МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
по атомной энергии

ПРАВИЛА И НОРМЫ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

СОГЛАСОВАНО
Госатомнадзор России
№ I4-05/253 от 6.07.95

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель Министра
_____ Е.А.Решетников
" 20 " февраля 1996 г.

СОГЛАСОВАНО
Начальник IУ развития
атомной энергетики
_____ А.Л.Лапшин
" 20 " февраля 1996 г.

Р У К О В О Д С Т В О

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

РД 95 I0528-96.

Дата введения 01.09.96

Главный инженер
института "Атомэнергопроект"
_____ В.Н.Крушельницкий
" " _____ 1996 г.

Москва 1995

gost.e-ecolog.ru

Р У К О В О Д С Т В О

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 конструкции АС: Московский Государственный строительный университет. – 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.Торин

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 8

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ 10

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ 21

ЧАСТЬ I

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 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 ВВ 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 ПЕРЕНОСИМЫХ ИМ 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 РАССТОЯНИЯХ ОТ ЦЕНТРА ВЗРЫВА 46

4.1. Исходные данные для выполнения расчетов 46

4.2. Соотношения между параметрами на фронте ВУВ и за ее фронтом 52

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

5.1. Условия возникновения детонационных взрывов ..... Исходные данные для выполнения расчетов 56

5.2. Определение параметров детонационной волны 59

5.3. Параметры воздушной ударной волны, генерированной детонационным взрывом, на различных расстояниях от центра взрыва 60

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

6.1. Исходные данные для выполнения расчетов 65

6.2. Определение начальных параметров ВУВ на границе с взорвавшейся емкостью 67

6.3. Параметры ВУВ на различных расстояниях при взрыве герметичных сосудов, работающих под давлением 70

7. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНЫХ ВОЛН ДЕФЛАГРАЦИОННЫХ ВЗРЫВОВ 74

ЧАСТЬ II

8. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ НАГРУЗОК ПРИ ВЗРЫВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ 77

8.1. Основные положения 77

8.2. Схематизация нагрузок 88

8.3. Совмещение нагрузок во времени. Определение интегральных равнодействующих сил и моментов 89

9. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВУВ С СООРУЖЕНИЯМИ АС РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ 91

9.1. Определение нагрузок на сооружения, имеющие форму кругового цилиндра 91
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. Проходы 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 ГПВС 116
11.3. Пример определения параметров ВУВ при взрыве загазованной емкости 119
11.4. Пример определения параметров взрывной волны при дефлаграционном взрыве ГПВС 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

I2.2. Пример определения нагрузки на поверхности купола РС в виде эллипсоида вращения при воздействии ВУВ детонационного взрыва ГПВС 132

I2.3. Пример расчета нагрузки на поверхности сооружения 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 промплощадке АЭС 143

Приложение П3. Пример табличного расчета нагрузок на параллелепипед, ориентированный длинной стороной перпендикулярно к направлению распространения ВУВ..... 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

РВИВО – радиус выявления источников взрывной опасности

ЦВ – центр взрыва

ВВ – взрывчатое вещество

ГС – горючая смесь

ГВС – газовоздушная горючая смесь

ГПВС – газо-паровоздушная 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

НТД – научно-технический документ

ОПБ-88 (ПН АЭ Г-1-011-89) – Общие положения обеспечения безопасности атомных станций

ПиН АЭ-5.6 – 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.

ОНТП 24-86 МВД – Отраслевые нормы технологического проектирования

Руководство 50-SG-S5 МАГАТЭ – Чрезвычайные события, вызываемые деятельностью человека

СНиП 2.01.02-85 – Нагрузки и воздействия

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1. Взрывная авария - авария, причиной которой является взрыв.
2. Сценарий взрывной аварии - предполагаемая 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 - быстропротекающее физико-химическое явление, связанное с быстрым освобождением потенциальной энергии и переходом ее в энергию движущихся сжатых 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 СПД 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, ГПВС. 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 проницаемым поршнем, 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 инициирования 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.

I2. 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 I,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.

I3. Огневой шар (ОВШ) физического взрыва, возникает вследствие разбрасывания капель горячего вещества при разрушении емкостей с горючими веществами, при нагревании пожаром. Горючая смесь создается в процессе горения на поверхности капель. Ско-

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 [illegible] ГПВС в условиях МСА, выражаемое обычно в, так называемых, объемных процентах и обозначаемое (об%).
17. Массовая концентрация - масса горючего газа (пара), содержащаяся в 1 м^3 ГПВС, измеряемая обычно в г/м^3.
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/м^3.
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/м^3.
20. Верхний концентрационный предел воспламенения (ВКПВ) - макси-

мальное содержание горючего газа (пара) в ГПВС, при котором возможно воспламенение и устойчивое горение ГПВС.

21. Нижний концентрационный предел детонации (НКПД) - минимальное содержание горючего газа (пара) в ГПВС, необходимое для начала и устойчивого поддержания детонационного процесса.

22. Верхний концентрационный предел детонации (ВКПД) - 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 НКПВ до ВКПВ.

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 стелящиеся. Наиболее опасны стелящиеся 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 - перемещающиеся от ЦВ чередующиеся области повышенного давления воздуха (или другой среды распространения) и пониженного давления (относительно атмосферного давления), а также увлекаемые взрывной волной частицы воздуха

(среды), которые создают скоростной напор.

27. Воздушная ударная волна (ВУВ) – взрывная волна, давление и скоростной напор в которой возрастают на ее фронте скачкообразно, достигая тем 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 ГПВС, 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 "Руководстве ..." приняты условно, что слабая ВУВ имеет максимальное избыточное давление не более 30 кПа.

28. Волна сжатия – взрывная волна, не имеющая ударного фронта, характерна 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, охваченной 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-

ней 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(отнесенные):

- при расчете ВУВ от взрывов ВВ на $\sqrt[3]{K_{эф}\, C_{ВВ}}$;

- при расчете ВУВ от детонационных взрывов ГПВС на $\sqrt[3]{E_{ув}}$;

- 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 $\Delta p_{ф}$;
- скоростной напор $q_{ф}$;
- массовая скорость $u_{ф}$;
- скорость распространения ВУВ $D_{ф}$;
- плотность газа $\rho_{ф}$;
- приведенная длительность действия волны $\bar{\tau}_{+}$;
- приведенный удельный импульс давления $\bar{i}_{+}$;
- 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

ΔP_{max} или $\Delta P_{об}^{max}$, $\tau_н$;

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

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

- максимальное значение скоростного напора $q_н$ вне максимального радиуса огненного шара,

32. Сосуды, работающие под давлением (СРПД), - сосуды, в которых в рабочем состоянии хранятся сжатые до высоких давлений газы, либо сосуды (емкости, баллоны, резервуары, цистерны), в которых давление возрастает в результате внешнего нагрева или в результате воспламенения образовавшейся горючей 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 СРПД. В 1-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 косое отражение;

- дифракция - огибание 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 приходящей 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 $C_м$ в заданной точке сооружения, м/с.

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

I. Параметры состояния атмосферы

МСА – международная стандартная атмосфера:

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

T_0 – стандартная температура, 288,15°К;

ρ_0 – плотность воздуха, при условиях стандартной атмосферы, равная 1,225 кг/м^3;

a_0 – скорость звука при условиях стандартной атмосферы, равная 340 м/с.

2. Термодинамические характеристики воздуха

$R_в$ – удельная газовая постоянная 287 Дж/(кг·К)ед

$M_в$ – молекулярная масса воздуха, 28,97 кг/моль

– объем одного моля газа в условиях МСА, 23,64м^3/моль

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

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

К – показатель адиабаты Пуассона (изоэнтропы) равный 1,4.

3. Параметры состояния и дрейфа облаков ГПВС

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

$S_п$ – площадь течи, м^2;

$C^{об}_{нг}$ – объемная концентрация горючего в (об%) при НКПВ;

P_I – начальное давление истекающего газа, кПа;

T_I – начальная абсолютная температура истекающего газа(°К);

M_I – молекулярная масса истекающего газа;

P_a – давление окружающего воздуха, кПа;

$T_{ос}$ – температура окружающего воздуха, °К;

$\mu_в$ – молекулярная масса окружающего воздуха;

$T_ж$ – температура хранения перегретой жидкости, °К;

$T_к$ – температура кипения горючей жидкости при давлении, равном атмосферному, °К;

A и B – константы, характеризующие состояние атмосферы и определяемые по шкале Паскуилла

$C_н^m$ – массовая концентрация горючего в ГПВС при НКПВ;

$\rho_к$ – начальная плотность горючего газа при температуре кипения $T_к$ после испарения, кг/м³;

$\rho_г$ – плотность горючего газа в ГПВС при температуре окружающей среды, кг/м³;

$M_ж$ – масса пролитой жидкости, кг;

M_0 – масса газа, участвующая во взрыве, кг;

$Z = M_0/M_ж$ – доля горючего газа, участвующая во взрыве;

α – скрытая теплота парообразования, Дж/кг;

$S_л$ – площадь жидкого слоя, м²;

$M_г$ – масса газа, истекающая из сосуда под давлением, кг;

X_m – минимальное расстояние дрейфа облака ГПВС, м;

$C_{стх}^o$ – стехиометрическая объемная концентрация горючего газа в смеси, (об%);

$C_{стх}$ – стехиометрическая массовая концентрация горючего газа в ГПВС, г/м³.

4. Воздушная ударная волна

$\Delta P_ф$ – избыточное давление на фронте ВУВ, кПа;

$C_{ВВ}$ – масса ВВ, кг;

$Q_{ВВ}$ – теплота взрывчатого превращения, кДж/кг;

R – расстояние от ЦВ, м;

$\bar{R}$ – приведенное расстояние от ЦВ, м/кг$^{1/3}$;

$K_{эф}$ – коэффициент эффективности ВВ по образованию ВУВ;

$K_{В}$ – коэффициент вида взрыва (наземного, воздушного);

$K_{пу}$ – коэффициент плотности укладки ВВ;

$K_{п}$ – коэффициент поднятия заряда над уровнем грунта;

α – $Q_{ВВ}/2420$ – 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 $0 \le t \le \tau_+$, кПа;

τ_+ – длительность положительной фазы, с;

n – показатель спада избыточного давления в ВУВ во времени в период $0 \le t \le \tau_+$;

$\bar{\tau}_+$ – приведенная длительность положительной фазы, $с/кг^{1/3}$;

$\bar{I}_+$ – приведенный импульс положительной фазы, $кПа \cdot с/кг^{1/3}$;

$q_ф$ – значение скоростного напора на фронте ВУВ, кПа;

$q(t)$ – значения скоростного напора в ВУВ в моменты времени $0 \le t \le \tau_+$, кПа;

m – показатель спада скоростного напора в ВУВ во времени в период $0 \le t \le \tau_+$;

$\bar{J}_+$ – приведенный импульс скоростного напора в положительной фазе, $кПа \cdot с/кг^{1/3}$;

$\Delta p^{н}_{отр}$ – максимальное значение отраженного избыточного давления при нормальном отражении, кПа;

ω_{max} – угол встречи при косом отражении, при котором возникает максимальное отражение при заданном значении $\Delta p_ф$, градусы;

$K^{max}_{отр}$ – максимальное значение коэффициента отражения при заданном $\Delta p_ф$ при косом отражении;

$K_{отр}$ – значение коэффициента отражения при заданном угле отражения ω, при косом отражении;

$K^{н}_{отр}$ – коэффициент нормального отражения;

$D_{ф}$ – скорость распространения фронта ВУВ, м/с;

$u_{ф}$ – скорость потока частиц воздуха (массовая скорость) на фронте ВУВ, м/с;

$\rho_{ф}$ – плотность воздуха на фронте ВУВ, кг/м^3;

$T_{ф}$ – абсолютная температура воздуха на фронте ВУВ, ^{0}К;

$a_{ф}$ – скорость распространения звука на фронте ВУВ, м/с;

$\rho(t)$ – плотность воздуха за фронтом ВУВ, кг/м^3;

$u(t)$ – 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 ГПВС, кг;

z – доля детонирующей части горючего газа в ГПВС;

q_m – удельная энергия, выделяющаяся при детонации одного кг ГПВС, кДж/кг;

$C^{m}_{стх}$ – стехиометрическая массовая концентрация горючей компоненты в ГПВС, г/м^3;

$R_{д}$ – радиус продетонировшего облака ГПВС, м;

– скорость распространения детонационной волны, м/с;

$K_{д}$ – показатель адиабаты Пуассона в ПВ;

$\Delta p_{д}$ – избыточное давление на фронте детонационной волны, кПа;

$q_{д}$ – скоростной напор на фронте детонационной волны, кПа;

$u_{д}$ – скорость движения ПВ на фронте детонационной волны, м/с;

E – полная энергия, выделившаяся при детонационном взрыве, кДж;

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

q – коэффициент перехода энергии взрыва в ВУВ;

$\bar{R}$ – приведенное расстояние до ВВ, 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)

$\Delta P_з$ – максимальное избыточное давление, которое может развиться внутри СРПД к моменту взрыва, кПа;

$\sigma_в$ – временное сопротивление стали разрыву при температуре КСА, кПа;

δ – толщина стенок, м;

r – радиус сосуда, м;

$\rho_з$ – плотность газа в СРПД, кг/м^3;

$T_з$ – температура газа в СРПД в момент ее разрушения, ^{0}К;

$K_з$ – показатель адиабаты в газе, заключенном в СРПД;

$R_г$ – удельная газовая постоянная газа, заключенного в СРПД, Дж/кг·град; $R_г = 8314/\mu_г$;

К – показатель адиабаты атмосферного воздуха, 1,4;

$M_1 = D_ф / a_0$ – отношение скорости распространения ВУВ к скорости звука в невозмущенной атмосфере;

$P_з$ – полное давление внутри СРПД в момент ее разрушения, кПа;

$\Delta P_ф^н$ – начальное избыточное давление на фронте ВУВ на границе СРПД, кПа;

$V_з$ – объем СРПД перед разрушением, м^3;

$R_п$ – радиус приведенного к полусфере, объема газа в СРПД, м;

$R_п$ – приведенный радиус СРПД в момент разрушения;

E – потенциальная энергия сжатых газов, заключенных в СРПД;

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

$\alpha = W / a_0$;

$\Delta p_м$ – 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 $\Delta p_м$, с;

τ_2 – время спада давления от $\Delta p_м$ 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. 8.1 , 8.2 , 8.3)

$t_{обт}$ – время установления давления обтекания, с;

$\Delta p_{отр}(t)$ – значения величины отраженного давления в период времени $0 \le t \le t_{обт}$, с;

$\Delta p_{обт}(t)$ - значение величины давления обтекания в период времени $t_{обт} \geq t \leq \tau_+$, с;

$C_р$ - коэффициент давления, зависящий от угла встречи ω;

$\ell_{обт}$ - кратчайшее расстояние от данной точки до теневой поверхности, м;

$C_{отр}$ - скорость звука в отраженной волне, м/с;

$\Delta p_{отр}$ - избыточное отраженное давление, кПа;

$\rho_{отр}$ - плотность воздуха на фронте отраженной волны, кг/м^3;

$\eta_1 = P_ф/P_0$

$\eta_2 = P_{отр}/P_ф$

$P_ф$ - полное давление на фронте ВУВ, кПа;

$P_{отр}$ - полное давление на фронте отраженной ВУВ, кПа;

$t_{зат}$ - время установления максимума давления затекания в затекающей за препятствие сторону сооружения взрывной волне, с;

$\ell_{зат}$ - кратчайшее расстояние до границы освещенной поверхности, м;

$\Delta p_{зат}(t)$ - текущее избыточное значение давления затекания в данной контрольной точке, с момента прихода затекающей волны к ней, кПа;

$\Delta p_{обт}^{max}$ - максимальное значение избыточного давления обтекания в момент установления режима обтекания, кПа;

$\Delta p_{зат}^{max}$ - максимальное значение затекшей за теневую (тыльную) грань избыточного давления в данной контрольной точке, кПа;

$\Delta P^{max}_{бок}$ - максимальное значение избыточного давления на боковой поверхности (а также на покрытии) параллелепипеда в данной контрольной точке, кПа;

$C_м$ - местная скорость звука в заданной точке поверхности сооружения, м/с;

Δt - интервал времени, с;

$R_т$ - расстояние по лучу от ЦВ до данной точки сооружения, м;

$K_о$ - расстояние от ЦВ до ближайшего вертикального ребра сооружения по горизонтали, м (см.рис. 9.2);

SP - расстояния до дальних освещенных вертикальных ребер сооружения по горизонтали, м;

SM - расстояние по горизонтали до горизонтальной проекции контрольной точки М (см.рис. 9.2);

$\tau_{эф}$ - 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)

М - имя контрольной точки, расположенной в произвольной точке на поверхности сооружения;

M_1 - проекция точки М на горизонтальную поверхность, проходящую через ЦВ;

О - 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 М на-

ризонтальной 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 О, 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;

$R_т$ - расстояние от ЦВ до контрольной точки М, м.

10. Геометрические характеристики при расчете нагрузок на эллипсоид вращения

(см.рис. 9.1б)

М - имя контрольной точки, расположенной в любой точке поверхности эллипсоида вращения (купола);

M_2 - проекция точки М на горизонтальную поверхность основания купола,

О - 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 О;

γ - полярный угол, отсчитываемый в горизонтальной плоскости против часовой стрелки (от оси Х к оси У);

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 ;

$x_б$, $y_б$, $z_б$ - декартовы координаты точки M в системе координат с началом в точке O_I;

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 $90° \leq \gamma \leq 180°$ (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 $h_м$;

O_I - начало координат, совпадающая с ЦВ;

R_c - 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;

- расстояние по горизонтали вдоль грани a от ребра A до точки M на освещенной стороне, либо расстояние по горизонтали параллельно грани a от ребра ∂

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_N, y_N, z_N - 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_I);

R_T - расстояние по лучу 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_IB и стороной a,

α_M - угол между направлением x_e и стороной a

β - угол между направлением O_ID и стороной b

β_K - угол между направлением x_e и стороной b

SP - расстояния от ЦВ до дальних освещенных ребер B и D сооружения, м;

$\angle F_1$ - угол между направлением O_IB и BC;

$\angle F_3$ - угол между направлением O_ID и DC;

ω - угол встречи луча O_IM с гранью a, или луча O_IK с гранью b, (см.рис. 9.2б);

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

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

$$\arccos\left(\frac{a}{l_c}\right) \le \gamma \le 90^\circ$$

θ - угол между направлениями O_1A и O_1B - В ;

$\angle F2$ - угол между направлениями O_1A и Al ($F2 = 90^\circ + \gamma$)

$\theta_н$ - угол, когда одна из главных осей параллелепипеда направлена на ЦВ ($\theta_н = \arcsin\left(\frac{a}{2l_c}\right)$)

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 $\Delta p_{ф}$,

$\Delta p_м$ - максимальное избыточное давление в проходящей волне, кПа;

τ_1 - время нарастания давления во взрывной волне от нуля до $\Delta p_м$, с;

$\tau_р$ - время пробега звуковой волной меньшего из расстояний В/2 или Н, с;

U - скорость частиц воздуха, м/с;

$W_м$ -

$\Delta p_{-фр}$ - максимальное давление разрежения (относительно атмосферного давления) на фронтальной стене, кПа

времена τ_1, τ_2, τ_3, τ_4 - (см.параметры дефлаграционной волны), с;

$\Delta p_т(t)$ - текущее давление на тыльной стене;

$t_{пр}$ - время пробега звуковой волной длины сооружения;

$r_в$ - радиус сооружения полуферической 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;

$\Delta p_м^{пс}(\varphi, \theta)$ - распределение максимального избыточного давления по поверхности полусферы.

I5. Вертикальный цилиндр

$\Delta p_м^{пс}(\varphi)$ - 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 НАГРУЗОК НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ АС

ЧАСТЬ I

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Назначение документа

I.I.I. "Руководство ..." предназначено для определения параметров ударных волн при внешних взрывах и нагрузок 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 ГПВС;
- взрывов сосудов, работающих под давлением (СРПД): баллонов, цистерн, ресиверов, газгольдеров, емкостей и т.п.;
- дефлаграционных взрывов облаков ГПВС.

I.I.2. "Руководство ..." разработано в развитие п.I.I.2 ОПБ-88.

I.I.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, СПППАЭ-87, ПиН АЭ-5.6, ОНТП 24-86 МВД, Руководство МАГАТЭ №50- SG - S5, СНиП 2.01.02-85.

I.I.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.

I.2. Задачи, решаемые с помощью "Руководства ..."

I.2.I. 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.I.I.I типов внешних взрывов. Для достижения этой цели "Руководство ..." содержит методики для решения следующих промежуточных задач:

- разработка сценария возможной взрывной аварии в окрестностях и на промплощадке АС;

- определение предельных масс взрывоопасных веществ для каждого 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.

I.2.2. При решении указанных в п.I.2.I задач, при объективном недостатке научных знаний, использовании приближенных зависимостей, недоопределенности 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.

I.3. Область применения "Руководства ..."

I.3.I. Приведенные в "Руководстве ..." расчетные зависимости обеспечивают возможность определения динамических нагрузок при максимальной интенсивности проходящей ВУВ до 100 кПа для всех типов рассматриваемых взрывов.

I.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.

I.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 ВУВ.

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 НТД 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 ветви развития 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 лощин и понижений на возможном пути дрейфа облаков, где могут скапливаться горючие смеси тяжелее воздуха;

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

2.I.3. Следует изучить розы ветров для данной местности.

2.I.4. После определения источников взрывной опасности следует непосредственно в районе строительства уточнить виды взрывоопасных и горючих веществ и оценить возможность образования облаков ГПВС, особенно, тяжелее воздуха.

2.I.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, потерны 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.I. 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 ГПВС, на данном складе или производстве. Следует учитывать, что вероятность одновременного взрыва (в интервале I 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 I секунды, за расчетные принимать наиболее крупные хранилища.

2.2.2. Если разрушения хранилищ с горючими веществами происходят без немедленного воспламенения с образованием облаков ГПВС, 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.I. 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 I0 кПа на границе огневого шара.

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

2.4. Оценка доли вещества, участвующего во взрыве

2.4.I. Конденсированные ВВ при взрывах взрываются полностью,

поэтому доля вещества z, участвующего во взрыве равна I.

2.4.2. При взрывах облаков ГПВС (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 I 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 проходимого облаком пути следует использовать методику, приведенную в разделе 3.

3. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДАЛЬНОСТИ ДРЕЙФА ОБЛАКОВ ГОРЮЧЕЙ СМЕСИ И ПЕРЕНОСИМЫХ ИМИ МАССЫ 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, $X_д$ определяется по формуле:

$$X_д = 3\left(\frac{S_п}{C_н^{02}} \cdot \frac{P_1 T_1 M_a}{P_a T_a M_1}\right)^{0,5}, \text{ м} \qquad (3.1)$$

где $S_п$ – площадь течи, $м^2$;

$C_н^0$ – объемная концентрация на нижнем пределе воспламенения, $м^3/м^3$;

P_1, T_1, M_1 – начальные давления, температура и молекулярная масса истекающего газа, кПа, К, кг/моль;

P_a, T_a, M_a – давление, температура и молекулярная масса окружающего воздуха, кПа, К, кг/моль.

Дрейф в данном и последующих случаях происходит по ветру.

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

$$X_д = 60 \cdot M_0^{1/3}, \text{ м} \qquad (3.2)$$

где M_0 – масса горючего, участвующая в образовании горючей

смеси, кг

$$M_0 = 2\left\{1 - \exp\left[C_p(T_x - T_0)/L\right]\right\} \cdot M_в \text{, кг} \qquad (3.3)$$

$M_в$ – масса выброшенной в атмосферу горючей жидкости, кг

$T_к$ – температура кипения вещества при давлении окружающей среды, К ;

T_0 – исходная температура хранения, К ;

C_p – удельная теплоемкость горючего вещества при постоянном давлении, приводимая в химических справочниках, кДж/кг·К

L – скрытая теплота парообразования, Дж/кг.

3.1.3. Случай выброса криогенной горючей жидкости в атмосферу. Для оценок следует пользоваться следующей формулой

$$R_д = 43 \cdot M_0^{1/3} \text{ м}, \qquad (3.4)$$

$$M_0 = 20 \cdot S_ж / \rho_к \text{ кг} \qquad (3.5)$$

где

$S_ж$ – площадь жидкого слоя в м², определяемая из конкретных условий пролива и обычно ограничиваемая обваловкой. Если получается, что $M_0 > M_в$, то берется $M_0 = M_в$;

$M_в$ – масса всей пролитой жидкости, кг ;

$\rho_к$ – начальная плотность газа после испарения при $T = T_к$, кг/м³.

3.2. Определение массы вещества, способного участвовать во взрыве

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

$$Z = M_г / M_в \ , \qquad (3.6)$$

где $M_в$ - масса газа, выброшенная в атмосферу, кг

$M_г$ - масса газа, способная участвовать во взрыве, определяемая по зависимости (3.7)

$$M_г = \frac{110\,(\rho_m\ P_1/P_a)^{3/2}}{\mu_I^{1/2}\cdot(23+1{,}4\,\mu_I)C_н^{02}} \ , \text{ кг} \qquad (3.7)$$

Обозначения те же что и в (3.1).

3.2.2. Случай выброса перегретой жидкости:

1. Определяется масса горючего, участвующего в образовании взрывоопасной смеси

$$M_0 = 2\left\{1 - \exp\left[C_p(T_к - T_0)/L\right]\right\} M_в \ , \text{ кг} \qquad (3.8)$$

если $M_0 > M_в$, то $M_0 = M_в$.

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

M_0 - кг; X_m и $X_д$ в м,

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

3. Определяется масса газа $M_г$, способная к взрыву,

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

если $X_m < X < X_д$ $M_г = 0{,}5\,\frac{X_д - X}{X_д - X_m}\,M_0$ (3.10)

если $X > X_д$ $M_г = 0$. (3.11)

3.2.3. Случай выброса криогенной горючей жидкости:

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

$$M_0 = \frac{25\cdot\delta_ж}{\rho_к} \ , \text{ кг} \qquad (3.12)$$

$S_и$ - площадь испарения - $м^2$,

если $S_и$ - неизвестно, то $M_0 = M_в$

если $M_0 > M_в$, то $M_0 = M_в$

$M_в$ - масса всей вытекшей жидкости. $Z = M_г / M_в$.

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

и $X_d = 43(M_0)^{1/3}$ (3.14)

M_0 - кг, X_m и X_d - м.

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

если $X < X_m$, $M_г = 0,5\, M_0$ (3.15)

если $X_m < X < X_d$, $M_г = 0,5 \dfrac{X_d - X}{X_d - X_m} M_0$ (3.16)

если $X > X_d$, $M_г = 0$. (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:

$$R_0 = 0,782 \left(\frac{M_г}{C_{отх}^m} \right)^{1/3} \quad м \qquad (3.18)$$

$$R_0 = 0,782 \left(\frac{M_г}{C_{отх}^0 \rho_г} \right)^{1/3} \quad м \qquad (3.19)$$

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

$\rho_г$ - плотность чистого горючего газа при температуре окружающей среды - $кг/м^3$;

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

4. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УДАРНЫХ ВОЛН ПРИ ВЗРЫВАХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ 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 УВ определяется по формуле

$$\Delta P_{\Phi} = \frac{52,4}{\bar{R}} + \frac{265}{\bar{R}^2} + \frac{667}{\bar{R}^3}, \text{ кПа.} \qquad (4.1)$$

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

$$\Delta P_{\Phi} = \frac{1}{\bar{R}}\left[52,4 + \frac{1}{\bar{R}}\left(265 + \frac{1}{\bar{R}}\,667\right)\right], \text{ кПа} \qquad (4.2)$$

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

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

$C_{ВВ}$ - масса заряда ВВ в кг;

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

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

где

$K_{в}$ - коэффициент вида взрыва, учитывает высоту расположения заряда ВВ относительно земли, равный I - 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 I 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; 0,8 - 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 I,0;

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

Значения α приведены в табл.4.I.

4.I.3. Закон изменения избыточного давления во времени определяется по зависимости

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

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

Таблица 4.I

Значения α для ряда ВВ

Виды ВВ	α	Виды ВВ	α
Тротил	I	Тринитроанилин	0,961
Динитробензол	0,66	Пикрат аммония	0,792
Тринитробензол	I,066	Аммонийная селитра	0,396
Октоген	I,278	Аммотол 80/20	0,991
Тэн	I,376	Пироксилин	I,03
Дымный порох	0,656	Гексоген	I,306
Тринитрохлорбензол	I	Оксиликвиты(поглотители)	0,991

симости

$$\tau_+ = \bar{\tau}_+ \sqrt[3]{h_{э\Phi\Phi} \cdot C} \quad , \text{с} \qquad (4.6)$$

здесь

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

$$\bar{\tau}_+ = I,5 \cdot I0^{-3} \sqrt{\bar{R}} \quad \text{с/кг}^{I/3} \qquad (4.7)$$

n - показатель спада избыточного давления, вычисляемый по зависимости

$$n = I + \left(\frac{\Delta P_\Phi}{P_0}\right)^{\gamma} \qquad (4.8)$$

где γ - показатель степени, равный при $5 \leq \Delta P_\Phi \leq I000$ кПа

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

здесь P_0 - атмосферное давление, равное I0I,325 кПа.

4.I.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 $\bar{\tau}_+$;
- 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.табд.4.2).

Приведенный удельный импульс положительной фазы избыточного давления определяется по зависимости

$$\bar{i}_+ = \frac{\Delta P_\Phi \cdot \bar{\tau}_+}{n+1} \qquad \frac{кПа \cdot с}{кг^{1/3}} \qquad (4.10)$$

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

4.1.5. Значение скоростного напора во фронте ВУВ вычисляется по формуле

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

4.1.6. Изменение скоростного напора во времени описывается приближенной зависимостью

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

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

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

Таблица 4.2

Параметры ВУВ конденсированных ВВ на различных приведенных расстояниях

$\bar{R}_к$, м/кг$^{1/3}$	$\Delta P_ф$, кПа	$\bar{\tau}_+$, мс/кг$^{1/3}$	n	$\bar{i}_+$, Па·с/кг$^{1/3}$	$\varphi_ф$, кПа	m	$\bar{J}_+$, Па·с/кг$^{1/3}$	$\Delta P^н_{отр}$, кПа
I	I034	I,5	6,02	258	I534	-	-	5760
I,5	376	I,84	3,20	I65	324	6,63	78,22	I535
2	I93	2,I2	2,47	II7	I03	5,99	32	635
2,5	II9	2,37	2,I0	90,9	42,9	5,57	I5,53	342
3	82	2,59	I,92	72,7	2I,4	4,696	9,396	2I6
3,5	6I	2,80	I,6I	60,6	I2,I5	4,279	6,443	I5I
4	47,9	3,00	I,74	52,4	7,57	3,898	4,635	II4
4,5	38,9	3,I8	I,68	46	5,06	3,640	3,467	90
5	32,5	3,35	I,63	4I,3	3,57	3,458	2,682	74
5,5	27,6	3,52	I,59	37,7	2,63	3,326	2,I40	62
6	24,3	3,67	I,56	34,7	2,00	3,228	I,736	53
6,5	2I,5	3,82	I,54	32,4	I,57	3,I50	I,445	46,7
7	I9,2	3,97	I,5I	30,3	I,26	3,087	I,223	4I,4
7,5	I7,3	4,II	I,49	28,5	I,03	3,036	I,049	37,I
8	I5,8	4,24	I,48	27,0	0,86	2,994	0,9I3	33,6
8,5	I4,5	4,37	I,46	25,7	0,72	2,959	0,795	30,7
9	I3,4	4,50	I,44	24,6	0,62	2,929	0,7I0	28,2
9,5	I2,4	4,62	I,43	23,5	0,53	2,902	0,627	26,I
I0	II,6	4,74	I,42	22,7	0,46	2,88I	0,562	24,3
I0,5	I0,8	4,86	I,4I	2I,8	0,4I	2,860	0,5I6	22,7
II	I0,2	4,97	I,40	2I,I	0,36	2,844	0,465	2I,3
II,5	9,6	5,09	I,39	20,4	0,32	2,828	0,425	20,0
I2	9,I	5,I9	I,38	I9,8	0,29	2,8I5	0,3945	I8,9

при $\Delta P_\phi < P_o$

$$m = 2{,}64 + 0{,}0227(\Delta P_\phi - 2{,}1)^{1{,}05} \qquad (4.14)$$

4.1.7. Приведенный импульс скоростного напора определяется по формуле

$$\bar{J}_+ = \frac{q_\phi \cdot \bar{\tau}_+}{m+1} \qquad \frac{кПа \cdot с}{кг^{1/3}} \; . \qquad (4.15)$$

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

$$\Delta P^{н}_{отр} = 2\,\Delta P_\phi + 2{,}4 \cdot q_\phi \qquad (4.16)$$

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

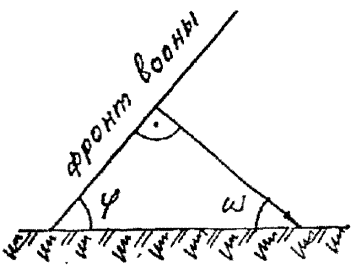


Рис.4.1

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

$$\omega_{max} = 17{,}44 \left(\frac{\Delta P_\phi - 10}{60} \right)^{0{,}433} + 25 \text{, градусы.} \qquad (4.17)$$

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

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

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

если $\omega \le \omega_{max}$, то

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

если $\omega > \omega_{max}$, то

$$K_{отр} = (K_{отр}^{max} - K_{отр}^{н}) \left(\frac{90 - \omega}{\lambda - \omega_{max}} \right)^{6{,}5} + K_{отр}^{н}, \qquad (4.20)$$

где $K_{отр}^{н}$ – коэффициент нормального отражения, определяемый по зависимости

$$K_{отр}^{н} = 2 + 6 \cdot \Delta P_\Phi / (\Delta P_\Phi + 709). \qquad (4.21)$$

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

4.2.1. Параметры ВУВ на ее фронте связаны между собой соотношениями адиабаты Гюгонио, а за фронтом волны – соотношениями адиабаты Пуассона. 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 ВУВ – D_Φ

$$D_\Phi = a_0 \sqrt{1 + \frac{6}{7} \frac{\Delta P\Phi}{P_0}} \quad м/с, \qquad (4.22)$$

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

$$u_\Phi = \frac{\Delta P\Phi \cdot 10^3}{\rho_0 \cdot D_\Phi} \quad м/с, \qquad (4.23)$$

где ρ_0 - плотность воздуха стандартной атмосферы, равная 1,225 $кг/м^3$ при T_0 = 288,15 К.

4.2.4. Плотность воздуха на фронте ВУВ

$$\rho_\Phi = \rho_0 / (1 - u_\Phi / D_\Phi) \quad кг/м^3. \qquad (4.24)$$

4.2.5. Температура воздуха на фронте ВУВ

$$T_\Phi = \frac{P\Phi \cdot 10^3}{\rho_\Phi \cdot R_в} \quad К, \qquad (4.25)$$

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

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

4.2.6. Скорость звука на фронте ВУВ,

$$a_\Phi = \sqrt{K \cdot P_в \, T_\Phi} = \sqrt{K \frac{P\Phi \cdot 10^3}{\rho_\Phi}} \quad м/с. \qquad (4.26)$$

где К - показатель адиабаты для воздуха, равный 1,4 при Т = 288,15°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, $\rho(t)$

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

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

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

4.2.9. Скорость звука за фронтом ВУВ, ( )

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

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

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

4.2.10. Параметры ВУВ в фазе разрежения определяются по формулам:

- максимальное значение давления разрежения, отсчитываемое от значения атмосферного давления

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

- длительность фазы разрежения

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

- закон изменения давления разрежения во времени

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

где t - отсчитывается от конца положительной фазы, с.

Значения параметров на фронте воздушной ударной волны

Таблица 4.3

ΔP_{Φ}, кПа	D, м/с	u_{Φ}, м/с	ρ_{Φ}, кг/м³	q_{Φ}, м/с	q_{Φ}, кПа	T_{Φ}, К	$K^{н}_{отр}$	$\bar{R}_{к}$, м/кг$^{1/3}$
10	354	23,0	1,31	345	0,347	296	2,08	11,16
12	357	27,4	1,33	346	0,499	297	2,10	9,74
14	359	32,0	1,34	347	0,677	299	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	2,18	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	2,658	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	2,28	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	15,7	336	2,54	3,26
80	440	148	1,85	371	20,3	342	2,61	3,04
90	451	163	1,92	374	25,3	347,8	2,68	2,87
100	462	177	1,98	377	30,9	354	2,74	2,72
200	556	299	2,58	405	110	407	3,32	1,96
300	639	383	3,05	429	223	458	3,73	1,65
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	4,05	493	687	604	4,75	1,24
700	894	639	4,28	512	869	651	4,98	1,16
800	946	689	4,49	530	1060	699	5,18	1,105
900	998	736	4,67	547	1258	747	5,36	1,056
1000	1046	781	4,83	565	1463	797	5,51	1,013

5. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ И ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ДЕТОНАЦИОННЫХ ВЗРЫВОВ ГАЗО- И ПАРОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ (ГПВС)

5.I. Условия возникновения детонационных взрывов ГПВС. Исходные данные для выполнения расчетов.

5.I.I. Детонация - это взрывное горение горючей смеси, при котором пламя распространяется с постоянной для данной горючей смеси сверхзвуковой скоростью (I600-3000 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.5.I.

ГПВС в открытом пространстве может детонировать:

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

5.I.2. Исходные данные для выполнения расчетов должны включать: массу горючей компоненты M в горючей смеси; долю детонирующей части горючей смеси z ; удельную энергию взрыва $q_м$; стехиометрическую концентрацию горючего в смеси $C_{стх}$, г/м^3; расстояние до центра взрыва R, м. Указанные исходные данные подготавливаются путем разработки сценария аварии и использования табл.5.I.

5.1

Физико-химические свойства горючих газов и

№ п/п	Горючая компонента взрывоопасной смеси		Молекулярная масса горючей компоненты M	Плотность горючей стехиометрической смеси ρ кг/м³	Концентрация горючего в стехиометрической смеси: массовая $C^{m}_{ст}$ г/м³
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_2H_6	30,036	1,223	72,00
4	Пропан	C_3H_8	44,094	1,246	75,19
5	Бутан	C_4H_{10}	58,12	1,259	76,96
6	Ацетилен	C_2H_2	26,036	1,211	85,36
7	Этилен	C_2H_4	28,052	1,218	77,64
8	Пропилен	C_3H_6	42,078	1,245	79,37
9	Бутилен	C_4H_8	56,104	1,259	80,27
10	Бензол	C_6H_6	78,108	1,277	90,01
11	Толуол	C_7H_8	92,134	1,281	88,88
12	Циклогексанон	$C_6H_{10}O$	98,140	1,295	106,21
13	Метанол	CH_4O	32,042	1,237	166,46
14	Этанол	C_2H_6O	46,062	1,268	127,51
15	Ацетон	C_3H_6O	58,078	1,282	122,56
16	Стирол	C_8H_8	104,144	1,285	90,60
17	Окись углерода	CO	28,01	1,209	350,47
18	Диэтилов.эфир	$C_4H_{10}O$	74,12	1,285	106,05
19	Дихлорэтан	C_2H_4Cl	63,505	1,402	313,80
20	н-Пентан	C_5H_{12}	72,146	1,267	78,08

Таблица 5.1

в при t = 15°С (T = 288,15 К)

ской	Удельная энергия взрыва стехиометрической смеси (q_v)		НКП воспламенения	ВКП воспламенения	НКП детонации	Температура взрыва стехиом. смеси T_v,	Показатель адиабаты в продуктах взрыва K_g (C_p/C_v)
объемная $C^*_{ст}$ об % об. %	массовая q_m кДж/кг	объемная q_v кДж/м³	об % $C^*_н$	об % $C^*_в$	об % $C^*_{д.т}$	К	
6	7	8	9	I0	II	I2	I3
29,59	3420	3025	4	75	I5	2955	I,250
9,506	2744	3207	5	I5		2745	I,258
5,66	2798	3422	2,9	I5	2,97	2830	I,257
4,03	2797	3485	2,I	9,5	2,57	2845	I,256
3,I3	2797	352I	I,8	9,I	I,98	2845	I,262
7,75	3400	4II7	2,5	8I	9,7	34I5	I,258
6,54	3005	3660	3,0	32,0	3,32	3030	I,258
4,46	2888	3596	2,2	I0,4	3,35	2970	I,258
3,38	2887	3635	I,6	9,4		2970	I,257
2,84	2782	3553	I,4	7,I		2950	I,260
2,23	2654	3657	I,3	6,7		2970	I,260
2,28	2793	3618	I,2	I0,6		2875	I,258
I2,30	3232	3997	6,0	34,7		2800	I,249
6,54	2768	3535	3,6	I9,0		2765	I,254
4,99	2888	3702	2,2	I3,0		2840	I,256
2,058	2891	37I5	I,06	5,2		30I5	I,259
29,59	2932	3547	I2,5	74,0		3065	I,259
3,38	2827	3633	I,7	49,0		2910	I,258
6,54	2449	3433	3,6	33,0		2765	I,262
2,559	2794	3540	I,47	7,8		2860	I,258

5.2. Определение параметров детонационной волны

5.2.1. Радиус продетонировавшего облака R_g при наземном взрыве в I-ой фазе развития огненного шара

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

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

5.2.2. Фронт детонационной волны распространяется со скоростью D_g, равной

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

где K_g - показатель адиабаты в продуктах взрыва, определяемый по табл.5.I или по таблицам термодинамических свойств газов, а также при ориентировочных расчетах по зависимости

$$K_g = \frac{I{,}3}{I{,}85 \cdot 10^{-5}(q_m - I200) + I} \qquad (5.3)$$

q_m - удельная энергия взрыва стехиометрической смеси кДж/кг, определяемая по табл.5.I.

5.2.3. Избыточное давление на фронте детонационной волны ΔP_g

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

где $\rho_{см}$ - плотность ГПВС до взрыва, кг/м^3, определяемая по табл.5.I.

5.2.4. Скоростной напор на фронте детонационной волны

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

5.2.5. Скорость движения продуктов детонации на фронте детонационной волны

$$v_g = \frac{D_x}{K_g + 1} \quad \text{м/с}, \qquad (5.6)$$

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

5.3.1. Полная энергия, выделившаяся при детонационном взрыве ГПВС E

$$E = \frac{M \cdot \Sigma}{c_v} \cdot q_v \quad , \text{кДж} \qquad (5.7)$$

где q_v – определяется по данным табл.5.1.

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

$$E_{ув} = E \cdot \eta \qquad (5.8)$$

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

5.3.3. Приведенное расстояние до центра наземного взрыва $\bar{R}$

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

где R – расстояние до центра взрыва, м.

5.3.4. Значения избыточного давления $\Delta P_ф$ на фронте ВУВ детонационного взрыва в зависимости от приведенных расстояний вычисляются по следующим формулам

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

$$\Delta P_ф = \frac{4{,}166}{\bar{R} - 1{,}7} \quad \text{кПа}; \qquad (5.10)$$

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

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

или в более удобной для вычислений форме

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

5.3.5. Длительность действия положительной фазы избыточного давления определяется по зависимости

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

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

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

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

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

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

5.3.6. Удельный импульс фазы сжатия ВУВ i_+ определяется по формуле

$$i_+ = \bar{i}_+ \sqrt[3]{2 E_{ув}} \quad \text{Па} \cdot \text{с}, \qquad (5.16)$$

где

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

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

5.3.7. Изменение избыточного давления во времени определяется по формуле

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

где

n - показатель спада давления, вычисляемый по зависимости

$$n = \frac{\Delta P_{\Phi}\,\bar{\tau}_{+}}{\bar{\iota}_{+}} - 1. \qquad (5.19)$$

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

5.3.8. Значение скоростного напора на фронте ВУВ определяется по зависимости

$$q_{\Phi} = \frac{2{,}5 \cdot \Delta P^{2}_{\Phi}}{\Delta P_{\Phi}+7P_{0}} = \frac{2{,}5\ \Delta P^{2}_{\Phi}}{\Delta P_{\Phi}+709} \quad \text{кПа} \qquad (5.20)$$

5.3.9. Изменение значений скоростного напора во времени определяется по формуле

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

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

а) при $\Delta P_{\Phi} < P_{0}$

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

б) при $\Delta P_{\Phi} \geq P_{0}$

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

Таблица 5.2

Параметры ВУВ детонационного взрыва на различных приведенных расстояниях

$\bar{R}_г$, м/кДж$^{1/3}$	$\Delta P_ф$, кПа	$\bar{\tau}_+$, мс/кДж$^{1/3}$	n	$\bar{i}_+$, Па·с/кДж$^{1/3}$	$q_ф$, кПа	m	$\bar{J}_+$, Па·с/кДж$^{1/3}$	$\Delta P^н_{отр}$, 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	0,664	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	1,450	1,983	2,21	3,262	0,099	56,4
0,40	20,6	0,204	1,445	1,736	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	2,275	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	0,496	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	2,66	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

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

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

$$\bar{j}_+ = \frac{q_ф \bar{\tau}_+}{m+1} \qquad \text{Па·с/кДж}^{1/3} \qquad (5.25)$$

Значения $q_ф$, 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.I. Исходные данные для выполнения расчетов

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

I. Взрывы герметично закрытых сосудов:

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

2. Взрывы сосудов с открытыми люками:

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

6.I.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.I.3. Определение величин давлений, при которых разрушаются стенки сосудов, может быть выполнено либо на основании технических условий на изготовление сосудов и клеймения, которые устанавливают значения рабочего и пробного давления, либо расчетным путем.

6.I. 4. Величина давления, разрушающего сосуд при нормальной температуре, принимается равной I,2 пробного давления. Величина пробного давления для баллонов, кроме баллонов для ацетилена, составляет I,5 рабочего давления. Значение пробных давлений приведены в справочнике (П.А.Долин. Справочник по технике безопасности, I982, 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 $\Delta P_э$, которое может развиться при пожаре внутри емкости к моменту разрыва, может быть вычислено для тонкостенных сферических и цилиндрических емкостей по безмоментной теории по формуле

$$\Delta P_э = \frac{2 \cdot \sigma_в \cdot \delta}{3 \cdot r} \quad кПа, \qquad (6.0)$$

где $\sigma_в$ – временное сопротивление разрыву стали при нормальной температуре, кПа;

δ – толщина стенок, м;

r – радиус сосуда, м.

6.1.5. После определения давления разрушения $\Delta P_з$, 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

$$\rho_з = const \quad . \tag{6.1}$$

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

$$T_з = T_н \frac{P_з}{P_н} \text{, К} \tag{6.2}$$

Показатель адиабаты $K_з$ в момент разрушения определяется по табл.6.1 по известной температуре $T_з$.

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

$$a_з = \sqrt{K_з R_г T_з} \text{, м/с} \tag{6.3}$$

$R_г$ – удельная газовая постоянная, определяемая по зависимости $R_г = 8314/\mu$, где μ – молекулярная масса газа (табл.6.1).

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,

$$\frac{P_з}{P_0} = \frac{2K \cdot M_I^2 - (K-1)}{K+1} \left[1 - \frac{K_з - 1}{K+1} \frac{a_0}{a_з} \left(M_I - \frac{1}{M_I} \right) \right]^{-\frac{2K_з}{K_з - 1}} \tag{6.4}$$

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

Таблица 6.I

Значения показателя адиабаты K_s для ряда газов при различных температурах

t, °C	T, °K	Газы				
		воздух	азот	кислород	водород	ацетилен
0	273,I5	I,40I	I,400	I,398	I,4I0	I,248
I00	373,I5	I,397	I,396	I,386	I,400	I,206
200	473,I5	I,389	I,393	I,383	I,397	I,I86
300	573,I5	I,379	I,384	I,364	I,396	I,I73
400	673,I5	I,368	I,374	I,340	I,396	I,I63
500	773,I5	I,367	I,362	I,329	I,39I	I,I55
600	873,I5	I,347	I,352	I,32I	I,387	I,I49
700	973,I5	I,338	I,343	I,3I4	I,38I	I,I44
800	I073,I5	I,33I	I,335	I,309	I,375	I,I39
900	II73,I5	I,325	I,328	I,305	I,368	I,I36
I000	I273,I5	I,320	I,323	I,30I	I,362	I,I32
II00	I373,I5	I,3I5	I,3I8	I,298	I,355	I,I30
I200	I473,I5	I,3I2	I,3I4	I,296	I,349	I,I27
I300	I573,I5	I,308	I,3II	I,293	I,343	-
I400	I673,I5	I,306	I,308	I,290	I,337	-
I500	I773,I5	I,303	I,306	I,288	I,33I	-
I600	I873,I5	I,30I	I,304	I,285	I,327	-
I700	I973,I5	I,298	I,302	I,283	I,322	-
I800	2073,I5	I,297	I,300	I,28I	I,3I8	-
I900	2I73,I5	I,295	I,299	I,279	I,3I4	-
2000	2273,I5	I,293	I,297	I,276	I,3II	-
2I00	2373,I5	I,292	I,296	I,274	I,308	-
2200	2473,I5	I,29I	I,294	I,272	I,305	-
2300	2573,I5	I,289	I,293	I,270	I,302	-
2400	2673,I5	I,288	I,292	I,268	I,299	-
2500	2773,I5	I,287	I,292	I,267	I,297	-
2600	2873,I5	-	-	I,266	I,295	-
2700	2973,I5	-	-	I,263	I,293	-

M_I - D/a_0 - отношение скорости фронта ВУВ к скорости звука в невозмущенной атмосфере;

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

a_0 - скорость звука в атмосфере, 340 м/с;

$k_з$ - показатель адиабаты газа в сосуде.

Вычисление значений M_I, соответствующих заданному отношению $P_з/P_0$, 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

$$D^н = a_0 \cdot M_I \quad , \text{м/с}. \qquad (6.5)$$

Избыточное давление на фронте ВУВ $\Delta P_ф$

$$\Delta P^н_ф = P_0 \frac{2k}{k+1}(M_I^2 - 1), \text{ кПа} \qquad (6.6)$$

Скорость частиц на фронте ВУВ $U_ф$,

$$U^н_ф = \frac{\Delta P_ф \cdot 1000}{\rho_0 \cdot D} \quad , \text{м/с} \qquad (6.7)$$

Плотность частиц на фронте ВУВ, $\rho_ф$

$$\rho^н_ф = \rho_0/(1 - U_ф/D) \qquad \text{кг/м}^3. \qquad (6.8)$$

Скоростной напор на фронте ВУВ $q_ф$

$$q^н_ф = \frac{\rho_ф U^2_ф 10^{-3}}{2} = \frac{2{,}5\,\Delta P_ф^2}{\Delta P_ф + 709} \quad , \text{кПа}. \qquad (6.9)$$

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

$$\Delta P_{\Phi}^{и} \simeq 0{,}484 \cdot \Delta P_{з}, \text{ кПа}, \qquad (6.10)$$

где $\Delta P_{з} < 500$ кПа (давление разрушения сосуда).

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

6.3.I. 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.

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

$$E = \frac{P_{з} \cdot V_{з}}{K_{з}-I}, \text{ кДж} \qquad (6.II)$$

где $P_{з} = \Delta P_{з} + P_{0}$. (6.I2)

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

$$R_{п} = 0{,}782 \sqrt[3]{V_{з}} \quad \text{м}, \qquad (6.I3)$$

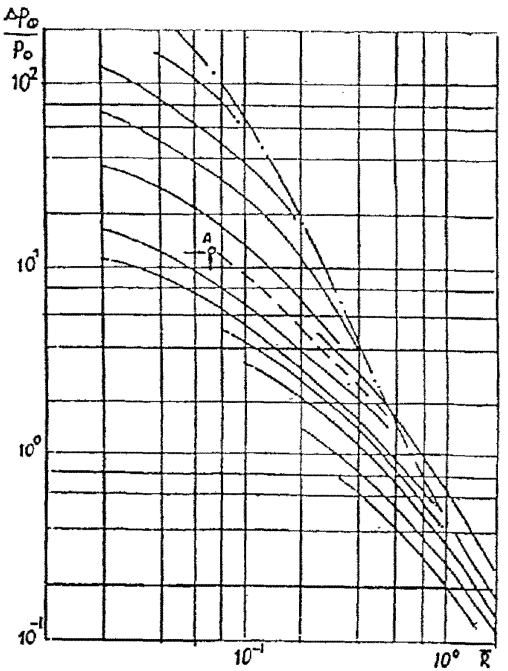
где $V_{з}$ - объем сосуда, м^3

3) Находят значение приведенного радиуса сосуда в момент разрушения

$$\bar{R}_{п} = R_{п} / \sqrt[3]{2E / P_{0}} \quad (б/р). \qquad (6.I4)$$

4) Далее используется график на рис.6.I, на котором наносят точку с координатами $\bar{R}_{п}$ и $\Delta P_{\Phi}^{и} / P_{0}$, где $\Delta P_{\Phi}^{и}$ - начальное давление

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



——— спад давления в ВУВ при разрыве сосудов

— · — спад давления в ВУВ при взрыве ВВ

A ключ для пользования графиком

Рис.6.1

на фронте ВУВ на границе сосуда. Начиная с этой точки проводят кривую, сообразуясь с ходом соседних кривых, т.е. проводят линию "параллельную" соседним кривым.

б) Определяют приведенное расстояние до интересующей точки местности по формуле

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

6) 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 ВУВ находят, пользуясь формулами (6.5) ... (6.9), учитывая, что скорость фронта D определяется по формуле

$$D = 340 \sqrt{1+6,46 \cdot 10^{-3} \Delta P_\Phi} \quad , м/с \qquad (6.16)$$

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

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

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

2) Определяют приведенное расстояние до интересующего пункта местности

$$R^0 = R / R_\Pi . \qquad (6.18)$$

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 $1 < R^0 \leq 100$ определяют по формуле

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

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

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

где

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

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

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

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 ДЕФЛАГРАЦИОННЫХ ВЗРЫВАХ ГПВС

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	Инициирование 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 углеводороды	сильная	да	детонация
	сильная	нет	240
	слабая	да	240
	слабая	нет	200
	отсутствует	да	200
	отсутствует	нет	140

Загроможденность пространства считаем сильной в случаях, когда центр облака ГПВС 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

$$\Delta P_{фр} = \left[\left(1 + 0{,}83\,\frac{\alpha^2}{1+\alpha}\right)^{3{,}5} - 1\right] \cdot 101 \text{ кПа}$$

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

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

Таблица 7.2

$R/R_{пр}$	ΔP_m, кПа								
1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1,5	6,7	13,4	16	20	24	27	32	35	35
2	5	10	12	15	18	21	24	27	30
3	3,3	6,7	8	10	12	14	16	18	20
4	2,5	5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15
5	2	4	4,8	6	7,2	8,4	9,6	10,5	12
10	1	2	2,4	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6
20	0,5	1	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3

Здесь $R_{пр} = 2R_o$,

$R_o = 0{,}782\sqrt{M z / C_{ст}^{m}}$, м

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

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

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

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

Здесь размерность $R_{пр}$ - метры.

7.8. Амплитудное давление разрежения в волне

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

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

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

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

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

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 ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ НАГРУЗОК ПРИ ВЗРЫВЕ ЗАРЯДОВ

8.1. Основные положения

8.1.1. Нагрузки возникают при взаимодействии ВУВ с поверхностью сооружения. Процесс взаимодействия в зависимости от формы сооружения может состоять из нескольких стадий: отражения, огибания сооружения неустановившимся потоком частиц воздуха, переносимых ВУВ (стадия дифракции), стадии квазиустановившегося 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) ВУВ, взаимодействие начинается с процесса отражения. В зависимости от давления на фронте ВУВ и угла встречи ВУВ с поверхностью сооружения ω в каждой точке этой поверхности значения давления отражения в общем случае будут различны. Конкретные расчетные зависимости для вычисления ω будут приведены при описании методики определения нагрузок применительно к каждой характерной для АЭС форме 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, а в то же время по самой грани, нагружаемой проходящей волной, начинает распространяться волна повышенного давления, которая охватывает, ослабевая, часть покрытия и боковых стен.

При взаимодействии ВУВ взрывов конденсированных ВВ и детонационных взрывов ГВВС 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 $t_{обт}$, когда установится давление обтекания.

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

для кругового цилиндра

$$\Delta P_{отр}(t) = \Delta P(t) + (\Delta P^{max}_{отр} - \Delta P_{ф})(1 - t/\tau_{обт})\cdot\cos\gamma \; ; \qquad (8.1)$$

для эллипсоида вращения

$$\Delta P_{отр}(t) = \Delta P(t) + (\Delta P^{max}_{отр} - \Delta P_{ф})(1 - t/t_{обт})(1 - z/B)\cdot\cos\gamma \qquad (8.2)$$

для параллелепипеда

$$\Delta P_{отр}(t) = \Delta P_{обт} + (\Delta P^{max}_{отр} - \Delta P^{max}_{обт})(1 - t/t_{обт}); \qquad (8.3)$$

где

$\Delta P^{max}_{отр}$ – избыточное давление отражения

$$\Delta P^{max}_{отр} = K_{отр} \cdot \Delta P_{ф} \; ; \qquad (8.4)$$

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

К определению угла поворота ω

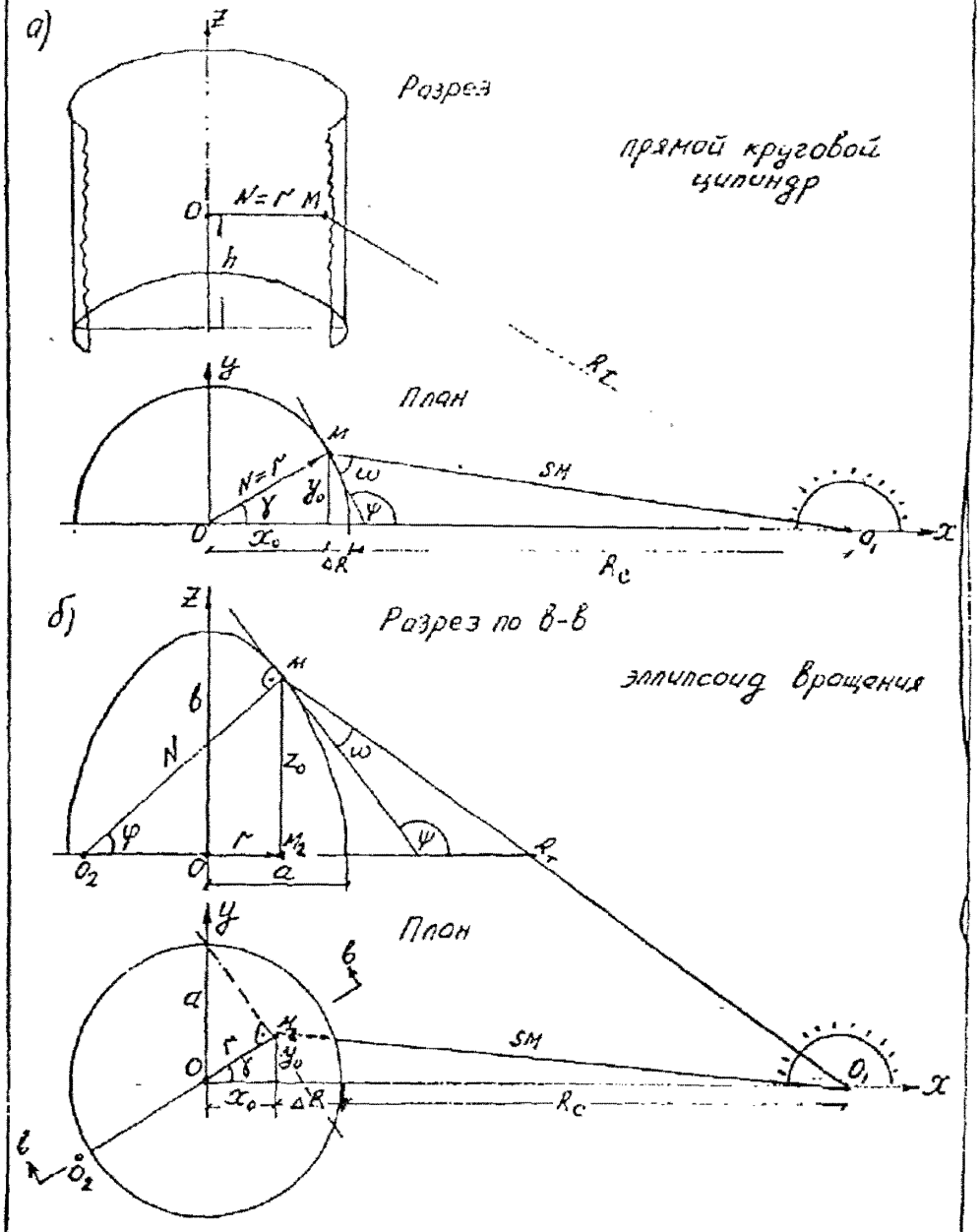


Рис. 8.1

$t_{обт}$ – время установления давления обтекания, определяемое согласно п.8.I.3, с ;

$\Delta P_{обт}$ – максимальное значение давления обтекания, определяемое по формуле

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

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.I, 8.2) для тел вращения, но только вместо $t_{обт}$ в них подставляется τ_{+}.

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

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

8.I.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

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

где

$\Delta P(t)$ – избыточное давление в проходящей волне в момент времени $t \geq t_{обт}$, (кПа), определяемое по формулам (4.5 либо 5.I8);

$q(t)$ – скоростной напор в проходящей волне в момент времени t, (кПа), определяемый по формулам (4.I2 либо 5.2I);

$C_{р}$ – коэффициент давления, зависящий от угла встречи и принимаемый равным $sin(\omega)$;

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

- при расчете обтекания параллелепипеда

$$t_{обт} = 2\,\ell_{обт}\,/c_{отр},\ с \qquad (8.7)$$

- при расчете обтекания цилиндра и эллипсоида вращения

$$t_{обт} = \frac{x_o}{D_\varphi} + \frac{\ell_{обт}}{c_{отр}}, \qquad (8.8)$$

$$\ell_{обт} = r\,(\,\pi/2 - |\gamma|\,),\ м; \qquad (8.9)$$

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

$\ell_{обт}$ – кратчайшее расстояние на освещенной поверхности сооружения до теневой поверхности сооружения, м;

D_φ - скорость фронта проходящей ВУВ, определяемая по формуле (4.22);

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

$$c_{отр} = \sqrt{K\,\frac{\Delta P_{отр} + P_o}{\rho_{отр}}\,10^3}\ м/с; \qquad (8.10)$$

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

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

$$\Delta P_{отр} = K_{отр} \cdot \Delta P_\phi \qquad (8.11)$$

где

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

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

$$\rho_{отр} = \rho_{ф} \frac{6\eta_2 + 1}{\eta_2 + 6} \quad кг/м^3 \qquad (8.12)$$

здесь $\eta_2 = (\Delta\rho_{отр} + P_0)/(\Delta P_{ф} + P_0)$; (8.13)

$\rho_{ф}$ - плотность воздуха во фронте проходящей волны, определяемая по формуле (4.24) либо по формуле (8.14)

$$\rho_{ф} = \rho_0 \frac{6\eta_1 + 1}{\eta_1 + 6}, \quad кг/м^3 \qquad (8.14)$$

здесь $\eta_1 = (\Delta P_{ф} + P_0)/P_0$; (8.15)

ρ_0 - плотность невозмущенной стандартной атмосферы, 1,225 кг/м^3.

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

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

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

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

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

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)

B – 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 рассматривать 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 $\arccos\left(\frac{a}{R_0}\right) \leq \gamma \leq 90^{\circ}$;

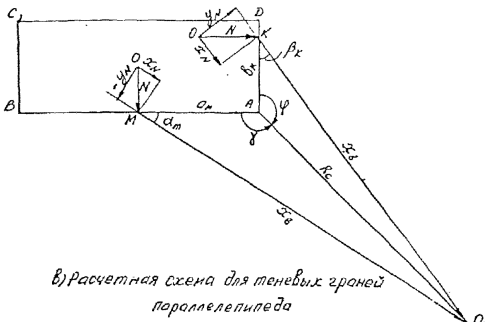
в) частный случай, (см.рис.8.3) когда одна из главных осей симметрии параллелепипеда направлена на ЦВ, а угол $\gamma = \arccos\left(\frac{a}{2R_0}\right)$.

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



в) Расчетная схема для теневых граней параллелепипеда

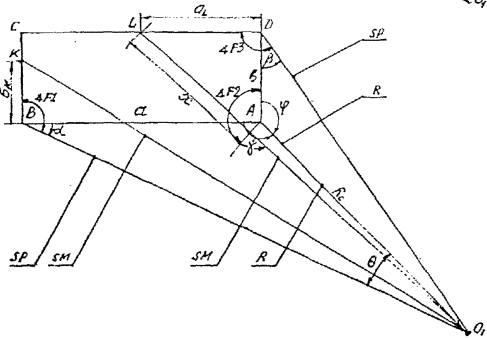


Рис. 82

Схема определения ... точек M , расположенных на тыльной и боковой сторонах параллелепипеда , в особом случае

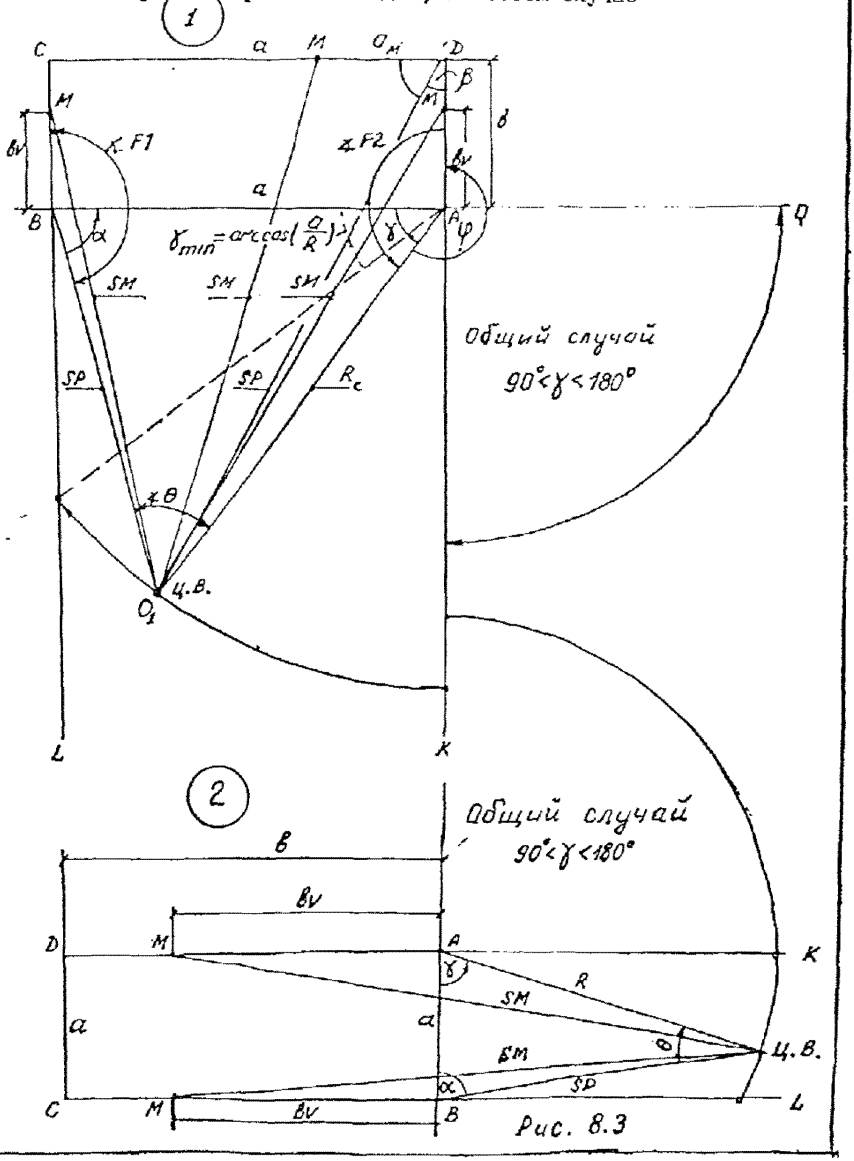


Рис. 8.3

проходящей волне в окрестностях ближнего к ЦВ ребра сооружения.

Процесс затекания ВУВ разбивается на следующие интервалы времени:

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

После достижения максимальных значений давления в затекшей волне, спад давления происходит потому 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

$$\Delta t = \alpha / D_\phi \quad , c \qquad (8.18)$$

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

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

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 ВУВ в данной точке, м/с.

8.1.6. Исходные данные для выполнения расчетов включают:

- данные, необходимые для определения параметров ВУВ, 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 $C_г$ 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.

8.1.7. После задания исходных данных, определение нагрузки в заданной точке i сооружения на освещенной стороне производится в следующей последовательности. Определяются в точке i:

- 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 i много, задача по созданию карты нагрузок на поверхности сооружения является очень трудоемкой, поэтому все расчеты рекомендуется выполнять по специальным программам на ЭВМ.

Нагрузки на теневой стороне в заданной точке определяются

в следующей последовательности. Определяются:

- значения избыточного давления ΔP_ϕ и длительности τ_+;
- время установления режима затекания $t_{зат}$;
- закон нарастания давления до момента $t_{зат}$;
- закон спада давления во времени $\Delta P(t)$;
- строится график изменения нагрузки во времени.

8.2. Схематизация нагрузок

8.2.1. 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 АС, 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 загружения теневой поверхности, и на импульс, полученный сооружением, после начала загружения теневой поверхности и до конца загружения 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 БУВ С СООРУЖЕНИЯМИ ИЗ РАЗЛИЧНОЙ СРЕДЫ

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

I) Для определения угла встречи ω :

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

К определению угла встречи ω

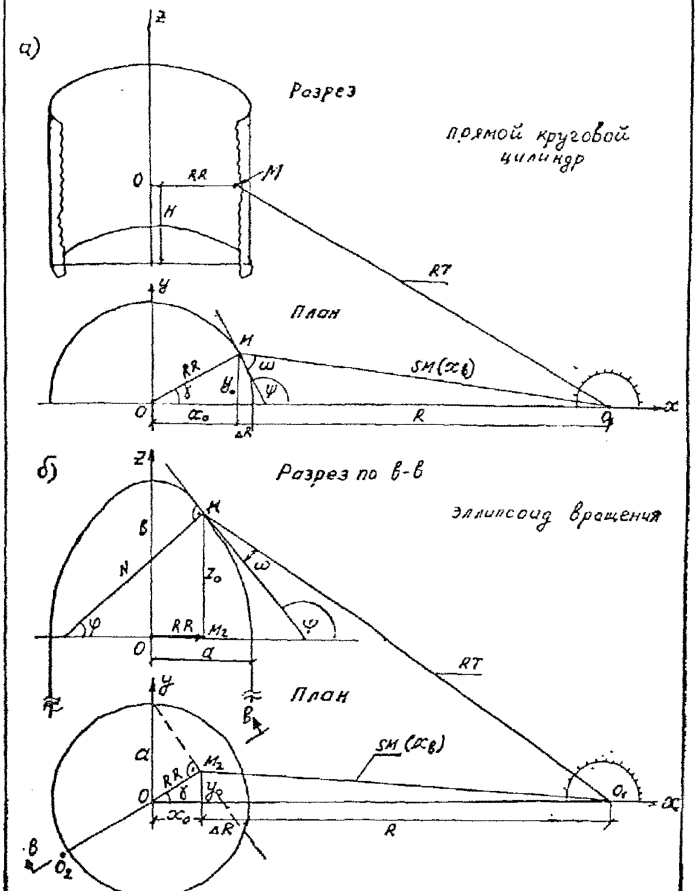


Рис. 9.1

В круговом цилиндре радиус цилиндра r в точке М совпадает по величине и направлению с нормалью, проведенной из центра О к точке М, к поверхности цилиндра.

- Определяются координаты точки М (x_6, y_6, z_6) во 2-й системе координат: $x_6 = -/R_c+(E-x_0)/$; $y_6 = y_0$, $z_6 = h$; R_c - расстояние по горизонтали от центра взрыва O_I до ближайшей точки на поверхности цилиндра;
- определяется $\sin\omega$ по зависимости

$$\sin\omega = \frac{/x_0x_6 + y_0y_6 + z_0z_6/}{\sqrt{x_0^2+y_0^2+z_0^2}\cdot\sqrt{x_6^2+y_6^2+z_6^2}} = S_\omega \qquad (9.1)$$

и угол встречи ω - по формуле

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

2) Определяются значения избыточного давления на фронте проходящей ВУВ ΔP_Φ и скоростного напора q_Φ в точке М по зависимостям, соответственно для взрыва ВВ и детонационного взрыва ГПВС по формулам (4.2 либо Б.12) и (4.11 либо Б.20), причем расстояние $R_т$ от точки М до центра взрыва O_I определяется по формуле

$$R_т = \sqrt{x_6^2+y_6^2+z_6^2}; \qquad (9.3)$$

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

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

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

Примечание: отсюда и далее до п. 7) речь идёт об освещенной стороне ($0 \le y \le |\frac{x}{2}|$).

$$t_{обт} = \frac{x_0}{D_ф} + \frac{l_{обт}}{C_{отр}} \qquad (9.5)$$

где $l_{обт}$ – ближайшее расстояние до границы с теневой поверхностью по дуге, определяется по формуле (5.9)

$D_ф$ – скорость фронта ВУВ в точке М, определяемая по зависимости (4.22)

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

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

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

$$\rho_{отр} = \rho_ф \frac{6\bar{m}_z + 1}{\bar{m}_z + 6} ; \qquad \bar{m}_z = \frac{P_{отр}}{\Delta P_ф + P_0} ; \qquad (9.8)$$

$\rho_ф$ – определяется по зависимости (4.24).

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

$$\Delta P_{отр}(t) = \Delta P(t) + \left(\Delta P^{max}_{отр} - \Delta P_ф\right)(1 - t/t_{обт})^2 \cdot /\cos(\gamma)/ \qquad (9.9)$$

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

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

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

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

или

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

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

на освещенной стороне

$$i_{отр} = \int_{0}^{t_{обт}} \Delta P_{отр}(t)\,dt \qquad (9.12)$$

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

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

- на теневой стороне

$$i_+ = \int_{0}^{\tau_+} \Delta P_{т}(t)\,dt \qquad (9.15)$$

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. Форму, близкую к эллипсоиду вращения с вертикальной осью, имеют купола реакторных отделений АС. Варьируя соотношение между размерами вертикальной(в) и горизонтальной (а) полуосей вращаемого эллипса можно успешно описать вертикально вытянутые и сплюснутые формы куполов. Полусфера является частным случаем эллипсоида вращения, когда полуоси а и в 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.3.16 приведена схема определения угла встречи в точке k на освещенной поверхности эллипсоида вращения при воздействии оферической ВУВ.

I) Для определения угла встречи ω :

- выбираются 3 системы координат: I-я с началом О на вертикальной оси эллипсоида на высоте основания эллипсоида (в плоскости сопряжения эллипсоида с цилиндром); 2-я с началом в O_2, расположенном в точке пересечения нормали N (к поверхности эллипсоида в точке k) 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 α к центру взрыва от сооружения. Ось α направлена параллельно горизонтальной прямой, соединяющей центр взрыва O_1 с вертикальной осью эллипсоида вращения;
- точка k задается полярным расстоянием r, углом γ, отсчитываемым против часовой стрелки (от оси x к оси y) и полуосями вращаемого эллипса (a – горизонтального и b – вертикального;
- определяются декартовы координаты точки k в I-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 k во 2-й системе координат: $x_N = N\cos\varphi\cos\gamma$; $y_N = N\cos\varphi\sin\gamma$; $z_N = N\sin\varphi$;

где φ – угол между плоскостью основания эллипсоида и нормалью N, равный

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

и $N = z_0 / \sin\varphi$ - длина нормали N (модуль вектора N);

- определяются декартовы координаты точки М в 3-ей системе координат с началом 0_I в центре взрыва:

$$x_6 = -(R_c + a - x_0);\quad y_6 = r \cdot \sin\gamma;\quad z_6 = h + z_0 ,$$

где R_c - 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

$$\sin\omega = \frac{|x_N x_6 + y_N y_6 + z_N z_6|}{N \cdot \sqrt{x_6^2 + y_6^2 + z_6^2}} = S_\omega \qquad (9.17)$$

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

$$\omega = arc\sin(S_\omega); \qquad (9.18)$$

2) Определяются значения избыточного давления на фронте проходящей ВУВ ΔP_Φ и скоростного напора q_Φ в точке М по зависимостям, соответственно для взрыва ЗЗ и детонационного взрыва ГПВС по формулам (4.2 либо 5.12) и (4.11 либо 5.20), причем расстояние R_T от точки М до ЦВ (0_I) определяется по формуле

$$R_T = \sqrt{x_6^2 + y_6^2 + z_6^2} \quad , м \qquad (9.19)$$

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

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

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

$$t_{обт} = \frac{|x|}{D_ф} + r\frac{(\pi/2 - |\cos\gamma|)}{C_{отр}} \qquad (9.20)$$

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

$D_ф$ - скорость фронта проходящей волны в точке М, м/с;

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

γ - горизонтальный угол (см.рис. 9.1б) с вершиной в точке О, между направлением на ЦВ и направлением на горизонтальную проекцию точки М (М).

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

$$\Delta P_к(t) = \Delta P(t) + (\Delta P^{max}_{отр} - \Delta P_ф)(1 - t/t_{обт})\cdot\cos\gamma\cdot(1 - z/B) \qquad (9.21)$$

где

$\Delta P^{max}_{отр}$ - 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.

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

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

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

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

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

$$\Delta P_T(t) = \Delta P(t)\left[1-0{,}2\cdot\cos\gamma\cdot(1-z/B)\right], \quad (9.23)$$

где B - 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

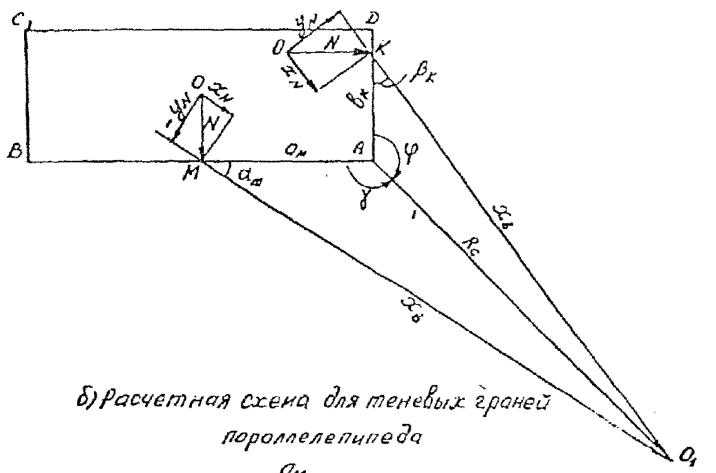
9.3.1. Многие сооружения, имеющие форму с прямоугольными изломами, могут быть расчленены на параллелепипеды различных размеров. Однако, следует иметь в виду, что при наличии внутренних углов, в этих местах возникают повышенные в 2-3 раза значения давления отражения вследствие возникновения явления переотражения. 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 ЕУВ является более сложным и трудоемким, чем расчет нагрузок на цилиндре и эллипсоиде вращения.

На рис.9.2а, б, в приведены схемы определения угла встречи $\omega_м$ и $\omega_к$ в точках М и К, расположенных на освещенных гранях "а" и "в" параллелепипеда, примыкающих к освещенному ребру А при воздействии сферической ЕУВ.

Для однозначности и удобства расчетов принимаются следующие

а) Расчетная схема для освещенных граней параллелепипеда



б) Расчетная схема для теневых граней параллелепипеда

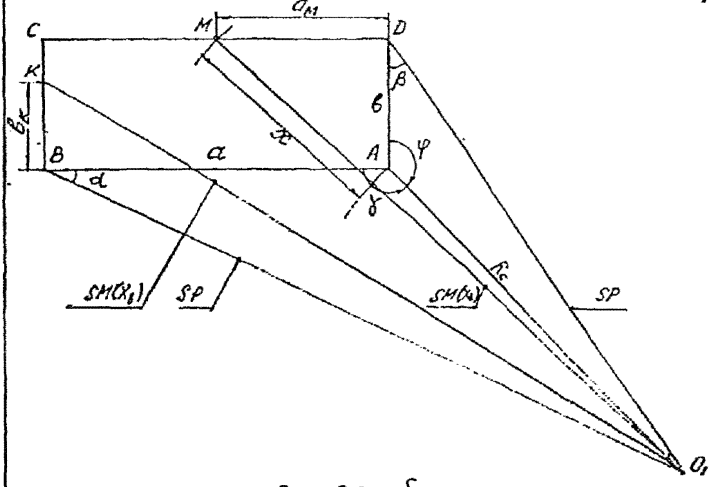


Рис. 9.2 а,б.

соглашения (см.рис.У.2а, б, в). Ориентация сооружения относительно ЦВ (0_I) задается расстоянием R_c до ближайшего ребра А и углом γ между направлением $A0_I$ и гранью сооружения a. Принимается, что грань a параллелепипеда всегда расположена слева от линии $A0_I$ и грань b - справа (независимо от от того является грань (сторона) большей или меньшей гранью).

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

Для удобства расчетов (см.п.8.I.4) выделяются 2 случая ориентации сооружения относительно направления на ЦВ : общий случай, когда угол γ больше 90°, но меньше 180°, и особый случай, когда $arccos\left(\frac{a}{R_c}\right) \leq \gamma \leq 90°$. Если при привязке сооружения оказывается, что угол γ выходит за указанные диапазоны, это означает, что необходимо привязаться к другому более ближнему 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 оказываются 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.I.7.

I) Для определения угла встречи $\omega_м$ на освещенной стороне аналогично и угла $\omega_к$):

Характерные расстояния и углы на освещенных сторонах параллелепипеда в общем случае

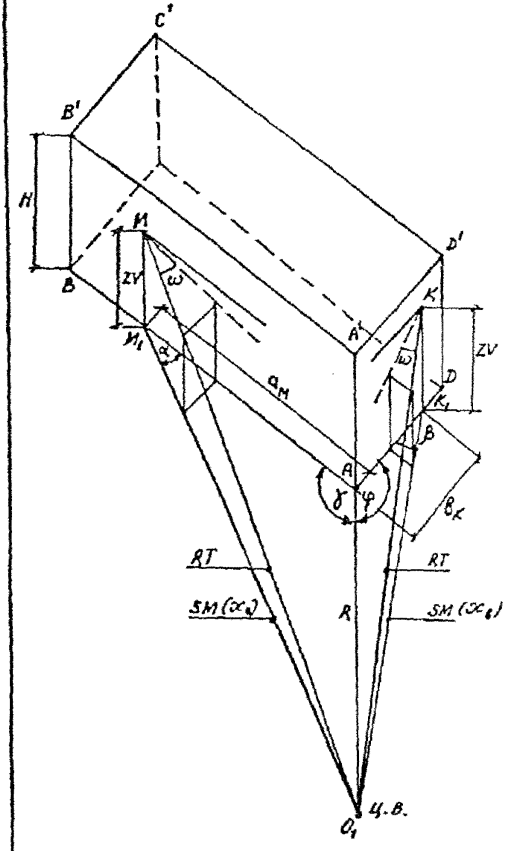


Рис. 9.2 в

- выбираются две системы координат: I-я с началом в точке 0, связанная с сооружением; 2-я с началом в точке 0_I, связанная с центром взрыва. Точка 0 выбирается на плоскости, параллельной грани a, на единичном расстоянии от грани a, на высоте h_M превышения точки М (К) над центром взрыва 0_I и на расстоянии a_M от перпендикулярной грани "b". Таким образом, прямая 0К является нормалью N единичной длины к грани a в точке К. Точка 0_I - совпадает с центром взрыва. Координатные оси обеих систем должны быть равнонаправленными. Ось x направлена от точки M_I (проекции точки М на горизонтальной поверхности, проходящей через центр взрыва) к центру взрыва 0_I. Это направление принимается за положительное.

Точка К на поверхности параллелепипеда задается расстоянием a_M от ребра А и высотой h_M - превышением точки М над центром взрыва;

- определяются координаты точки М (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 a и осью x, определяемый по зависимости

$$\sin\alpha_m = \sin\gamma \cdot R_c / x_6; \qquad (9.24)$$

- определяются координаты точки в (x_6, y_6, z_6) во 2-й системе координат: $x_6 = -\sqrt{a_M^2 + R_c^2 - 2a_M R_c \cos\gamma}$; (9.25)
$y_6 = 0$; $z_6 = h_M$;

- определяется $\sin\omega_M$ по зависимости

$$\sin\omega = \frac{|\sin\alpha \cdot x_6|}{R_r} = S_\omega. \qquad (9.26)$$

где $R_т$ - расстояние от точки М до центра взрыва, определяемое по формуле

$$R_т = \sqrt{x_в^2 + y_в^2}\ , м \qquad (9.27)$$

угол встречи $\omega_м$ вычисляется по зависимости

$$\omega_м = arc\sin(\delta_\omega); \qquad (9.28)$$

2) Значения $\Delta P_ф$ и $\varphi_ф$ 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, 6.11).

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

$$t_{обт} = \frac{2\ell_{обт}}{C_{отр}}\ , с \qquad (9.29)$$

где $\ell_{обт}$ - 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 М по зависимости (6.3).

6) Определяется закон изменения давления обтекания во времени в точке М по формуле (6.5).

7) На теневых поверхностях имеет место явление затекания (см.п.6.1.4 о параллелепипеде). Для определения значений затекающего давления рассматриваются отдельно общий случай и особый случай.

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

$$\sin\beta = \sin\varphi \cdot R_c / x_в \qquad (9.30)$$

где $x_в = -\sqrt{\beta_к^2 + R_c^2 - 2\ell_к R_c \cos\varphi}\ , м \qquad (9.31)$

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

На рис. 9.25 приведена схема определения характерных расстояний, необходимых для определения нагрузок в точках К и К на теневых гранях С и СВ параллелепипеда.

1) Точка М задается расстоянием a_m (МD) от ребра D и превышением h_m точки М над центром взрыва O_I.

Расстояние $O_I D$ определяется по зависимости

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

Угол β находится по формуле

$$\beta = \arcsin(\sin\varphi \cdot R_c / O_I D). \qquad (9.33)$$

Расстояние $O_I N_I$ (N_I – проекция точки N на горизонтальную плоскость, проходящую через центр взрыва) определяется по формуле

$$O_I N_I = \sqrt{a_m^2 + (O_I D)^2 - 2a_m (O_I D)\cos(\beta + \pi/2)} \quad \text{м}. \qquad (9.34)$$

Расстояние R_T – от центра взрыва до точки М определяется по формуле

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

По известной величине R_T определяются Δp_φ и q_φ;

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

- расстояние x (по дуге O_1M_1), путь проходимый ВУВ между расстоянием R_0 и расстоянием O_1K_1, измеряемыми от центра взрыва

$$x = O_1M_1 - R_0 \qquad (9.36)$$

- время прохождения фронтом ВУВ расстояния

$$t_0 = x / D_\varphi \quad , с \qquad (9.37)$$

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

$$t_1 = \ell / 340 \quad , с \qquad (9.38)$$

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

$$t_{зат} = 2\ell/340 \quad , с \qquad (9.39)$$

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

За нуль отсчета времени при расчете значений давления затекания $\Delta p_{зат}(t)$ принимается момент прихода фронта ВУВ на расстояние OM_1.

Максимальное значение избыточного давления затекания определяется по зависимости

$$\Delta p_{зат}^{max} = \Delta p_\varphi \left(1 - 0{,}2\, z/H\right), \ кПа \qquad (9.40)$$

где Δp_φ - рассчитывается при R_T, вычисленном по формуле (9.35).

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

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

при $t_{зат} \le t \le \tau_+$ по формуле

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

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 ВВ и при детонационных взрывах ГВВС.

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

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

где $\ell_б$ - ближайшее расстояние до контрольной точки от вертикального ребра, расположенного между тыльной и боковой гранью; значение $\ell_б \le H$.

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 $\left(\frac{H}{3}\right)$ м, вычисляется максимальное избыточное давление для этой точки по зависимости

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

и изменение избыточного давления во времени для этой точки по формуле

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

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

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

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

В приложении 13 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 сооружениям 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 квазиустановившегося обтекания. При воздействии ударных и взрывных волн с длительностью действия τ_+ более T_0 к легкообтекаемым и легкопроницаемым сооружениям могут быть отнесены: дымовые трубы, опоры электропередач, опоры линий связи, мостовые фермы, этажерки, эстакады и т.п.

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

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

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[*];

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

9.4.3. Нагрузка, вызываемая скоростным напором, распределена 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 ДЕФЛАГРАЦИОННОГО ВЗРЫВА С СООРУЖЕНИЯМИ АС РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

10.1. Нагрузки на сооружения в виде параллелепипеда

10.1.1. Центр облака ГПВС расположен на оси здания. Принимаем 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

$$\Delta P_{фр} = K \cdot \Delta P \quad , \qquad (10.2)$$

где

$$K = \begin{cases} 2, \text{ при } \Delta P_m < 30 \text{ кПа} \\ 2+2\sqrt{\dfrac{\Delta P_m - 30}{\Delta P_m}}, \text{ при } \Delta P_m = 30 \text{ кПа и } \tau_I/\tau_p < 1 \\ \left(2+2\sqrt{\dfrac{\Delta P_m - 30}{\Delta P_m}}\right)\left(1-0{,}8\,\dfrac{\tau_I/\tau_p}{3{,}3+\tau_I/\tau_p}\right), \text{ при } \Delta P_m = 30 \text{ кПа и } 1 < \tau_I/\tau_p < 5 \end{cases}$$

Здесь $\tau_p = \dfrac{min(B/2, H)}{340}$, с, размерность ΔP_m – кПа.

При $\tau_I/\tau_p > 5$ ΔP определяем по формулам для волновой нагрузки при скорости $v = \dfrac{2R_0}{R} w_R$.

10.1.3. Амплитудное давление разрежения на фронтальной стенке

$$\Delta P_{-фр} = 2 \Delta P_{-} . \qquad (10.3)$$

10.1.4. Времена τ_1, τ_2, τ_3, τ_4 не изменяются.

10.1.5. Зависимость давления на тыльной стене от времени описывается соотношением

$$\Delta P_т(t) = \frac{R}{2(R+L)} \Delta P(R, t - t^{*}_{пр}) \qquad (10.4)$$

где $t^{*}_{пр} = \frac{L}{340}$, с. L – длина стены, м.

10.1.6. Максимальное давление сжатия на боковых стенах и перекрытии и амплитудное давление 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;
- φ, $0 \le \varphi \le 180^{\circ}$, угол между прямой, соединяющей центр взрыва с центром полусферы, и прямой, соединяющей центр полусферы с проекцией точки на горизонтальную плоскость;
- θ, $0 \le \theta \le 90^{\circ}$, 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 $R - r_0$ от центра взрыва: ΔP_m, ΔP_{-}, τ_1, τ_2, τ_3, τ_4.

10.2.3. Распределение максимального избыточного давления по поверхности полусферы находим как

$$\Delta P_{-}^{\text{по}}(\varphi,\theta)\begin{cases}\left(1+\cos\theta\cos\varphi\right)\Delta P_m, & \text{при } 0\le\varphi\le 90\\ \left(1+\frac{1}{2}\cos\varphi\right)\Delta P_m, & \text{при } 90^\circ<\varphi\le 180^\circ.\end{cases} \qquad (10.6)$$

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

10.2.5. Времена τ_1, τ_2, τ_3, τ_4 не изменяются.

10.3. Сооружения в виде вертикального цилиндра

10.3.1. Используем обозначения аналогичные п.10.2.1, d, м – – высота цилиндра.

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

$$\Delta P_m^{\text{ц}}(\varphi)=\begin{cases}\left(1+\cos\varphi\right)\Delta P_m, & \text{при } 0\le\varphi\le 90^\circ\\ \left(1+\frac{1}{2}\cos\varphi\right)\Delta P_m, & \text{при } 90^\circ<\varphi\le 180^\circ,\end{cases} \qquad (10.7)$$

где ΔP_m находится согласно главе 7 для расстояния

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

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_- для расстояния R^*.

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

10.3.5. 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 ГДВС 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

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

Величина $\Delta P_-(\ell)$ 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.I. Пример расчета параметров ВУВ при взрыве ВВ

II.I.I. Определить параметры ВУВ: ΔP_Φ, q_Φ, $\bar{\tau}_+$, n, m, i_+, j_+, при следующих исходных данных: R =493,3 ; $K_{эф}$ = I,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. Определяем:

I) значение корня кубического из эффективной массы заряда

$$Q = \sqrt[3]{K_{эф} \cdot C_{тв}} = \sqrt[3]{I,44 \cdot 5 \cdot I0^5} = 89,628 \text{ кг}^{I/3};$$

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

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

3) ΔP_Φ по формуле (4.2)

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

4) q_Φ по формуле (4.II)

$$q_\Phi = \frac{2,5 \cdot 27,839^2}{27,839 + 7 \cdot I0I,325} = 2,63 \text{ кПа}$$

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

$$\bar{\tau}_+ = 1{,}5\cdot10^{-3}\sqrt{5{,}504} = 0{,}0035 \text{ с/кг}^{1/3};$$

6) длительность действия положительной фазы τ_+

$$\tau_+ = \bar{\tau}_+ \cdot Q = 0{,}0035\cdot89{,}628 = 0{,}315 \text{ с};$$

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)

$$m = 2{,}64 + 0{,}0227(27{,}839 - 2{,}1)^{1{,}05} = 3{,}872;$$

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

$$\bar{i}_+ = \frac{27{,}839\cdot0{,}0035}{1{,}596 + 1} = 37{,}5 \text{ Па·с/кг}^{1/3};$$

10) удельный импульс избыточного давления i_+

$$i_+ = \bar{i}_+ \cdot Q = 37{,}5\cdot89{,}628 = 3{,}361 \text{ кПа·с};$$

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

$$\bar{j}_+ = \frac{2{,}63\cdot0{,}0035}{3{,}872 + 1} = 1{,}88 \text{ Па·с/кг}^{1/3};$$

12) удельный импульс скоростного напора j_+

$$j_+ = \bar{j}_+ \cdot Q = 1{,}88\cdot89{,}628 = 0{,}168 \text{ кПа·с};$$

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

$$\varphi(t) = 2{,}63\left(1 - \frac{t}{0{,}3154}\right)^{3{,}872} \text{ кПа.}$$

Рекомендуется сравнить полученные значения параметров ВУВ при близких $\bar{R}$, 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 ГПВС

11.2.1. При аварии в окрестности АС 10 т сжиженного пропана вырвалось в атмосферу. Через 15 минут облако образовавшейся ГПВС, дрейфуя по ветру со скоростью 2,5 м/с, оказалось на промплощадке АС, где велись открытые сварочные работы, и продетонировало. 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 43,8 м. Использовать обозначения, принятые в разделе 5, и данные табл.5.1 настоящего Руководства.

Решение. Определяем:

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 $C_{стх}^m$ для пропана по табл.5.

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

3) полную энергию E, выделившуюся при детонационном взрыве

$$E = V_{см} \cdot q_v = 33243 \cdot 3485 = 115873113 \text{ кДж};$$

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

$$E_{уд} = E \cdot \eta = 115873113 \cdot 0,4 = 46349245 \text{ кДж};$$

5) корень кубический Q, учитывая, что взрыв наземный

$$Q = \sqrt[3]{2 \cdot E_{уд}} = \sqrt[3]{2 \cdot 46349245} = 452,575 \text{ кДж}^{1/3};$$

6) приведенное расстояние $\bar{R}_ц$ у основания цилиндрической части РО по формуле (5.9)

$$\bar{R}_ц = R_ц / Q = 143 / 452,575 = 0,316 \text{ м/кДж}^{1/3};$$

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

$$\bar{R}_к = R_к / Q = \sqrt{143^2 + 43,8^2} / 452,575 = 0,33 \text{ м/кДж}^{1/3};$$

8) $\Delta p_ф$ в основании цилиндрической части по формуле (5.12)

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

9) $\Delta p_ф$ в основании купола на высоте 43,8 м

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

(т.о. учет сферичности ВУВ дало снижение $\Delta p_ф$ на высоте 43,8 м на 7% или на 2 кПа)

10) $q_ф$ в основании цилиндра по формуле (5.20) (далее в данном примере все параметры ВУВ определяются только в основа-

ния цилиндра)

$$q_{\Phi} = \frac{2,5 \cdot 30,08^2}{30,08 + 709} = 3,06 \text{ кПа};$$

II) приведенное время длительности положительной фазы $\bar{\tau}_+$ по формуле (5.14)

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

I2) длительность положительной фазы τ_+ по формуле (5.13)

$$\tau_+ = \bar{\tau}_+ \cdot Q = 0,181 \cdot 452,575 = 0,082 \text{ с};$$

I3) приведенный удельный импульс по формуле (5.17)

$$\bar{i}_+ = 0,694 / 0,316 = 2,196 \text{ Па·с/кДж}^{1/3};$$

I4) удельный импульс по формуле (5.16)

$$i_+ = \bar{i}_+ \cdot Q = 2,196 \cdot 452,575 = 0,994 \text{ кПа·с}$$

I5) показатель спада избыточного давления по формуле (5.15)

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

I6) закон спада избыточного давления во времени по формуле (5.18)

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

I7) показатель спада скоростного напора во времени по формуле (5.22)

$$m = 2,64 + 0,022(30,08 - 21)^{1,05} = 3,934;$$

I8) закон изменения скоростного напора во времени по формуле (5.21)

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

19) приведенный удельный импульс скоростного напора по формуле (5.25)

$$\bar{j}_+ = \frac{q_\varphi \cdot \bar{\tau}_+}{m+1} = \frac{3,06 \cdot 181}{3934+1} = 0,112 \text{ Па·с/кДж}^{1/3};$$

20) удельный импульс скоростного напора

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

21) радиус непосредственного воздействия детонационной волны по формуле (5.1) см.п.2)

$$R_g = 0,782 \sqrt[3]{V_{отх}} = 0,782 \sqrt[3]{33249} = 25,15 \text{ м};$$

22) конечный радиус огненного шара при взрыве, после расширения продетонировавших продуктов взрыва

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

Рекомендуется сравнить полученные значения параметров ВУВ с данными табл.5.2 при наиболее близком по значению $\bar{R}$ 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 разорвутся. 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)

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

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

Выпишем формулу (6.4) для наглядности подстановок.

$$\frac{P_з}{P_0} = \frac{2K\cdot M_I^2 - (K-1)}{K+1}\left[1 - \frac{K_з - 1}{K+1}\cdot\frac{\sigma_0}{\sigma_з}\left(M_I - \frac{1}{M_I}\right)\right]^{-\frac{2K_з}{K_з - 1}} \qquad (6.4)$$

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

$$\frac{K_з - 1}{K+1} = \frac{1,3-1}{1,4+1} = 0,125;\quad \frac{\sigma_0}{\sigma_з} = \frac{340}{730} = 0,466\ ;$$

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

Подставим полученные значения в формулу (6.4)

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

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

Составим табличку значений A от M_I

M_I	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 $M_I = 1,627$ получено удовлетворительное значение $A = \frac{P_з}{P_0} = 4,945$, почти совпадающее с левой частью равенства $\frac{P_з}{P_0} = 4,947$ с точностью ~ 0,002 (или 0,03%). Необходимость в построении графика отпала.

5) принимаем $M_I = 1,627$ и вычисляем значение $\Delta P_ф^н$ по формуле (6.6)

$$\Delta p_{\phi}^{н} = P_0 \frac{2k}{k+1}(\mu_1^2 - 1) = 101{,}3 \frac{2 \cdot 1{,}4}{1{,}4+1}(1{,}627^2 - 1) = 240{,}3 \text{ кПа}.$$

Полученное значение $\Delta p_{\varphi}^{н} > 100$ кПа, поэтому дальнейшие расчеты ведем по формуле (6.20), для этого

найдем по формуле (6.21) значение m

$$m = 1 + \left(\frac{\Delta p_{\varphi}^{н} - 100}{3000}\right)^{0{,}555} = 1 + \left(\frac{240{,}3 - 100}{3000}\right)^{0{,}555} = 1{,}159;$$

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

$$R^{o} = \left(\frac{\Delta P_{\Phi}^{н}}{\Delta P_{\Phi}}\right)^{\frac{1}{m}} = \left(\frac{240{,}3}{10}\right)^{\frac{1}{1{,}159}} = 16{,}52;$$

8) определяем радиус полусферы $R_{п}$ с объемом, эквивалентным заглубленному объему цистерны по формуле (6.17)

$$R_{п} = 0{,}782 \sqrt[3]{V_{э}} = 0{,}782 \sqrt[3]{30} = 2{,}43 \text{ м};$$

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

$$R = R_{o} \cdot R_{п} = 16{,}52 \cdot 2{,}43 = 37{,}7 \text{ м}.$$

Кроме проверки на взрыв емкости 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 $f_{л}$ 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: уменьшается 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 детонаций отсутствует, по табл.7.1 определим

W_{max} = 200 м/с.

Согласно п.7.4 найдем избыточное давление на фронте пламени

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

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 м, $R = X_0 - X$ = 600 м.

$M_г = 0{,}5\ M_0$ = 10000 кг.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4. $X = X_m + 0{,}6(X_d - X_m) = 936$ м $R = X_0 - X = 264$ м.

$M_г = 4000$ кг.

$P_0 \approx 29$ м $\quad \frac{R}{2P_0} = \frac{264}{58} \approx 4{,}6$; $\Delta P_m \approx 6{,}8$ кПа

5. $X = X_m + 0{,}8(X_d - X_m) = 1048$ м $R = X_0 - X = 152$ м

$M_г = 2000$ кг $P_0 \approx 23$ м $\frac{R}{2P_0} = \frac{152}{46} \approx 3{,}3$ $\Delta P_m \approx 10$ кПа

Таким образом, принимаем $P_0 = 23$ м, $R = 152$ м, $\Delta P_m = 10$ кПа.

Находим время нарастания давления от 0 до ΔP_m

$$\tau_1 = \frac{2P_0}{W_{max}} = \frac{46}{240} \text{ с} \approx 0{,}2\text{С},$$

время спада давления от ΔP_m до 0

$$\tau_2 = \frac{2P_0}{1000} \text{ с} \approx 0{,}05 \text{ с},$$

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 $\Delta P_- = -\frac{1}{2}\Delta P_m = -5$ кПа.

12. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА НАГРУЗОК НА СООРУЖЕНИЯ АС РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВУВ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВЗРЫВОВ

12.1. Пример определения нагрузки на поверхности 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 $q_м = 38{,}85$ м от ребра A и на высоте $h_м = 10$ 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 a и направлением AO_I составляет 140^0. Размеры параллелепипеда 77,7 х 21,6 х 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 $q_L = 38{,}85$ м и находится на высоте $h_м = 10$ м.

Масса заряда ТНТ $C = 500000$ 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 a. Определяем:

1) координату x_c (расстояние по горизонтали от точки M_I до центра взрыва O_I. Здесь и далее нижним индексом I при обозначениях символов контрольных точек будем помечать проекции этих точек на горизонтальную плоскость, проходящую через центр

взрыва 0_I. Таким образом, M_I есть проекция точки M на указанную плоскость.

Согласно формуле (9.16б)

$$x_c = -\sqrt{a_м^2 + R_c^2 - 2\,a_м R_0 \cos\gamma} = -\sqrt{38{,}35^2 + 462{,}8^2 - 2\cdot 38{,}5 \cdot 462{,}8 \cdot \cos(140^0)} =$$

$$= -493{,}193 \text{ м};$$

2) расстояние от центра взрыва 0_I до точки M по формуле (9.17)

$$R_т = \sqrt{x_c^2 + h_м^2} = \sqrt{493{,}193^2 + 10^2} = 493{,}3 \text{ м};$$

3) $\sin\alpha_m$ по формуле (9.16а)

$$\sin\alpha_m = \sin\gamma \frac{R_0}{|x_c|} = \sin 140^0 \frac{462{,}8}{|-493{,}193|} = 0{,}603;$$

4) угол встречи по формуле (9.18) в точке M

$$\omega_м = \arcsin\left(\frac{|\sin\alpha_m x_c|}{R_т}\right) = \arcsin\left(\frac{|0{,}603\cdot(-493{,}193)|}{493{,}3}\right) =$$

$$= 37{,}09^0;$$

5) согласно результатам примера II.I при аналогичных параметрах заряда и расстояния имеем:

$R_т = 493{,}3$ м; $C = 500$ т; $K_{эф} = 1{,}44$; $\Delta p_ф = 27{,}84$ кПа;

$q_ф = 2{,}63$ кПа; $\tau_+ = 0{,}315$ с; $n = 1{,}596$; $m = 3{,}872$;

6) параметры, связанные с косым отражением:

- значение ω_{max}, при котором $K_{отр}$ имеет максимальное значение при $\Delta p_ф = 27{,}84$ кПа по формуле (4.17)

$$\omega_{max} = 17{,}44\left(\frac{27{,}84-10}{60}\right)^{0{,}433} + 28 = 38{,}315^0;$$

- значение $K_{отр}^{max}$ по формуле (4.18)

$$K_{отр}^{max} = 0,207\left(\frac{27,84-10}{60}\right)^{1,576} + 2,93 = 2,96 ;$$

- значение коэффициента отражения в точке М по формуле (4.19)

$$K_{отр} = (2,96-1)\left(\frac{37,09^{0}}{38,315^{0}}\right)^{1,7} + 1 = 2,855 ;$$

- давление отражения в точке М

$$\Delta P_{отр} = \Delta P_{ф} \cdot K_{отр} = 27,84 \cdot 2,855 = 79,47 \text{ кПа} ;$$

7) параметры, связанные с определением скорости звука в отраженной волне $C_{отр}$ и времени установления обтекания в точке М,

- вычисляем $\pi_1 = \frac{P_ф}{P_0} = \frac{\Delta P_ф + P_0}{P_0} = \frac{27,84 + 101,3}{101,3} = 1,275$;

- плотность воздуха во фронте ВУВ $\rho_ф$

$$\rho_ф = \rho_0 \frac{6\pi_1 + 1}{\pi_1 + 6} = 1,225 \frac{6 \cdot 1,275 + 1}{1,275 + 6} = 1,456 \text{ кг/м}^3 ;$$

- вычисляем $\pi_2 = \frac{\Delta P_{отр} + P_0}{\Delta P_ф + P_0} = \frac{79,47 + 101,3}{27,84 + 101,3} = 1,4$;

- плотность воздуха во фронте отраженной волны

$$\rho_{отр} = \rho_ф \frac{6\pi_2 + 1}{\pi_2 + 6} = 1,456 \frac{6 \cdot 1,4 + 1}{1,4 + 6} = 1,85 \text{ кг/м}^3 ;$$

- скорость звука во фронте отраженной волны

$$C_{отр} = \sqrt{K \frac{P_{отр}}{\rho_{отр}} \cdot 10^3} = \sqrt{1,4 \frac{79,47 + 101,3}{1,85} \cdot 10^3} = 369,86 \text{ м/с};$$

- кратчайшее расстояние от точки М до ближайшего верхнего ребра

$$\ell = 21,6 - 10 = 11,6 \text{ м};$$

– время установления обтекания $t_{обт}$ в точке М по формуле (9.19)

$$t_{обт} = \frac{2\ell}{C_{отр}} = \frac{2 \cdot 11,6}{369,86} = 0,063 \text{ с};$$

8) максимальное значение избыточного давления обтекания в точке М в момент установления обтекания

$$\Delta p_{обт}^{max} = \Delta p_{\varphi}\left(1 - \frac{t_{обл}}{\tau_+}\right)^{n} + q_{\varphi}\left(1 - \frac{t_{обл}}{\tau_+}\right)^{m} \cdot \sin\omega_m$$

$$\Delta P_{обт}^{max} = 27,84\left(1 - \frac{0,063}{0,315}\right)^{1,596} + 2,63\left(1 - \frac{0,063}{0,315}\right)^{3,872} \cdot$$

$$\cdot \sin 37,09^{\circ} = 20,2 \text{ кПа};$$

9) закон изменения нагрузки в точке М до установления обтекания (в период дифракции) $t \le t_{обл}$

$$\Delta p_{диф}(t) = \left(\Delta p_{отр} - \Delta p_{обт}^{max}\right)\left(1 - \frac{t}{t_{обл}}\right) + \Delta p_{обт}^{max}$$

$$\Delta p_{диф}(t) = (79,47 - 20,2)\left(1 - \frac{t}{0,063}\right) + 20,2 \text{ кПа};$$

10) закон изменения во времени квазиустановившегося давления обтекания при $t > t_{обт}$ в точке М

$$\Delta p_{обт}(t) = \Delta p_{\varphi}\left(1 - \frac{t}{\tau_+}\right)^{n} + q_{\varphi}\left(1 - \frac{t}{\tau_+}\right)^{m} \cdot \sin\omega_m$$

$$\Delta p_{обт}(t) = 27,84\left(1 - \frac{t}{0,315}\right)^{1,596} + 2,63\left(1 - \frac{t}{0,315}\right)^{3,872} \cdot 0,603$$

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 M_I) в точке М

$$\Delta t_r = \frac{x_c - R_0}{D} = \frac{493,193 - 462,8}{377,9} = 0,0804 \text{ с};$$

I2) На рис.12.I приведен график изменения нагрузки на освещенной грани (кривая I). Для синхронизации нагрузки в точке M с нагрузками в других точках, начало нагружения в точке M приводится к общему нулю, путем прибавления Δt

$$t_0 = 0_1 + \Delta t = 0 + 0,0804 = 0,0804 \text{ с}.$$

I2.I.2. В. Расчеты нагрузки в точке на теневой грани C

Определяем, пользуясь схемой определения расстояний на рис.I2.2в:

I) значение угла φ

$$\varphi = 270^0 - \gamma = 270^0 - I40^0 = I30^0;$$

2) расстояние $0_I D$ по формуле (9.22)

$$0_I D = \sqrt{2I,6^2 + 462,8^2 - 2 \cdot 2I,6 \cdot 462,8 \cdot \cos I30^0} = 476,97 \text{м};$$

3) угол β по формуле (9.23)

$$\beta = \arcsin\left(\sin\varphi \frac{R_c}{0,D}\right) = \arcsin\left(\sin I30^\circ \cdot \frac{462,8}{476,97}\right) = 48^0;$$

4) координату $x_c = 0,L;$ по формуле (9.24)

$$x_c = \sqrt{38,85^2 + 476,97^2 - 2 \cdot 38,85 \cdot 476,97 \cdot \cos(48^0 + 90^0)} = 506,5I5 \text{м};$$

5) расстояние R_T до точки L от центра взрыва 0_I

$$R_T = \sqrt{506,5I5^2 + I0^2} = 506,6I \text{ м};$$

6) параметры ВУВ в точке L на расстоянии 506,515 м согласно формулам (4,2; 4,22; 4,6; 4,8) в условиях, заданных в примере, следующие:

ΔP_τ = 26,676 кПа; D = 376,415 м/с; τ_+ = 0,319 с;

n = 1,506 ;

7) разница во времени между общим нулем отсчета и локальным нулем отсчета в точке

$\Delta t = (x_L - R_0)/D = (506,515-462,8)/376,415 = 0,116$ 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)

$$\Delta P_{зат}^{max} = \Delta P_\phi (1 - 0,2 \cdot Z/H) = 26,676 \cdot (1 - 0,2 \cdot 10/21,6) = 24,21 \text{ кПа};$$

11) закон изменения давления в точке L при $t_I \le t \le t_2$ по формуле (9.31)

$$\Delta P_{зат}(t) = \Delta P_{зат}^{max} \left(\frac{t - t_I}{t_2 - t_I}\right) = 24,24 \left(\frac{t - 0,034}{0,068-0,034}\right);$$

12) закон изменения давления в точке L при $t_2 \le t \le \tau_+$ по формуле (9.32)

$$\Delta P_{зат}(t) = \Delta P_{зат}^{max}\left(\frac{0{,}319 - t}{0{,}319-0{,}068}\right)^{1{,}686}$$

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 листинг решения поставленной задачи на ПЭВМ по программе PASF для точек M и L, соответственно, для освещенной и теневой граней.

12.2. Пример определения нагрузки на поверхности купола РО в виде эллипсоида вращения при воздействии ВУВ 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.9.1б) - полярным расстоянием r = 17,9 м и углом γ = 30° относительно вертикальной плоскости, проходящей через центр взрыва O_I 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_I до ближней точки в основании цилиндра R_0 = 143 м.

Совмещенные во времени графики нагрузок в точках M и N, расположенных на освещенной и теневой гранях параллелепипеда

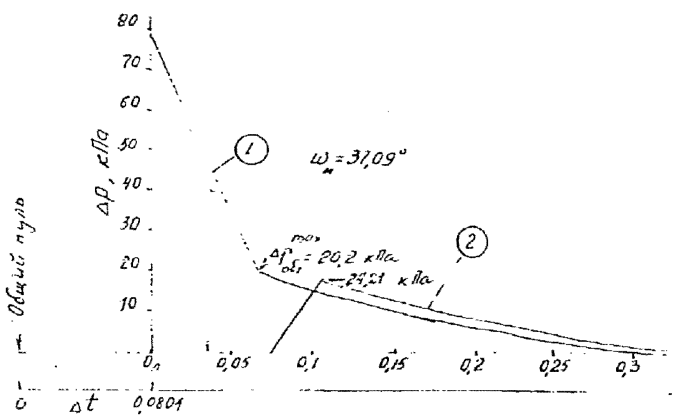


Рис. 12.1

ПРОГРАММА PASLI 2
РАСЧЕТ НАГРУЗОК НА ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕД
РАЗРАБОТКА ХУСНУТДИНОВА Д.З.
DATA 23-09-1993
КОНЕЦ В СТРОКЕ 1670

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

R= 462.8	A= 77.7	B= 21.6	H= 21.6
RT= 493.0158	SM= 492.9143	SP= 0	N= 1
AV= 38.5	BV= 0	ZV= 10	K= 1
GG= 140	FG= 130	AL= [illegible]	BA= 0
AP= 0	BP= 0	X= 38.11435	

СФЕРИЧЕСКАЯ ВОЛНА
НАГРУЗКА НА ОСВЕЩЕННОЙ СТОРОНЕ

T= 0	PT= 27.86581	PR= 79.60612	IM= .07960613
T= .02	PT= 25.09755	PR= 62.88265	IM= 1.499312
T= .03999999	PT= 22.439	PR= 44.32028	IM= 2.564995
T= .05999995	PT= 19.89328	PR= 24.06532	IM= 3.241416
T= .07999998	PT= 17.46389	PR= 18.05692	IM= 3.631796
T= .1	PT= 15.15473	PR= 15.59438	IM= 3.966821
T= .1200001	PT= 12.9702	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= 4.698614
T= .1800002	PT= 7.218558	PR= 7.310481	IM= 4.86195
T= .2000002	PT= 5.591699	PR= 5.645327	IM= 4.990394
T= .2200003	PT= 4.125321	PR= 4.153549	IM= 5.087342
T= .2400003	PT= 2.832355	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 ВЫЧИСЛЕНИЙ
ПАРАМЕТРЫ НА ОСВЕЩЕННОЙ СТОРОНЕ

RT= 493.0158	WG= 37.11325	PF= 27.86581	QF= 2.63448
PA= 79.60612	DF= 377.9576	CG= 364.4152	KO= 2.856767
TY= .3153144	TB= .06366365	TZ= .07967649	W= .6477485

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

R= 462.8	A= 77.7	B= 21.6	H= 21.6
RT= 506.3421	SM= 506.2433	SP= 476.9713	N= 0
AV= 38.5	BV= 0	ZV= 10	K= 1
GG= 140	FG= 130	AL= 0	BA= 0
AP= 0	BP= .8379671	X= 43.44336	

СФЕРИЧЕСКАЯ ВОЛНА
НАГРУЗКА НА ТЕНЕВОЙ СТОРОНЕ

T= 0	PT= 26.6992	PR= 0	IM= 0
T= .02	PT= 24.09706	PR= 6.154566	IM= .06462295
T= .03999999	PT= 21.5949	PR= 12.30913	IM= .2523372
T= .05999995	PT= 19.19564	PR= 18.46368	IM= .5631426
T= .07999998	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= 1.640303
T= .1400001	PT= 10.69776	PR= 12.3164	IM= 1.907744
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= 1.857061	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 ВЫЧИСЛЕНИЙ
ПАРАМЕТРЫ НА ТЕНЕВОЙ СТОРОНЕ

RT= 506.3421	SP= 476.9713	SM= 506.2433	ZV= 10
TY= .3195475	TZ= .06823529	TB= .1154041	R= 462.8

Рис. 12.3

Энергию взрыва, перешедшую в ударную волну, принять согласно п.п.4) подраздела II.2.I, равной $E_{уб}$ = 46349245 кДж, а корень кубический из энергии $\varphi = \sqrt[3]{E_{уб}}$ = 452,575 кДж$^{1/3}$.

Использовать обозначения, принятые в II.2 и 9.2, и последовательность расчетов, указанную в 9.2.I.

Решение. Принимаем системы координат, описанные в 9.2.I. Определяем:

I) определяем декартовы координаты в I-ой системе координат

$$x_0 = 17{,}9 \cdot \cos 30^\circ = 15{,}501 \text{ м}; \quad y_0 = 17{,}9 \cdot \sin 30^\circ = 9{,}85 \text{ м};$$

$$z_0 = \frac{b}{a}\sqrt{a^2 - r^2} = \frac{26{,}6}{23{,}8}\sqrt{23{,}8^2 - 17{,}9^2} = 17{,}53 \text{ м};$$

2) угол φ между плоскостью основания эллипса и нормалью N в точке М к поверхности эллипсоида

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

$$\varphi = \operatorname{arctg}\left[\frac{26{,}6}{23{,}8}\left(-17{,}9/\sqrt{23{,}8^2 - 17{,}9^2}\right)\right] + \frac{\pi}{2} = 0{,}6649 \simeq 38{,}098^\circ;$$

3) длина нормали N в точке М

$$N = z_0 / \sin\varphi = 17{,}53 / \sin 38{,}098^\circ = 28{,}411 \text{ м};$$

4) декартовы координаты точки М во 2-ой системе координат

$$x_N = N \cdot \cos\varphi \cdot \cos\gamma = 28{,}411 \cdot \cos 38{,}098^\circ \cdot \cos 30^\circ = 19{,}363 \text{ м};$$

$$y_N = N \cdot \cos\varphi \cdot \sin\gamma = 28{,}411 \cdot \cos 38{,}098^\circ \cdot \sin 30^\circ = 11{,}179 \text{ м};$$

$$z_N = N \cdot \sin\varphi = 28{,}411 \cdot \sin 38{,}098^\circ = 17{,}53 \text{ м};$$

5) декартовы координаты точки M в 3-ей системе координат с началом в центре взрыва:

$$x_6 = -(R_0 + a - x_0) = -(143 + 23{,}8 - 15{,}501) = -151{,}3 \text{ м};$$

$$y_6 = r \cdot \sin\gamma = 17{,}9 \cdot \sin 30^0 = 9{,}85 \text{ м};$$

$$z_6 = h + z_0 = 43{,}8 + 17{,}53 = 61{,}33 \text{ м};$$

6) расстояние от центра взрыва до точки M по лучу

$$R_T = \sqrt{x_6^2 + y_6^2 + z_6^2} = \sqrt{151{,}3^2 + 9{,}85^2 + 61{,}33^2} = 163{,}554 \text{ м};$$

7) угол встречи

$$\omega = \arcsin \frac{|x_n x_6 + y_n y_6 + z_n z_6|}{N \cdot R_T}$$

$$\omega = \arcsin\left(\frac{|19{,}363 \cdot (-151{,}3 + 11{,}179 \cdot 9{,}85 + 17{,}53 \cdot 61{,}33|}{25{,}411 \cdot 163{,}554}\right) = 22{,}05^0;$$

8) параметры проходящей волны в точке M:

- приведенное расстояние $\bar{R}$

$$\bar{R} = R_T / \sqrt[3]{2E_{y6}} = 163{,}554 / \sqrt[3]{2 \cdot 4349245} = 163{,}554 / 452{,}575 = 0{,}361 \text{ м/кДж}^{1/3};$$

- избыточное давление на фронте ВУВ по формуле (5.12)

$$\Delta P_\Phi = \frac{1}{0{,}361}\left[4{,}96 + \frac{1}{0{,}361}\left(1{,}974 + \frac{1}{0{,}361}0{,}146\right)\right] = 24{,}28 \text{ кПа};$$

- скоростной напор в точке M на фронте ВУВ

$$q_\Phi = \frac{2{,}5 \cdot 24{,}28^2}{24{,}28 + 709} = 2{,}01 \text{ кПа};$$

- скорость фронта ВУВ D

$$D = 340\sqrt{1 + 8{,}46 \cdot 10^{-3}\Delta P_\Phi} = 340\sqrt{1 + 8{,}46 \cdot 10^{-3} \cdot 24{,}28} = 373{,}3 \text{ м/с};$$

9) параметры, связанные с косым отражением в точке М при ΔP_ϕ = 24,28 кПа по формулам (4.17; 4.18; 4,19)

$$\omega^{\circ}_{max} = 17,44\left(\frac{24,28 - 10}{60}\right)^{0,433} + 28^{\circ} = 37,37^{\circ}$$

$$K^{max}_{отр} = 0,207\left(\frac{24,28 - 10}{60}\right)^{1,576} + 2,93 = 2,95$$

$$K_{отр} = (2,95-1)\left(\frac{22,05}{37,38}\right)^{1,7} + 1 = 1,795$$

$$\Delta P_{отр} = \Delta P_\phi \cdot K_{отр} = 24,28 \cdot 1,795 = 43,58 \text{ кПа.}$$

10) параметры, связанные с определением скорости звука в отраженной волне $C_{отр}$ 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 ВУВ

$$\rho_\phi = \rho_0 \frac{6\pi_1 + 1}{\pi_1 + 6} = \frac{6 \cdot 1,239 + 1}{1,239 + 6} = 1,428 \text{ кг/м}^3;$$

- вычисляем $\pi_2 = \frac{\Delta Potp + Po}{\Delta P_\phi - P_0} = \frac{43,58 + 101,3}{24,28 + 101,3} = 1,154$;

- плотность воздуха во фронте отраженной волны

$$\rho_{отр} = \rho_\phi \frac{6\pi_2 + 1}{\pi_2 + 6} = 1,581 \text{ кг/м}^3$$

- скорость звука во фронте отраженной волны

$$C_{отр} = \sqrt{K \frac{\Delta Potp + P^0}{\rho_{отр}} \cdot 10^3} = \sqrt{1,4 \frac{43,58 + 101,1}{1,581} \cdot 10^3} = 357,93 \text{ м/с}$$

- кратчайшее расстояние от точки M до границы освещенной поверхности ℓ приближенно представляем отрезком окружности с радиусом, равным r = 17,9 м

$$\ell = \frac{\pi r}{2} = \frac{\pi \cdot 17{,}9}{2} = 28{,}12 \text{ м};$$

- время установления режима обтекания $t_{обт}$ в точке M по формуле

$$t_{обт} = \frac{x_0}{D} + \frac{\ell}{c_{отр}} = \frac{15{,}501}{373{,}3} + \frac{28{,}12}{357{,}93} = 0{,}120 \text{ с};$$

II) длительность действия ВУВ в точке M по формулам (5.13, 5.14)

$$\bar{\tau}_+ = 0{,}323\sqrt{\bar{R}} = 0{,}323\sqrt{0{,}361} = 0{,}194 \text{ мс/кДж}^{1/3};$$

$$\tau_+ = \bar{\tau}_+ \sqrt[3]{2E_{ув}} = 0{,}194\sqrt[3]{2 \cdot 46 \cdot 349245} = 0{,}194 \cdot 452{,}575 = 87{,}8 \text{мсек};$$

так как длительность действия ВУВ $\tau_+ < t_{обт}$, режим обтекания не наступит, нагружение будет происходить только в процессе дифракции.

I2) закон изменения нагрузки, приближенно

$$\Delta p(t) = \Delta P_{отр}\left(1 - \frac{t}{\tau_+}\right) = 43{,}68 \cdot \left(1 - \frac{t}{0{,}0878}\right) \text{кПа}.$$

На рис.I2.4 приведен листинг решения поставленной задачи на ПЭВМ по программе E L S F для освещенной стороны.

ПРОГРАММА ELSFLS
РАСЧЕТ НАГРУЗОК НА ЭЛЛИПСОИД ОТ ВУВ
РАЗРАБОТКА ХУСНУТДИНОВА Д.З.
ДАТА 08-09-93
КОНЕЦ В СТРОКЕ 1440

T= 0	PT= 29.99998	P1= 32.07499	PR= 77.92381
T= .02	PT= 26.92025	P1= 28.51409	PR= 66.0268
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= 18.46778	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= 9.199832	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= 3.980832	P1= 3.99599	PR= 3.99599
T= .2400003	PT= 2.628529	P1= 2.634045	PR= 2.634045
T= .2600002	PT= 1.501238	P1= 1.502648	PR= 1.502648
T= .2799999	PT= .6322014	P1= .632373	PR= .63[illegible]
T= .2999997	PT= .08636619	P1= .08636754	PR= .086[illegible]

КОНЕЦ ВЫЧИСЛЕНИЙ
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	RP= 5.256143
DF= 380.7089	TY= .3082259	NS= 1.614556	UF= 64.32677
P4= 77.92381	KO= 2.597462	RO= 1.761513	CO= 366.[illegible]
PB= 33.04463	TB= .08306246	DT= 1E-03	T0= .02179[illegible]
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= 26.56453	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= 18.27374	P1= 18.81364	PR= 21.17720
T= .1	PT= 15.7[illegible]	P1= 16.15535	PR= 16.15[illegible]
T= .1200001	PT= [illegible]	P1= 13.67808	PR= 13.67[illegible]
T= .1400001	PT= 11.21596	P1= 11.38057	PR= 11.38[illegible]
T= .1600001	PT= 9.162425	P1= 9.2631	PR= 9.2631
T= .1800002	PT= 7.270461	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= 1.54[illegible]	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= 36.06146	PG= 128.0977	FG= 38.09775
PF= 29.58259	QF= 2.962192	KF= 1.44	RP= 5.301438
DF= 380.1724	TY= .3095511	NS= 1.611122	UF= 63.52131
P4= 81.059	KO= 2.740092	RO= 1.753854	CO= 365.7662
PB= 32.54478	TB= .08315772	DT= 1E-03	T0= .02182732
X= 15.50185	Y= 8.95	Z= 17.53068	GG= 30
WM= 38.73957	KM= 2.965442	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 примем 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 $R \approx 152$ м. Радиус облака ГПВС $R_0 = 23$ м. Избыточное давление на фронте пламени $\Delta P_ф = 45$ кПа.

12.2. Определение нагрузки на сооружение

Распределение максимального избыточного давления по поверхности цилиндра находим как

$$\Delta P_m^{ц}(\varphi, h) = \begin{cases} (1+\cos\varphi)\,\Delta P_m(h), & 0 \le \varphi \le 90^0 \\ (1+\frac{1}{2}\cos\varphi)\,\Delta P_m(h), & 90^0 < \varphi \le 180^0. \end{cases}$$

Здесь $\Delta P_m(h)$ находится из табл.7.2 для расстояния

$$R^* = \sqrt{(R-r_0)^2 + h^2} \approx \sqrt{130^2 + h^2}\ \text{м}.$$

При $h = 0$ $\Delta P_m \approx 12{,}5$ кПа.

Распределение максимального давления по поверхности полусферы находим как

$$\Delta P_m^{пс}(\varphi, \theta) = \begin{cases} (1+\cos\varphi\ \cos\theta)\cdot 11\ \text{кПа}, & 0 \le \varphi \le 90^0 \\ (1+\frac{1}{2}\cos\varphi)\cdot 11\ \text{кПа}, & 90^0 < \varphi \le 180^0 \end{cases}$$

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

$$t_{пр} = \frac{\ell - R + \ell_0}{340}, \text{ с.}$$

Здесь ℓ - расстояние от центра взрыва до точки на поверхности сооружения.

Приложение III

Безопасные расстояния в м при наиболее часто встречающихся местах максимальных авариях без учета дрейфа облаков ГВВС

Виды объектов в пятикилометровой зоне	Типы единовременных взрывов и максимальные массы, т	Безопасные расстояния в м при $\Delta P_{доп}$		Диаметр огненного шара, м
		10 кПа	30 кПа	
1. Продуктопроводы и газопроводы, v = 140 м/с	ВВ детонация, 3000 т	-	-	-
	дефлаграция, 3000 т	1462	433/24[1]	665
2. Склады горючих веществ v = 140 м/с	ВВ детонация, 1000 т	-	-	-
	дефлаграция, 1000 т	1014	300/24	600
3. Взрывоопасные производства v = 240 м/с	ВВ, 4500 т детонация, 700 т	2010	955	-
4. Водный транспорт:				
- речной v = 140 м/с	ВВ детонация, 210 т	-	-	-
	дефлаграция, 210 т	604	178/24	356
- морской v = 140 м/с	ВВ детонация, 20000 т	-	-	-
	дефлаграция, 20000 т	2751	814/24	1628
5. Автомобильный транспорт v = 140 м/с	ВВ детонация, 2,2 т	-	-	-
	дефлаграция, 2,2 т	132	39/24	78
6. Железнодорожный транспорт v = 140 м/с	ВВ, 100 т детонация, 163 т	576	274	-
	дефлаграция, 163 т	553	164/24	327

[1] В знаменателе указано 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 $\Delta P_{доп}$	
		10 кПа	30 кПа
I	2	3	4
Мазутохозяйство пускорезервной котельной			
Склад мазута на 10 суточный запас топлива, состоящий из 3-х металлических резервуаров, объемом 3000 м^3	60/467[1]	68/250[1]	23/135[1]
Хозяйство дизельного топлива из 2-х резервуаров объемом 3000 м^3 каждый	60/467[1]	68/250[1]	23/135[1]
Промежуточный подземный резервуар дизельной котельной емкостью 100 м^3	-	-	-
Масляное хозяйство			
Изоляционное масло ТКп 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 Тп-22 3 емкости по 63 м^3	60	18	6

[1] Числа в знаменателе относятся к случаю взрыва в замкнутом объеме.

Продолжение приложения П2

I	2	3	4
Газовое хозяйство			
Электролизная установка водородные ресиверы 9 х 80 м³	I800	I68	79
Пропан-бутановая установка 2-е емкости по 5 м³	24,22	I36	-
Машина-заправщик с объемом цистерны 30 м³ (в жидком виде)	24,22	246	-
Склад баллонов пропан-бутана 50 х 0, 05 = 2,5 м³	I000	3I	I5
Ацетиленовая станция			
Резервные баллоны 6 х 0,04 = 0,24 м³	I000	3I	I5
Склад карбида кальция 20 т	24/34[2]	I9I/289[2]	-/72[2]
Склад аммиака и гидразина			
Гидразин-гидрат -64% концентрации разбавляют до концентрации 20% Аммиак 25% концентрации		не взрывоопасно категория В	
Склад химреагентов I контура			
S = I00 м²; V = 800 м³; 4 т химреагентов		категория В	
Склад фильтрующих материалов			
S = 50 м²; V = 400 м³; 2 т материалов		категория В	
Склад отиральных материалов			
S = 20 м²; V = I60 м³; 3,7 т материалов		категория В	
Помещение склада хранения			
S = 20 м²; V = I60 м³		категория В	

2) Числа в знаменателе относятся к взрывному горению со скоростью W = I70 м/с, в числителе - W = I40 м/с.

Приложение П3

ПРИМЕР
ТАБЛИЧНОГО РАСЧЕТА НАГРУЗОК НА ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕД, 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 I2.I a x b x h = 77,7 x 21,6 x 21,6 м. Расстояние x_6 от точки M_I, удаленной от угла А на 38,85 м, как и в примере I2.I составляет 493,I93 м (см.рис.П3).

Расчет выполнен в табличной форме (см.табл.П3),специально разработанной для организации расчетов при проектировании,для I2 точек, расположенных в 2 яруса, нижний ярус на высоте I0 м, верхний ярус - на высоте 20 м. Поскольку параллелепипед расположен симметрично к осевой линии O_I-O_2, контрольные точки M_I...M_{I2} располагались только на одной половине сооружения. Точки M_I..M_6 расположены в нижнем ярусе, а точки M_7 ... M_{I2} - в верхнем ярусе так, что точки с разностью номеров, равной 6 (например, M_I и M_7, M_3 и M_9) расположены друг над другом.

Последовательность расчета параметров, такая же, как и в примере I2.I, 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 I0, параметр ΔP_{ϕ}, кПа, (4.2).

В таблице рассчитаны все необходимые данные для написания законов изменения давлений в указанных I2-ти контрольных точках

План привязки контрольных точек (№1)

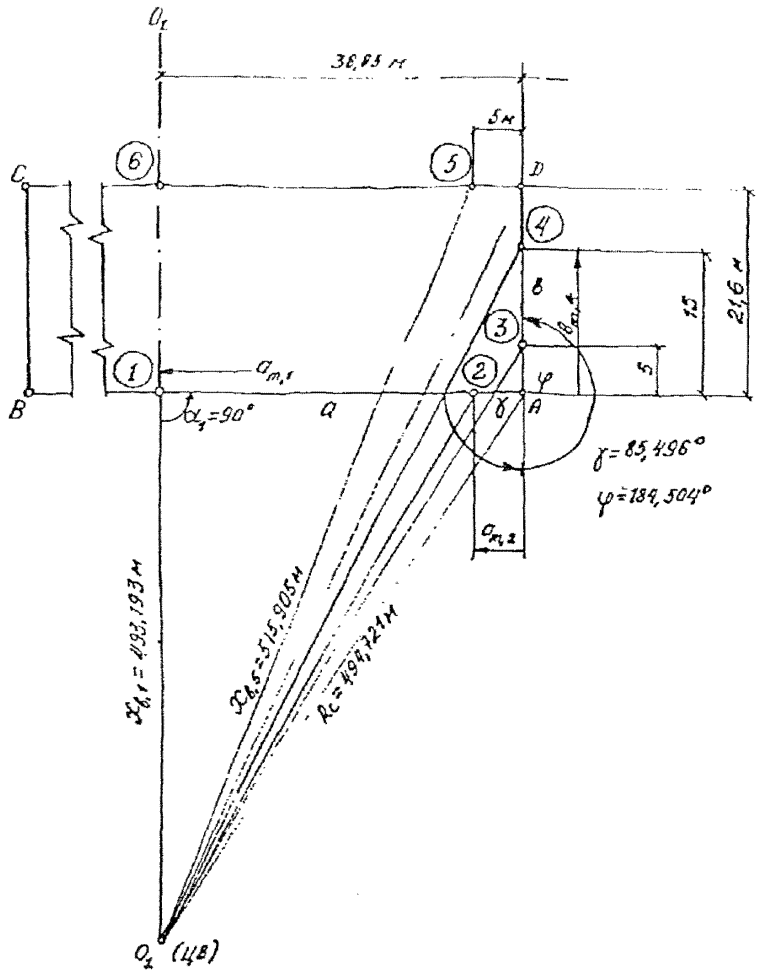


Рис. П.3.

Таблица П3

Последовательность расчета геометрических параметров и параметров воздействия ВУВ и нагрузок на параллелепипед, поперечная ось которого направлена на ЦВ (первый ярус контрольных точек № 1 ... 6; h = 10 м; R_0 = 494,721м, γ = 85,496°)

№№ точек M_i	x_i, м (9.15б)	h_i, м	КТ, м (9.17)	$\sin\alpha_i$ (9.15а)	a_m, м	b_m, м	ω_i° (9.18)
I	2	3	4	5	6	7	8
I	493,193	I0	493,294	I,0	38,85	-	88,806
2	494,353	"	494,454	0,99767	5,0	-	85,922
3	499,715	"	499,815	-	-	5,0	-
4	509,685	"	509,783	-	-	I5,0	-
5	5I5,905	"	5I6,002	-	5,0	-	-
6	5I4,793	"	5I4,890	I,0	38,85	-	-

№№ точек M_i	ΔP_Φ, кПа (4.2)	τ_+, с (4.6)	n (4.8)	ϑ_Φ, м/с (4.22)	КО (4.20)	$\Delta P_{отр}$, кПа (8.4)	$C_{отр}$, м/с (8.I0)
9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6
I	27,840	0,3I54	I,595	377,92	2,227	6I,99	364,6
2	27,735	0,3I57	I,595	-	2,226	6I,73	
3	27,259	0,3I75	I,59I	-	-		
4	26,4I2	0,3206	I,584	-	-		
5	25,908	0,3225	I,579	-	-		
6	25,997	0,3223	I,580	-	-		

№№ точек M_i	q_Φ, кПа (4.II)	m (4.I4)	$t_{обт}$, с (8.7)	$t_{зат}$, с (9.I9)	$\Delta P^{max}_{обт}$, кПа (8.5)	$P^{max}_{зат}$, кПа (9.30)	P' кПа (9.
I7	I8	I9	20	2I	22	23	2
I	2,629	3,327	0,0636 с	-	20,747	-	-
2	2,6I0	3,324	0,027 с	-	25,982	-	-
3	2,523	3,3II	-	-	-	-	322
4	2,37I	3,287	-	-	-	-	264
5	2,283	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	z_i, м (9.156)	h_i, м	kT, м (9.17)	$\sin\alpha$ (9.15а)	a_m, м	b_m, м	ω ° (9.18)
I	2	3	4	5	6	7	8
7	493,193	20	493,598	I,0	38,85	-	87,679
8	494,353	"	494,757	0,99767	5,0	-	85,456
9	499,715	"	500,115	-	-	6,0	-
I0	509,685	"	5I0,077	-	-	I5,0	-
II	5I5,905	"	5I6,292	-	5,0	-	-
I2	5I4,793	"	5I5,I8I	I,0	38,85	-	-

№№ точек M_i	ΔP_Φ, кПа (4.2)	τ_+, с (4.6)	n (4.8)	ϑ_Φ, м/с (4.22)	KO (4.20)	$\Delta P^{max}_{отр}$, кПа (8.4)	$C_{отр}$, м/с (8.I0)
9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6
7	27,813	0,3I55	I,596	377,885	2,226	6I,9I2	364,6
8	27,708	0,3I59	I,595	-	2,226	6I,678	-
9	27,233	0,3I76	I,59I	-	-	-	-
I0	26,388	0,3207	I,584	-	-	-	-
II	25,885	0,3227	I,579	-	-	-	-
I2	25,974	0,3223	I,580	-	-	-	-

№№ точек M_i	q_Φ, кПа (4.II)	m (4.I4)	$t_{обт}$, с (8.7)	$t_{зат}$, с (9.19)	$\Delta P^{max}_{обт}$, кПа (8.5)	$\Delta P^{max}_{зат}$, кПа (9.30)	$\Delta P^{max}_{бок}$ кПа (9
I7	I8	I9	20	2I	22	23	24
7	2,625	3,326	0,0087	-	28,988	-	-
8	2,605	3,324	0,0087	-	28,867	-	-
9	2,5I8	3,3I0	-	-	-	-	32,22
I0	2,367	3,287	-	-	-	-	26,36
II	2,279	3,273	-	0,0094	-	22,577	-
I2	2,295	3,275	-	0,0094	-	22,577	-

во времени, руководствуясь указаниями п.9.3.1 ... 9.3.3, а также примером I2.I.

Разработанное табличное предоставление обеспечивает компактность предоставления результатов расчетов параметров нагрузок, обеспечивает системность, т.е. нужную логическую последовательность при проведении расчетов, дисциплинируя их; позволяет легко выявлять грубые промахи. В виду легкой обозримости обеспечивает простоту ссылок и большие удобства при сравнении 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.II3 следует:

I) что нагрузка, приходящаяся в точке M_I на освещенной (фронтальной поверхности) при нормальном падении ВУВ почти на 28% меньше, чем в примере I2.I при косом падении ВУВ. Легко видеть, что примерно такое же различие будет и в других точках освещенной поверхности. Таким образом, установившийся традиционный расчет нагрузок при нормальном падении ВУВ на фронтальную стену противоречит принципу консервативного подхода при проектировании АС (ОПБ 88);

2) что нагрузка, приходящаяся на фронтальную поверхность при нормальном падении плоской ВУВ, мало чем отличается при падении сферической ВУВ при симметричном расположении ЦВ относительно фронтальной стены. Это объясняется значительным удалением ЦВ от сооружения;

3) избыточное давление $\Delta P_ф$ на рубеже тыльной стены при воздействии оферической ВУВ (точки 6 и I2) почти на 2 кПа меньше, чем на рубеже фронтальной стены (точки I 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 ВУВ 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 то: что сооружение в виде параллелограмма следует рассчитывать по общему случаю ориентации относительно ЦВ. Наихудшая ориентация може быть выявлена методом проведения вычислительного эксперимента по определению углов γ, при которых возникают наибольшие нагрузк

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 ГПБС, содержащего 10000 кг паров пропана. Скорость распространения пламени 160 м/с.

Решение:

1) Определяем радиус облака продуктов взрыва

$$R_{пр} = 0{,}782 \sqrt[3]{\frac{M \cdot z \cdot E_{ор}}{0{,}75 \cdot C^{m}_{стх}}} = 0{,}782 \sqrt[3]{\frac{10000 \cdot 0{,}3 \cdot 7}{0{,}75 \cdot 74{,}1 \cdot 10^{-3}}} = 58{,}32 \text{ м}$$

2) Определяем время нарастания давления на расстояниях 30 и 40 м до максимума

$$t_н = R\left(\frac{1}{W} - \frac{1}{a_0}\right); \quad t_{н.1} = 30\left(\frac{1}{160} - \frac{1}{340}\right) = 99{,}3 \text{ мс} \approx 100 \text{мс}$$

$$t_{н.2} = 40\left(\frac{1}{160} - \frac{1}{340}\right) = 132{,}3 \approx 132 \text{ мс}.$$

3) Определяем значение ΔP_{max} перед фронтом пламени

$$\Delta P_{max} = P_0 \left[\left(1 + 0{,}625 \frac{\alpha^2}{1+\alpha}\right)^{3{,}5} - 1\right]$$

$$\alpha = W / a_0 \qquad \alpha = 160/340 = 0{,}47$$

$$\Delta P_{max} = 101{,}325 \left[\left(1 + 0{,}625 \frac{0{,}47^2}{1 + 0{,}47}\right)^{3{,}5} - 1\right] = 30{,}92 \text{ кП}$$

4) Определяем плотность газа перед фронтом пламени

$$\rho_{max} = \rho_0 \left(\frac{P_{max}}{P_0}\right)^{1/K}, \quad \rho_{max} = 1{,}225\left(\frac{101{,}325+3092}{101{,}325}\right)^{1/1{,}4} = 1{,}481 \text{ кг/м}^3;$$

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

$$q_{max} = 0{,}5\cdot 10^{-3}\cdot \rho_{max}\cdot U^2_{max}; \quad q_{max} = 0{,}5\cdot 10^{-3}\cdot 1{,}481\cdot 137{,}14 = 13{,}92 \text{ кПа};$$

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:

$t_{нагр} = t_{гор} - t_{вот}$, где

$t_{гор} = R_{ПВ} / W$; $t_{гор} = 56,825/160 = 352$ мс

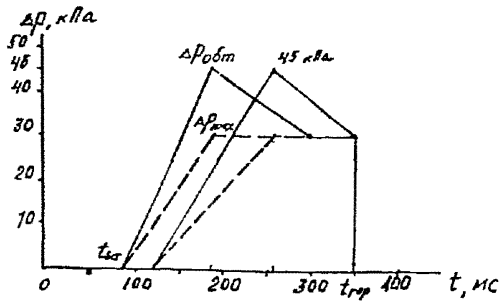
$t_{вот} = R/340$; $t_{вот,1} = 30/340 = 88,2$ мс

$t_{вот,2} = 40/340 = 117,8$ мс.

Таким образом,

$t_{нагр,1} = 352 - 88,2 = 263,8$ мс

$t_{нагр,2} = 352 - 117,8 = 234,2$ мс



$t = 0$ – начало дефлаграционного взрыва;

$t_{вот,1}$ – время прихода фронта волны сжатия на R = 30 м;

$t_{вот,2}$ – 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 ОРТ. На других дистанциях график нагрузки другой.

gost.e-ecolog.ru