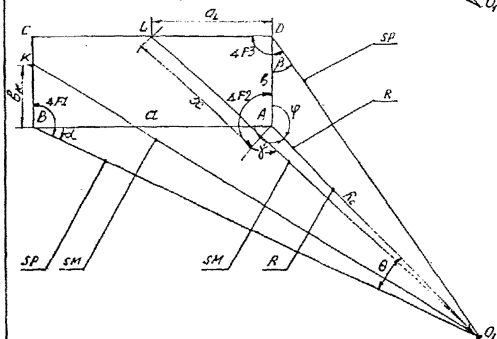


Рис. В.2

Сфера описанная на параллелепипеде, и точки M , расположенных на тыльной и боковой стороне параллелепипеда, в особом случае

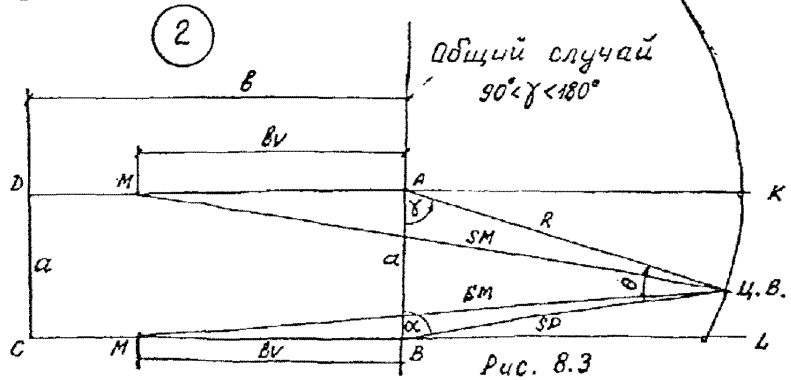
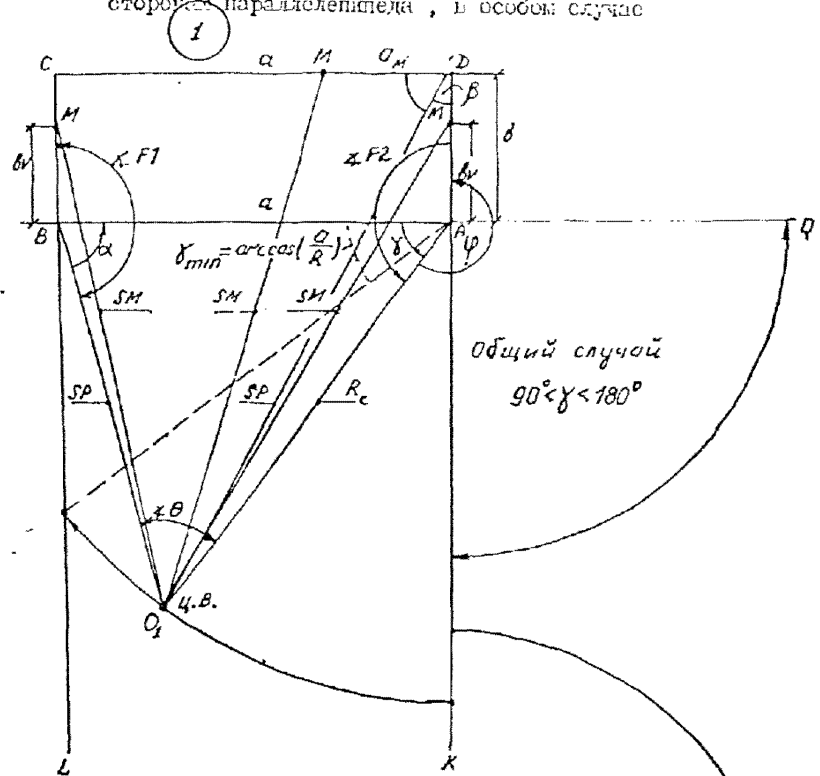


Рис. 8.3

проходящей волне в окрестностях близкого к ЦВ рёбра сооружения.

Процесс затекания ВУВ разбивается на следующие интервалы времени:

- время прихода фронта затекшей волны до данной конкретной контрольной точки t_1 ;
- время нарастания давления до достижения максимального значения $\Delta P(t)_{\text{зат}} t_2$;
- время действия квазистановившегося давления затекания.

После достижения максимальных значений давления в затекшей волне, спад давления происходит по тому же закону, что и в проходящей волне в соответствующие моменты времени.

8.1.5. За общий для всего сооружения нуль отсчета времени принимается момент подхода фронта проходящей ВУВ к передней точке сооружения (наиболее близкой к ЦВ). За местный (локальный) нуль отсчета времени принимается момент подхода фронта проходящей ВУВ к горизонтальной проекции контрольной точки. Общий нуль и локальные нули отсчета времени принимаются за опорные моменты времени. Интервал времени между общим и местными нулями определяется по зависимости

$$\Delta t = \alpha / D_p, \text{ с} \quad (8.18)$$

где α - расстояние по горизонтальной проекции пути движения фронта ВУВ, м;

$$\alpha = SM - R_0 \quad (8.19)$$

SM - расстояние от ЦВ до горизонтальной проекции данной точки, м;

R_0 - расстояние от ЦВ до ближайшей точки сооружения по горизонтали, м;

D - скорость фронта ВВ в данной точке, м/с.

В.1.6. Исходные данные для выполнения расчетов включают:

- данные, необходимые для определения параметров ВВ, воздействующей на сооружение: массу заряда, условия при которых происходит взрыв, необходимые для определения коэффициента эффективности заряда $K_{эф}$ для взрывов ВВ, и величин Z и C_p для детонационного взрыва, расстояние до сооружения R_c ;
- геометрические характеристики рассчитываемого сооружения: форма сооружения, его размеры и ориентация;
- необходимые для расчетов параметры атмосферы: давление, плотность, температура.

В.1.7. После задания исходных данных, определение нагрузки в заданной точке И сооружения на освещенной стороне производится в следующей последовательности. Определяется в точке И:

- угол встречи ω ;
- значения избыточного давления $\Delta P_{ф}$ и скоростного напора $q_{ф}$;
- коэффициент отражения $K_{отр}$ и значения отраженного давления $\Delta P_{отр}$;
- время установления режима обтекания $t_{обт}$;
- изменение давления обтекания во времени по формуле (8.6);
- изменение значений давления отражения по формулам (8.1...8.3);
- строится график изменения нагрузки во времени.

Поскольку контрольных точек И; много, задача по созданию карты нагрузок на поверхности сооружения является очень трудоемкой, поэтому все расчеты рекомендуется выполнять по оптимизальным программам на ЭВМ.

нагрузки на теневой стороне в заданной точке определяются

в следующей последовательности. Определяется:

- значения избыточного давления $\Delta P_{\text{из}}$ и длительности $\tau_{\text{из}}$;
- время установления режима затекания $t_{\text{зат}}$;
- закон нарастания давления до момента $t_{\text{зат}}$;
- закон спада давления во времени $\Delta P(t)$;
- строятся графики изменения нагрузки во времени.

6.2. Схематизация нагрузок

6.2.1. В связи со сложным характером образования нагрузок и неравноценным вкладом различных факторов воздействия ВУВ на сооружение применяются инженерные формулы, сконструированные с учетом общих физических соображений, результатов эксперимента и результатов численных расчетов. С целью снижения трудоемкости расчетов используется прием схематизации нагрузок, который сводится к следующему:

- если геометрические размеры сооружения по сравнению с расстоянием до центра взрыва малы и составляют менее 5%, то сооружение может рассчитываться на воздействие плоской волны, вместо расчета на воздействие сферической волны;
- если горизонтальные размеры сооружения достаточно велики (составляют более 5% расстояния до центра взрыва), а высота сооружения мала, то сооружение может рассчитываться на воздействие цилиндрической ВУВ с вертикальной осью симметрии, вместо расчета на воздействие сферической волны;
- учитывая, что АС рассчитывается на воздействие слабых ударных волн (с интенсивностью 30 и менее кПа), воздействие скоростного напора может учитываться только при расчете нагрузок на освещенную поверхность сооружений;

- учитывая, что в отрицательной фазе ВУВ давление разрежения по абсолютному значению существенно меньше, чем давление сжатия в положительной фазе, расчет сооружений на давление разрежения, как правило, не проводится, за исключением расчета ворот, перекрывающих входы в сооружения;
- при воздействии ВУВ большой длительности, время действия волны может учитываться только до момента достижения конструктивным элементом сооружения максимальной деформации;
- с целью упрощения расчетов, действительный закон спада давления во времени может быть заменен линейным законом при сохранении неизменным импульса давления, а действительная длительность действия ВУВ τ_+ , заменен временем эффективного действия

$$\tau_{эф} = \frac{2\tau_+}{n+1},$$

8.3. Совмещение нагрузок во времени.

Определение интегральных равнодействующих сил и моментов.

8.3.1. В связи с многообразием и сложностью форм сооружений ЛС, их значительными геометрическими размерами, при определении нагрузок поверхность сооружений покрывается расчетной сеткой, в узлах которой определяются нагрузки, изменяющиеся во времени. Таким образом, создается карта локальных нагрузок на поверхности сооружения. Аналогично поступают и при экспериментах.

Для определения интегральных равнодействующих сил, действующих на освещенную и теневую поверхности сооружения импульсы локальных нагрузок интегрируются путем синхронизации по опорным моментам времени.

Суммарный импульс, действующий на освещенную поверхность, де-

лится на две части: на импульс, полученный в направлении действия ВУВ до начала загрузки теневой поверхности, и на импульс, полученный сооружением, после начала загрузки теневой поверхности и до конца загрузки ВУВ освещенной поверхности. Затем производится вычитание суммарного импульса, полученного теневой стороной, от 2-ой части импульса, полученного освещенной стороной.

По 1-ой части суммарного импульса, полученного освещенной стороной, определяется равнодействующая сила в направлении распространения ВУВ.

9. МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВУВ С СООРУЖЕНИЯМИ АС РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

9.1. Методика определения нагрузок на сооружения, имеющие форму вертикального кругового цилиндра

9.1.1. Рассматривается круговой цилиндр с вертикальной продольной осью. (Не имеется принципиальных трудностей для определения нагрузок на цилиндрические поверхности, имеющие горизонтальную продольную ось).

Определение нагрузки в точке М следует вести в последовательности, изложенной в п.8.1.2. На рис.9.1а приведены схемы определения угла встречи ω в точке М на поверхности цилиндра при воздействии сферической ВУВ.

1) Для определения угла встречи ω :

- выбираются 2 системы координат: 1-я с началом в точке О, связанная с сооружением; 2-я с началом в точке O_I , связанная с центром взрыва. Точка О выбирается на продольной оси цилиндра, на высоте расположения контрольной точки М. Точка O_I - совпадает с центром наземного взрыва. Координатные оси обеих систем должны быть равнонаправленными. Положительное направление оси X - к центру взрыва,
- точка М задается высотой расположения h над уровнем расположения центра взрыва O_I , полярным расстоянием r и углом γ , отсчитываемым против часовой стрелки от горизонтальной линии, параллельной линии, соединяющей центр взрыва О, с осью цилиндра,
- определяются координаты точки М (x_0, y_0, z_0) в 1-ой системе координат: $x_0 = r \cdot \cos \gamma$; $y_0 = r \cdot \sin \gamma$; $z_0 = 0$.

К определению угла встречи ω

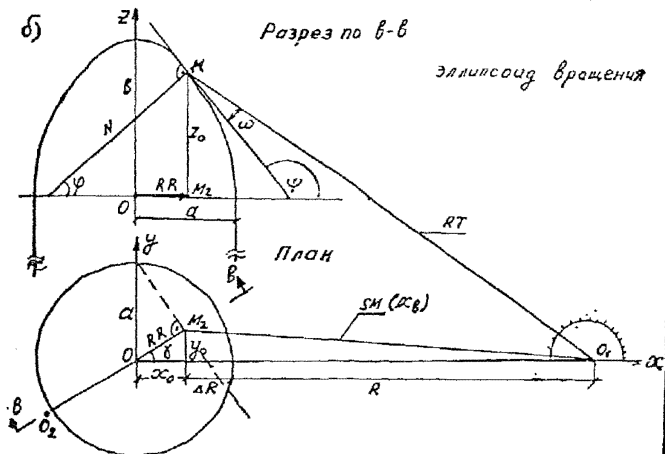
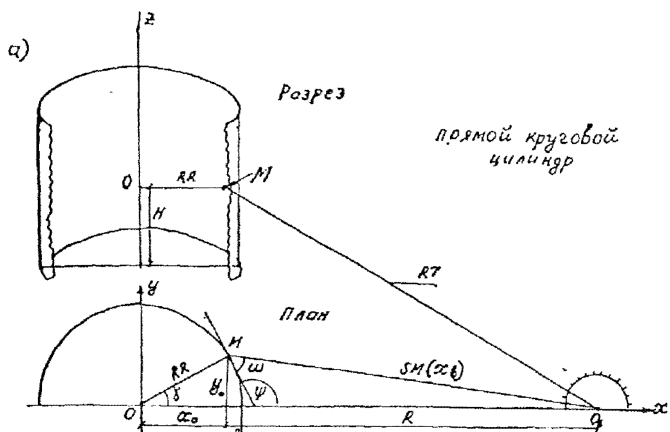


Рис. 9.1

В круговом цилиндре радиус цилиндра R в точке M совпадает по величине и направлению с нормалью, проведенной из центра O к точке M , к поверхности цилиндра.

- Определяются координаты точки $M(x_c, y_c, z_c)$ во 2-й системе координат: $x_c = -R_0 \cdot (R - x_0) / R$; $y_c = y_0$.

$z_c = h$; R_0 - расстояние по горизонтали от центра

взрыва O_I до ближайшей точки на поверхности цилиндра;

- определяется $\sin \omega$ по зависимости

$$\sin \omega = \frac{|x_0 x_c + y_0 y_c + z_0 z_c|}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2} \cdot \sqrt{x_c^2 + y_c^2 + z_c^2}} = S_\omega \quad (9.1)$$

и угол встречи ω - по формуле

$$\omega = \arcsin(S_\omega), \quad (9.2)$$

2) Определяются значения избыточного давления на фронте проходящей ВУВ ΔP_Φ и скоростного напора $\rho \Phi$ в точке M по зависимостям, соответственно для взрыва ВВ и детонационно-го взрыва ГИЭС по формулам (4.2 либо 5.12) и (4.11 либо 5.20), причем расстояние R_T от точки M до центра взрыва O_I определяется по формуле

$$R_T = \sqrt{x_c^2 + y_c^2 + z_c^2}; \quad (9.3)$$

3) Определяются значения коэффициента отражения $K_{отр}$ и значения отраженного давления $\Delta P_{отр}$ по зависимостям (4.19, 4.20) на освещенной стороне "

$$\Delta P_{отр}^{max} = K_{отр} \cdot \Delta P_\Phi; \quad (9.4)$$

4) Определяется время установления режима обтекания в точке M по формуле (8.8)

Примечание: отсюда и далее до п. 7) речь идет об освещенной стороне ($0 \leq \gamma \leq \frac{\pi}{2}$).

$$t_{обт} = \frac{r_0}{D_{\phi}} + \frac{l_{обт}}{C_{отр}} \quad (9.5)$$

где $l_{обт}$ - ближайшее расстояние до границы с теневой поверхностью по дуге, определяется по формуле (6.9)

D_{ϕ} - скорость фронта ВВВ в точке М, определяемая по зависимости (4.22)

$C_{отр}$ - скорость звука в отраженной волне, определяемая по зависимости

$$C_{отр} = \sqrt{1,4 \cdot \frac{P_{отр}}{\rho_{отр}}} \cdot 10^3 \text{ м/с}, \quad (9.6)$$

где $P_{отр} = \Delta P_{отр} + P_0$; (9.7)

$$\rho_{отр} = \rho_{\phi} \frac{6 \pi_2 + 1}{\pi_2 + 6}; \quad \pi_2 = \frac{P_{отр}}{\Delta P_{\phi} + P_0}; \quad (9.8)$$

ρ_{ϕ} - определяется по зависимости (4.24).

5) Определяется закон изменения давления отражения во времени по формуле (при $t < t_{обт}$)

$$\Delta P_{отр}(t) = \Delta P(t) + (\Delta P_{отр}^{max} - \Delta P_{\phi}) (1 - t/t_{обт}) \cdot \cos(\gamma) / \quad (9.9)$$

6) Определяется закон изменения во времени давления обтекания по формуле (при $t \geq t_{обт}$)

$$\Delta P_{обт}(t) = \Delta P(t) + q(t). \quad (9.10)$$

7) В контрольных точках теновой поверхности ($\gamma \geq \pi/2$) закон изменения избыточного давления нагрузки на поверхности кругового цилиндра принимается по зависимости

$$\Delta P_{\pi}(t) = \Delta P(t) + 0,2 \cdot \Delta P(t) \cdot \cos \gamma / \text{кПа} \quad (9.11)$$

или

$$\Delta P_{\pi}(t) = \Delta P(t) (1 - 0,2 \cos \gamma)$$

В) Удельный импульс давления, передаваемый давлением нагрузки в контрольной точке M нормально к поверхности сооружения определяется по формулам:

на освещенной стороне

$$i_{\text{отр}} = \int_0^{t_{\text{обт}}} \Delta P_{\text{отр}}(t) dt \quad (9.12)$$

$$i_{\text{обт}} = \int_{t_{\text{обт}}}^{T_+} \Delta P_{\text{обт}}(t) dt \quad (9.13)$$

Суммарный импульс равен $i = i_{\text{отр}} + i_{\text{обт}} \quad (9.14)$

- на теневой стороне

$$i_+ = \int_0^{T_+} \Delta P_T(t) dt \quad (9.15)$$

Нулевое значение нижнего предела интегрирования соответствует моменту прихода БУБ в контрольную точку.

Пример расчета приведен в разделе 12, п.12.1.

9.2. Определение нагрузок на сооружения, имеющие форму эллипсоида вращения

9.2.1. Формы, близкую к эллипсоиду вращения с вертикальной осью, имеют купола реакторных отделений АС. Варьируя соотношение между размерами вертикальной (b) и горизонтальной (a) полуосей вращаемого эллипса можно успешно описать вертикально вытянутые и оплошнутые формы куполов. Полусфера является частным случаем эллипсоида вращения, когда полуоси a и b равны между собой.

Определение нагрузки в назначенной точке на внешней поверхности эллипсоида вращения M следует вести в последовательности изложенной в п.8.1.7.

На рис. 2.16 приведена схема определения угла встречи в точке M на освещенной поверхности эллипсоида вращения при воздействии сферической ВУВ.

1) Для определения угла встречи ω :

- выбираются 3 системы координат: 1-я с началом O на вертикальной оси эллипсоида на высоте основания эллипсоида (в плоскости сопряжения эллипсоида с цилиндром); 2-я с началом в O_2 , расположенной в точке пересечения нормали N к поверхности эллипсоида в точке M с плоскостью сопряжения эллипсоида с цилиндром; 3-я с началом в центре взрыва O_1 . Координатные оси всех 3-х систем координат должны быть равнонаправленными. Положительное направление оси x к центру взрыва от сооружения. Ось z направлена параллельно горизонтальной прямой, соединяющей центр взрыва O , с вертикальной осью эллипсоида вращения;
- точка M задается полярным расстоянием r , углом γ , отсчитываемым против часовой стрелки (от оси x к оси y) и полуосью вращаемого эллипса a - горизонтального и b - вертикального;
- определяются декартовы координаты точки M в 1-й системе координат: $x_0 = r \cdot \cos \gamma$; $y_0 = r \cdot \sin \gamma$;

$$z_0 = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - r^2}$$
;
- определяются декартовы координаты точки M во 2-й системе координат: $x_M = N \cos \varphi \cos \gamma$; $y_M = N \cos \varphi \sin \gamma$; $z_M = N \sin \varphi$;
 где φ - угол между плоскостью основания эллипсоида, ^{соединяющей} и нормалью N , равный

$$\varphi = \arctg \left[\frac{b}{a} \left(-r / \sqrt{a^2 - r^2} \right) \right] \quad (9.16)$$

и $N = z_0 / \sin \varphi$ - длина нормали N (модуль вектора N);
 - определяются декартовы координаты точки M в 3-ей системе координат с началом O_I в центре взрыва:

$$x_0 = -(R_0 + a - x_0); \quad y_0 = r \cdot \sin \gamma; \quad z_0 = h + z_0, .$$

где R_0 - расстояние от центра взрыва по горизонтали до ближайшей точки цилиндра, на котором расположен эллипсоид вращения,
 h - превышение плоскости основания эллипсоида над центром взрыва;

- определяется $\sin \omega$ по зависимости

$$\sin \omega = \frac{|x_N x_0 + y_N y_0 + z_N z_0|}{N \cdot \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}} = S_\omega \quad (9.17)$$

и угол встречи ω ВУВ с плоскостью, касательной к поверхности эллипсоида в точке M

$$\omega = \arcsin(S_\omega); \quad (9.18)$$

2) Определяются значения избыточного давления на фронте проходящей ВУВ ΔP_Φ и скоростного напора q_Φ в точке M по зависимостям, соответственно для взрыва ВВ и детонационного взрыва ГВС по формулам (4.2 либо 5.12) и (4.11 либо 5.20), причем расстояние R_T от точки M до ЦВ (O_I) определяется по формуле

$$R_T = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}, \quad \text{и} \quad (9.19)$$

3) Определяются значения коэффициента отражения $K_{отр}$ и значение отраженного давления по зависимостям (4.19, 4.20)

$$\Delta P_{отр}^{max} = K_{отр} \cdot \Delta P_\Phi \quad (9.20)$$

4) Определяется время установления режима обтекания в точке М по формуле

$$t_{\text{обт}} = \frac{Lx}{D_{\text{ф}}} + r \frac{(\pi/2 - \cos \delta)}{C_{\text{отр}}} \quad (9.20)$$

где x - расстояние по лучу между ближайшей к ЦВ точкой обтекания и контрольной точкой, м;

$D_{\text{ф}}$ - скорость фронта проходящей волны в точке М, м/с;

$C_{\text{отр}}$ - скорость звука в отраженной волне, определяемая по формуле (8.4), м/с;

γ - горизонтальный угол (см. рис. 9.18) с вершиной в точке О, между направлением на ЦВ и направлением на горизонтальную проекцию точки М (М').

Б) Определяется давление отражения на поверхность купола по зависимости при $t < t_{\text{обт}}$

$$\Delta P_{\text{н}}(t) = \Delta P(t) + (\Delta P_{\text{отр}}^{\text{max}} - \Delta P_{\text{ф}})(1 - t/t_{\text{обт}}) \cdot \cos \gamma \cdot (1 - z/B) \quad (9.21)$$

где

$\Delta P_{\text{отр}}^{\text{max}}$ - максимальное значение давления отражения в точке М, определяемое по формуле (9.17);

z - высота точки М над основанием купола, м;

B - высота вертикальной полуоси эллипсоида вращения (высота вершины купола над основанием купола) м.

В. Определяется давление обтекания на поверхность купола по зависимости при $t \geq t_{\text{обт}}$

$$\Delta P_{\text{обт}}(t) = \Delta P(t) + q(t) \cdot \sin \omega \quad ; \text{ кПа} \quad (9.22)$$

где $\Delta P(t)$ и $q(t)$ - текущие значения избыточного давления и скоростного напора;

ω - угол встречи луча ВУВ с поверхностью купола в точке М.

7. В контрольных точках теневого поверхности ($\gamma \geq \eta/2$) закон изменения избыточного давления на поверхности купола определяется по зависимости

$$\Delta P_2(z) = \Delta P(z) [1 - 0,2 \cdot \cos \gamma \cdot (1 - z/B)], \quad (9.23)$$

где В - вертикальная полуось эллипса вращения, м;

z - высота контрольной точки над основанием эллипсоида.

Пример расчета приведен в разделе 12, пункт 12.2.

9.3. Определение нагрузок на сооружения, имеющие форму параллелепипеда

9.3.1. Многие сооружения, имеющие форму с прямоугольными изломами, могут быть расчленены на параллелепипеды различных размеров. Однако, следует иметь в виду, что при наличии внутренних углов, в этих местах возникают повышенные в 2-3 раза значения давления отражения вследствие возникновения явления перестраивания. Поэтому, в целях снижения значений давлений взаимодействия, рекомендуется применять простейшие формы, без внутренних углов.

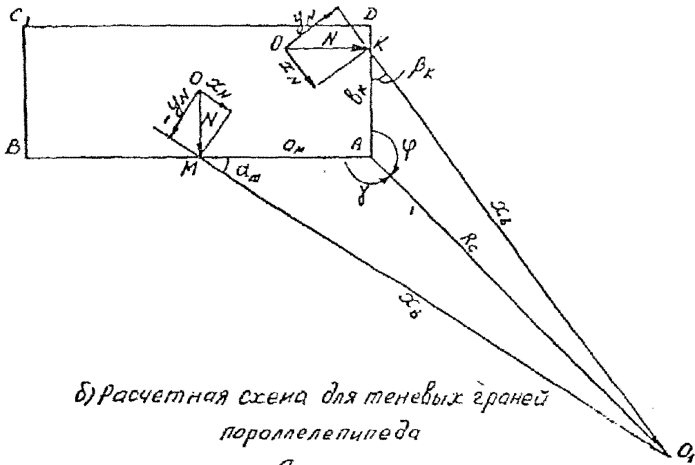
Расчет нагрузок в контрольных точках на поверхности параллелепипеда, произвольно ориентированного к направлению на ЦВ, при воздействии ВУВ является более сложным и трудоемким, чем расчет нагрузок на цилиндре и эллипсоиде вращения.

На рис.9.2а, б, в приведены схемы определения угла встречи

ω_M и ω_K в точках М и К, расположенных на освещенных гранях "а" и "в" параллелепипеда, примыкающих к освещенному ребру А при воздействии сферической ВУВ.

Для однозначности и удобства расчетов принимаются следующие

а) Расчетная схема для освещенных граней параллелепипеда



б) Расчетная схема для теневых граней параллелепипеда

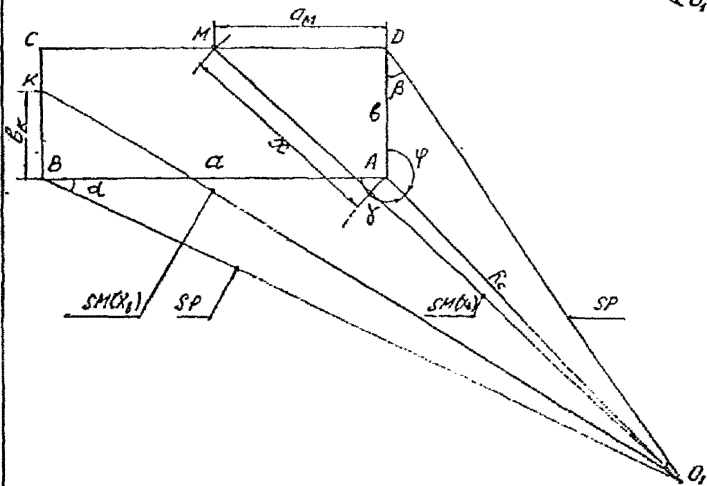


Рис. 9.2 а, б.

соглашения (см. рис. 9.2а, б, в). Ориентация сооружения относительно ЦВ (O_I) задается расстоянием R_c до ближайшего ребра А и углом γ между направлением AO_I и гранью сооружения a . Принимается, что грань a параллелепипеда всегда расположена слева от линии AO_I и грань b - справа (независимо от того является грань (сторона) большей или меньшей гранью).

Расстояние от ребра А до точки М по горизонтальной линии обозначается r_m , и расстояние по перпендикулярной грани b до точки К - символом b_k .

Для удобства расчетов (см. п. 8.1.4) выделяются 2 случая ориентации сооружения относительно направления на ЦВ: общий случай, когда угол γ больше 90° , но меньше 180° , и особый случай, когда $\arccos\left(\frac{a}{R_c}\right) \leq \gamma \leq 90^\circ$. Если при привязке сооружения оказывается, что угол γ выходит за указанные диапазоны, это означает, что необходимо привязаться к другому более близкому к ЦВ углу сооружения.

В частном случае, когда оба угла А и В находятся на одинаковом расстоянии от ЦВ, угол $\gamma = \arccos\left(\frac{a}{2R_c}\right)$.

При особом случае оказывается затененными 4 грани сооружения (две боковые грани, тыльная грань и покрытие). В этом случае расчет нагрузок на боковые грани и покрытие имеет особенности по сравнению с расчетом нагрузок на затененные грани в общем случае.

Определение нагрузки на поверхности параллелепипеда в назначенной контрольной точке М следует вести в последовательности, изложенной в п. 8.1.7.

1) Для определения угла встречи ω_m на освещенной стороне аналогично и угла ω_k :

Рис. 9.2

Характерные расстояния и углы на осевых сторонах параллелепипеда в общем случае

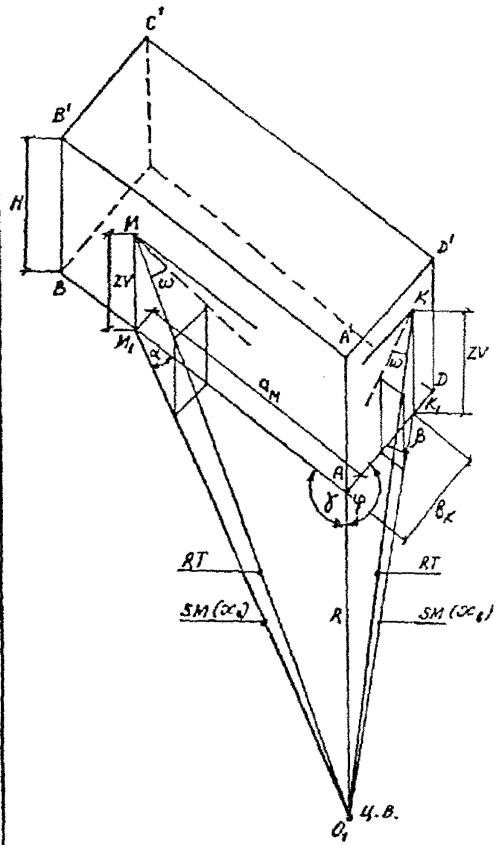


Рис. 9.2, В

- выбирается две системы координат: 1-я с началом в точке O , связанная с сооружением; 2-я с началом в точке O_1 , связанная с центром взрыва. Точка O выбирается на плоскости, параллельной грани α , на единичном расстоянии от грани α , на высоте h_M превышения точки M (K) над центром взрыва O_1 и на расстоянии a_M от перпендикулярной грани "в". Таким образом, прямая OM является нормалью N единичной длины к грани α в точке M . Точка O_1 - совпадает с центром взрыва. Координатные оси обеих систем должны быть равнонаправленными. Ось X направлена от точки M_1 (проекция точки M на горизонтальной поверхности, проходящей через центр взрыва) к центру взрыва O_1 . Это направление принимается за положительное.

Точка M на поверхности параллелепипеда задается расстоянием a_M от ребра A и высотой h_M , - превышением точки M над центром взрыва;

- определяются координаты точки M (X_M, Y_M, Z_M):

$x_M = \sin \alpha_M$; $y_M = \cos \alpha_M$; $z_M = 0$, где α_M - угол между гранью α и осью X , определяемый по зависимости

$$\sin \alpha_M = \sin \gamma \cdot R_c / x_c; \quad (9.24)$$

- определяются координаты точки c (x_c, y_c, z_c) во 2-й системе координат: $x_c = -\sqrt{a_M^2 + R_c^2 - 2a_M R_c \cos \gamma}$; (9.25)

$$y_c = 0; \quad z_c = h_M;$$

- определяется $\sin \omega_M$ по зависимости

$$\sin \omega = \frac{|\sin \alpha \cdot x_c|}{R_T} = S_{\omega}. \quad (9.26)$$

где R_T - расстояние от точки M до центра взрыва, определяемое по формуле

$$R_T = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}, \text{ м} \quad (9.27)$$

угол втречи ω_M вычисляется по зависимости

$$\omega_M = \arcsin(S_\omega); \quad (9.28)$$

2) Значения ΔP_Φ и q_Φ определяются по формулам (4.2 либо 5.12) и (4.11 либо 5.20).

3) Значения коэффициента отражения $K_{отр}$ и отраженного давления определяются по зависимостям (4.19, 4.20, 6.II).

4) Время установления режима обтекания в точке M определяется по зависимости

$$t_{обт} = \frac{2l_{обт}}{C_{отр}}, \text{ с} \quad (9.29)$$

где $l_{обт}$ - расстояние до ближайшего ребра параллелепипеда;

$C_{отр}$ - скорость звука в отраженной волне, определяемая по зависимости (6.7);

5) Определяется закон изменения давления отражения во времени в точке M по зависимости (8.3).

6) Определяется закон изменения давления обтекания во времени в точке M по формуле (8.5).

7) На теневых поверхностях имеет место явление затекания (см. п. 8.1.4 о параллелепипеде). Для определения значений затекающего давления рассматривается отдельно общий случай и особый случай.

Определение нагрузки в контрольной точке K аналогично описанному для точки M за исключением того, что вместо угла γ используется угол $\varphi = \frac{3}{2}\pi - \gamma$ и вместо $\sin \alpha$ используется

$$\sin \beta = \sin \varphi \cdot R_c / x_0 \quad (9.30)$$

где $x_0 = -\sqrt{\beta_K^2 + K_C^2 - 2l_K R_c \cos \varphi}$, м (9.31)

9.3.2. Определение нагрузки в контрольной точке M на теневой стороне производится в следующем порядке (общий случай).

На рис. 9.2б приведена схема определения характерных расстояний, необходимых для определения нагрузок в точках K и N на теневых гранях $С$ и $СВ$ параллелепипеда.

1) Точка M задается расстоянием o_m (MO) от ребра D и превышением h_m точки M над центром взрыва C_1 . Расстояние O_1D определяется по зависимости

$$o_1D = \sqrt{b^2 + R_c^2 - 2b \cdot R_c \cos \varphi} \quad , \text{ м.} \quad (9.32)$$

Угол β находится по формуле

$$\beta = \arcsin(\sin \varphi \cdot R_c / o_1D). \quad (9.33)$$

Расстояние O_1K_1 (M_1 - проекция точки M на горизонтальную плоскость, проходящую через центр взрыва) определяется по формуле

$$o_1M_1 = \sqrt{o_m^2 + (o_1D)^2 - 2o_m(o_1D)\cos(\beta + \pi/2)} \quad \text{м.} \quad (9.34)$$

Расстояние R_T - от центра взрыва до точки M определяется по формуле

$$R_T = \sqrt{(o_1M_1)^2 + h_m^2} \quad \text{м.} \quad (9.35)$$

По известной величине R_T определяются Δp_{φ} и q_{φ} ;

2) для определения закона изменения $\Delta p(t)$ в затонах за теневую грань все же вычисляются следующие величины:

- расстояние α (по лучу O_1M_1), путь проходимый ВУВ между расстоянием R_0 и расстоянием O_1M_1 , измеряемыми от центра взрыва

$$\alpha = O_1M_1 - R_0 \quad (9.36)$$

- время прохождения фронтом ВУВ расстояния

$$t_0 = \alpha / D_{\varphi} \quad , \text{ с} \quad (9.37)$$

- время прихода фронта волны затекания (дифракционной волны) в точку M от ближайшего ребра параллелепипеда после прихода фронта ВУВ на расстояние R_T

$$t_z = \ell / 340 \quad , \text{ с} \quad (9.28)$$

- время установления давления затекания в точке M на теневой грани, после прихода фронта ВУВ на расстояние R_T

$$t_{\text{зат}} = 2 \ell / 340 \quad , \text{ с} \quad (9.29)$$

где ℓ - кратчайшее расстояние до ближайшего ребра параллелепипеда (горизонтального или вертикального).

За нуль отсчета времени при расчете значений давления затекания $\Delta p_{\text{зат}}(t)$ принимается момент прихода фронта ВУВ на расстояние OM_T .

Максимальное значение избыточного давления затекания определяется по зависимости

$$\Delta p_{\text{зат}}^{\text{max}} = \Delta p_{\varphi} (1 - 0,2 z/H), \text{ кПа} \quad (9.30)$$

где Δp_{φ} - рассчитывается при R_T , вычисленном по формуле (9.36).

Закон изменения давления в точке К на теневой стороне определяется при $t_1 \leq t \leq t_{\text{зат}}$ по формуле

$$\Delta p_{\text{зат}}(t) = \Delta p_{\text{зат}}^{\text{max}} \left(\frac{t - t_1}{t_{\text{зат}} - t_1} \right) \quad \text{кПа}, \quad (9.41)$$

при $t_{\text{зат}} \leq t \leq \tau_r$ по формуле

$$\Delta p_{\text{зат}}(t) = \Delta p_{\text{зат}}^{\text{max}} \left(\frac{\tau_r - t}{\tau_r - t_{\text{зат}}} \right)^n \quad \text{кПа}. \quad (9.42)$$

3) Определение изменения нагрузки в точке К на затененной грани ВС выполняется аналогично, руководствуясь схемой определения расстояний, приведенной на рис.9.2.

Для определения закона изменения нагрузки в контрольных точках на поверхности параллелограмма разработана программа PASF в двух модификациях: для расчета при взрывах ВС и при детонационных взрывах ГГВС.

Если время затскания $t_{\text{зат}}$ за тыльную стену со стороны боковой стены меньше, чем со стороны покрытия, то

$$\Delta P_{\text{зат.б}}^{\text{max}} = \Delta P_{\phi} (0,8 + 0,2 \cdot e_{\phi}/H) \quad \text{кПа}, \quad (9.43)$$

где e_{ϕ} - ближайшее расстояние до контрольной точки от вертикального ребра, расположенного между тыльной и боковой гранью; значение $e_{\phi} \leq H$.

9.3.3. При особом случае ориентации параллелепипеда относительно ЦВ затененные стороны целесообразно дифференцировать на: тыльную сторону, боковые стороны и покрытие.

Расчет нагрузки на тыльную сторону выполняется также, как описано в параграфе 9.3.2.

Расчет нагрузки на боковые стороны выполняется в следующем порядке:

- если точка М отстоит от переднего вертикального ребра ближе $(\frac{H}{3})$ м, вычисляется максимальное избыточное давление для этой точки по зависимости

$$\Delta P_{\text{бок}}^{\text{max}} = \Delta P_{\Phi} + 0,6 \Delta P_{\Phi} \cdot (1 - 3 \ell_{\text{м}} / H) \quad (2.44)$$

и изменение избыточного давления во времени для этой точки - по формуле

$$\Delta P_{\text{бок}}(t) = \Delta P_{\text{бок}}^{\text{max}} (1 - t / \tau_{+})^n \quad \text{кПа} \quad (2.45)$$

- если точка М отстоит от переднего вертикального ребра на большее расстояние, чем $(\frac{H}{3})$ м, то изменение избыточного давления в этой точке определяется по формуле

$$\Delta P_{\text{бок}}(t) = \Delta P_{\Phi} (1 - t / \tau_{+})^n \quad \text{кПа} \quad (2.46)$$

Расчет нагрузки на покрытие выполняется аналогично расчету нагрузки на боковую сторону.

В приложении ИЗ приведен пример расчета, выполненный в табличной форме для особого случая ориентации параллелепипеда, когда поперечная его ось направлена точно на ЦВ.

9.4. Определение нагрузок на легкообтекаемые и легкопроницаемые сооружения

9.4.1. К легкообтекаемым и легкопроницаемым сооружениями относятся сооружения, у которых импульс давления, получаемый за время установления обтекания $t_{обт}$, пренебрежимо мал по сравнению с импульсом скоростного напора, получаемым за время действия квазистационарного обтекания. При воздействии ударных и взрывных волн с длительностью действия T_+ более $0,1$ с в легкообтекаемых и легкопроницаемых сооружениях могут быть повреждены: дымовые трубы, опоры электропередач, опоры линий связи, мостовые фермы, эстажерки, эстакады и т.п.

9.4.2. Закон изменения действующей силы F на указанные в п.9.4.1 сооружения определяется по формуле

$$F(t) = q(t) \cdot C_x \cdot S_{мо}, \quad (9.43)$$

где $q(t)$ - закон изменения скоростного напора во времени, определяемый по формулам (4.12), (5.21);

C_x - коэффициент лобового сопротивления, принимаемый согласно СНиП II-II-77^к;

$S_{мо}$ - площадь миделева сечения выделенного участка сооружения, $м^2$.

9.4.3. Нагрузка, вызываемая скоростным напором, распределяется по всей длине сооружения. При динамическом расчете легкообтекаемых и легкопроницаемых сооружений принимать одинаковый закон изменения нагрузки во времени на всем протяжении сооружения.

10. МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ ДЕГРАДАЦИОННОГО
ВЗРЫВА С СООРУЖЕНИЯМИ АС РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

10.1. Нагрузки на сооружения в виде параллелепипеда

10.1.1. Центр облака ГПС расположен на оси здания. Принимаям следующие обозначения:

- расстояние от центра облака до фронтальной стены R ;
 - ширина здания B ;
 - длина здания L ;
 - высота здания H ,
- все размеры в метрах.

Параметры взрывной волны на расстоянии R от центра взрыва определяем согласно главе 7.

В момент подхода взрывной волны к фронтальной стене время $t = 0$.

10.1.2. Максимальное избыточное давление на фронтальной стене

$$\Delta P_{\text{фр}} = K \cdot \Delta P \quad , \quad (10.1)$$

где

$$K = \begin{cases} 2, & \text{при } \Delta P_m < 30 \text{ кПа} \\ 2+2 \sqrt{\frac{\Delta P_m - 30}{\Delta P_m}}, & \text{при } \Delta P_m = 30 \text{ кПа и } \tau_1/\tau_p < 1 \\ (2+2 \sqrt{\frac{\Delta P_m - 30}{\Delta P_m}}) \left(1-0,8 \frac{\tau_1/\tau_p}{3,3+\tau_1/\tau_p} \right), & \text{при } \Delta P_m \geq 30 \text{ кПа и } \tau_1/\tau_p > 1 \end{cases} \quad (10.2)$$

Здесь $\tau_p = \frac{\min(B/2, H)}{340}$, с, размерность ΔP_m - Па.

При $\tau_1/\tau_p > 5$ ΔP определяем по формулам для взрывной нагрузки при скорости $u = \frac{2R_0}{R} u_{\text{н}}$.

10.1.3. Амплитудное давление разрежения на фронтальной стене

$$\Delta P_{\text{фр}} = 2 \Delta P_{-} \quad (10.3)$$

10.1.4. Времена $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ не изменяются.

10.1.5. Зависимость давления на тыльной стене от времени описывается соотношением

$$\Delta P_{\text{т}}(t) = \frac{R}{2(K+L)} \Delta P(R, t - t_{\text{пр}}^*) \quad (10.4)$$

где $t_{\text{пр}}^* = \frac{L}{340}$, с. L — длина стены, м.

10.1.6. Максимальное давление сжатия на боковых стенах и перекрытии и амплитудные давления разрежения равны соответственно ΔP_m и ΔP_{-} в проходящей волне. (10.5)

10.2. Сооружения полусферической формы

10.2.1. Используем обозначения:

- R_0 — радиус сооружения, м;
- расстояние от центра взрыва до центра полусферы R , м;
- $\varphi, 0 \leq \varphi \leq 180^\circ$, угол между прямой, соединяющей центр взрыва с центром полусферы, и прямой, соединяющей центр полусферы с проекцией точки на горизонтальную плоскость;
- $\theta, 0 \leq \theta \leq 90^\circ$, угол между плоскостью основания полусферы и прямой, соединяющей ее центр с точкой на поверхности.

10.2.2. Согласно главе 7 находим параметры взрывной волны на расстоянии $R - Z_0$ от центра взрыва: $\Delta P_m, \Delta P_{-}, \tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$.

10.2.3. Распределение максимального избыточного давления по поверхности полусферы находим как

$$\Delta P_{\pm}^{\text{пл}}(\varphi, \theta) \begin{cases} (1 - \cos \theta \cos^2 \varphi) \Delta P_m, \text{ при } 0 \leq \varphi \leq 90 \\ (1 - \frac{1}{2} \cos^2 \varphi) \Delta P_m, \text{ при } 90 \leq \varphi \leq 180. \end{cases} \quad (10.6)$$

10.2.4. Для определения амплитудного давления разрежения на поверхности полусферы $\Delta P_{\pm}^{\text{пл}}$ в формулу из п.10.2.3 вместо ΔP_m подставляем ΔP_{\pm} .

10.2.б. Времена $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ не меняются.

10.3. Сооружения в виде вертикального цилиндра

10.3.1. Используем обозначения аналогичные п.10.2.1, n, m - высота цилиндра.

10.3.2. Распределение максимального избыточного давления по поверхности цилиндра на высоте $h \leq n$ находим как

$$\Delta P_m^{\text{ц}}(\varphi) = \begin{cases} (1 - \cos^2 \varphi) \Delta P_m, \text{ при } 0 \leq \varphi \leq 90^\circ \\ (1 - \frac{1}{2} \cos^2 \varphi) \Delta P_m, \text{ при } 90^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ, \end{cases} \quad (10.7)$$

где ΔP_m находится согласно главе 7 для расстояния

$$R^* = \sqrt{(R - Z_0)^2 + h^2}. \quad (10.8)$$

10.3.3. Распределение амплитудного давления разрежения по поверхности цилиндра на высоте h находится по формуле из п.10.3.2 с заменой ΔP_m на ΔP_{\pm} для расстояния R^* .

10.3.4. Параметры нагрузки на плоское перекрытие совпадают с параметрами волны на расстоянии $R^* = \sqrt{R^2 + h^2}$ от центра взрыва

10.3.б. Нагрузка на перекрытие в виде пологого купола с высотой $h_0 < \frac{Z_0}{2}$ (Z_0 - радиус цилиндра) находится согласно п.10.3.4.

10.3.6. нагрузка на перекрытие в виде полусферического купола находится согласно п.10.2.3 с подстановкой в формулу параметров волны, найденных для расстояния $R^* = \sqrt{R^2 + H^2}$.

10.3.7. временные характеристики не изменяются.

10.4. проходы между зданиями равной высоты

10.4.1. наличие проходов необходимо учитывать при одновременном выполнении условий:

- ширина прохода меньше величины $\lambda = 340(\tau_1 + \tau_2)$, м;
- высота зданий больше чем $340\tau_1$, м.

10.4.2. центр облака ГИЭС находится на оси прохода, расстояние от центра облака до начала прохода - R ; длина прохода - l , м.

10.4.3. В сквозном проходе максимальное избыточное давление на боковые стены в зависимости от расстояния от начала прохода l , м, находится как

$$\Delta P_m(l) = \Delta P_m(R) \cdot \left(\frac{R}{R+l}\right)^{0,8} \quad (10.9)$$

Величина $\Delta P_-(l)$ находится аналогично.

10.4.4. В тупиковом проходе максимальное избыточное давление и амплитудное давление разрежения на замыкающую стену следует принимать на 30% выше определенных согласно п.п.10.1.2 и 10.1.3.

ЧАСТЬ III

II. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВУВ И ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВЗРЫВНОЙ ОПАСНОСТИ

II.1. Пример расчета параметров ВУВ при взрыве ВВ

II.1.1. Определить параметры ВУВ: Δp_{Φ} , q_{Φ} , τ_{+} , n , m , i_{+} , j_{+} , при следующих исходных данных: $R = 493,3$; $K_{ЭФ} = 1,44$, $C = 500000$ кг ТНТ. Написать законы спада избыточного давления и скоростного напора во времени. Для обозначения параметров использовать символы, принятые в разделе 4 настоящего Руководства.

Решение. Определим:

1) значение корня кубического из эффективной массы заряда

$$Q = \sqrt[3]{K_{ЭФ} \cdot C_{ЭФ}} = \sqrt[3]{1,44 \cdot 5 \cdot 10^5} = 89,628 \text{ кг}^{1/3};$$

2) приведенное расстояние до центра наземного взрыва \bar{R} по формуле (4.3)

$$\bar{R} = R / Q = 493,3 / 89,628 = 5,504 \text{ м/кг}^{1/3};$$

3) Δp_{Φ} по формуле (4.2)

$$\Delta p_{\Phi} = \frac{1}{5,504} \left[82,4 + \frac{1}{5,504} \left(265 + \frac{1}{5,504} 687 \right) \right] = 27,839 \text{ МПа}$$

4) q_{Φ} по формуле (4.11)

$$q_{\Phi} = \frac{2,6 \cdot 27,839^2}{27,839 + 7 \cdot 101,325} = 2,63 \text{ МПа}$$

5) приведенное время длительности положительной фазы $\bar{\tau}_{+}$ по формуле (4.7)

$$\bar{L}_+ = 1,5 \cdot 10^{-3} \sqrt{5,504} = 0,0035 \text{ с/кг}^{1/3};$$

6) динамичность действия положительной фазы \bar{L}_+

$$\bar{L}_+ = \bar{L}_+ \cdot Q = 0,0035 \cdot 89,628 = 0,315 \text{ с};$$

7) показатель спада избыточного давления n по формулам (4.8; 4.9)

$$n = 1 + \left(\frac{27,839}{101,325} \right)^{0,4} = 1,596;$$

8) показатель спада скоростного напора m по формулам (4.13; 4.14)

$$m = 2,64 + 0,0227(27,839 - 2,7)^{1,05} = 3,672;$$

9) приведенный удельный импульс \bar{L}_+ избыточного давления по формуле (4.10)

$$\bar{L}_+ = \frac{27,839 \cdot 0,0035}{1,596 + 1} = 37,5 \text{ Па} \cdot \text{с/кг}^{1/3};$$

10) удельный импульс избыточного давления \dot{L}_+

$$\dot{L}_+ = \bar{L}_+ \cdot Q = 37,5 \cdot 89,628 = 3,361 \text{ кПа} \cdot \text{с};$$

11) приведенный удельный импульс \bar{J}_+ скоростного напора по формуле (4.15)

$$\bar{J}_+ = \frac{2,63 \cdot 0,0035}{3,672 + 1} = 1,88 \text{ Па} \cdot \text{с/кг}^{1/3};$$

12) удельный импульс скоростного напора \dot{J}_+

$$\dot{J}_+ = \bar{J}_+ \cdot Q = 1,88 \cdot 89,628 = 0,168 \text{ кПа} \cdot \text{с};$$

13) закон спада избыточного давления во времени по формуле (4.5)

$$\Delta p(t) = 27,839 \left(1 - \frac{t}{0,3154} \right)^{1,596} \text{ кПа};$$

14) закон спада скоростного напора во времени

$$\psi(t) = 2,63 \left(1 - \frac{t}{0,3164} \right)^{3,872} \text{ МПа.}$$

Рекомендуется округлить полученные значения параметров ВУВ при близких \bar{R}_0 с целью исключения грубых арифметических ошибок, с данными табл. 4.2.

Результаты данного примера будут использованы в п. 12.1.

11.2. Пример расчета параметров ВУВ при детонационном взрыве ГПС

11.2.1. При аварии в окрестности АС 10 т сжиженного пропана взорвалось в атмосферу. Через 10 минут облако образовавшейся ГПС, дрейфуя по ветру со скоростью 2,5 м/с, оказалось на площадке АС, где велись открытые сварочные работы, и детонировало. Центр взрыва оказался на расстоянии 143 м от реакторного отделения (РО).

Определить параметры сферической ВУВ у основания цилиндрической части РО и ΔP_{ϕ} в основании купола на высоте 43,6 м. Использовать обозначения, принятые в разделе 5, и данные табл. 5.1 настоящего Руководства.

Решение. Определим:

1) ориентировочную долю смеси Z , участвовавшей в детонационном взрыве. Согласно п. 2.32 настоящего Руководства при указанных в условиях примера обстоятельствах значение Z может быть принято, равным 0,25;

2) объем смеси при стехиометрической концентрации, способной к детонации, принимая значение $C_{\text{стх}}^m$ для пропана по табл. 5,

$$V_{\text{стех}} = \frac{M_{\text{проп}} \cdot Z}{C_{\text{стх}}^m} = \frac{10000 \cdot 0,25}{75,19 \cdot 10^{-3}} = 33249 \text{ м}^3;$$

3) полную энергию E , выделяющуюся при детонационном взрыве

$$E = V_{\text{см}} \cdot q_v = 33243 \cdot 3486 = 115673113 \text{ кДж};$$

4) энергию взрыва, переходящую в ВУВ, по формуле (5.8)

$$E_{\text{уе}} = E \cdot \eta = 115673113 \cdot 0,4 = 46349246 \text{ кДж};$$

5) корень кубический Q , учитывая, что взрыв наземный

$$Q = \sqrt[3]{2 \cdot E_{\text{уе}}} = \sqrt[3]{2 \cdot 46349246} = 452,576 \text{ м/кДж}^{1/3};$$

6) приведенное расстояние \bar{R}_4 у основания цилиндрической части P_0 по формуле (5.9)

$$R_4 = R_4 / Q = 143 / 452,576 = 0,316 \text{ м/кДж}^{1/3};$$

7) приведенное расстояние \bar{R}_K в основании купола в верхней части цилиндра на высоте $h = 43,8 \text{ м}$

$$\bar{R}_K = R_K / Q = \sqrt{143^2 + 43,8^2} / 452,576 = 0,33 \text{ м/кДж}^{1/3};$$

8) Δp_{Φ} в основании цилиндрической части по формуле (5.12)

$$\Delta p_{\Phi} = \frac{1}{0,316} \left[4,96 + \frac{1}{0,316} \left(0,974 + \frac{1}{0,316} 0,146 \right) \right] = 30,08 \text{ мПа};$$

9) Δp_{Φ} в основании купола на высоте 43,8 м

$$\Delta p_{\Phi} = \frac{1}{0,33} \left[4,96 + \frac{1}{0,33} \left(0,974 + \frac{1}{0,33} 0,146 \right) \right] = 28,037 \text{ мПа};$$

(т.е. учет сферичности ВУВ дало снижение Δp_{Φ} на высоте 43,8 м на 7% или на 2 мПа)

10) q_{Φ} в основании цилиндра по формуле (5.20) (далее в данном примере все параметры ВУВ определяются только в основа-

из цилиндра)

$$Z_{\phi} = \frac{2,5 \cdot 30,08^2}{30,08 + 709} = 3,06 \text{ мПа};$$

II) приведенное время длительности положительной фазы $\bar{\tau}_+$ по формуле (Б.14)

$$\bar{\tau}_+ = 0,323 \sqrt{0,316} = 0,181 \text{ мс/мДж}^{1/3};$$

12) длительность положительной фазы τ_+ по формуле (Б.13)

$$\tau_+ = \bar{\tau}_+ \cdot Q = 0,181 \cdot 452,576 = 0,082 \text{ с};$$

13) приведенный удельный импульс по формуле (Б.17)

$$\bar{l}_+ = 0,694 / 0,316 = 2,196 \text{ Па} \cdot \text{с/мДж}^{1/3};$$

14) удельный импульс по формуле (Б.16)

$$l_+ = \bar{l}_+ \cdot Q = 2,196 \cdot 452,576 = 0,994 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

15) показатель спада избыточного давления по формуле (Б.15)

$$n = \frac{\Delta p_{\phi} \cdot \bar{\tau}_+}{L_+} - 1 = \frac{30,08 \cdot 0,181}{2,196} - 1 = 1,576;$$

16) закон спада избыточного давления во времени по формуле (Б.18)

$$\Delta p(t) = 30,08 \left(1 - \frac{t}{0,082} \right)^{1,576};$$

17) показатель спада скоростного напора во времени по формуле (Б.22)

$$m = 2,64 + 0,0227(30,08 - 2,7)^{2,05} = 3,934;$$

18) закон изменения скоростного напора во времени по формуле (Б.21)

$$q(t) = 3,06 \left(1 - \frac{t}{0,082} \right)^{3,934};$$

19) приведенный удельный импульс скоростного напора по формуле (Б.25)

$$\bar{j}_+ = \frac{q_{\text{ф}} \cdot \bar{t}_r}{m + 1} = \frac{3,08 \cdot 181}{3334 + 1} = 0,112 \text{ Па} \cdot \text{с} / \text{кгДж}^{1/3};$$

20) удельный импульс скоростного напора

$$j_+ = \bar{j}_+ \cdot Q = 0,112 \cdot 452,575 = 0,05 \text{ кПа} \cdot \text{с};$$

21) радиус непосредственного воздействия детонационной волны по формуле (Б.1) см.п.2)

$$R_g = 0,782 \sqrt[5]{V_{\text{отх}}} = 0,782 \sqrt[5]{33249} = 25,15 \text{ м};$$

22) конечный радиус огненного шара при взрыве, после расщепления предetonированных продуктов взрыва

$$R_{\text{огн}} = R_g \cdot 2 = 25,15 \cdot 2 = 50,3 \text{ м}.$$

Рекомендуется сравнить полученные значения параметров ВУВ с данными табл.Б.2 при наиболее близком по значению \bar{K} для исключения возможных грубых арифметических ошибок.

Результаты данного примера будут использованы в примере 12.2.

11.3. Пример определения параметров ВУВ при взрыве загазованной емкости

11.3.1. На складе ГСМ хранится бензин в цистернах емкостью 60 м^3 при герметично закрытых люках. В случае возникновения пожара на складе и нагрева цистерны возможно самовоспламенение паров бензина и взрыв в цистерне. Стенки цистерны выдерживают около 400 кПа избыточного давления изнутри. Определить расстояние, где интенсивность образовавшейся при взрыве ВУВ составит

10 кПа. Принять, что в момент взрыва цистерна заполнена наполовину. Использовать условные обозначения, принятые в разделе 6.

Решение. При внутреннем дефлаграционном взрыве в замкнутой емкости развивается избыточное давление около 900 кПа. Следовательно, стенки емкости разрушутся. Поскольку горючая смесь бензин - воздух при стехиометрической концентрации состоит на 93% из воздуха при грубых инженерных расчетах физические свойства смеси можно заменить физическими свойствами воздуха.

Подготавливаем исходные данные для решения задачи о распаде произвольного разрыва:

1) плотность воздуха внутри емкости остается неизменной, поэтому принимаем

$$\rho_3 = \rho_0 = 1,225 \text{ кг/м}^3 ;$$

2) температуру продуктов взрыва T_3 внутри цистерны в момент разрушения стенок определяем по формуле (6.2)

$$T_3 = \frac{(400 + 101,3) \cdot 10^3}{287 \cdot 1,225} = 1426 \text{ К} ;$$

3) скорость звука a_3 в продуктах взрыва определяем по формуле (6.3)

$$a_3 = \sqrt{K_3 \cdot R_T \cdot T_3} = \sqrt{1,3 \cdot 287 \cdot 1426} = 790 \text{ м/с} ;$$

4) начальное давление на границе цистерны определяем по формуле (6.4). Для определения M_1 используем таблично-графический метод, для чего проведем подготовительные расчеты и составим таблицу значений выражения в правой части формулы (6.4) в зависимости от задаваемых значений M_1 .

Выпишем формулу (6.4) для наглядности подстановки.

$$\frac{P_3}{P_0} = \frac{2K \cdot M_1^2 - (K-1)}{K+1} \left[1 - \frac{K_3-1}{K+1} \frac{a_0}{a_3} \left(M_1 - \frac{1}{M_1} \right) \right]^{-\frac{2K_3}{K_3-1}} \quad (6.4)$$

$$\frac{P_3}{P_0} = \frac{(400+101,3)}{101,3} = 4,947; \quad \frac{2K \cdot M_1^2 - (K-1)}{K+1} = \frac{2 \cdot 1,4 \cdot M_1^2 - (1,4-1)}{1,4+1} = \frac{7M_1^2 - 1}{6};$$

$$\frac{K_3-1}{K+1} = \frac{1,3-1}{1,4+1} = 0,125; \quad \frac{a_0}{a_3} = \frac{340}{730} = 0,466;$$

$$\frac{2K_3}{K_3-1} = \frac{2 \cdot 1,3}{1,3-1} = 8,667$$

Подставим полученные значения в формулу (6.4)

$$4,947 = \frac{7M_1^2 - 1}{6} \left[1 - 0,125 \cdot 0,466 \left(M_1 - \frac{1}{M_1} \right) \right]^{-8,667} \quad (6.4a)$$

Обозначим символом A выражение в правой части равенства (6.4a).

Составим таблицу значений A от M_1

M_1	1,5	1,6	1,62	1,63	1,625	1,626	1,627
A	3,782	4,678	4,875	4,975	4,925	4,935	4,945

Таким образом, при $M_1 = 1,627$ получено удовлетворительное значение $A = \frac{P_3}{P_0} = 4,945$, почти совпадающее с левой частью равенства $\frac{P_3}{P_0} = 4,947$ с точностью $\sim 0,002$ (или $0,05\%$).

Необходимость в построении графика отпала.

5) принимаем $M_1 = 1,627$ и вычисляем значение $\Delta \rho_{\Phi}^H$ по формуле (6.6)

$$\Delta p_{\phi}^H = P_0 \frac{2K}{K+1} (M_1^2 - 1) = 101,3 \frac{2 \cdot 1,4}{1,4+1} (1,627^2 - 1) = 240,3 \text{ кПа.}$$

Исключенное значение $\Delta p_{\phi}^H > 100$ кПа, поэтому дальнейшие расчеты ведем по формуле (6.20), для этого

найдем по формуле (6.21) значение m

$$m = 1 + \left(\frac{\Delta p_{\phi}^H}{3830} - 100 \right)^{0,553} = 1 + \left(\frac{240,3 - 100}{3830} \right)^{0,553} = 1,159;$$

7) по формуле (6.20) рассчитаем значение приведенного расстояния R^0 , где $\Delta p_{\phi}^H = 10$ кПа

$$R^0 = \left(\frac{\Delta p_{\phi}^H}{\Delta p_{\phi}^H} \right)^{\frac{1}{m}} = \left(\frac{240,3}{10} \right)^{\frac{1}{1,159}} = 15,52;$$

8) определяем радиус полушеры R_{II} с объемом, эквивалентным заданному объему цистерны по формуле (6.17)

$$R_{II} = 0,782 \sqrt[3]{V_s} = 0,782 \sqrt[3]{30} = 2,43 \text{ м};$$

9) рассчитаем расстояние R , где $\Delta p_{\phi}^H = 10$ кПа

$$R = R^0 - R_{II} = 15,52 - 2,43 = 13,09 \text{ м.}$$

Кроме проверки на взрыв смеси нужно провести проверку на параметры взрывной волны дефлаграционного внешнего взрыва, выброшенного в атмосферу 30 м^3 диспергированного жидкого бензина по методике, изложенной в разделе 7.

II.4. Пример определения параметров взрывной волны при дефлаграционном взрыве ГВС

II.4.1. Исходные данные.

Произошел пролив 20 т. сжиженного пропана из железнодорожной цистерны. На расстоянии 1200 м от места аварии требуется определить параметры взрывной волны.

II.4.2. Определение параметров облака ГВС

Поскольку площадь жидкого слоя $S_{л}$ определить не представляется возможным принимаем массу испарившегося вещества M_0 равной массе пролитой жидкости

$$M_0 = 20000 \text{ кг.}$$

Находим максимальное расстояние, на котором облако сохраняет способность ко взрыву X_d

$$X_d = 43(20000)^{1/3} \text{ м} \approx 1160 \text{ м,}$$

- расстояние на котором масса газа способного к реакции постоянна X_m

$$X_m = 22(20000)^{1/3} \text{ м} \approx 600 \text{ м.}$$

II.4.3. Определение параметров волны, падающей на сооружение

При дрейфе облака в сторону объекта одновременно действуют два фактора: уменьшаются масса газа способного ко взрыву и радиус облака R_0 и одновременно уменьшается расстояние между облаком и сооружением R .

В данном примере будем считать загроможденность слабой, инициирование детонацией отсутствует, по табл.7.1 определим

$$W_{max} = 200 \text{ м/с.}$$

Согласно п.7.4 найдем избыточное давление на фронте пламени

$$\Delta P_{фр} = \left[\left(1 + 0,53 \frac{W_{max}}{I_+} \right)^{3,5} - 1 \right] \cdot 100 \text{ кПа} \approx 45 \text{ кПа}$$

Затем пользуясь табл.7.2 будем определять ΔP_m в падающей волне при $X = X_m$, $X = X_m + 0,2(X_d - X_m)$ и т.д.

$$1. X = X_m = 600 \text{ м, } R = X_0 - X = 600 \text{ м.}$$

$$M_r = 0,5 M_0 = 10000 \text{ кг.}$$

$$R_0 = 0,782 \left(\frac{M_r}{C_s} \right)^{1/3} = 0,782 \left(\frac{10^4}{75 \cdot 10^{-3}} \right)^{1/3} \text{ м} \approx 38 \text{ м}$$

$$\frac{R}{2R_0} = \frac{600}{76} \approx 7,6 \quad \Delta P_m \approx 5 \text{ кПа}$$

$$2. X = X_m + 0,2(X_d - X_m) = 712 \text{ м } M_r = 0,5 M_0 \frac{X_d - X}{X_d - X_m} = 8000 \text{ кг}$$

$$R_0 = 0,782 \left(\frac{8000}{75 \cdot 10^{-3}} \right)^{1/3} \text{ м} = 37 \text{ м} \quad R = X_0 - X = 562 \text{ м}$$

$$\frac{R}{2R_0} = \frac{562}{74} \approx 6,3 \quad \Delta P_m \approx 6 \text{ кПа}$$

$$3. X = X_m + 0,4(X_d - X_m) = 824 \text{ м } R = X_0 - X = 376 \text{ м}$$

$$M_r = 0,5 M_0 \frac{X_d - X}{X_d - X_m} = 6000 \text{ кг}$$

$$R_0 = 0,782 \left(\frac{6000}{75 \cdot 10^{-3}} \right)^{1/3} \approx 34 \text{ м}$$

$$\frac{R}{2R_0} = \frac{376}{68} \approx 5,5 \quad \Delta P_m \approx 6,2 \text{ кПа}$$

$$4. \lambda = \lambda_m + 0,6(\lambda_d - \lambda_m) = 935 \text{ м} \quad R = \lambda_0 - \lambda = 264 \text{ м.}$$

$$M_T = 4000 \text{ кг.}$$

$$R_0 \approx 29 \text{ м} \quad \frac{R}{2R_0} = \frac{264}{58} \approx 4,6; \quad \Delta P_m \approx 6,8 \text{ кПа}$$

$$5. \lambda = \lambda_m + 0,8(\lambda_d - \lambda_m) = 1048 \text{ м} \quad R = \lambda_0 - \lambda = 152 \text{ м}$$

$$M_T = 2000 \text{ кг} \quad R_0 \approx 23 \text{ м} \quad \frac{R}{2R_0} = \frac{152}{46} \approx 3,3 \quad \Delta P_m \approx 10 \text{ кПа}$$

Таким образом, принимаем $R_0 = 23 \text{ м}$, $R = 152 \text{ м}$, $\Delta P_m = 10 \text{ кПа}$.

Находим время нарастания давления от 0 до ΔP_m

$$\tau_1 = \frac{2R_0}{W_{max}} = \frac{46}{240} \text{ с} \approx 0,20,$$

время спада давления от ΔP_m до 0

$$\tau_2 = \frac{2R_0}{1000} \text{ с} \approx 0,05 \text{ с.}$$

время спада давления от 0 до ΔP_-

$$\tau_3 \approx 0,025 \text{ с}$$

и время нарастания давления до 0

$$\tau_4 \approx 0,48 \text{ с.}$$

Амплитудное давление разрежения $\Delta P_- = -\frac{1}{2} \Delta P_m = -5 \text{ кПа}$.

12. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА НАГРУЗОК НА СООРУЖЕНИЯ АС
РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВУВ ОТ
РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВЗРЫВОВ

12.1. Пример определения нагрузки на поверхность
параллелепипеда при воздействии ВУВ взрыва ВВ

12.1.1. Определить закон изменения нагрузки во времени в контрольной точке M на освещенной грани параллелепипеда, расположенной на расстоянии $q_M = 38,86$ м от ребра A и на высоте $h_M = 10$ м от основания (см. рис. 9.2а). Расстояние R_c ребра A от центра взрыва O_I равно 462,8 м, а угол между гранью α и направлением AO_I составляет 140° . Размеры параллелепипеда 77,7 x 21,6 x 21,6 м.

Определить также закон изменения нагрузки в контрольной точке L на теневой грани C того же параллелепипеда, если точка L отстоит от ребра D на расстоянии $q_L = 38,86$ м и находится на высоте $h_M = 10$ м.

Масса заряда ТНТ $S = 500000$ кг, коэффициент эффективности действия заряда $K_{эф} = 1,44$.

Использовать обозначения, принятые в п.9.3.1, и результаты расчетов параметров ВУВ из примера 11.1.

Решение. Принимаем последовательность решения задачи, рекомендованную в п.8.1.2.

А. Расчеты нагрузки на освещенной грани α . Определяем:

1) координату x_I (расстояние по горизонтали от точки M_I до центра взрыва O_I). Здесь и далее нижним индексом I при обозначениях смежных контрольных точек будем помечать проекции этих точек на горизонтальную плоскость, проходящую через центр

взрыва O_I . Таким образом, M_I есть проекция точки V на указанную плоскость.

Согласно формуле (9.16б)

$$x_c = -\sqrt{a_m^2 + R_c^2 - 2 a_m R_c \cos \gamma} = -\sqrt{38,35^2 + 462,8^2 - 2 \cdot 38,35 \cdot 462,8 \cdot \cos(140^\circ)} = -493,193 \text{ м};$$

2) расстояние от центра взрыва O_I до точки M по формуле (9.17)

$$R_T = \sqrt{x_c^2 + h_m^2} = \sqrt{493,193^2 + 10^2} = 493,3 \text{ м};$$

3) $\sin \alpha_m$ по формуле (9.16а)

$$\sin \alpha_m = \sin \gamma \frac{R_0}{|x_c|} = \sin 140^\circ \frac{462,8}{|-493,193|} = 0,603;$$

4) угол встречи по формуле (9.18) в точке M

$$\omega_M = \arcsin\left(\frac{|\sin \alpha_m x_c|}{R_T}\right) = \arcsin\left(\frac{0,603 \cdot (-493,193)}{493,3}\right) = 37,09^\circ;$$

б) согласно результатам примера II.1 при аналогичных параметрах заряда и расстояния имеем:

$$R_T = 493,3 \text{ м}; C = 600 \text{ т}; K_{\text{эф}} = 1,44; \Delta p_p = 27,84 \text{ кПа}; \\ q_{\text{ф}} = 2,63 \text{ кПа}; \tau_+ = 0,315 \text{ с}; n = 1,596; m = 3,872;$$

б) параметры, связанные с косым отражением:

- значение ω_{max} , при котором $K_{\text{отр}}$ имеет максимальное значение при $\Delta p_p = 27,84 \text{ кПа}$ по формуле (4.17)

$$\omega_{\text{max}} = 17,44 \left(\frac{27,84 - 10}{60}\right)^{0,433} + 28 = 38,315^\circ;$$

- значение $K_{\text{отр}}^{\text{пл}}$ по формуле (4.18)

$$K_{\text{отр}}^{\text{пл}} = 0,207 \left(\frac{27,84 - 10}{60} \right)^{1,676} + 2,93 = 2,96 ;$$

- значение коэффициента отражения в точке М по формуле (4.19)

$$K_{\text{отр}} = (2,96 - 1) \left(\frac{37,09^{\circ}}{38,316^{\circ}} \right)^{1,7} + 1 = 2,855 ;$$

- давление отражения в точке М

$$\Delta p_{\text{отр}} = \Delta p_{\varphi} \cdot K_{\text{отр}} = 27,84 \cdot 2,855 = 79,43 \text{ Па} ;$$

7) параметры, связанные с определением скорости звука в отраженной волне $C_{\text{отр}}$ и времени установления отражения в точке М,

- вычисляем $\pi_1 = \frac{p_{\Phi}}{p_0} = \frac{\Delta p_{\Phi} + p_0}{p_0} = \frac{27,84 + 101,3}{101,3} = 1,275 ;$

- плотность воздуха во фронте ВВВ ρ_{Φ}

$$\rho_{\Phi} = \rho_0 \frac{6 \pi_1 + 1}{\pi_1 + 6} = 1,226 \frac{6 \cdot 1,275 + 1}{1,275 + 6} = 1,456 \text{ кг/м}^3 ;$$

- вычисляем $\pi_2 = \frac{\Delta p_{\text{отр}} + p_0}{\Delta p_{\Phi} + p_0} = \frac{79,47 + 101,3}{27,84 + 101,3} = 1,4 ;$

- плотность воздуха во фронте отраженной волны

$$\rho_{\text{отр}} = \rho_{\Phi} \frac{6 \pi_2 + 1}{\pi_2 + 6} = 1,456 \frac{6 \cdot 1,4 + 1}{1,4 + 6} = 1,85 \text{ кг/м}^3 ;$$

- скорость звука во фронте отраженной волны

$$C_{\text{отр}} = \sqrt{K \frac{p_{\text{отр}}}{\rho_{\text{отр}}} \cdot 10^3} = \sqrt{1,4 \frac{79,47 + 101,3}{1,85} \cdot 10^3} = 369,86 \text{ м/с} ;$$

- кратчайшее расстояние от точки М до ближайшего верхнего ребра

$$l = 21,6 - 10 = 11,6 \text{ м} ;$$

- время установления обтекания $t_{обт}$ в точке М по формуле (9.19)

$$t_{обт} = \frac{2L}{C_{отр}} = \frac{2 \cdot 11,6}{359,85} = 0,063 \text{ с};$$

8) максимальное значение избыточного давления обтекания в точке М в момент установления обтекания

$$\Delta p_{обт}^{max} = \Delta p_{\varphi} \left(1 - \frac{t_{обт}}{T_r}\right)^n + q_{\varphi} \left(1 - \frac{t_{обт}}{T_r}\right)^m \cdot \sin \omega_m$$

$$\Delta p_{обт}^{max} = 27,84 \left(1 - \frac{0,063}{0,316}\right)^{1,596} + 2,63 \left(1 - \frac{0,063}{0,316}\right)^{3,872} \cdot \sin 37,09^\circ = 20,2 \text{ кПа};$$

9) закон изменения нагрузки в точке М до установления обтекания (в период дифракции) $t \leq t_{обт}$

$$\Delta p_{диф}(t) = (\Delta p_{отр} - \Delta p_{обт}^{max}) \left(1 - \frac{t}{t_{обт}}\right) + \Delta p_{обт}^{max}$$

$$\Delta p_{диф}(t) = (79,47 - 20,2) \left(1 - \frac{t}{0,063}\right) + 20,2 \text{ кПа};$$

10) закон изменения во времени квазистационарного давления обтекания при $t > t_{обт}$ в точке М

$$\Delta p_{обт}(t) = \Delta p_{\varphi} \left(1 - \frac{t}{T_r}\right)^n + q_{\varphi} \left(1 - \frac{t}{T_r}\right)^m \cdot \sin \omega_m$$

$$\Delta p_{обт}(t) = 27,84 \left(1 - \frac{t}{0,316}\right)^{1,596} + 2,63 \left(1 - \frac{t}{0,316}\right)^{3,872} \cdot 0,603$$

11) разница во времени Δt между общим нулем отсчета времени (моментом подхода фронта ВУВ к ребру А параллелепипеда) и локальным нулем отсчета времени (моментом подхода фронта ВУВ к точке М₁) в точке М

$$\Delta t_r = \frac{\alpha_c - R_0}{D} = \frac{493,193 - 462,8}{377,9} = 0,0804 \text{ с};$$

12) На рис. 12.1 приведен график изменения нагрузки на освещенной грани (кривая I). Для синхронизации нагрузки в точке М с нагрузками в других точках, начало нагрузки в точке М приводится к обделу нулю, путем прибавления Δt

$$t_0 = 0,0 + \Delta t = 0 + 0,0804 = 0,0804 \text{ с.}$$

12.1.2. В. Расчеты нагрузки в точке на теневой грани С

Определяем, пользуясь схемой определения расстояний на рис. 12.2Б:

1) значение угла φ

$$\varphi = 270^\circ - \gamma = 270^\circ - 140^\circ = 130^\circ;$$

2) расстояние $O_1 D$ по формуле (9.22)

$$O_1 D = \sqrt{21,6^2 + 462,8^2 - 2 \cdot 21,6 \cdot 462,8 \cdot \cos 130^\circ} = 476,97 \text{ м};$$

3) угол β по формуле (9.23)

$$\beta = \arcsin\left(\sin \varphi \frac{R_c}{O_1 D}\right) = \arcsin\left(\sin 130^\circ \cdot \frac{462,8}{476,97}\right) = 48^\circ;$$

4) координату $\alpha_c = O_1 L$, по формуле (9.24)

$$\alpha_c = \sqrt{38,85^2 + 476,97^2 - 2 \cdot 38,85 \cdot 476,97 \cdot \cos (48^\circ + 90^\circ)} = 506,515 \text{ м};$$

5) расстояние R_T до точки L от центра крива O_1

$$R_T = \sqrt{506,515^2 + 10^2} = 506,61 \text{ м};$$

6) параметр: БУВ в точке L на расстоянии 506,515 м согласно формулам (4,2; 4,22; 4,6; 4,8) в условиях, заданных в примере, следующие:

$$\Delta P_r = 26,676 \text{ кПа}; \quad D = 376,415 \text{ м/с}; \quad \tau_+ = 0,319 \text{ с};$$

$$n = 1,586;$$

7) разница во времени между общим нулем отсчета и локальным нулем отсчета в точке

$$\Delta t = (x_L - R_0) / D = (506,515 - 462,8) / 376,415 = 0,116 \text{ с};$$

8) время прихода фронта волны затекания в точку L от ближайшего ребра по формуле (9.28)

$$t_I = (21,6 - 10) / 340 = 0,034 \text{ с};$$

9) время установления максимального давления затекания в точке L по формуле (9.29)

$$t_2 = 2\ell / 340 = 2(21,6 - 10) / 340 = 0,068 \text{ с};$$

10) максимальное значение избыточного давления затекания в точке L по формуле (9.30)

$$\Delta P_{\text{зат}}^{\text{max}} = \Delta P_{\text{ф}} (1 - 0,2 \cdot Z/H) = 26,676 (1 - 0,2 \cdot 10/21,6) = 24,21 \text{ кПа};$$

11) закон изменения давления в точке L при $t_I \leq t \leq t_2$ по формуле (9.31)

$$\Delta P_{\text{зат}}(t) = \Delta P_{\text{зат}}^{\text{max}} \left(\frac{t - t_I}{t_2 - t_I} \right) = 24,24 \left(\frac{t - 0,034}{0,068 - 0,034} \right);$$

12) закон изменения давления в точке L при $t_2 \leq t \leq \tau_+$ по формуле (9.32)

$$\Delta P_{\text{зат}}(t) = \Delta P_{\text{зат}}^{\text{max}} \left(\frac{0,319 - t}{0,319 - 0,068} \right) 1,586$$

На рис.12.1 приведен график 2 изменения давления в точке L на теневой грани.

На рис.12.1 приведены совмещенные во времени графики нагрузок в точках M и L , синхронизированные относительно общего нуля времени.

На рис.12.3 приведен эскиз решения поставленной задачи на ЭВМ по программе PASF для точек M и L , соответственно, для освещенной и теневой грани.

12.2. Пример определения нагрузки на поверхности купола РО в виде эллипсоида вращения при воздействии ВВВ детонационного взрыва ГПВС

12.2.1. Определить закон изменения нагрузки во времени в контрольной точке M на освещенной поверхности купола РО. Купол РО имеет следующие геометрические характеристики: горизонтальная полуось вращаемого эллипса $a = 23,8$ м; вертикальная полуось $b = 26,6$ м; основание купола находится на цилиндрической части РО на высоте $h = 43,8$ м. Контрольная точка M на поверхности купола задана (см.рис.9.18) - полярным расстоянием $r = 17,9$ м и углом $\gamma = 30^\circ$ относительно вертикальной плоскости, проходящей через центр взрыва O_1 и вертикальную ось цилиндрической части.

Характеристики детонационного взрыва облака ГПВС аналогичны заданным в примере 11.2.1.

Расстояние от центра детонационного взрыва облака ГПВС взрыва O_1 до ближней точки в основании цилиндра $R_0 = 143$ м.

Совмещение во времени графиков нагрузок в почках м.ч.ч.,
расположенных на освещенной и теневой гранях
параллелепипеда

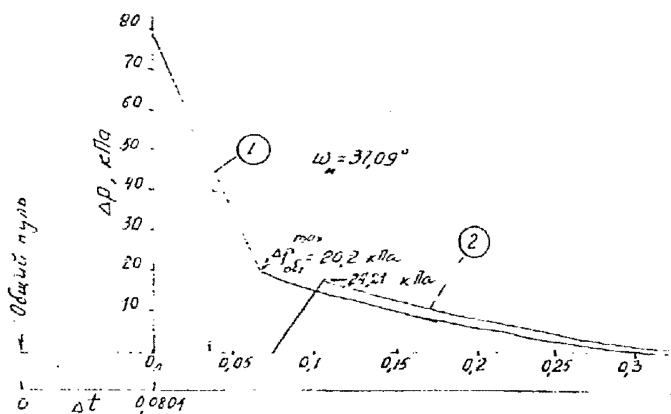


Рис. 12.1

ПРОГРАММА FAS 1.0
 РАСЧЕТ НАГРУЗКИ НА ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ
 РАЗРАБОТКА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

DATA 23-09-1993
 КОНЕЦ В СТОЛБЕ 1670

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

R= 462.8	A= 77.7	B= 21.6	H= 21.6
RT= 493.0158	SM= 492.9143	SN= 0	N= 1
AV= 38.5	BV= 0	ZV= 10	K= 1
GG= 140	FG= 130	AG= 0	BA= 0
AP= 0	BP= 0	X= 28.11435	

СФЕРИЧЕСКАЯ ВОЛНА

НАГРУЗКА НА ОСВЕЩЕННУЮ СТОРОНУ

T= 0	PT= 27.86581	PR= 79.60612	IM= 1.07960612
T= .02	PT= 25.09755	PR= 62.88265	IM= 1.499312
T= .03999999	PT= 22.439	PR= 44.32028	IM= 2.564995
T= .05999999	PT= 19.89328	PR= 24.06532	IM= 3.241416
T= .07999999	PT= 17.46389	PR= 18.05692	IM= 3.631796
T= .1	PT= 15.15473	PR= 15.59438	IM= 3.966821
T= .1200001	PT= 12.9782	PR= 13.28676	IM= 4.25422
T= .1400001	PT= 10.9153	PR= 11.13527	IM= 4.497104
T= .1600001	PT= 8.995814	PR= 9.142077	IM= 4.69061
T= .1800002	PT= 7.218558	PR= 7.310481	IM= 4.86195
T= .2000002	PT= 5.591699	PR= 5.645327	IM= 4.998394
T= .2200003	PT= 4.125321	PR= 4.153549	IM= 5.087342
T= .2400003	PT= 2.823355	PR= 2.84512	IM= 5.156359
T= .2600002	PT= 1.730331	PR= 1.734843	IM= 5.201257
T= .2799999	PT= .8452033	PR= .8461983	IM= 5.226228
T= .2999997	PT= .2226463	PR= .2227059	IM= 5.236107

КОНЕЦ ВЫЧИСЛЕНИЯ

ПАРАМЕТРЫ НА ОСВЕЩЕННОЙ СТОРОНЕ

RT= 493.0158	WG= 37.11325	PG= 27.86581	QF= 2.63448
RA= 79.60612	DF= 377.9578	CG= 344.4152	KD= 2.856767
TY= .3193144	TB= .06366368	TZ= .07967649	W= .6477485

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

R= 462.8	A= 77.7	B= 21.6	H= 21.6
RT= 506.3421	SM= 506.2433	SN= 476.9713	N= 0
AV= 38.5	BV= 0	ZV= 10	K= 1
GG= 140	FG= 130	AG= 0	BA= 0
AP= 0	BP= .8379671	X= 43.44336	

СФЕРИЧЕСКАЯ ВОЛНА

НАГРУЗКА НА ТЕНЕВОЙ СТОРОНЕ

T= 0	PT= 26.8992	PR= 0	IM= 0
T= .02	PT= 24.09786	PR= 6.154566	IM= .06462295
T= .03999999	PT= 21.5949	PR= 12.30913	IM= .2523372
T= .05999999	PT= 19.19564	PR= 18.46368	IM= .5631026
T= .07999999	PT= 16.90247	PR= 19.45993	IM= .9640354
T= .1	PT= 14.71898	PR= 16.94607	IM= 1.326625
T= .1200001	PT= 12.64922	PR= 14.56313	IM= 1.648303
T= .1400001	PT= 10.69776	PR= 12.3164	IM= 1.987744
T= .1600001	PT= 8.869905	PR= 10.21198	IM= 2.131733
T= .1800002	PT= 7.17186	PR= 8.25701	IM= 2.315191
T= .2000002	PT= 5.611044	PR= 6.460032	IM= 2.461192
T= .2200003	PT= 4.19658	PR= 4.83155	IM= 2.573004
T= .2400003	PT= 2.94007	PR= 3.384922	IM= 2.65413
T= .2600002	PT= 1.857052	PR= 2.138052	IM= 2.708386
T= .2799999	PT= .9701257	PR= 1.116912	IM= 2.740022
T= .2999997	PT= .3171805	PR= .3651718	IM= 2.753965

КОНЕЦ ВЫЧИСЛЕНИЯ

ПАРАМЕТРЫ НА ТЕНЕВОЙ СТОРОНЕ

RT= 506.3421	SP= 476.9713	SM= 506.2433	ZV= 10
TY= .3195475	TZ= .06823529	TB= .1154051	R= 462.8

Энергию взрыва, перешедшую в гравитационную волну, принять согласно п.п.4) подраздела II.2.1, равной $E_{\text{г}} = 46848246 \text{ кДж}$, а корень кубический из энергии $\rho = \sqrt[3]{\frac{E_{\text{г}}}{c^3}} = 452,576 \text{ кДж}^{1/3}$.

Использовать обозначения, принятые в II.2 и 9.2, и последовательность расчетов, указанную в 9.2.1.

Решение. Принимаем систему координат, описанные в 9.2.1. Определяем:

1) определяем декартовы координаты в I-ой системе координат

$$x_0 = 17,9 \cdot \cos 30^\circ = 15,301 \text{ м}; \quad y_0 = 17,9 \cdot \sin 30^\circ = 8,95 \text{ м};$$

$$z_0 = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - r^2} = \frac{26,6}{23,8} \sqrt{23,8^2 - 17,9^2} = 17,53 \text{ м};$$

2) угол φ между нормалью основания эллипсоида и нормалью N в точке M к поверхности эллипсоида

$$\varphi = \arctg \left[\frac{b}{a} \left(-r / \sqrt{a^2 - r^2} \right) \right] + \frac{\pi}{2}$$

$$\varphi = \arctg \left[\frac{26,6}{23,8} \left(-17,9 / \sqrt{23,8^2 - 17,9^2} \right) \right] + \frac{\pi}{2} = 0,6649 \approx 38,096^\circ;$$

3) длина нормали N в точке M

$$N = z_0 / \sin \varphi = 17,53 / \sin 38,096^\circ = 28,411 \text{ м};$$

4) декартовы координаты точки M во 2-ой системе координат

$$x_M = N \cdot \cos \varphi \cdot \cos \gamma = 28,411 \cdot \cos 38,096^\circ \cdot \cos 30^\circ = 19,363 \text{ м};$$

$$y_M = N \cdot \cos \varphi \cdot \sin \gamma = 28,411 \cdot \cos 38,096^\circ \cdot \sin 30^\circ = 11,179 \text{ м};$$

$$z_M = N \cdot \sin \varphi = 28,411 \cdot \sin 38,096^\circ = 17,53 \text{ м};$$

б) декартовы координаты точки М в 3-ей системе координат с началом в центре взрыва Z_0

$$x_c = -(R_0 + a - x_0) = -143 + 23,8 - 15,501 = -161,3 \text{ м}$$

$$y_c = r \cdot \sin \gamma = 17,9 \cdot \sin 30^\circ = 9,65 \text{ м}$$

$$z_c = h + z_0 = 43,8 + 17,53 = 61,33 \text{ м}$$

б) расстояние от центра взрыва до точки М по лучу

$$R_T = \sqrt{x_c^2 + y_c^2 + z_c^2} = \sqrt{161,3^2 + 9,65^2 + 61,33^2} = 163,554 \text{ м}$$

7) угол отражи

$$\omega = \arcsin \frac{|x_c x_c + y_c y_c + z_c z_c|}{N \cdot R_T}$$

$$\omega = \arcsin \left(\frac{19,363 \cdot (-161,3 + 11,179 \cdot 9,65 + 17,53 \cdot 61,33)}{23,411 \cdot 163,554} \right) = 22,05^\circ$$

8) параметры проходящей волны в точке М:

- приведенное расстояние \bar{R}

$$\bar{R} = R_T / \sqrt[3]{2E_{y,c}} = 163,554 / \sqrt[3]{2 \cdot 4349245} = 163,554 / 452,575 = 0,361 \text{ м/кДж}^{1/3}$$

- избыточное давление на фронте ВУВ по формуле (5.12)

$$\Delta P_\Phi = \frac{1}{0,361} \left[4,96 + \frac{1}{0,361} \left(1,974 + \frac{1}{0,361} \cdot 0,146 \right) \right] = 24,28 \text{ кПа}$$

- скоростной напор в точке М на фронте ВУВ

$$q_\Phi = \frac{2,5 \cdot 24,28^2}{24,28 + 709} = 2,01 \text{ кПа}$$

- скорость фронта ВУВ D

$$D = 340 \sqrt{1 + 8,46 \cdot 10^{-3} \Delta P_\Phi} = 340 \sqrt{1 + 8,46 \cdot 10^{-3} \cdot 24,28} = 373,8 \text{ м/с}$$

9) параметры, связанные с косяком отраженным в точке М при $\Delta P_{\phi} = 24,26$ кПа по формулам (4.17; 4.18; 4.19)

$$\omega_{\text{мкс}}^2 = 17,44 \left(\frac{24,28 - 10}{60} \right)^{0,433} + 28^{\circ} = 37,37^{\circ}$$

$$K_{\text{отр}}^{\text{мкс}} = 0,207 \left(\frac{24,28 - 10}{60} \right)^{1,576} + 2,93 = 2,96$$

$$K_{\text{отр}} = (2,96 - 1) \left(\frac{22,05}{37,38} \right)^{1,7} + 1 = 1,796$$

$$\Delta P_{\text{отр}} = \Delta P_{\phi} \cdot K_{\text{отр}} = 24,28 \cdot 1,796 = 43,58 \text{ кПа.}$$

10) параметры, связанные с определением скорости звука в отраженной волне $C_{\text{отр}}$ и времени установления обтекания в точке М

- вычисляем $\pi_1 = \frac{\Delta P_{\phi} + P_0}{P_0} = \frac{24,28 + 101,3}{101,3} = 1,239$;

- плотность воздуха во фронте РУВ

$$\rho_{\phi} = \rho_0 \frac{6 \pi_1 + 1}{\pi_1 + 6} = \frac{6 \cdot 1,239 + 1}{1,239 + 6} = 1,428 \text{ кг/м}^3$$

- вычисляем $\pi_2 = \frac{\Delta P_{\text{отр}} + P_0}{\Delta P_{\phi} - P_0} = \frac{43,58 + 101,3}{24,28 + 101,3} = 1,164$;

- плотность воздуха во фронте отраженной волны

$$\rho_{\text{отр}} = \rho_{\phi} \frac{6 \pi_2 + 1}{\pi_2 + 6} = 1,581 \text{ кг/м}^3$$

- скорость звука во фронте отраженной волны

$$C_{\text{отр}} = \sqrt{K \frac{\Delta P_{\text{отр}} + P_0}{\rho_{\text{отр}}}} \cdot 10^3 = \sqrt{1,4 \frac{43,58 + 101,3}{1,581}} \cdot 10^3 = 367,93 \text{ м/с}$$

- кратчайшее расстояние от точки М до границы освещенной поверхности l приближенно представим отрезком окружности с радиусом, равным $r = 17,9$ м

$$l = \frac{\pi r}{2} = \pi \frac{17,9}{2} = 28,12 \text{ м};$$

- время установления режима обтекания $t_{\text{обр}}$ в точке М по формуле

$$t_{\text{обр}} = \frac{x_0}{D} + \frac{l}{C_{\text{отр}}} = \frac{15,501}{373,3} + \frac{28,12}{357,93} = 0,120 \text{ с};$$

- II) длительность действия БУВ в точке М по формулам (Б.13, Б.14)

$$\bar{\tau}_+ = 0,323 \sqrt{R} = 0,323 \sqrt{0,361} = 0,194 \text{ мс/кДж}^{1/3};$$

$$\tau_+ = \bar{\tau}_+ \sqrt[3]{2E_{\text{ув}}} = 0,194 \sqrt[3]{2 \cdot 46 \cdot 349245} = 0,194 \cdot 452,575 = 87,8 \text{ мксек};$$

так как длительность действия БУВ $\tau_+ < t_{\text{обр}}$, режим обтекания не наступит, нагрузка будет происходить только в процессе дифракции.

- 12) закон изменения нагрузки, приближенно

$$\Delta p(t) = \Delta P_{\text{отр}} \left(1 - \frac{t}{\tau_+}\right) = 43,58 \cdot \left(1 - \frac{t}{0,0878}\right) \text{ кПа.}$$

На рис.12.4 приведен листинг решения поставленной задачи на IBM по программе E L S F для освещенной стороны.

ПРОГРАММА ELSFLO
РАСЧЕТ НАГРУЗОК НА ЭЛЕМЕНТЫ ДИ ВУВ
РАЗРАБОТКА ХУСНУТДИНОВА Д.З.
DATA 08-09-95
КОНЕЦ В СТРОКЕ 1440

T= 0	PT= 29.99998	P1= 32.07499	PR= 77.92381
T= .02	PT= 26.92025	P1= 28.51409	PR= 66.0269
T= .03999999	PT= 23.96915	P1= 25.17039	PR= 52.5196
T= .05999995	PT= 21.15033	P1= 22.03604	PR= 37.55342
T= .07999998	PT= 18.46770	P1= 19.10432	PR= 21.27296
T= .1	PT= 15.92599	P1= 16.3698	PR= 16.3698
T= .1200001	PT= 13.53005	P1= 13.82841	PR= 13.82841
T= .1400001	PT= 11.28575	P1= 11.47757	PR= 11.47757
T= .1600001	PT= 9.199032	P1= 9.316442	PR= 9.316442
T= .1800002	PT= 7.280245	P1= 7.346192	PR= 7.346192
T= .2000002	PT= 5.53659	P1= 5.570443	PR= 5.570443
T= .2200003	PT= 3.980032	P1= 3.99599	PR= 3.99599
T= .2400003	PT= 2.620529	P1= 2.634045	PR= 2.634045
T= .2600002	PT= 1.501238	P1= 1.502640	PR= 1.502640
T= .2799999	PT= .6323014	P1= .632373	PR= .632373
T= .2999997	PT= .08636619	P1= .08636754	PR= .08636754

КОНЕЦ ВЫЧИСЛЕНИЯ

ПАРАМЕТРЫ НАБЕГАЮЩЕЙ И ОТРАЖЕННОЙ ВОЛНЫ

RT= 471.0981	C= 500000	A= 23.8	B= 26.6
RR= 17.9	WG= 42.96305	PG= 128.0977	FG= 38.09775
PF= 29.99998	QF= 3.04465	KF= 1.44	RF= 5.306143
DF= 380.7089	TU= .3082259	NS= 1.614556	UF= 64.32677
P4= 77.92381	KD= 2.597462	RD= 1.761513	CD= 366.0998
PB= 33.04463	TB= .08308246	DT= 1E-03	T0= .02102056
X= 15.50185	Y= 8.95	Z= 17.53068	GG= 30
WM= 38.83809	KM= 2.966646	KN= 2.243572	H= 0

СФЕРИЧЕСКАЯ ВОЛНА

ПАРАМЕТРЫ НАГРУЗКИ НА КУПОЛЕ

T= 0	PT= 29.58259	P1= 31.32629	PR= 81.059
T= .02	PT= 26.56450	P1= 27.90648	PR= 60.27545
T= .03999999	PT= 23.67129	P1= 24.68486	PR= 53.94228
T= .05999995	PT= 20.90639	P1= 21.65555	PR= 38.19822
T= .07999998	PT= 18.27574	P1= 18.81364	PR= 21.17900
T= .1	PT= 15.7757	P1= 16.15535	PR= 16.15535
T= .1200001	PT= 13.47254	P1= 13.67008	PR= 13.67008
T= .1400001	PT= 11.31894	P1= 11.30057	PR= 11.30057
T= .1600001	PT= 9.262425	P1= 9.2631	PR= 9.2631
T= .1800002	PT= 7.370461	P1= 7.327765	PR= 7.327765
T= .2000002	PT= 5.549229	P1= 5.578921	PR= 5.578921
T= .2200003	PT= 4.010376	P1= 4.023846	PR= 4.023846
T= .2400003	PT= 2.668923	P1= 2.673923	PR= 2.673923
T= .2600002	PT= 1.546925	P1= 1.546925	PR= 1.546925
T= .2799999	PT= .6721057	P1= .6722801	PR= .6722801
T= .2999997	PT= .1089364	P1= .1089385	PR= .1089385

КОНЕЦ ВЫЧИСЛЕНИЯ

ПАРАМЕТРЫ НАБЕГАЮЩЕЙ И ОТРАЖЕННОЙ ВОЛНЫ

RT= 475.1579	C= 500000	A= 23.8	B= 26.6
RR= 17.9	WG= 36.06143	PG= 128.0977	FG= 38.09775
PF= 29.58259	QF= 2.962192	KF= 1.44	RF= 5.301438
DF= 380.1724	TU= .3095511	NS= 1.611122	UF= 63.52131
P4= 81.059	KD= 2.740092	RD= 1.753854	CD= 365.7662
PB= 32.54478	TB= .08315772	DT= 1E-03	T0= .02102732
X= 15.50185	Y= 8.95	Z= 17.53068	GG= 30
WM= 38.73957	KM= 2.965643	KN= 2.240319	H= 43.8

Рис. 12.4

12.3. Пример расчета нагрузки на поверхности сооружения цилиндрической формы при воздействии взрывной волны дефлаграционного взрыва ГПВС

12.1. Исходные данные

Параметры взрывной волны прием согласно п. II.4.

Сооружение цилиндрическое, радиусом $r_0 = 22$ м, с полусферическим куполом. Высота цилиндрической части $H = 44$ м. Центр сооружения удален от центра облака на $R = 152$ м. Радиус облака ГПВС $R_0 = 23$ м. Избыточное давление на фронте пламени $\Delta P_f = 45$ кПа.

12.2. Определение нагрузки на сооружение

Распределение максимального избыточного давления по поверхности цилиндра находим как

$$\Delta P_m^{\text{ц}}(\varphi, h) = \begin{cases} (1 + \cos \varphi) \Delta P_m(h), & 0 \leq \varphi \leq 90^\circ \\ (1 + \frac{1}{2} \cos \varphi) \Delta P_m(h), & 90^\circ < \varphi \leq 180^\circ. \end{cases}$$

Здесь $\Delta P_m(h)$ находится из табл. 7.2 для расстояния

$$R^* = \sqrt{(R - r_0)^2 + h^2} = \sqrt{130^2 + h^2} \text{ м.}$$

При $h = 0$ $\Delta P_m \approx 12,5$ кПа.

Распределение максимального давления по поверхности полусферы находим как

$$\Delta P_m^{\text{пс}}(\varphi, \theta) = \begin{cases} (1 + \cos \varphi \cos \theta) \cdot 11 \text{ кПа}, & 0 \leq \varphi \leq 90^\circ \\ (1 + \frac{1}{2} \cos \varphi) \cdot 11 \text{ кПа}, & 90^\circ < \varphi \leq 180^\circ \end{cases}$$

Здесь $\Delta P_m = 11$ кПа определено для расстояния

$$R^* = \sqrt{(R - r_0)^2 + H^2} = 137 \text{ м}$$

из табл. 7.2.

Временные характеристики не изменяются.

Если принять $t = 0$ в момент прихода взрывной волны к основанию цилиндра, то время прихода волны в точку на поверхности сооружения

$$t_{\text{пр}} = \frac{\gamma - R + \gamma_0}{340}, \text{ с.}$$

Здесь γ - расстояние от центра взрыва до точки на поверхности сооружения.

Приложение III

Безопасные расстояния в м при взрывах в месте максимальных авариях без учета дрейфа облаков ГВС

Виды объектов в пятикилометровой зоне	Типы единствен- ных взрывов и максимальные массы, т	Безопасные расстояния в м при		Диаметр огневого шара, м
		$\Delta P_{доп}$ 10 кПа	30 кПа	
1. Проводы и газопроводы, $v = 140$ м/с	ВЗ дефлаграция, 3000 т	-	-	-
		1462	433/24 ¹⁾	665
2. Склады горючих веществ $= 140$ м/с	ВЗ дефлаграция, 1000 т	-	-	-
		1014	300/24	600
3. Взрывоопасные производства $= 240$ м/с	ВЗ, 400 т дефлаграция, 760 т	2010	555	-
4. Водный транспорт: - речной $= 140$ м/с	ВЗ дефлаграция, 210 т	-	-	-
		604	178/24	356
- морской $= 140$ м/с	ВЗ дефлаграция, 20000 т	-	-	-
		2751	814/24	1628
5. Автомобильный транспорт $= 140$ м/с	ВЗ дефлаграция, 2,2 т	-	-	-
		132	39/24	78
6. Железнодорожный транспорт $= 140$ м/с	ВЗ, 100 т дефлаграция, 163 т	576	274	-
		553	164/24	327

1) в знаменателе указанно максимальное давление в кПа.

Приложение П2

Безопасные расстояния в м при возможных взрывах на промплощадке АЭС

Наименование объекта	Максимальное избыточное давление ΔP кПа	Безопасные расстояния (м) при ΔP доп	
		10 кПа	30 кПа
		3	4
Мазутохозяйство			
пускорезервной котельной			
Склад мазута на 10 суточный запас топлива, состоящий из 3-х металлических резервуаров, объемом 3000 м ³	60/467 ^{I)}	68/250 ^{I)}	23/135 ^{I)}
Хозяйство дизельного топлива из 2-х резервуаров объемом 3000 м ³ каждый	60/467 ^{I)}	68/250 ^{I)}	23/135 ^{I)}
Промежуточный подземный резервуар дизельной котельной емкостью 100 м ³	-	-	-
Масляное хозяйство			
Изоляционное масло ТЖл 4-е емкости по 100 м ³	60	22	7
Изоляционное масло Т-750 3 емкости по 63 м ³	60	18	6
Турбинное масло Тр-22 3 емкости по 63 м ³	60	18	6

I) Числа в знаменателе относятся к случаю взрыва в замкнутом объеме.

Продолжение приложения П2

I	1	2	3	4
<u>Газовое хозяйство</u>				
Электролизная установка водородные ресивера 9 x 80 м³	1800	168	79	
Пропан-бутановая установка 2-е емкости по 5 м³	24,22	136	-	
Машина-заправщик с объемом протертин 30 м³ (в жидком виде)	24,22	246	-	
Склад баллонов пропан-бутана 50 x 0,05 = 2,5 м³	1000	31	15	
<u>Ацетиленовая станция</u>				
Резервные баллоны 6 x 0,04 = 0,24 м³	1000	31	15	
Склад карбида кальция 20 т	24/34 ²⁾	191/269 ²⁾	-/72 ²⁾	
<u>Склад аммиака и гидразина</u>				
Гидразин-гидрат -64% концентрации разбавляет до концентрации 20%				не взрывоопасно категория В
Аммиак 25% концентрации				
<u>Склад химвагентов I контура</u>				
S = 100 м²; V = 800 м³; 4 т химвагентов				категория В
<u>Склад фильтрующих материалов</u>				
S = 50 м²; V = 400 м³; 2 т материалов				категория В
<u>Склад стиральных материалов</u>				
S = 20 м²; V = 160 м³; 3,7 т материалов				категория В
<u>Помещение склада хранения</u>				
S = 20 м²; V = 160 м³				категория В

2) Числа в знаменателе относятся к взрывному горению со скоростью W = 170 м/с, в числителе - W = 140 м/с.

Приложение ПЗ

П Р И М Е Р

ТАБЛИЧНОГО РАСЧЕТА НАГРУЗОК НА ПАРALLEЛЕПИПЕД,
ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ДЛИННОЙ СТОРОНОЙ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНО
К НАПРАВЛЕНИЮ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВУВ

Ниже приведен табличный расчет геометрических параметров и параметров воздействия и нагрузок на параллелепипед, поперечная ось которого направлена на ЦВ.

Размеры параллелепипеда те же самые, что и в примере 12.1
 $a \times b \times h = 77,7 \times 21,6 \times 21,6$ м. Расстояние x_0 от точки M_1 , удаленной от угла А на 38,86 м, как и в примере 12.1 составляет 493,193 м (см.рис.113).

Расчет выполнен в табличной форме (см.табл.ПЗ), специально разработанной для организации расчетов при проектировании, для 12 точек, расположенных в 2 яруса, нижний ярус на высоте 10 м, верхний ярус - на высоте 20 м. Поскольку параллелепипед расположен симметрично к осевой линии O_1-O_2 , контрольные точки $M_1 \dots M_{12}$ располагались только на одной половине сооружения. Точки $M_1 \dots M_6$ расположены в нижнем ярусе, а точки $M_7 \dots M_{12}$ - в верхнем ярусе так, что точки с разностью номеров, равной 6 (например, M_1 и M_7 , M_3 и M_9) расположены друг над другом.

Последовательность расчета параметров, такая же, как и в примере 12.1, и соответствует последовательности номеров колонок (граф) таблицы. В головке таблицы указаны наименования параметров, их размерности и в круглых скобках номера формул, по которым производились расчеты, например, колонка 10, параметр ΔF_{Φ} , кПа, (4.2).

В таблице рассчитаны все необходимые данные для написания законов изменения давлений в указанных 12-ти контрольных точках

План привязки контрольных точек (14)

146

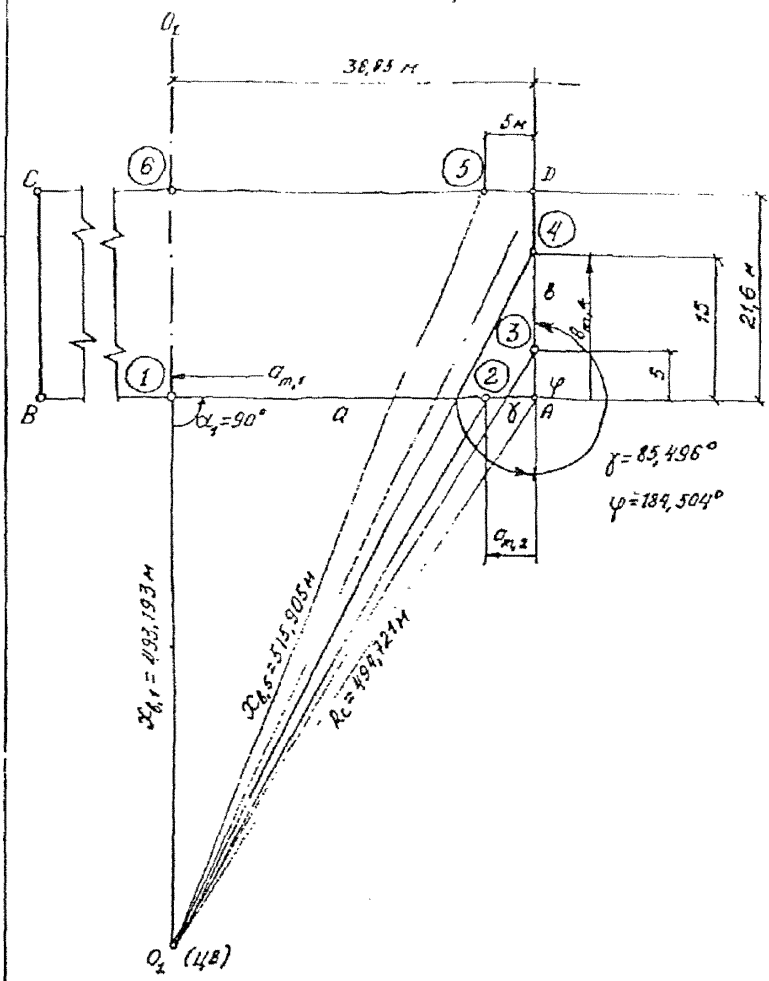


Рис. П.3.

Таблица ПЗ

Последовательность расчета геометрических параметров и параметров воздействия ВУВ и нагрузок на параклешикпад, поперечная ось которого направлена на ЦВ
 (первый ярус контрольных точек М; I ... 6; h = 10 м;
 $R_0 = 494,721\text{м}$, $\gamma = 86,496^\circ$)

№ точек М _i	$x_i, \text{м}$ (9.15б)	$h_i, \text{м}$ (9.17)	$\sin \alpha_i$ (9.16а)	$\sigma_{\text{м}}$, м	$\beta_i, \text{м}$	ω_i° (9.18)	
I	2	3	4	5	6	7	8
1	493,193	10	493,294	1,0	38,85	-	88,806
2	494,353	"	494,454	0,99767	5,0	-	86,922
3	499,715	"	499,815	-	-	5,0	-
4	509,685	"	509,783	-	-	15,0	-
5	515,905	"	516,002	-	5,0	-	-
6	514,793	"	514,890	1,0	38,85	-	-

№ точек М _i	$\Delta P_\Phi, \text{кПа}$ (4.2)	$\tau_+, \text{с}$ (4.6)	n (4.8)	$D_\Phi, \text{м/с}$ (4.22)	КО (4.20)	$\Delta P_{\text{отр}}, \text{кПа}$ (8.4)	$C_{\text{отр}}, \text{м/с}$ (8.10)
9	10	11	12	13	14	15	16
1	27,840	0,3154	1,595	377,92	2,227	61,99	364,6
2	27,735	0,3157	1,595	-	2,225	61,73	-
3	27,259	0,3175	1,591	-	-	-	-
4	26,412	0,3206	1,584	-	-	-	-
5	25,908	0,3225	1,579	-	-	-	-
6	25,997	0,3223	1,580	-	-	-	-

№ точек М _i	$q_\Phi, \text{кПа}$ (4.11)	m (4.14)	$t_{\text{обт}}, \text{с}$ (8.7)	$t_{\text{зат}}, \text{с}$ (9.19)	$\Delta P_{\text{обт}}, \text{кПа}$ (8.5)	$P_{\text{зат}}, \text{кПа}$ (9.30)	$P_c, \text{кПа}$ (9.3)
17	18	19	20	21	22	23	24
1	2,629	3,327	0,0636 с	-	20,747	-	-
2	2,610	3,324	0,027 с	-	25,982	-	-
3	2,523	3,311	-	-	-	-	32,2
4	2,371	3,287	-	-	-	-	26,4
5	2,263	3,273	-	0,0294	-	23,472	-
6	2,298	3,276	-	0,0682	-	25,252	-

(продолжение табл. П 3)

(второй ярус контрольных точек M_i 7 ... 12, $h = 20$ м)

№ точек M_i	$x_i, \text{м}$	$h_i, \text{м}$	$KT, \text{м}$	$\delta/\text{м}$	$\alpha_m, \text{м}$	$\beta_m, \text{м}$	ω°
	(9.15б)		(9.17)	(9.15а)			(9.18)
I	2	3	4	5	6	7	8
7	493,193	20	493,598	1,0	38,85	-	87,679
8	494,363	"	494,757	0,99767	5,0	-	85,456
9	499,715	"	500,115	-	-	6,0	-
10	509,666	"	510,077	-	-	15,0	-
11	515,905	"	516,292	-	5,0	-	-
12	514,793	"	515,181	1,0	38,85	-	-

№ точек M_i	$\Delta P_\phi, \text{кПа}$	$\tau_+, \text{с}$	τ_-	$\delta P_\phi, \text{м/с}$	$K0$	$\Delta P_{\text{опр}}^{\text{max}}$	$C_{\text{опр}}, \text{м/с}$
	(4.2)	(4.6)	(4.8)	(4.22)	(4.20)	кПа(8.4)	(8.10)
9	10	11	12	13	14	15	16
7	27,813	0,3155	1,596	377,865	2,226	61,912	364,6
8	27,708	0,3159	1,596	-	2,226	61,678	-
9	27,233	0,3176	1,591	-	-	-	-
10	26,388	0,3207	1,584	-	-	-	-
11	25,885	0,3227	1,579	-	-	-	-
12	25,974	0,3223	1,580	-	-	-	-

№ точек M_i	$q_\phi, \text{кПа}$	m	$t_{\text{обт}}, \text{с}$	$t_{\text{зат}}, \text{с}$	$\Delta P_{\text{обт}}^{\text{max}}$	$\Delta P_{\text{зат}}^{\text{max}}$	$\Delta P_{\text{бок}}^{\text{max}}$
	(4.11)	(4.14)	(8.7)	(9.19)	кПа(8.5)	кПа(9.30)	кПа(9)
17	18	19	20	21	22	23	24
7	2,625	3,326	0,0087	-	28,988	-	-
8	2,605	3,324	0,0087	-	28,867	-	-
9	2,518	3,310	-	-	-	-	32,22
10	2,367	3,287	-	-	-	-	26,38
11	2,279	3,273	-	0,0094	-	22,577	-
12	2,256	3,275	-	0,0094	-	22,577	-

во времени, руководствуясь указаниями п.9.3.1 ... 9.3.3, а также примером 12.1.

Разработанное табличное представление обеспечивает компактность представления результатов расчетов параметров нагрузок, обеспечивает системность, т.е. нужную логическую последовательность при проведении расчетов, дисциплинируя их; позволяет легко выявлять грубые промахи. В виду легкой обзорности обеспечивает простоту сощлок и большие удобства при оравнении результатов при вариантных расчетах.

Применение пакетов специальных прикладных программ позволяет автоматизировать составление и печатание системных таблиц результатов расчета, резко сокращает время получения их. Из этого вытекает актуальность и важность разработки пакетов специальных прикладных программ.

Из данных табл.13 следует:

1) что нагрузка, приходящаяся в точке M_I на освещенной (фронтальной поверхности) при нормальном падении ЕУВ почти на 28% меньше, чем в примере 12.1 при косом падении ЕУВ. Легко видеть, что примерно такое же различие будет и в других точках освещенной поверхности. Таким образом, установившийся традиционный расчет нагрузок при нормальном падении ЕУВ на фронтальную стену противоречит принципу консервативного подхода при проектировании АС (ОПБ В8);

2) что нагрузка, приходящаяся на фронтальную поверхность при нормальном падении плоской ЕУВ, мало чем отличается при падении сферической ЕУВ при симметричном расположении ЦВ относительно фронтальной стены. Это объясняется значительным удалением ЦВ от сооружения;

3) избыточное давление ΔP_{ϕ} на рубезе тыльной стены при воздействии сферической БУВ (точки 6 и 12) почти на 2 кПа меньше, чем на рубезе фронтальной стены (точки 1 и 7). Это означает, что сдвигающая сила в направлении вдоль поперечной оси при расчете на воздействие сферической волны будет больше, чем при расчете на действие плоской волны. Пренебрежение этим обстоятельством также противоречит принципу консервативного подхода;

4) при симметричном расположении ЦВ относительно фронтальной стены, нагрузки на левую и правую боковые стены одинаковы и не возникает сдвигающей силы вдоль продольной оси сооружения. При косом падении БУВ одна из боковых сторон (освещенная сторона), оказывается нагруженной больше, чем другая боковая сторона (теневая сторона) и возникает сдвигающая сила. Сооружение в таких условиях вынуждено работать в условиях сложного напряженно-деформированного состояния.

Таким образом, установившаяся традиционная ориентация сооружения поперечной осью на ЦВ, и с этой точки зрения, ведет к облегченному напряженно-деформированному состоянию сооружения, чем при косой ориентации сооружения, что, естественно, противоречит принципу консервативного подхода.

Общий вывод, который следует из сказанного выше, состоит в том: что сооружение в виде параллелограмма следует рассчитывать по общему случаю ориентации относительно ЦВ. Наихудшая ориентация может быть выявлена методом проведения вычислительного эксперимента по определению углов γ , при которых возникает наибольшие нагрузки

Приложение П4

Пример определения нагрузки на фронтальную стену параллелепипеда в зоне воздействия огненного шара дефлаграционного взрыва

Определить нагрузку на фронтальную стену параллелепипеда, если длина стены $L = 77,7$ м и высота ее $H = 21,6$ м, расположенную на расстоянии 30 м и 40 м от центра взрыва полусферического облака ГВС, содержащего 10000 кг паров пропана. Скорость распространения пламени 160 м/с.

Решение:

1) Определяем радиус облака продуктов взрыва

$$R_{пр} = 0,782 \sqrt[3]{\frac{M \cdot \xi_{ор}}{Q_{75} \cdot C_{стх}}} = 0,782 \sqrt[3]{\frac{10000 \cdot 0,3 \cdot 7}{0,76 \cdot 74,1 \cdot 10^{-3}}} = 58,325 \text{ м}$$

2) Определяем время нарастания давления на расстояниях 30 м и 40 м до максимума

$$t_{н.1} = R \left(\frac{1}{W} - \frac{1}{\alpha_0} \right); \quad t_{н.1} = 30 \left(\frac{1}{160} - \frac{1}{340} \right) = 99,3 \text{ мс} = 100 \text{ мс}$$

$$t_{н.2} = 40 \left(\frac{1}{160} - \frac{1}{340} \right) = 132,3 \approx 132 \text{ мс.}$$

3) Определяем значение Δp_{max} перед фронтом пламени

$$\Delta p_{max} = P_0 \left[\left(1 + 0,625 \frac{\alpha^2}{1 + \alpha} \right)^{3,5} - 1 \right]$$

$$\alpha = W / \alpha_0 \quad \alpha = 160 / 340 = 0,47$$

$$\Delta p_{max} = 101,325 \left[\left(1 + 0,625 \frac{0,47^2}{1 + 0,47} \right)^{3,5} - 1 \right] = 30,92 \text{ кПа}$$

4) Определяем плотность газа перед фронтом пламени

$$\rho_{max} = \rho_0 \left(\frac{P_{max}}{P_0} \right)^{1/\kappa}, \quad \rho_{max} = 1,225 \left(\frac{101,325 + 3092}{101,325} \right)^{1/1,4} = 1,481 \text{ кг/м}^3;$$

5) Определяем значение скорости перед фронтом пламени

$$u_{max} = W \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}; \quad u_{max} = 160 \left(\frac{7 - 1}{7} \right) = 137,14 \text{ м/с};$$

6) Находим значение скоростного напора перед фронтом пламени

$$q_{max} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{max} \cdot u_{max}^2; \quad q_{max} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,481 \cdot 137,14^2 = 13,92 \text{ кПа};$$

7) Находим время действия отраженного давления на фронтальную стену

$$t_{отр} = H/340; \quad t_{отр} = 21,6/340 = 63,5 \text{ мс} < 100 \text{ мс}.$$

Это время меньше времени нарастания давления в проходящей волне, следовательно, максимальное значение нагрузки возникнет при установлении обтекания;

8) Находим максимальное значение нагрузки, которое возникает при установлении обтекания

$$\Delta P_{обт} = \Delta P_{max} + C_p \cdot q_{max}$$

для фронтальной стены $C_p = 1$

$$\Delta P_{обт} = 30,92 + 1 \cdot 13,92 = 44,84 \text{ кПа} \approx 45 \text{ кПа};$$

9) Построим графики изменения давления в проходящей волне и изменения нагрузки. Предварительно найдем общее время действия нагрузки на расстояниях 30 и 40 м.

Время действия нагрузки в зоне действия огненного шара приближенно равно:

$$t_{\text{нагр}} = t_{\text{гор}} - t_{\text{вост}} \quad , \text{ где}$$

$$t_{\text{гор}} = R_{\text{ПВ}} / W ; \quad t_{\text{гор}} = 56,82 / 160 = 352 \text{ мс}$$

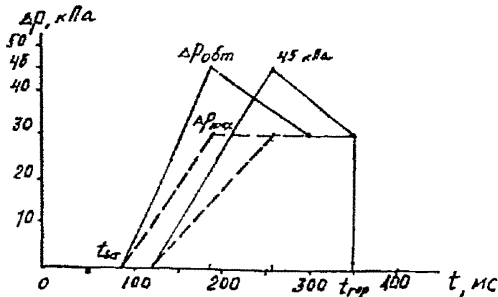
$$t_{\text{вост}} = R / 340 \quad ; \quad t_{\text{вост},1} = 30 / 340 = 88,2 \text{ мс}$$

$$t_{\text{вост},2} = 40 / 340 = 117,8 \text{ мс}$$

Таким образом,

$$t_{\text{нагр},1} = 352 - 88,2 = 263,8 \text{ мс}$$

$$t_{\text{нагр},2} = 352 - 117,8 = 234,2 \text{ мс}$$



$t = 0$ — начало дефлаграционного взрыва;

$t_{\text{вост},1}$ — время прихода фронта волны сжатия на $R = 30$ м;

$t_{\text{вост},2}$ — время прихода фронта волны сжатия на $R = 40$ м.

Замечание. График нагрузки на расстоянии $R = 30$ м при $W = 160$ м/с полностью совпадает с графиком нагрузки, принятым за расчетный в БРГ. На других дистанциях график нагрузки другой.