

СПРАВОЧНИК ПРОЕКТИРОВЩИКА

ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

Под редакцией профессоров
Б. Г. Коренева, А. Ф. Смирнова



МОСКВА
СТРОИИЗДАТ
1986

Рецензенты: доктора техн. наук, профессора А. В. Александров, В. М. Сеймов, Н. А. Николаенко, В. А. Ильичев и Ленинградский Промстройинипроект (канд. техн. наук В. М. Петельский)

Авторы: Ю. К. Амбриашвили, А. И. Ананьин, А. Г. Барченков, А. С. Бернштейн, Н. Г. Бондарь, А. С. Гехман, Г. И. Глушков, М. А. Гусев, В. И. Жарницкий, Н. Г. Заритовский, А. А. Зевин, В. А. Ивович, А. П. Кириллов, Г. Л. Кедрова, Н. В. Колкунов, Б. Г. Коренев, И. Д. Красулин, Ю. Г. Козьмин, П. П. Кульмач, А. И. Курносков, И. С. Литвин, О. В. Лужин, Н. А. Николаенко, А. Д. Ним, Г. Г. Орлов, Б. В. Остроумов, Б. П. Пасынков, А. С. Поверский, Н. Н. Попов, Б. С. Расторгуев, Л. М. Резников, М. М. Ройтштейн, В. С. Сафронов, А. Г. Соколов, Н. А. Стрельчук, Н. Г. Фигаров, И. Ш. Халфин, И. С. Шейнин.

Научный редактор канд. техн. наук А. С. Яковлев

Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций/Ю. К. Амбриашвили, А. И. Ананьин, А. Г. Барченков и др.; Под ред. Б. Г. Коренева, А. Ф. Смирнова. — М.: Стройиздат, 1986. — 461 с.: ил. — (Справочник проектировщика).

Рассмотрены вопросы динамики железнодорожных и автомобильных мостов, речных гидротехнических сооружений, сооружений горно-рудной промышленности, атомных электростанций, фундаментов под турбоагрегаты. Изложены данные о применении гасителей колебаний и виброизоляции фундаментов под турбоагрегаты. Продолжает серию справочников «Динамический расчет зданий и сооружений» и «Динамический расчет зданий и сооружений на специальные воздействия».

Для инженерно-технических и научных работников проектных и научно-исследовательских организаций.

Д $\frac{3202000000-600}{047(01)-86}$ 45-85

ББК 38.112

6С1

ми сопротивление внецентренно сжатых сечений прямолинейных элементов, для расчета колец, удовлетворяющих условию $r/h \geq 3$. Исходные данные, необходимые для динамического расчета кольца: r — радиус кольца; динамические нагрузки $P_{1, \max}$; $P_{2, \max}$; θ_1 и θ ; марка бетона и класс арматурной стали; характеристики грунта — коэффициент постели $K_{гр}$ и акустическая жесткость

a_{1p} . Расчет ведут в такой же последовательности, что и для прямолинейной балки (см. пример). При этом вместо коэффициента k_M^d определяют и подставляют в формулы (5.60) и (5.61) коэффициент $k^{расч}$, определяемый по графику рис. 5.30 или 5.32. При расчете может потребоваться произвести уточняющий расчет несколько раз.

РАЗДЕЛ 6. ЗАЩИТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ ВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

Г. Г. Орлов, Н. А. Стрельчук

6.1. Определение нагрузок, возникающих при взрывном горении газоздушных смесей и мгновенном вскрытии легкобрасываемых конструкций

Одной из основных задач в общей проблеме защиты зданий взрывоопасных производств является умение определять возникающие нагрузки на строительные конструкции при взрыве горючих смесей внутри помещений. Существующая теория горения, взрыва и детонации горючих смесей отвечает на вопросы, связанные с явлениями взрывного горения при течении таких процессов в трубах [3, 5, 9]. Вместе с тем взрывы газо- и пылевоздушных смесей в больших объемах, соизмеримых с объемами промышленных зданий, изучены недостаточно. В связи с этим при решении практических задач защиты зданий взрывоопасных производств от взрывов внутри помещений и при построении модели по определению величины и характера взрывных нагрузок, действующих на строительные конструкции, принимаются заведомо такие исходные данные, которые позволяют получить надежные результаты по обеспечению взрывозащиты в целом [1, 10].

Основная идея защиты промышленных зданий при взрыве газо- и пылевоздушных смесей состоит в обеспечении прочности и устойчивости несущих конструкций и разрушении или вскрытии специальных легкобрасываемых конструкций в наружном ограждении зданий при минимальных нагрузках в течение минимального времени.

Легкобрасываемые конструкции (ЛСК) по характеру работы в процессе взрывного

горения газоздушной смеси (ГВС) разделяются на две группы.

К первой группе относятся ЛСК, имеющие сравнительно небольшую массу и разрушающиеся практически мгновенно. При расчете таких ЛСК представляется возможным пренебречь силами инерции, возникающими при движении ЛСК, а также считать, что вскрытие перекрываемых ими проемов происходит мгновенно. В связи с этим при определении значений давлений, возникающих при взрывном горении ГВС, можно считать, что с момента вскрытия ЛСК истечение газа из объема будет происходить через полностью открытое сечение проема. При достаточно большой площади образующихся проемов можно обеспечить снижение давления с момента вскрытия ЛСК.

Ко второй группе относятся ЛСК, при вскрытии которых нельзя пренебречь силами инерции. Для этих ЛСК характерным является относительно медленное (немгновенное) вскрытие проемов в ограждающих конструкциях. В результате этого в начальный момент после вскрытия проемов, независимо от их площади, нагрузка при взрывном горении ГВС будет возрастать [1, 3, 6].

В настоящее время в качестве ЛСК широко применяют остекление. Глухое остекление по характеру разрушения может быть отнесено к первой группе ЛСК, а поворотные остекленные переплеты — ко второй. К ЛСК второй группы относятся стеновые элементы, плиты покрытий.

При применении ЛСК первой группы повышение давления до заданного значения может быть ограничено выбором необходимой площади ЛСК. Требуемую площадь

ЛСК следует устанавливать исходя из более неблагоприятных условий с точки зрения обеспечения взрывобезопасности зданий взрывоопасных производств, при которых может произойти взрывное горение ГВС внутри помещений. Такой подход к решению поставленной задачи вытекает из необходимости получения надежных результатов по обеспечению взрывобезопасности, поэтому при определении требуемой площади ЛСК применительно к нормальному или ускоряющемуся режимам горения ГВС в тех случаях, когда не задано количество взрывоопасной смеси в объеме помещения, следует принимать, что весь объем помещения заполнен взрывоопасной ГВС [1, 4].

До момента вскрытия ЛСК повышенные давления внутри помещения определяют как в замкнутом объеме. С момента вскрытия ЛСК наряду с горением ГВС внутри объема при определении давления необходимо учитывать истечение газа из объема через образовавшиеся проемы в ограждающих конструкциях. Истечение газа из помещений через отверстия можно рассматривать как адиабатический процесс [5, 7].

При ограничении возникающей нагрузки при взрывном горении ГВС на ограждающие конструкции задача, по существу, сводится к определению площади ЛСК и их параметров.

При разработке метода по определению нагрузок на ограждающие конструкции в качестве исходных приняты следующие предпосылки: все точки поверхности фронта пламени в любой момент времени находятся на одинаковом расстоянии от источника зажигания, т. е. не учитывают влияния потока газа, вытекающего из отверстия на форму пламени и взаимодействия пламени со стенами помещения, а также влияние формы помещения на распространение пламени; давление одинаково во всех точках помещения, поскольку скорость распространения фронта пламени при взрывном горении газозвуковой смеси внутри помещения меньше скорости звука [3, 8, 11].

Введем следующие обозначения: m — масса; ρ — плотность; u_n — нормальная скорость горения; P — значение абсолютного давления; S_f — площадь фронта пламени; V_n — объем помещения; R — радиус фронта пламени; γ — показатель адиабаты; t — время; индекс u относится к горючей смеси, индекс v — к продуктам сгорания; α — показатель интенсификации горения.

Характер изменения давления на ограждающие конструкции помещения, а также координаты положения фронта пламени в зависимости от времени при мгновенном вскрытии ЛСК или в случае, когда отвер-

стие заранее открыто, устанавливают следующими уравнениями:

$$\frac{dP}{dt} = P \left[\left(\frac{\rho_u}{\rho_b} - 1 \right) \alpha u_n S_f - \frac{1}{\rho_u} \times \right. \\ \left. \times \frac{dm_v}{dt} \right] \left(\frac{V_b}{\gamma_b} + \frac{V_u}{\gamma_u} \right); \quad (6.1)$$

$$\frac{dR}{dt} = \alpha u_n \frac{\rho_u}{\rho_b} - \frac{1}{S_f} \frac{V_b}{\gamma_b} \frac{1}{P} \frac{dP}{dt}. \quad (6.2)$$

Для того чтобы решать приведенные уравнения, необходимо установить значение параметров: dm_v/dt — потока массы через отверстие, коэффициента расширения ρ_u/ρ_b ; площади фронта пламени — $S_f(R)$ и объема продуктов горения — $V_b(R)$.

Поток массы газозвуковой смеси через отверстие можно представить уравнением для адиабатического истечения газа из замкнутого объема в среду с атмосферным давлением [11]:

а) при истечении в сверхзвуковой области, когда

$$\frac{P}{P_0} > \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\gamma/\gamma-1} = P_c,$$

где P_c — критическое давление,

$$\frac{dm_v}{dt} = \mu S_{отв} \rho_u \left[\frac{\gamma P}{\rho} \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{1+\gamma/1-\gamma} \right]^{0.5}; \quad (6.3)$$

б) при истечении в дозвуковой области

$$\frac{dm_v}{dt} = \mu S_{отв} \left\{ \frac{2\gamma P \rho}{\gamma - 1} \left(\frac{P_0}{P} \right)^{2/\gamma} \left[1 - \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\gamma-1/\gamma} \right] \right\}^{0.5}, \quad (6.4)$$

Эти выражения можно переписать в ином, более удобном для использования виде:

а) при $P/P_0 > P_c$

$$\frac{dm_v}{dt} = \mu S_{отв} \rho_u c_u \left\{ \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\gamma+1/\gamma-1} \right\}^{0.5}; \quad (6.5)$$

б) при $P/P_0 < P_c$

$$\frac{dm_v}{dt} = \mu S_{отв} \rho_u c_u \left\{ \frac{2}{\gamma - 1} \left(\frac{P_0}{P} \right)^{2/\gamma} \left[1 - \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\gamma-1/\gamma} \right] \right\}^{0.5}, \quad (6.6)$$

где c_u — скорость распространения звука в горючей смеси, м/с.
 P_0 — давление в окружающей среде (атмосферное); μ — коэффициент истечения.

Для решения уравнений (6.1) — (6.6) необходимо установить отношение плотности свежей горючей смеси к плотности продуктов сгорания в зависимости от давления (коэффициент расширения).

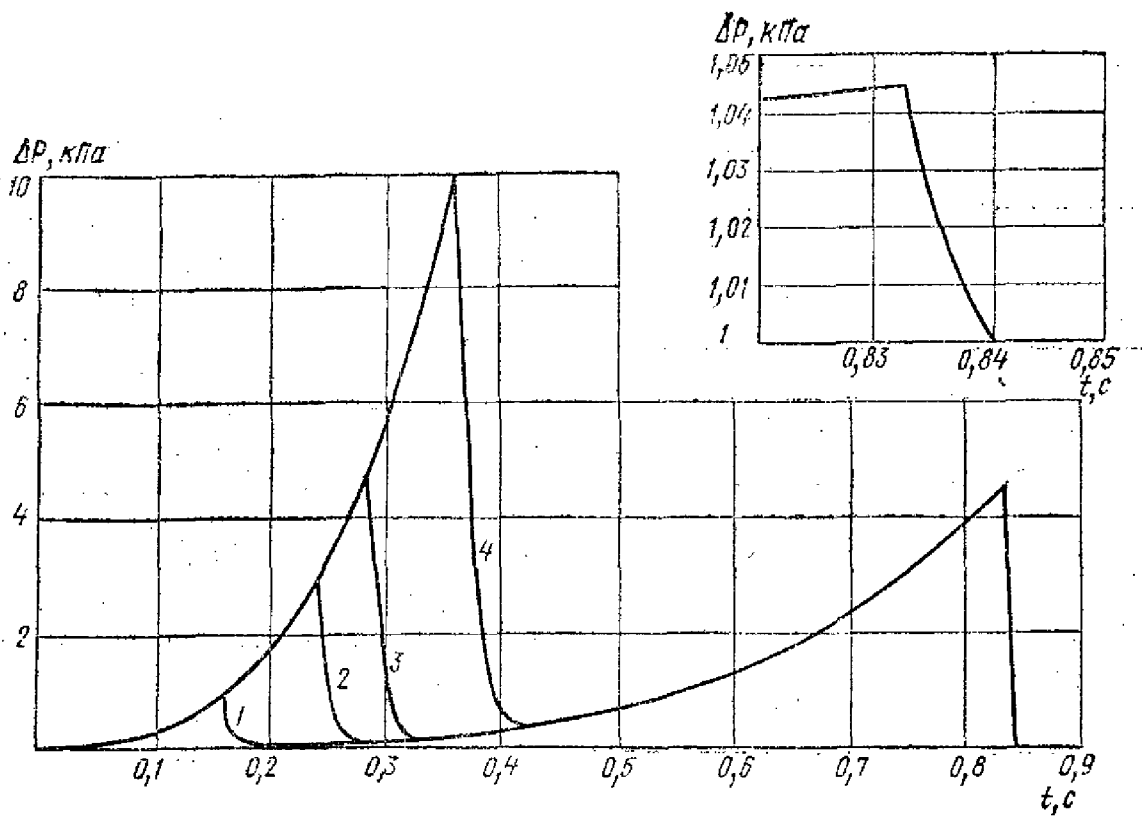


Рис. 6.1. Характер изменения давления на стенки сосуда сферической формы по уравнениям (6.1) (6.2), (6.6) объемом 14 м^3 и мгновенном вскрытии отверстия площадью $0,5 \text{ м}^2$ при: $1 - \Delta P=1$; $2 - \Delta P=3$; $3 - \Delta P=5$; $4 - \Delta P=10$ кПа; $u_H=0,3 \text{ м/с}$; $\rho_H/\rho_B=6$; $\alpha=2$; $\gamma=1,4$

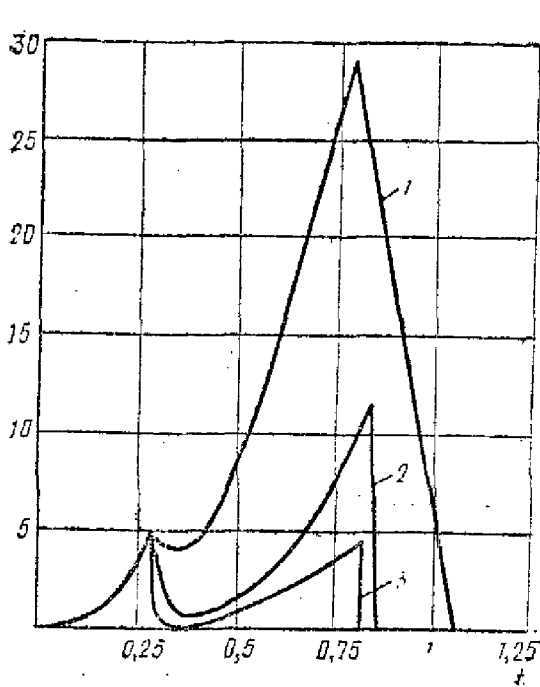


Рис. 6.2. Характер изменения давления на стенки сосуда сферической формы объемом 14 м^3 и мгновенном вскрытии отверстия при $\Delta P=5$ кПа (6.1), (6.2), (6.6) площадью м^2 : $1 - 0,1$; $2 - 0,3$; $3 - 0,5$; $u_H=0,3 \text{ м/с}$; $\rho_H/\rho_B=6$; $\alpha=2$

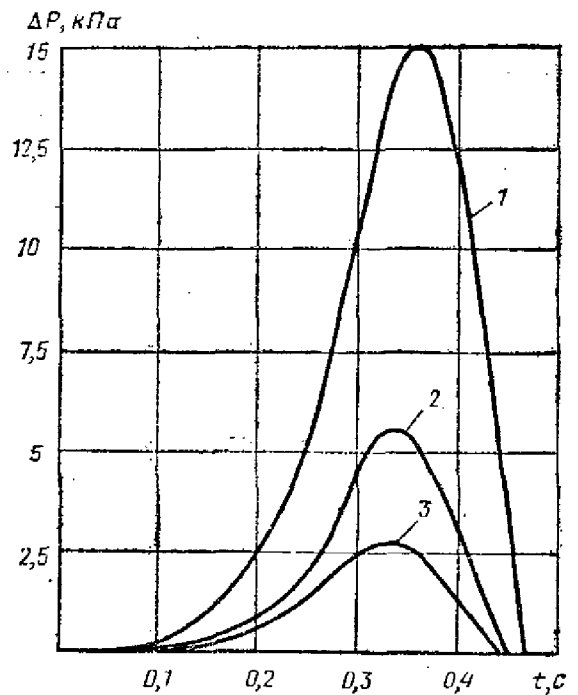


Рис. 6.3. Характер изменения давления на ограждающие конструкции помещения объемом 100 м^3 до момента зажигания ГВС при открытом отверстии площадью $\text{м}^2/\text{м}^3$ по уравнениям (6.1), (6.2), (6.6); $u_H=0,45 \text{ м/с}$; $\rho_H/\rho_B=7,5$; $\alpha=2$

Учитывая, что прочность основных строительных конструкций не превышает порядка 20 кПа (2000 кг/м^2), можно считать, что коэффициент расширения при взрывах горючих смесей в помещениях изменяется в пределах 5% и при оценочных расчетах считать его постоянным и равным коэффициенту расширения при атмосферном давлении.

Для решения практических задач при использовании уравнений (6.1) — (6.6) не-

обходимо задать конкретный вид функций $S_f(R)$ и $V_b(R)$, т. е. функций площади фронта пламени и объема сгоревшего газа в зависимости от координаты фронта пламени. Указываемые функции для сферического сосуда при центральном зажигании имеют вид: $S_f(R) = 4\pi R^2$; $V_b(R) = (4/3)\pi R^3$, при распространении плоского фронта пламени в трубе диаметра D , $S_f(R) = \pi D^2/4$; $V_b(R) = (\pi D^2/4)R$.

Для помещения по форме, близкой к ку-

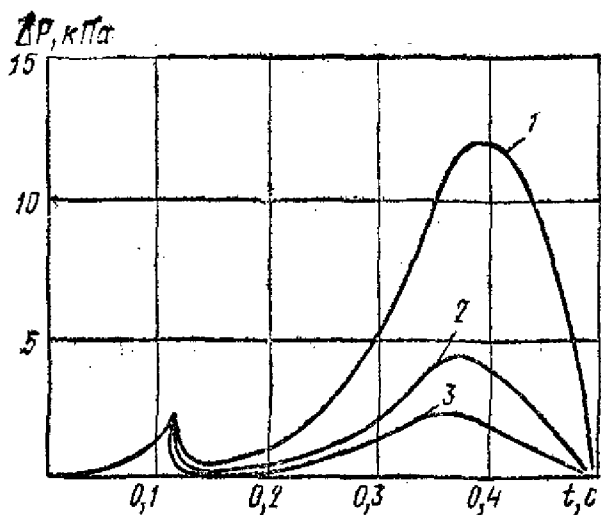


Рис. 6.4. Характер изменения давления на ограждающие конструкции помещения объемом 100 м³ при мгновенном вскрытии отверстия при нагрузке ΔP=2 кПа площадью, м²/м³
1—0,03; 2—0,05; 3—0,07 по уравнениям (6.1), (6.2), (6.6); u_H=0,45 м/с; ρ_H/ρ_B=7,5; α=2

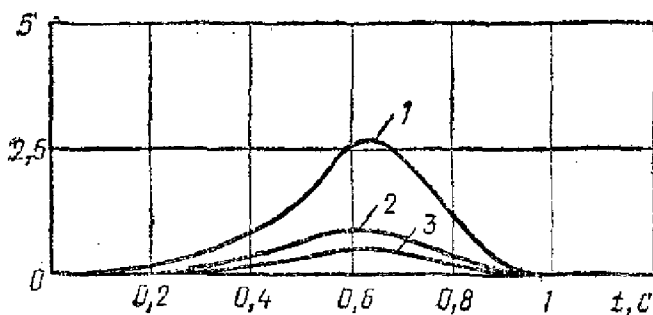


Рис. 6.5. Характер изменения давления взрыва на ограждающие конструкции помещения объемом 1000 м³ по уравнениям (6.1), (6.2), (6.6) при открытом отверстии до момента зажигания ГВС площадью, м²/м³
1—0,03; 2—0,05; 3—0,07; u_H=0,45 м/с; ρ_H/ρ_B=7,5; α=2

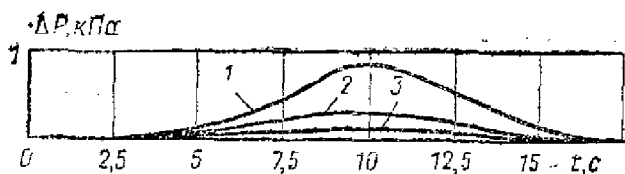


Рис. 6.6. Характер изменения давления взрыва на ограждающие конструкции помещения объемом 5·10³ м³ по уравнениям (6.1), (6.2), (6.6) при открытом отверстии до момента зажигания ГВС, площадью, м²/м³
1—0,03; 2—0,05; 3—0,07; u_H=0,45 м/с; ρ_H/ρ_B=7,5; α=2

бу, например куб с ребром a и источником зажигания, находящимся в центре куба, $S_f(R)$ можно задать следующим образом. До соприкосновения со стенкой фронт пламени принимают сферическим, т. е. для $R < a/2$, где a — ребро куба:

$$S_f(R) = 4\pi R^2; \quad V_b(R) = \frac{4}{3} \pi R^3.$$

Для куба $S_f(R)$ принимают равной площади сферы радиуса R , которая находится внутри куба с ребром a , а $V_b(R)$ ра-

вен объему, общему для куба с ребром a и шара радиуса R с центром, находящимся в геометрическом центре куба.

Для примера на основании уравнений (6.1), (6.2), (6.6) построены графические зависимости изменения характера и величины нагрузок, действующих на ограждающие конструкции в случае, когда отверстие открыто до момента зажигания взрывоопасной смеси или оно мгновенно вскрывается при достижении определенного значения взрывной нагрузки (см. рис. 6.1—6.6).

При определении возникающих нагрузок при взрывном горении газозвушной смеси внутри помещения можно учитывать и одновременное истечение как взрывоопасной смеси, так и продуктов сгорания. Особенно это необходимо делать при расчете нагрузок на ограждающие конструкции в помещениях, имеющих форму, отличную от кубической, а также при наличии нескольких отверстий.

С учетом истечения продуктов сгорания уравнения (6.1) и (6.2) принимают вид:

$$\frac{dP}{dt} = P \left[\alpha u_H \left(\frac{\rho_u}{\rho_b} - 1 \right) S_f - \left(\frac{1}{\rho_b} \frac{dm_{bv}}{dt} + \frac{1}{\rho_u} \frac{dm_{uv}}{dt} \right) \right] \left(\frac{V_b}{\gamma_b} + \frac{V_u}{\gamma_u} \right); \quad (6.7)$$

$$\frac{dR}{dt} = \frac{\alpha u_H \left(\frac{\rho_u}{\rho_b} + \frac{\gamma_u V_b}{\gamma_b V_u} \right)}{\left(1 + \frac{\gamma_u V_b}{\gamma_b V_u} \right)} + \frac{1}{S_f} \times \frac{V_u V_b}{\gamma_u V_b + \gamma_b V_u} \left(\frac{1}{\rho_u} \frac{dm_{vu}}{dt} - \frac{1}{\rho_b} \frac{dm_{bv}}{dt} \right); \quad (6.8)$$

где dm_{bv}/dt — поток массы продуктов сгорания; dm_{uv}/dt — поток массы исходной смеси.

Выражение для потока массы в звуковом режиме истечения:

$$\frac{1}{\rho_u} \frac{dm}{dt} = \mu S_{отв} C_u \left\{ \frac{2}{\gamma - 1} \left(\frac{P_0}{P} \right)^{2/\gamma} \times \left[1 - \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\gamma-1/\gamma} \right] \right\}^{0,5}. \quad (6.9)$$

Для того чтобы установить величину $(1/\rho) (dm/dt)$ для продуктов сгорания и ГВС, необходимо задать значения μ , $S_{отв}$, C_u ; а показатели адиабаты γ_u и γ_b принимают по справочным данным. Коэффициент истечения при взрывах в помещениях $\mu = 0,8 \dots 0,85$, поэтому он может быть принят

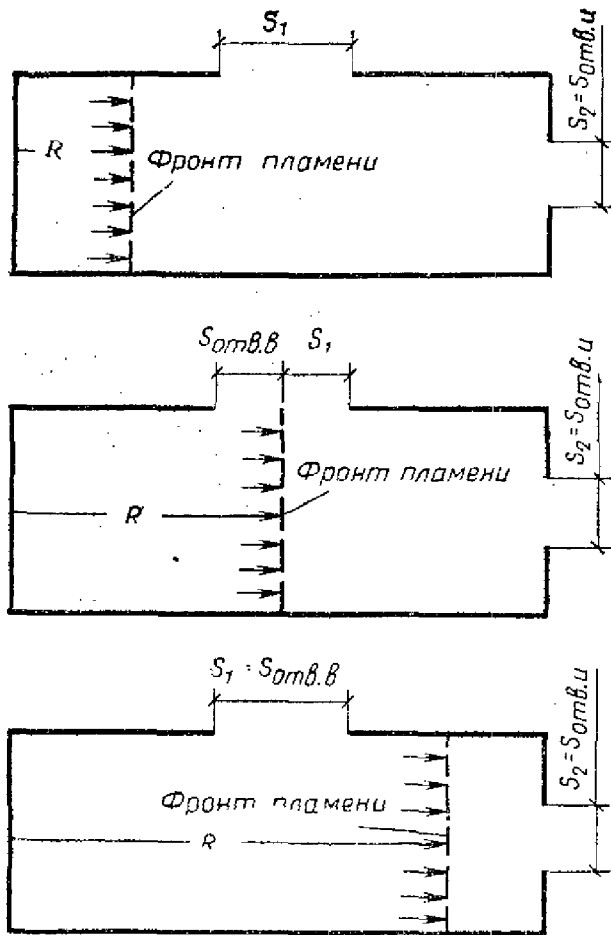


Рис. 6.7. Схемы места расположения фронта пламени по отношению отверстий в наружном ограждении помещений вытянутой формы

одинаковым как для ГВС, так и для продуктов сгорания.

Скорость звука для продуктов сгорания

$$C_b = \sqrt{\gamma_b \frac{P_b}{\rho_b}} = C_u \sqrt{\frac{\gamma_b \rho_u}{\gamma_u \rho_b}},$$

так как $P_b = P_u$.

Площадь, через которую истекает несгоревший газ,

$$S_{отв.и} = S_{отв} - S_{отв.в}$$

В связи с этим можно принять следующую схему расчета. После зажигания ГВС до момента вскрытия ЛСК горение происходит в замкнутом объеме: $S_{отв.и} = S_{отв.в} = 0$. После вскрытия отверстия истекает свежая смесь: $S_{отв.в} = 0$; $S_{отв.и} = S_{отв}$. При достижении фронтом пламени отверстия начинается истечение продуктов сгорания: $S_{отв.и}$ и $S_{отв.в}$ находят из геометрических размеров помещения.

Для примера рассмотрим случай распространения пламени по помещению, имеющему вытянутую форму прямоугольного сечения при распространении плоского фронта пламени. Места расположения отверстия указаны на рис. 6.7, из которого видно, что площадь отверстия $S_{отв}$ изменяется в зависимости от места расположения фронта пламени: а) $S_{отв} = 0$; $S_{отв.и} = S_1 + S_2$; б) $S_{отв} =$

$= S_{отв.в}$ меняется линейно в зависимости от координаты фронта пламени; в) $S_{отв.в} = S_1$, $S_{отв.и} = S_2$.

По аналогии с расчетом, учитывающим истечение горючей смеси и затем продуктов сгорания, можно учесть одновременное истечение продуктов сгорания и несгоревшей смеси, и установить величину и характер возникающих нагрузок с учетом параметров горючей смеси.

6.2. Определение величины и характера нагрузок при использовании инерционных ЛСК

Для того чтобы установить величину и характер изменения давления, возникающего при взрывах в помещениях закрытых инерционными ЛСК, необходимо решать уравнения (6.1), (6.2), (6.6) совместно с уравнениями движения ЛСК.

Для ЛСК, которые представляют собой свободно опертые плиты, располагаемые в горизонтальном наружном ограждении помещения, уравнение движения плиты имеет вид

$$m \frac{d^2 x}{dt} = (\bar{P}(t) - P_0) ab - mg, \quad (6.10)$$

где x — перемещение плиты; ab — площадь плиты (отверстия); g — ускорение свободного падения; $\bar{P}(t)$ — усредненное давление на плиту:

$$\bar{P}(t) = \frac{1}{S} \iint_S P(x, y, t) dx dy.$$

Для смещаемых ЛСК, расположенных в вертикальном ограждении помещения, уравнения движения плиты

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = (\bar{P}(t) - P_0) ab. \quad (6.11)$$

Для поворотных ЛСК с горизонтальным верхним шарниром уравнение движения

$$I \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -mg \frac{l}{2} \sin \varphi + (\bar{P}(t) - P_0) \frac{a^2 b}{2}. \quad (6.12)$$

Для поворотных ЛСК с горизонтальным нижним шарниром уравнение движения запишется в виде

$$I \frac{d^2 \varphi}{dt} = mg \frac{l}{2} \sin \varphi + (\bar{P}(t) - P_0) \frac{a^2 b}{2}. \quad (6.13)$$

Для поворотных ЛСК с боковым вертикальным шарниром уравнение движения имеет вид

$$I \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = (\bar{P}(t) - P_0) \frac{a^2 b}{2}, \quad (6.14)$$

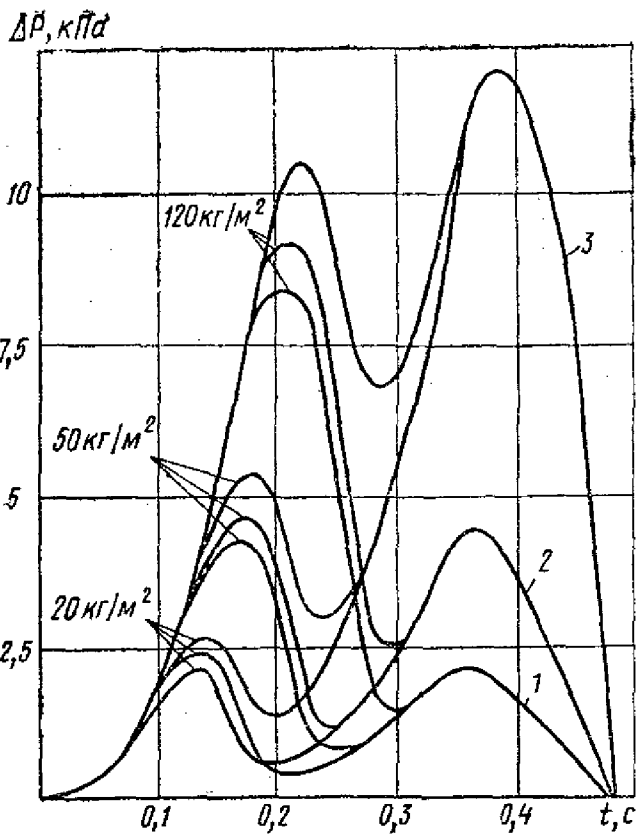


Рис. 6.8. Характер изменения давления на ограждающие конструкции помещения объемом 100 м³ при вскрытии легкобрасываемого элемента в покрытии площадью, м²/м³
 1—0,07; 2—0,05; 3—0,03 и массой 120, 50 и 20 кг/м² по уравнениям (6.15); $U_H=0,45$ м/с;
 $\rho_H/\rho_B=7,5$; $\alpha=2$

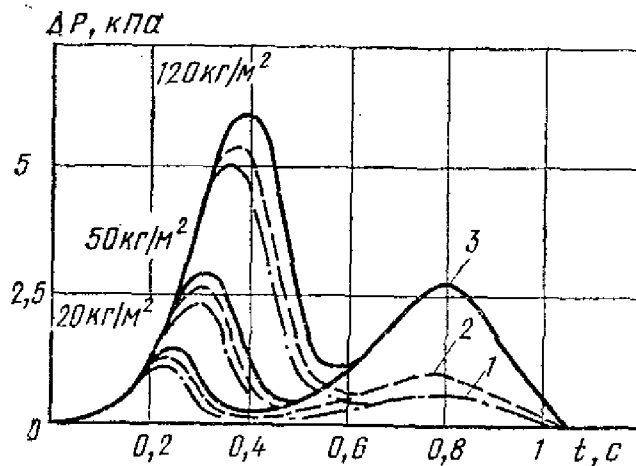


Рис. 6.9. Характер изменения давления на ограждающие конструкции помещения объемом 1000 м³ при вскрытии легкобрасываемых элементов в покрытии площадью, м²/м³
 1—0,07; 2—0,05; 3—0,03 и массой 120, 50 и 20 кг/м² по уравнениям (6.15); $U_H=0,45$ м/с;
 $\rho_H/\rho_B=7,5$; $\alpha=2$

где I — момент инерции массы плиты относительно оси вращения; a — высота поворотного элемента; b — ширина элемента; m — масса элемента; φ — угол раскрытия поворотных ЛСК.

Значение среднего давления на плиту равно

$$\bar{P}(t) = P \frac{ab}{ab + 2(a+b)x(t)}$$

В уравнениях (6.1), (6.2) и (6.6) единственным параметром, который зависит от положения ЛСК, является $S_{отв}$. При выпол-

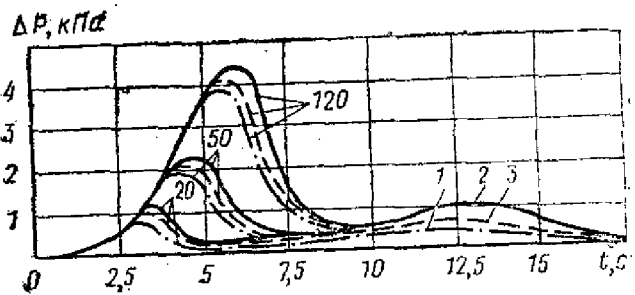


Рис. 6.10. Характер изменения давления на ограждающие конструкции помещения объемом 5·10³ м³ при вскрытии легкобрасываемых элементов в покрытии площадью, м²/м³
 1—0,07; 2—0,05; 3—0,03 и массой 120, 50 и 20 кг/м² по уравнениям (6.15); $U_H=0,45$ м/с;
 $\rho_H/\rho_B=7,5$; $\alpha=2$

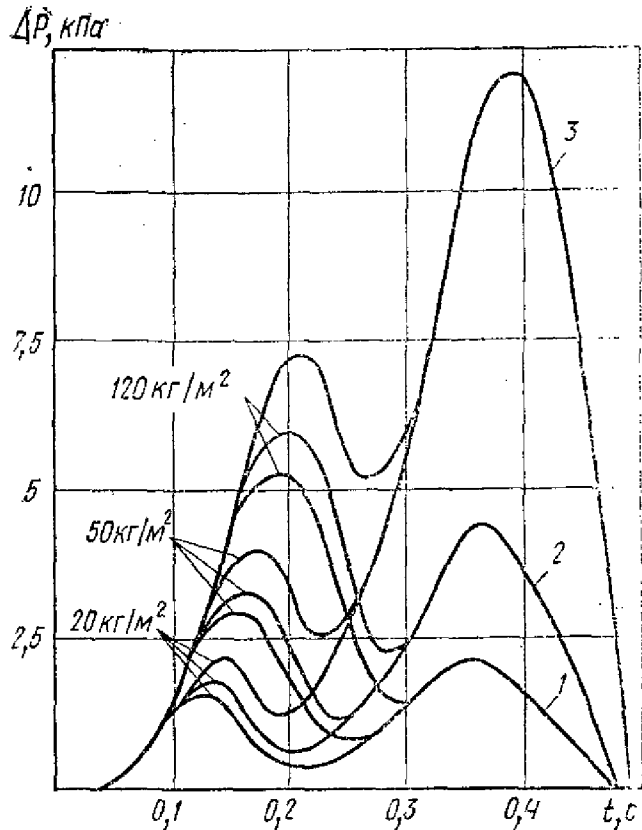


Рис. 6.11. Характер изменения давления на ограждающие конструкции помещения $V_H=100$ м³ при вскрытии легкобрасываемых элементов в вертикальном ограждении площадью, м²/м³
 1—0,07; 2—0,05; 3—0,03 и массой 120, 50 и 20 кг/м² по уравнениям (6.16); $U_H=0,45$ м/с;
 $\rho_H/\rho_B=7,5$; $\alpha=2$

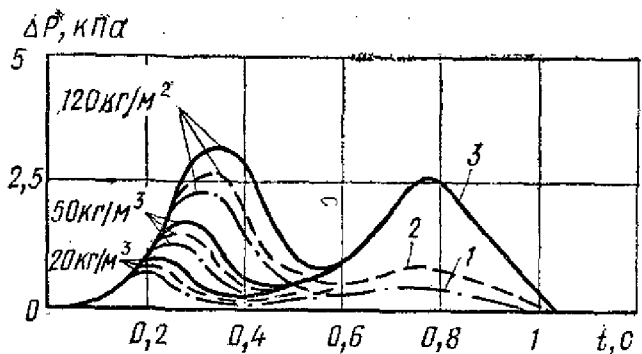


Рис. 6.12. Характер изменения давления на ограждающие конструкции помещения $V_H=1000$ м³ при вскрытии легкобрасываемых элементов в вертикальном ограждении площадью, м²/м³
 1—0,07; 2—0,05; 3—0,03 и массой 120, 50 и 20 кг/м² по уравнениям (6.16); $U_H=0,45$ м/с;
 $\rho_H/\rho_B=7,5$; $\alpha=2$

нении числовых расчетов могут быть сделаны следующие допущения. Коэффициент истечения принимают постоянным. Площадь отверстия можно задать следующим образом.

Для смещаемых ЛСК в покрытии и стеновом ограждении: $S_{отв} = 2(a+b)x$, если $2(a+b)x < ab$; $S_{отв} = ab$, если $2(a+b)x > ab$, где a, b — длина и ширина ЛСК; x — отклонение ЛСК от первоначального положения.

Для поворотных ЛСК: $S_{отв} = l^2 \sin \varphi + 2bl \sin(\varphi/2)$, если $l^2 \sin \varphi + 2bl \sin(\varphi/2) < bl$; $S_{отв} = bl$, если $l^2 \sin \varphi + 2bl \sin(\varphi/2) > bl$, где l — длина ЛСК; b — ширина; φ — угол раскрытия.

Для определения давления, возникающего при взрывном горении ГВС в помещениях, в ограждении которых расположены инерционные ЛСК, важно знать закон движения ЛСК только на начальном участке, например для смещаемых ЛСК только при $X(t) \leq ab/2(a+b)$.

Системы уравнений для определения возникающих нагрузок на ограждающие конструкции при использовании различных видов ЛСК можно записать в следующем виде:

для смещаемых ЛСК, располагаемых в покрытии (рис. 6.8—6.10)

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= P \frac{\gamma}{V_{II}} \left[\alpha, u_H \left(\frac{\rho_u}{\rho_b} - 1 \right) S_f - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{\rho_u} \frac{dm_v}{dt} \right] / \left(\frac{V_b}{\gamma_b} + \frac{V_u}{\gamma_u} \right); \\ \frac{dR}{dt} &= \alpha, u_H \frac{\rho_u}{\rho_b} - \frac{V_b}{S_f \gamma_b} \frac{1}{P} \frac{dP}{dt}; \\ \frac{d\xi}{dt} &= (\bar{P} - P_0) S_{отв} / m - g; \\ dx/dt &= \xi; \end{aligned} \right\} (6.15)$$

при $t=0$: $P=P_0$; $x=0$; $\dot{x}=0$; $R=0$;

для смещаемых ЛСК, расположенных в вертикальном ограждении здания (рис. 6.11—6.13)

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= P \frac{\gamma}{V_{II}} \left[\alpha, u_H \left(\frac{\rho_u}{\rho_b} - 1 \right) S_f - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{\rho_u} \frac{dm_v}{dt} \right] / \left(\frac{V_b}{\gamma_b} + \frac{V_u}{\gamma_u} \right); \\ \frac{dR}{dt} &= \alpha, u_H \frac{\rho_u}{\rho_b} - \frac{V_b}{S_f \gamma_b} \frac{1}{P} \frac{dP}{dt}; \\ \frac{d\xi}{dt} &= (\bar{P} - P_0) S_{отв} / m; \quad dx/dt = \xi; \end{aligned} \right\} (6.16)$$

для поворотных ЛСК с горизонтальным верхним шарниром в вертикальном ограждении (рис. 6.14—6.16)

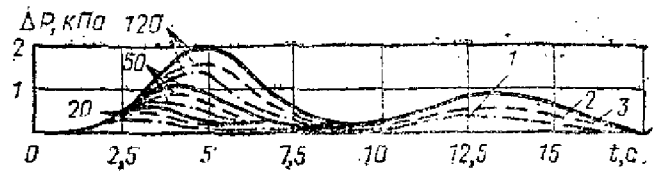


Рис. 6.13. Характер изменения давления на ограждающие конструкции помещения $V_{II} = 5 \cdot 10^3$ м³ при вскрытии легкосбрасываемых элементов в вертикальном ограждении площадью, м²/м³

1 — 0,07; 2 — 0,05; 3 — 0,03 и массой 120, 50 и 20 кг/м³ по уравнениям (6.16); $u_H = 0,45$ м/с; $\rho_H/\rho_B = 7,5$; $\alpha = 2$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= P \frac{\gamma}{V_{II}} \left[\alpha, u_H \left(\frac{\rho_u}{\rho_b} - 1 \right) S_f - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{\rho_u} \frac{dm_v}{dt} \right] / \left(\frac{V_b}{\gamma_b} + \frac{V_u}{\gamma_u} \right); \\ \frac{dR}{dt} &= \alpha, u_H \frac{\rho_u}{\rho_b} - \frac{V_b}{S_f \gamma} \frac{1}{P} \frac{dP}{dt}; \\ \frac{d\xi}{dt} &= - \frac{mg}{I} \frac{l}{2} \sin \varphi + \\ &\quad + (\bar{P} - P_0) \frac{a^2 b}{2I}; \quad d\varphi/dt = \xi; \end{aligned} \right\} (6.17)$$

для поворотных ЛСК с горизонтальным нижним шарниром

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= P \frac{\gamma}{V_{II}} \left[\alpha, u_H \left(\frac{\rho_u}{\rho_b} - 1 \right) S_f - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{\rho_u} \frac{dm_v}{dt} \right] / \left(\frac{V_b}{\gamma_b} + \frac{V_u}{\gamma_u} \right); \\ \frac{dR}{dt} &= \alpha, u_H \frac{\rho_u}{\rho_b} - \frac{V_b}{S_f \gamma} \frac{1}{P} \frac{dP}{dt}; \\ \frac{d\xi}{dt} &= \frac{mg}{I} \frac{l}{2} \sin \varphi + \\ &\quad + (\bar{P} - P_0) \frac{a^2 b}{2I}; \quad d\varphi/dt = \xi; \end{aligned} \right\} (6.18)$$

для поворотных ЛСК с боковым вертикальным шарниром (рис. 6.17).

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= P \frac{\gamma}{V_{II}} \left[\alpha, u_H \left(\frac{\rho_u}{\rho_b} - 1 \right) S_f - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{\rho_u} \frac{dm_v}{dt} \right] / \left(\frac{V_b}{\gamma_b} + \frac{V_u}{\gamma_u} \right); \\ \frac{dR}{dt} &= \alpha, u_H \frac{\rho_u}{\rho_b} - \frac{V_b}{S_f \gamma} \frac{1}{P} \frac{dP}{dt}; \\ \frac{d\xi}{dt} &= (\bar{P} - P_0) \frac{a^2 b}{2I}; \quad d\varphi/dt = \xi \end{aligned} \right\} (6.19)$$

при $t=0$: $P=P_0$; $R=0$; $\varphi=0$; $\dot{\varphi}=0$.

В выражениях (6.15) — (6.19) dm_v/dt определяется из (6.6). Здесь везде рассматривается дозвуковой режим при истечении горючей смеси.

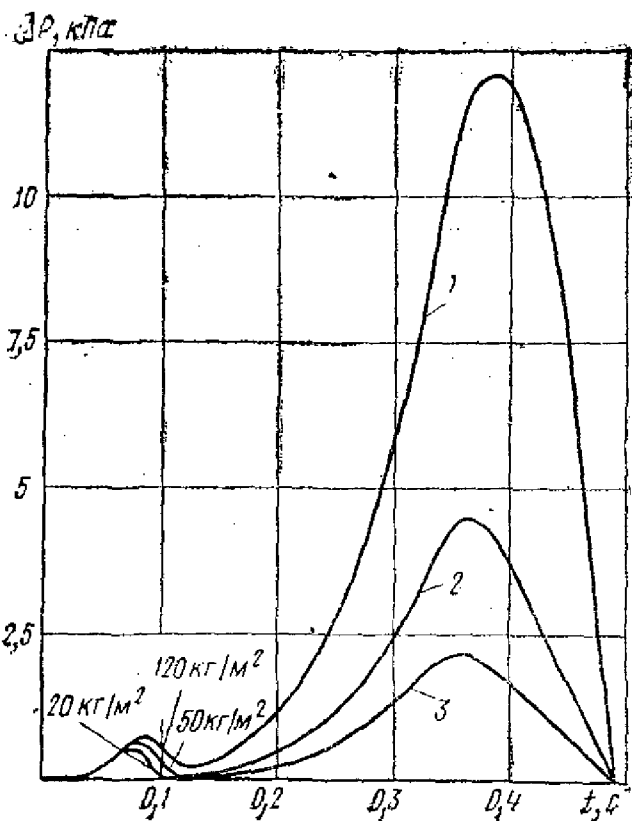


Рис. 6.14. Характер изменения давления взрыва на ограждающие конструкции помещения объемом 100 м³ при вскрытии поворотных элементов с горизонтальным шарниром площадью, м²

1 — 3; 2 — 5; 3 — 7 и массой 20, 50 и 120 кг/м² по уравнениям (6.17); $u_H = 0,45$ м/с; $\rho_H/\rho_B = 7,5$; $\alpha = 2$; $R_p = 0,5$ кПа

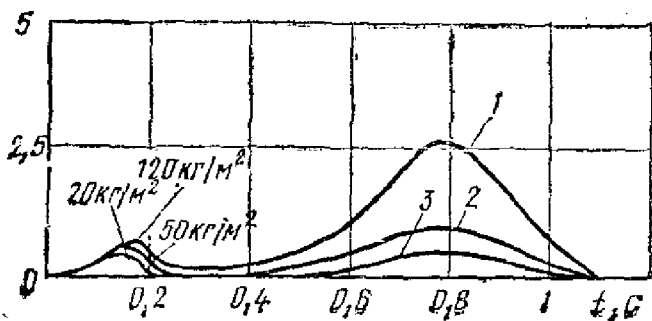


Рис. 6.15. Характер изменения давления взрыва на ограждающие конструкции помещения объемом 1000 м³ при вскрытии поворотных элементов с горизонтальным шарниром площадью, м²/м³

1 — 0,03; 2 — 0,05; 3 — 0,07 и массой 20, 50 и 120 кг/м² по уравнениям (6.17); $u_H = 0,45$ м/с; $\rho_H/\rho_B = 7,5$; $\alpha = 2$; $R_p = 0,5$ кПа

Системы уравнений (6.15) — (6.19) решают на ЭВМ численными методами.

6.3. Определение нагрузок, разрушающих стекло

Для определения расчетной нагрузки, разрушающей листовое оконное стекло $R_p^{ст}$ рекомендуется зависимость [1]:

$$R_p^{ст} = R_p^{ст} y, \quad (6.20)$$

где $R_p^{ст}$ — нагрузка, при которой разрушается листовое оконное стекло (при одинарном остеклении) с соотношением сторон листа стекла 1:1 (принимают по табл. 6.1); y — коэффициент условий работы (принимают по табл. 6.2).

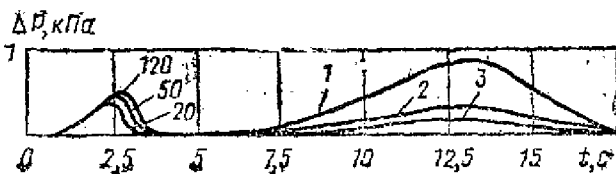


Рис. 6.16. Характер изменения давления взрыва на ограждающие конструкции помещения объемом 5-10³ м³ при вскрытии поворотных элементов с горизонтальным шарниром площадью, м²/м³

1 — 0,03; 2 — 0,05; 3 — 0,07 и массой 20, 50 и 120 кг/м² по уравнениям (6.17); $u_H = 0,45$ м/с; $\rho_H/\rho_B = 7,5$; $\alpha = 2$; $R_p = 0,5$ кПа

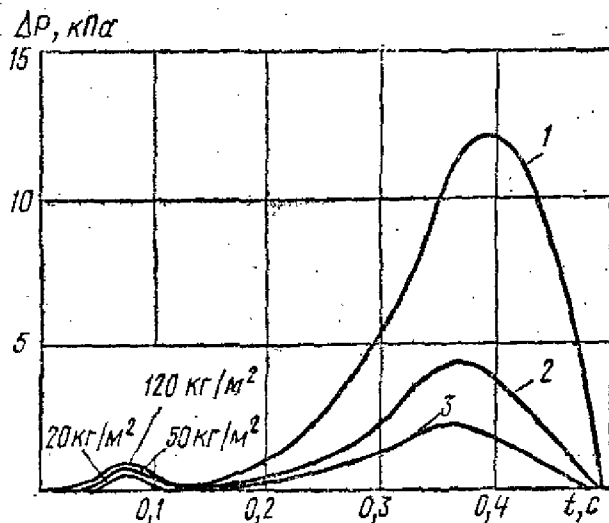


Рис. 6.17. Характер изменения давления взрыва на ограждающие конструкции помещения объемом 100 м³ при вскрытии поворотных элементов с вертикальным шарниром площадью, м²

1 — 3; 2 — 5; 3 — 7 и массой 20, 50 и 120 кг/м² по уравнениям (6.19); $u_H = 0,45$ м/с; $\rho_H/\rho_B = 7,5$; $\alpha = 2$; $R_p = 0,5$ кПа

Величину нагрузки, разрушающей стекло, при промежуточных значениях площади одного листа следует определять интерпо-

Таблица 6.1

Толщина стекла, мм	Нагрузка, разрушающая стекло, кПа, при площади одного листа стекла $R_p^{ст}$					
	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2
3	4	3	2,1	1,5	1,2	1
4	—	—	3,2	2,5	2	1,5
5	—	—	—	4	3,2	2,5

ляцией приведенных в табл. 6.2 значений. В том случае, когда в качестве легкоразрушаемой конструкции применяют двойное

Таблица 6.2

Соотношение сторон листа стекла	Коэффициент условий работы	Соотношение сторон листа стекла	Коэффициент условий работы
1:1	1	1:1,75	1,16
1:1,33	1,04	1:2	1,25
1:1,5	1,08	1:3	1,38

остекление, расчетную разрушающую нагрузку для стекла $P_p^{ст}$ принимают $1,15P_p^{ст}$.

6.4. Расчет требуемой площади ЛСК

Требуемую площадь ЛСК устанавливают из условия, чтобы давление в помещении не превысило заданного значения P_g . Скорость выгорания ГВС максимальна, когда S_f принимает максимальное значение. Для сферического объема $S_{f\max} = 4\pi R^2$, где R — радиус сферической оболочки. Для объема любой другой формы $S_{f\max}$ можно оценить как $S_{f\max} = 5V^{2/3}$, где V — объем помещения. Тогда скорость увеличения объема газа из-за его сгорания составит $\alpha u S_{f\max} (\rho_u/\rho_b - 1)$ и не будет превышать объемной скорости истечения при заданном P_d , которую можно найти из уравнения (6.6).

Для звукового потока, принимая внешнее давление равным атмосферному, можно записать

$$\alpha u k S_{f\max} (\rho_u/\rho_b - 1) < \mu S_{отв} c_u \left\{ \frac{2}{\gamma - 1} \times \left(\frac{P_0}{P_d} \right)^{2/\gamma} \left[1 - \left(\frac{P_0}{P_d} \right)^{\gamma-1/\gamma} \right] \right\}^{0,5} \quad (6.21)$$

следовательно,

$$S_{отв}^{тр} \geq \alpha u k (\rho_u/\rho_b - 1) S_{f\max} \frac{1}{c_u \mu} \times \left\{ \frac{2}{\gamma - 1} \left(\frac{P_0}{P_d} \right)^{2/\gamma} \left[1 - \left(\frac{P_0}{P_d} \right)^{\gamma-1/\gamma} \right] \right\}^{-0,5} \quad (6.22)$$

где k — коэффициент, принимаемый в зависимости от допускаемого давления на ограждающие конструкции.

P_d , кПа	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7
k	0,94	0,89	0,87	0,85	0,84	0,82	0,8	0,78	0,76	0,75

Показатель интенсивности горения α устанавливается в зависимости от степени заполнения объема помещения различными объектами технологического оборудования, строительными конструкциями.

При свободном объеме помещения от оборудования и строительных конструкций $\alpha = 2$. При заполнении объема помещения до 20 % и более α следует принимать равным 3 при расстоянии между объемами $l \geq 10d$ (где d — средний линейный размер поперечного сечения объекта); при $l \leq 4d$, $\alpha = 4$. Промежуточные значения α определяются интерполяцией.

Предложенный метод по определению требуемой площади легкосбрасываемых кон-

струкций позволяет установить необходимую площадь отверстия для случаев, когда отверстие открыто до момента зажигания ГВС, ЛСК разрушаются мгновенно.

На практике встречаются случаи, когда горючая смесь может заполнить не весь объем помещения, а только часть его. Допустим, что в объеме V_n ГВС занимает объем V_0 . Если не учитывать обеднения смеси вследствие перемешивания с воздухом, то для случая, когда $V_0(\rho_u/\rho_b) \geq V_n$, площадь отверстия можно определить по формуле (6.22). Для $V_0(\rho_u/\rho_b) < V_n$ в эту формулу нужно подставить

$$S_{f\max} \cong 5 [V_0 (\rho_u/\rho_b)]^{2/3}. \quad (6.23)$$

Тогда

$$S_{отв} = S_{отв}^{тр} (\rho_u/\rho_b)^{2/3} (V_0/V_n)^{2/3}, \quad (6.24)$$

где $S_{отв}^{тр}$ — площадь отверстия, обеспечивающего снижение давления до безопасного для полностью заполненного ГВС объема помещения; V_0 — объем взрывоопасной смеси в помещении, m^3 , $V_0 = G/C$ (G — количество поступивших веществ, определяемое в соответствии со СН 463-74; C — стехиометрическую концентрацию взрывоопасной смеси, $г/м^3$, принимают по справочным материалам или по табл. 6.3.

Следует отметить, что так как в данном случае не учитывается перемешивание горючего газа с воздухом, то выражение (6.22) дает несколько завышенное значение площади требуемого отверстия.

В качестве примеров для помещений объемом 100, 10³, 10⁴ и 5·10⁴ м³, в которых может образоваться пропановоздушная смесь, по уравнениям (6.22), (6.24) установлены требуемые площади отверстий в зави-

симости от давления P_d при мгновенном вскрытии конструкций (рис. 6.18—6.22).

Для определения требуемой площади отверстия в наружном ограждении помещения нужно задать следующие величины: 1) если отверстие было открыто до момента зажигания горючей смеси внутри помещения, то P_d задают из соображений прочности ограждающих конструкций, которые не должны разрушаться. Если отверстие было закрыто ЛСК, которые мгновенно разрушаются при P_d , то следует принять $P_p = P_d$;

2) в отношении плотности ГВС к плотности продуктов сгорания ρ_u/ρ_b степень расширения продуктов горения можно счи-

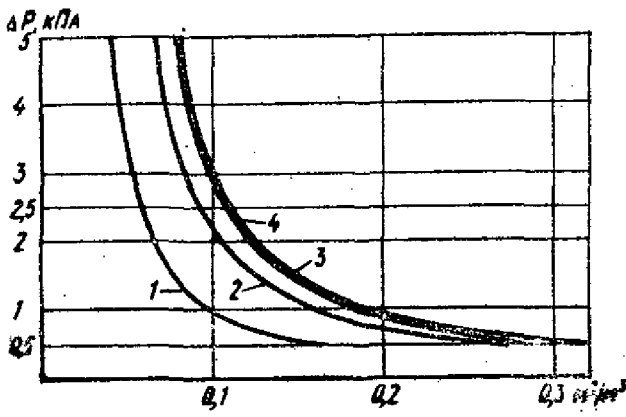


Рис. 6.18. Площадь мгновенно вскрываемых легкобрасываемых конструкций в наружном ограждении помещения объемом $V_{II}=100 \text{ м}^3$, приходящаяся на единицу объема по уравнениям (6.22) и (6.24)

Объем взрывоопасной ГВС составляет: 1 — 5 % объема помещения; 2 — 10 %; 3 — 12 %; 4 — помещение полностью заполнено взрывоопасной ГВС; $U_H=0,45 \text{ м/с}$; $\alpha=2$; $\rho_H/\rho_B=7,5$

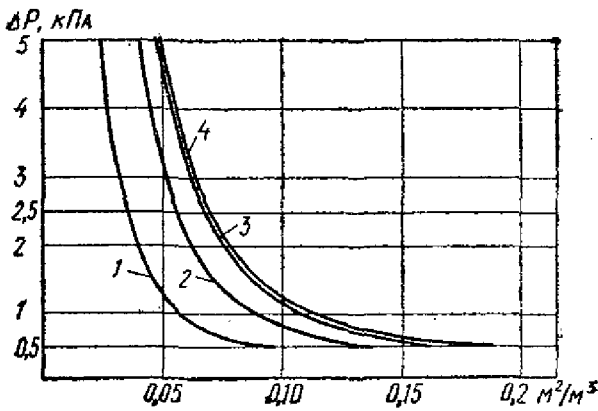


Рис. 6.19. Площадь мгновенно вскрываемых легкобрасываемых конструкций в наружном ограждении помещения объемом $V_{II}=500 \text{ м}^3$, приходящаяся на единицу объема по уравнениям (6.22) и (6.24)

Объем взрывоопасной ГВС составляет: 1 — 5 % объема помещения; 2 — 10 %; 3 — 12 %; 4 — помещение полностью заполнено взрывоопасной ГВС; $U_H=0,45 \text{ м/с}$; $\alpha=2$; $\rho_H/\rho_B=7,5$

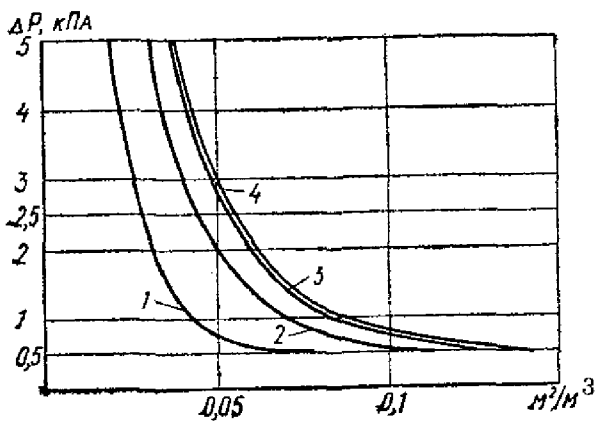


Рис. 6.20. Площадь мгновенно вскрываемых легкобрасываемых конструкций в наружном ограждении помещения объемом $V_{II}=1000 \text{ м}^3$, приходящаяся на единицу объема по уравнениям (6.22) и (6.24)

Объем взрывоопасной ГВС составляет: 1 — 5 % объема помещения; 2 — 10 %; 3 — 12 %; 4 — помещение полностью заполнено взрывоопасной ГВС; $U_H=0,45 \text{ м/с}$; $\alpha=2$; $\rho_H/\rho_B=7,5$

тять константой и пользоваться значением ρ_H/ρ_B при атмосферном давлении;

Вещество	Стехиометрическая концентрация взрывоопасной смеси C , г/м ³	Максимальное расширение продуктов горения ρ_i/ρ_b	Нормальная скорость горения взрывоопасной смеси u_n , м/с
Акролин	140,8	8,1	0,66
Акрилонитрил	1250	8,2	0,46
Аммиак	165,8	6,2	0,1
Амилен	93,1	8	0,42
Ацетальдегид	151,6	8	0,41
Ацетилен	98,2	8	1,57
Ацетон	104	7,7	0,43
Бензол	104,9	8	0,47
I-Бутан	95,1	8,2	0,46
II-Бутан	90,1	8	0,37
Бутилен	94,2	8	0,43
Винилацетилен	93,7	8,7	0,81
Водород	40,4	7,8	2,67
Гексадекан	85,7	7,5	0,4
Н-Гексан	91,4	7,5	0,38
I-Гексан	87,1	7,6	0,45
I-Гексин	93,2	8,1	0,52
Гептан	91,7	8	0,42
I-Гептин	97,2	7,5	0,41
Дивинил	99,1	8,2	0,54
Дизопропил	91,4	8	0,35
Диметилловый эфир	134,1	7,7	0,49
Диэтиловый эфир	124,5	8	0,49
Изоамилен	84,7	8	0,44
Изобутан	90,1	8	0,34
Изобутилен	94,2	8	0,37
Изооктан	92,1	8	0,34
Изопентан	79,2	7,8	0,4
Изопрен	88,3	8,1	0,5
Изопропиламин	100,7	7,4	0,29
Изопропилбензол	51,6	7,6	0,38
Изопропилмеркаптан	114,3	7,8	0,33
Изопропиловый спирт	140	8	0,41
Изопропилхлорид	147,2	7,6	0,27
Ксилол	92,1	7,4	0,34
Метан	91,5	7,5	0,33
Метиловый спирт	115	8	0,57
Метилциклогексан	85,3	7,8	0,4
Метилэтилкетон	117,8	7,7	0,43
Неогексан	83	7,7	0,4
Неопентан	82,2	7,7	0,35
Окись пропилена	128	8,1	0,67
Окись углерода	1163	8,2	0,85
Окись этилена	117,5	8	0,89
Пропан	89,2	8	0,45
Пропадиен	91,6	7,6	0,38
Пропилен	94,2	8,5	0,68
Пропианальдегид	128,8	8	0,5
Сероуглерод	222,4	7,8	0,59
Толуол	93,5	8	0,38
Фуран	134,8	8,2	0,62
Хлористый Н-Пропил	147,8	7,6	0,28
Циклобутан	84,5	8	0,61
Циклогексан	141,2	7,5	0,43
Циклогексан	88,1	7,8	0,43
Циклопентан	84,8	7,8	0,45
Циклопентадиен	92,1	7,7	0,42
Циклопропан	83,4	8,1	0,54
Этан	77,3	7,7	0,45
Этилацетат	152,5	7,3	0,37
Этилбензол	94,3	7,4	0,35
Этилен	94,4	8	0,74
Этиловый спирт	155	8	0,55

Примечание. Характеристики веществ, не приведенных в табл. 6.3, следует принимать по официальным справочникам или данным министерств и ведомств.

3) из тех же соображений $c_u \cong c_0$, где c_0 — скорость звука во взрывоопасной смеси при нормальных условиях;

4) скорость горения можно принять $u \cong au_n$, где u_n — нормальная скорость распространения пламени [4]. При решении практических задач u_n следует принимать

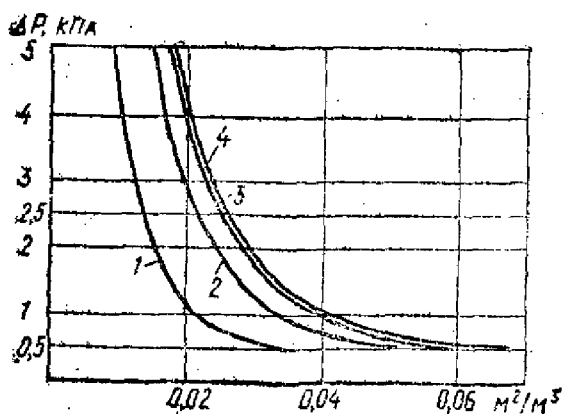


Рис. 6.21. Площадь мгновенно вскрываемых легкобрасываемых конструкций в наружном ограждении помещения объемом $V_{\text{П}}=10\,000\text{ м}^3$, приходящаяся на единицу объема по уравнениям (6.22) и (6.24)

Объем взрывоопасной ГВС составляет: 1 — 5 % объема помещения; 2 — 10 %; 3 — 12 %; 4 — помещение полностью заполнено взрывоопасной ГВС; $U_{\text{н}}=0,45\text{ м/с}$; $\alpha=2$; $\rho_{\text{н}}/\rho_{\text{в}}=7,5$.

для стехиометрического состава горючей смеси в объеме помещения;

5) площадь фронта пламени $S_{f\text{max}}$ зависит от многих параметров: размеров и формы помещения, места расположения и формы отверстий в наружном ограждении здания, равномерности распределения взрывоопасной смеси по объему. Для оценочных расчетов по определению $S_{f\text{max}}$ можно считать, что $S_{f\text{max}}=5V_{\text{П}}^{2/3}$ [9].

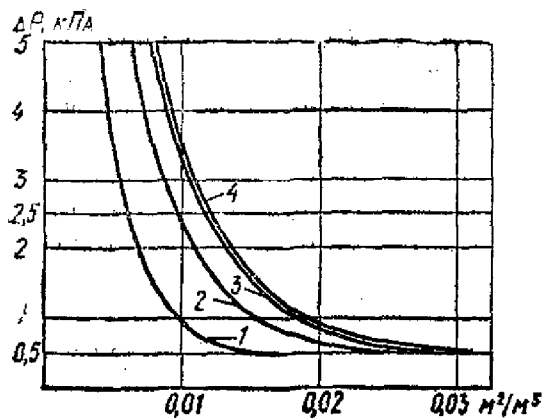


Рис. 6.22. Площадь мгновенно вскрываемых легкобрасываемых конструкций в наружном ограждении помещения объемом $V_{\text{П}}=100\,000\text{ м}^3$, приходящаяся на единицу объема по уравнениям (6.22) и (6.24)

Объем взрывоопасной ГВС составляет: 1 — 5 % объема помещения; 2 — 10 %; 3 — 12 %; 4 — помещение полностью заполнено взрывоопасной ГВС; $U_{\text{н}}=0,45\text{ м/с}$; $\alpha=2$; $\rho_{\text{н}}/\rho_{\text{в}}=7,5$.

Изложенный метод по защите зданий взрывоопасных производств легкобрасываемыми конструкциями позволяет определить взрывные нагрузки на ограждающие конструкции и, сравнивая их с допускаемыми (безопасными), находить требуемую для этого площадь легкобрасываемых конструкций в зависимости от параметров взрывоопасной смеси.

РАЗДЕЛ 7. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ, ЗАГЛУБЛЕННЫХ В ГРУНТ

Г. И. Глушков

При проектировании заглубленных в грунт сооружений промышленного строительства, убежищ гражданской обороны возникает ряд сложных проблем, связанных с необходимостью их расчета на действие динамических нагрузок. Такие нагрузки возникают при взрывных работах (на карьерах и в шахтах масса взрываемых зарядов достигала 400 т, а в дальнейшем может еще возрасти, а также при действии крупных взрывов и сейсмических воздействиях).

Под заглубленными будем подразумевать сооружения, возводимые в открытых котлованах со вскрытием дневной поверхности. Их можно разбить на два типа: сооружения неглубокого заложения, ширина которых значительно превышает глубину (рис. 7.1, а), и сооружения глубокого заложения, у которых глубина заложения в несколько раз больше его ширины (рис. 7.1, б).

Расчет сооружений глубокого заложения характеризуется следующими особенностями: для восприятия вертикальных усилий

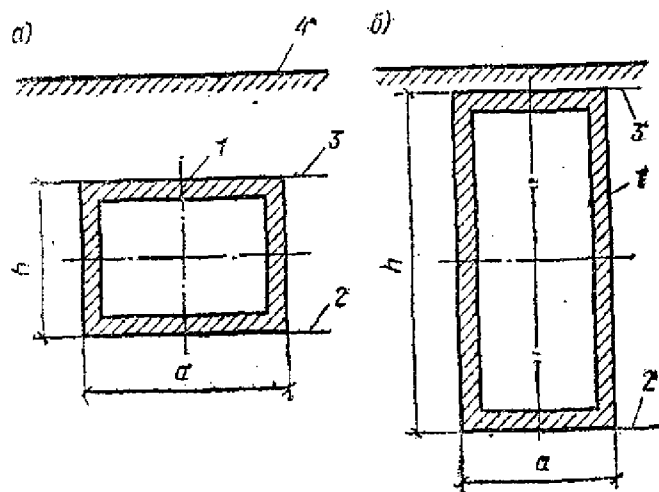


Рис. 7.1. Схема сооружения, заглубленного в грунт

а — неглубокого заложения; б — глубокого заложения; 1 — сооружение; 2 — отметка подошвы сооружения; 3 — отметка перекрытия сооружения; 4 — отметка поверхности грунта

14. Пасутман Б. В. Метод расчета заневоленных цилиндрических винтов пружин сжатия минимального веса. Изв. вузов. Машиностроение, 1961, № 7, с.
15. Корнев Б. Г., Кедрова Г. Л. Применение заневоленных пружин сжатия в качестве виброизоляторов для машин с динамическими нагрузками. — Строительная механика и расчет сооружений, 1976, № 4, с. 51—54.
16. Корнев Б. Г., Кедрова Г. Л. Эффект заневоливания пружин — виброизоляторов как источник получения повышенного демпфирования в системе. — Строительная механика и расчет сооружений, 1978, № 4, с. 51—52.
17. Klein G. Tuning of Foundations for steam Turbine—Generators and Consequences for Power—station Operations. 44th Euromech Colloquium Dynamics of Machine Foundations, 1973, с. 211—219.
18. Литвин И. С., Рыбаков С. Н. Фундамент турбоагрегата мощностью 50 МВт с применением пружинной виброизоляции. Устройство фундаментов под машины с динамическими нагрузками. ЛДНТП. — Л., 1980. с. 23—27.
19. Литвин И. С., Свердлов П. М. Современное состояние проектирования фундаментов турбоагрегатов. — Энергетическое строительство, газам и парам. — М., 1982. — 376 с.
20. Филиппов А. П., Шульженко Н. Г., Билетченко В. П. Колебания рамных фундаментов мощных турбоагрегатов. — Строительная механика и расчет сооружений, 1978, № 1, с. 34—38.
21. Шульженко Н. Г., Дзюба В. Ф. Колебания рамных фундаментов с виброизоляцией. — Строительная механика и расчет сооружений, 1982, № 6, с. 56—60.
22. Цейтлин Б. В. Метод и программа расчета вибраций фундаментов с шарнирными узлами и виброизолирующими элементами. Труды координационных совещаний по гидротехнике. ВНИИГ им. Веденеева, 1977, вып. 116, с. 250—256.
23. Шейнин И. М., Цейтлин Б. В. Теоретическое исследование динамических характеристик ряда фундаментов под мощные турбоагрегаты. — Сб. научных трудов. Изв. ВНИИГ им. Веденеева, 1981, т. 151. — с. 81—87.
24. Шейнин И. С. Низкочастотная виброизоляция в мощных турбоустановках. Первый опыт. Изв. ВНИИГ им. Веденеева, т. 148, 1982. — с. 1—12.
25. Голоскоков Е. И., Филиппов А. П. Нестационарные колебания механических систем. — Киев: Наукова Думка, 1966. — 336 с.
26. Голоскоков Е. Г., Филиппов А. П. Нестационарные колебания деформируемых систем. — Киев: Наукова Думка, 1977. — 339 с.
27. Корнев Б. Г., Пикулев Н. А. Способ демпфирования колебаний виброизолированной машины или фундамента. — «Бюллетень изобретений», № 5, 1960, а. с. № 126692.
28. Пикулев Н. А. О роли упругой вставки между демпфером и колеблющейся массой. — Строительная механика и расчет сооружений, № 2, 1959, с. 45—48.
29. Пикулев Н. А. Демпфирующее действие силы сухого трения при колебаниях с неустановившейся амплитудой. — Строительная механика и расчет сооружений. № 6, 1959, с. 47—49.

К РАЗДЕЛУ 5

1. Березин И. С., Жидков Н. П. Методы вычислений, т. 2. — М., 1962. — 635 с.
2. Давыдов С. С. Колебания грунта в упруго-пластической стадии от кратковременной нагрузки. — М., 1957. — 64 с.
3. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия. Справочник проектировщика. — М., 1981, с. 5—28.
4. Ляхов Г. М. Основы динамики взрыва в грунтах и жидких средах. — М., 1964. — 216 с.
5. Пономарев Г. Д., Бидерман В. Л., Лихарев К. К. и др. Расчеты на прочность в машиностроении, т. 3. — М., 1959, с. 653—710.
6. Руководство по проектированию строительных конструкций убежищ гражданской обороны. — М., 1974. — с. 297.
7. СНиП II-11-77. Защитные сооружения гражданской обороны. — М., 1978. — 63 с.
9. Справочник по динамике сооружений. — М., 1972. — 511 с.

10. Попов Н. Н., Жарницкий В. И., Беликов А. А. Метод расчета железобетонных конструкций в упругоэластической стадии основанный на использовании диаграмм σ — ε материалов. «Железобетонные конструкции» (Труды вузов Литовской ССР), 1978, № 9, с. 77—86.

К РАЗДЕЛУ 6

1. Справочник проектировщика. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия. — М.: Стройиздат, 1981. — 215 с.
2. СНиП 2.01.07. Нормы проектирования. Нагрузки и воздействия. — М.: Стройиздат, 1985. — 54 с.
3. Зельдович Я. Б., Воеводский В. В. Тепловой взрыв и распространение пламени в газах. — М., 1947. — 147 с.
4. Иващенко П. Ф., Румянцев В. С. Конвективный подъем и скорости распространения больших очагов пламени. — Физика горения и взрыва, 1978, № 3, с.
5. Льюис Б., Элье Г. Горение, пламя и взрывы в газах. Пер. с англ. — М., 1968. — 582 с.
6. Розловский А. И. Научные основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами. — М., 1982. — 376 с.
7. Станюкович К. П. Физика взрыва. /Под ред. К. П. Станюковича. — М., 1975. — 584 с.
8. Хитрин Л. Н. Физика горения и взрыва. — М., 1957. — 442 с.
9. Шелкин Е. И., Трошин Я. К. Газодинамика горения. — М., 1963. — 182 с.
10. Пилогин Л. П. Нагрузки, возникающие при взрывном горении газозооных смесей в помещениях взрывоопасных производств. — В кн.: Взрывобезопасность в строительстве. — М., 1983. — 123 с.
11. Bradley D., Mitchoson A. The Venting of Gaseous Explosions in Spherical Vessels. I — Theory, II — Theory and Experiment, Combustion and flame, 32, 221—236, 1978.

К РАЗДЕЛУ 7

1. Баркан Д. Д. Расчет и проектирование фундаментов под машины с динамическими нагрузками. — М.: Госстройиздат, 1938. — 284 с.
2. Баркан Д. Д. Динамика оснований и фундаментов. — М.: Стройвоенмориздат, 1948. — 411 с.
3. Глушков Г. И. Статика и динамика сооружений, заглубленных в грунт. — М.: Госстройиздат, 1967. — 211 с.
4. Глушков Г. И. Расчет сооружений, заглубленных в грунт. — М.: Стройиздат, 1977. — 294 с.
5. Давыдов С. С. Колебания разнородного грунта в упругоэластической стадии от кратковременной нагрузки. Доклады к Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. — М.: Госстройиздат, 1961. — 202 с.
6. Кардер Д. С., Клоуд К. К. Колебания грунта при крупных подземных взрывах. — В кн.: Подземные ядерные взрывы. — М.: ИЛ, 1962. — 220 с.
7. Кошелев Л. И. Исследования работы конструкций в грунте при действии динамической нагрузки. — Труды МИСИ им. Куйбышева, 1968 вып. 53. — 200 с.
8. Миронов П. С. Взрывы и сейсмостойкость сооружений. — М.: Недра, 1973. — 167 с.
9. Покровский Г. И. Взрыв. — М.: Недра, 1973. — 180 с.
10. Приспособление подвалов существующих зданий под убежища. — М.: Стройиздат, 1971. Авт. Ганушкин В. И., Морозов В. И., Никонов Б. И., Орлов Г. И. — 207 с.
11. Расчет сооружений на импульсивные нагрузки. — М.: Стройиздат 1970. Рабинович И. М., Смирнов А. П., Лужин О. В., Теренин Б. И. — 303 с.
12. Расчет конструкций убежищ. — М.: Стройиздат, 1974. Бодавский М. Д., Горшков Л. М., Морозов В. И., Расторгуев Б. С. — 204 с.
13. Смирнов А. П. Практические методы расчета сооружений на сейсмические нагрузки. — М.: Стройиздат, 1967. — 143 с.
14. Савинов О. А. Фундаменты под машины. М.: Госстройиздат, 1955. — 291 с.
15. Снитков Н. К. Динамика сооружения. М.: Госстройиздат, 1960. — 355 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Амплитуда пульсаций скорости ветра 389
Амплитудно-частотная характеристика (АХЧ)
— ДГК 427, 429
— пролета фундамента турбоагрегата 90
Анкерные участки ОРУ 378
Антенны радиотелескопов 389
Атомные электростанции АЭС 21

В

Вес элементов канала охлаждения отражателя на АЭС 45
Виброизоляторы
— гидравлические 83
— пружинные 81
— пружинные с демпфированием 84
Виброизоляция
— грохотов 9
— дробилок 13
— массивных фундаментов 440
— транспортных подвижных конструкций 439
Водосливная плотина 187
Возбуждение вихревое трубчатых мачт 370
Воздействие белого шума 422
Воздушные линии электропередач (ВЛ) 377
Волны
— морские нерегулярные 229
— — регулярные 228
— — воздушная ударная 23, 96, 128
— отраженная сжатия в грунте 96
— сжатия в грунте 96
Выносимость гидротехнических сооружений 150
Вязкость жидкости 159

Г

Газовоздушные смеси 117
Галопирование проводов 386
Грохоты 7, 9

Д

Давление
— грунта активное 143
— — пассивное 143
— критическое жидкости в трубопроводе 226
Диаграмма
— арматуры и бетона напряжений — деформаций 100
— билинейная напряжений — деформаций 96
Динамический гаситель колебаний (ДГК) 405
— многомассовый 427
— конструктивные формы 407
— с частотным независимым внутренним трением 420

ДГК

— здания 444
— металлической башенной трубы 444
— моста 445
— солнечного вакуумного телескопа 444
Дисперсия волновых колебаний 230

З

Защемление сосуда в стволе шахты 16
Здания ГЭС 168

К

Колебания

— автодорожных мостов случайные 346
— вагонов на мостах
— — грузовых 319
— — пассажирских 317
— — оттяжек антенно-мачтовых сооружений 371
Компенсатор трубопроводов
— П-образный 264
— треугольный 265
Конвейер ленточный 351
Копры башенные 15
Коэффициент
— динамичности 105, 110, 217, 236, 237, 288, 307, 308
— жесткости грунта свайного основания 191
— — свайных опор 191, 193
— затухания колебаний
— — антенн 392
— — балочных железнодорожных мостов 297
— — морских волн 235
— — защемления трубопровода в грунте 272
— кинематической вязкости жидкости 283
— корреляции порывов ветра 389
— ответственности трубопроводов 272
— отражения 96
— перегрузки для дробилок 6
— присоединенного вязкого трения 164
— присоединенной массы воды 164
— упругого сжатия грунта 131
— условий работы арматуры в гидросооружениях 150
— учета кратковременности сейсмического воздействия 37
— учета свойств грунта 127

Л

Легкосбрасываемые конструкции (ЛСК) 116
Логарифмический декремент колебаний 235, 283, 284, 297

М

Масштаб турбулентности 375
Метод Бубнова—Галеркина 253, 335, 353, 357, 425
Модуль затухания 132

- Мосты
 — автодорожные
 — — вантовые 339
 — — висячие 343
 — железнодорожные
 — — арочные 298, 302, 306, 308
 — — балочные 293, 299, 303, 307, 309

Н

- Надежность
 — автодорожных мостов 349
 Нагрузка
 — аварийная на АЭС 22
 — башенных копров 17
 — ветровая на АМС 362
 — взрывной волны
 — — на покрытие 98
 — — на полностью заглубленные стены 98
 — — на фундаменты 100
 — воздушной ударной волны 33
 — газовой смеси 23
 — гидроагрегатов 154
 — гидродинамическая на
 — — АЭС 22
 — — здания ГЭС 156
 — — подводные трубопроводы 275
 — — стенку резервуара 285, 286
 — горизонтальных ударов колес подвижного состава 324
 — ленточных конвейеров 355
 — морских нерегулярных волн 233
 — — регулярных волн 231
 — падения самолетов 24
 — разрушающая стекло 133
 — реактивная при разрыве трубопровода на АЭС 23
 — сейсмическая 28, 36, 202, 204, 268, 290
 — ураганов 26
 — фундаментов турбоагрегатов 62

- Надежность
 — автодорожных мостов 349
 — башенных копров 17
 — ленточных конвейеров 353
 Неоднородность жидкости 160

О

- Опоры моста автодорожного 340
 — распределительных устройств (ОРУ) 377
 Оптимальная настройка ДГК 412
 Оптимизация статистических параметров ДГК 412

П

- Параметры
 — волны сжатия в грунте 95
 — ДГК 411
 — затухания в жидкости 283

- землетрясения 29
 — модели провода 381
 — пролетных строений транспортных эстакад-галерей 353
 — пружин виброизоляторов 85
 — случайных колебаний пролетных строений эстакад-галерей 357
 Плавающие сооружения на якорях 214
 Показатель интенсивности при горении газо-воздушной смеси (ГВС) 124
 Порталы ОРУ 384
 Потеря устойчивости магистральных трубопроводов 264, 266
 Предельные состояния 101
 Предохранительное торможение 17
 Преобразование Лапласа 25, 36
 Присоединенная масса жидкости 39, 164, 241
 Проезжая часть автодорожного моста 336
 Профиль средней скорости ветра 363
 Пульсация давления ветра 361

Р

- Радиотелескоп 388
 Разгрузочная балка 10
 Резервуар
 — круговой 282, 284
 — прямоугольный 282, 286
 — сферический 282, 287
 — цилиндрический 282, 284
 Ростверк 189

С

- Самоподъемные передвижные буровые установки (СПБУ) 227
 Сжимаемость жидкости 159
 Сейсмические исследования 29
 Сейсмостойкость
 — сооружений АЭС 28
 — электротехнического оборудования АЭС 52
 Скорость
 — ветра 27
 — — средняя 375
 — критическая движения жидкости по трубопроводу 262
 Случайный процесс 229
 Спектр
 — ответа 35
 — — пульсаций скорости ветра 364
 — — сосредоточенной волновой нагрузки 233
 Спектральная плотность
 — — волновых колебаний 229, 243
 — — пульсаций скорости ветра 375
 Стандарт
 — — колебаний морских волн 229
 — — пульсаций скорости ветра 375
 Стационарные свайные платформы (ССП) 227

Стехиометрическая концентрация взрывной смеси
124, 125
Субколебания проводов 286

Т

Технологическое оборудование АЭС 37
Транспортерная эстакада-галерея 350
Трубные элементы АЭС канального типа 43
Трубопроводы магистральные
— АЭС 37, 46, 48
— надземные 253
— подводные 274
— подземные 268
Турбоагрегаты 71

Ф

Фундамент энергетических турбоагрегатов 55
— виброизолированный 86
— на 3000 об/мин 68
— на 1500 об/мин 70
Функция
— Бесселя 286
— корреляционная 332
— Крылова 256

— обеспеченности периодов глубоководных волн
229
— случайного поля пульсаций скоростей ветра
363
— фундаментальная 254

Х

Характеристика жесткостная якорной системы 215

Ч

Частота возбуждения неустойчивая 433
Число
— Рейнольдса 283
— Фруда 161

Э

Экспериментальные исследования
— АЭС 53
— мачт 373
Эффект демпфирования при течении жидкости по
трубопроводу 264
Эффективность ДГК 412, 423

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие

РАЗДЕЛ 1. ДИНАМИКА СООРУЖЕНИЯ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (В. А. ИВОВИЧ, А. С. ПОВЕРСКИЙ)

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Динамические нагрузки от машин на горно-обогатительных комбинатах
- 1.3. Методы защиты от вибраций на горно-обогатительных предприятиях
- 1.4. Основные вопросы динамики башенных копров

РАЗДЕЛ 2. ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ В АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ (Ю. К. АМБРИАШВИЛИ, А. П. КИРИЛЛОВ)

- 2.1. Виды динамических нагрузок 21
 - 1. Внутренние нагрузки 22
 - 2. Внешние нагрузки 23
- 2.2. Сейсмические нагрузки на АЭС 28
 - 1. Основные положения 28
 - 2. Сейсмология и определение расчетных параметров землетрясения 29
- 2.3. Расчет колебаний строительных конструкций 30
 - 1. Учет основания 31
 - 2. Расчет стержневых систем 32
 - 3. Расчет пространственных рамных систем 32
 - 4. Расчет реакторных отделений 32
 - 5. Расчет спектров отклика 35
 - 6. Экспериментально-теоретический метод 35
- 2.4. Определение сейсмических сил 36
 - 1. Строительные конструкции 36
 - 2. Технологическое оборудование и трубопроводы 37
- 2.5. Методы расчета отдельных видов технологического оборудования 43
 - 1. Методика расчета трубных элементов канального типа 43
 - 2. Методика расчета трубопроводных систем АЭС 46
 - 3. Методика расчета насосов 49
- 2.6. Принципы оценки сейсмостойкости электротехнического оборудования 52
 - 1. Общая характеристика методов испытания 52
 - 2. Экспериментальные методы 53
 - 3. Испытания на платформах 54

РАЗДЕЛ 3. ФУНДАМЕНТЫ МОЩНЫХ ТУРБОАГРЕГАТОВ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (И. С. ЛИТВИН, И. С. ШЕЙНИН)

- 3.1. Особенности работы системы турбоагрегат — фундамент — основание 55
- 3.2. Динамические нагрузки 62
- 3.3. Расчетные схемы 68
- 3.4. Методы динамического расчета 73

РАЗДЕЛ 4. ВИБРОИЗОЛИРОВАННЫЕ ФУНДАМЕНТЫ ТУРБОАГРЕГАТОВ (Г. Л. КЕДРОВА, Б. Г. КОРЕНЕВ)

- 4.1. Конструкция виброизолированного фундамента, область применения, преимущества и недостатки 79
- 4.2. Расположение виброизоляторов, их конструктивные формы, расчет пружинных виброизоляторов 80
- 4.3. Расчет виброизолированных фундаментов турбоагрегатов 86

РАЗДЕЛ 5. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ ЗАГЛУБЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВНЫХ ВОЛН (В. И. ЖАРНИЦКИЙ, Н. Н. ПОПОВ, Б. С. РАСТОРГУЕВ)

- 5.1. Действие взрывных волн 94
- 5.2. Динамические нагрузки на элементы конструкций 98
- 5.3. Общие положения по расчету конструкций 100
- 5.4. Расчет внецентренно сжатых балочных конструкций на основе диаграммы σ — ϵ арматуры и бетона 102
- 5.5. Динамический расчет внецентренно сжатых конструкций как системы с двумя степенями свободы 104
- 5.6. Динамический расчет кольца в грунте 113

РАЗДЕЛ 6. ЗАЩИТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ ВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ЛЕГКОБРАСЫВАЕМЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ (Г. Г. ОРЛОВ, Н. А. СТРЕЛЬЧУК)

- 6.1. Определение нагрузок, возникающих при взрывном горении газовоздушных смесей в мгновении вскрытия легкобрасываемых конструкций 116
- 6.2. Определение величины и характера нагрузок при использовании инерционных ЛСК 120
- 6.3. Определение нагрузок, разрушающих стекло 123
- 6.4. Расчет требуемой площади ЛСК 124

РАЗДЕЛ 7. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ, ЗАГЛУБЛЕННЫХ В ГРУНТ (Г. И. ГЛУШКОВ)

- 7.1. Виды динамических нагрузок и их воздействие на сооружения 127
- 7.2. Условия работы заглубленных сооружений при динамических воздействиях и принципы их расчета 129
- 7.3. Динамический расчет сооружений с учетом сопротивления грунта 131
 - 1. Сооружения неглубокого заложения 131
 - 2. Сооружения глубокого заложения 138
 - 3. Расчет сооружений с учетом перемещения грунта, вызванного динамической нагрузкой 141
- 7.4. Динамический расчет заглубленных в грунт сооружений с учетом предельного сопротивления грунта 142
- 7.5. Динамический расчет заглубленных в грунт сооружений с податливыми прослойками 144

РАЗДЕЛ 8. РЕЧНЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ (А. П. КИРИЛЛОВ, И. С. ШЕЙНИН)

- 8.1. Общие положения 147
- 8.2. Динамические нагрузки 153
- 8.3. Учет влияния водной среды при динамических расчетах гидросооружений 158
- 8.4. Здания ГЭС 169
- 8.5. Волосливые плотины водно-транспортные и другие сооружения 187

**РАЗДЕЛ 9. ДИНАМИКА ПОРТОВЫХ
МОРСКИХ И РЕЧНЫХ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
(Н. П. КУЛЬМАЧ, Н. Г. ЗАРИТОВСКИЙ)**

9.1. Основные расчетные положения для свайных сооружений, коэффициенты жесткостей свайных опор	189
9.2. Уравнения свободных колебаний свайных сооружений с жестким ростверком	194
9.3. Уравнения вынужденных колебаний свайных сооружений с жестким ростверком при сейсмических воздействиях	201
9.4. Основные расчетные положения для гравитационных сооружений, жесткостные характеристики оснований	204
9.5. Уравнения свободных колебаний гравитационных сооружений	206
9.6. Уравнения вынужденных колебаний гравитационных сооружений при сейсмических воздействиях	211
9.7. Основные расчетные положения для плавучих сооружений на якорях, жесткостные характеристики якорных связей	213
9.8. Частные колебания плавучих сооружений на якорях в линейной постановке задач	216
9.9. Горизонтальные колебания плавучих сооружений на якорях в нелинейной постановке задачи	218
9.10. Колебания якорных связей при движениях плавучего сооружения	220
9.11. Колебания якорных связей с подвижными грузами	222
9.12. Колебания якорных связей при действии горизонтальной нагрузки	224

**РАЗДЕЛ 10. РАСЧЕТ МОРСКИХ
ГЛУБОКОВОДНЫХ
НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫХ
СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
ВОЛН (О. В. ЛУЖИН, И. Ш. ХАЛФИН)**

10.1. Морские волны, их параметры и кинематическая структура	226
10.2. Нагрузки от волн на сооружения	230
10.3. Динамический расчет отдельно стоящей опоры при действии регулярных волн конечной высоты	234
10.4. Динамический расчет сквозных сооружений на действии нерегулярных волн	236

**РАЗДЕЛ 11. ДИНАМИКА
ТРУБОПРОВОДОВ (Н. Г. ФИГАРОВ,
А. С. ГЕХМАН, И. Д. КРАСУЛИН)**

11.1. Особенности движения жидкости в трубопроводах	245
11.2. Конструктивные решения магистральных трубопроводов	248
11.3. Особенности конструктивных решений трубопроводов, прокладываемых в сейсмических районах	251
11.4. Колебания надземных трубопроводов	252
11.5. Колебания трубопровода вследствие пульсации давления и изменения скорости протекающей жидкости	264
11.6. Динамика подземных трубопроводов	267
11.7. Динамика подводных трубопроводов	273

**РАЗДЕЛ 12. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ,
НЕСУЩИХ ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННЫЕ
РЕЗЕРВУАРЫ, НА ВЕТРОВУЮ
И СЕЙСМИЧЕСКУЮ НАГРУЗКИ
(Н. А. НИКОЛАВКО)**

12.1. Основные положения расчета и допущения. Расчетные динамические модели сооружений	278
12.2. Решение гидродинамических задач для кругового, цилиндрического, сферического и прямоугольного резервуаров (плоская задача)	281
12.3. Расчет наземных резервуаров на сейсмические нагрузки	283

12.4. Расчет сооружений, несущих резервуары, на ветровую нагрузку	287
12.5. Расчет сооружений, несущих резервуары, на сейсмическую нагрузку	289

**РАЗДЕЛ 13. ДИНАМИЧЕСКИЙ
РАСЧЕТ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ
(Н. Г. БОНДАРЬ, Ю. Г. КОЗЬМИН)**

13.1. Общие положения	290
13.2. Параметры свободных колебаний пролетных строений	292
13.3. Вынужденные колебания пролетных строений	298
13.4. Приближенный динамический расчет	302
13.5. Динамические коэффициенты	306
13.6. Примеры расчета	308
13.7. Колебания вагонов на мостах в вертикальной плоскости. Нормирование вертикальной жесткости пролетных строений	312
13.8. Боковые колебания вагонов на мостах. Нормирование горизонтальной жесткости пролетных строений	321

**РАЗДЕЛ 14. ДИНАМИКА
АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ
(А. И. АНАНИН, А. Г. БАРЧЕНКОВ,
В. С. САФРОНОВ)**

14.1. Общие сведения	327
14.2. Расчет по действующим строительным нормам	329
14.3. Динамическое воздействие автомобилей на проезжую часть	329
14.4. Расчет системы мост — автомобиль	334
14.5. Оценка случайных колебаний	345
14.6. Определение динамических коэффициентов	347
14.7. Воздействие автомобиля при криволинейном движении	347
14.8. Оценка эксплуатационной надежности проезжей части	348

**РАЗДЕЛ 15. ДИНАМИКА
ТРАНСПОРТЕРНЫХ ЭСТАКАД-ГАЛЕРЕЙ
(Б. П. ПАСЫНКОВ, А. Д. НИМ)**

15.1. Общие сведения	349
15.2. Колебания пролетных строений транспортных эстакад-галерей	350
15.3. Расчет несущих конструкций пролетных строений на прочность и выносливость при колебаниях	357
15.4. Меры по снижению уровня колебаний и обеспечению прочности несущих конструкций пролетных строений	358

**РАЗДЕЛ 16. МАЧТЫ И АНТЕННО-
МАЧТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ
(А. С. БЕРНШТЕЙН, Б. В. ОСТРОУМОВ,
М. М. РОЙТШТЕЙН)**

16.1. Уравнения движения	359
16.2. Пульсационная составляющая ветровой нагрузки на мачты и АМС	361
16.3. Расчетные модели мачт и АМС	363
16.4. Вынужденные колебания мачт и АМС	364
16.5. Приближенный метод динамического расчета мачт	367
16.6. Вихревое возбуждение трубчатых мачт	369
16.7. Колебания оттяжек антенно-мачтовых сооружений (АМС) и способы борьбы с ними	370
16.8. Оценка точности расчета на основе экспериментального натурного исследования работы мачты	372

**РАЗДЕЛ 17. ДИНАМИКА
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ОТКРЫТЫХ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ
(А. А. ЗЕВИН, А. И. КУРНОСОВ)**

17.1. Расчет опор, ВЛ и ОРУ на динамическое воздействие ветровой нагрузки	376
17.2. Расчет анкерного участка системы плоскошарнирных опор	377
17.3. Расчет провода на динамические воздействия при сбросе гололеда	381
17.4. Расчет порталов ОРУ подстанций на динамические воздействия при коротких замыканиях	383
17.5. Галопирование и субколебания проводов	385

**РАЗДЕЛ 18. ДИНАМИКА
РАДИОТЕЛЕСКОПОВ
(М. А. ГУСЕВ, А. Г. СОКОЛОВ)**

18.1. Общие сведения	386
18.2. Особенности воздействия турбулентного ветрового потока на конструкции радиотелескопов	387
18.3. Расчет динамических крутящих моментов от порывов ветра, действующих на антенны радиотелескопов	388
18.4. Расчет динамических перемещений антенн радиотелескопов от порывов ветра	390
18.5. Использование полученных результатов для проектирования	393

**РАЗДЕЛ 19. ДИНАМИКА ГРАДИРЕН
(Н. В. КОЛКУНОВ)**

19.1. Общие сведения	394
19.2. Свободные колебания оболочки градири	395
19.3. Вынужденные колебания оболочки градири	398

**РАЗДЕЛ 20. ДИНАМИЧЕСКИЕ
ГАСИТЕЛИ КОЛЕБАНИЙ
СПЕЦИАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ
(Б. Г. КОРЕНЕВ, Л. М. РЕЗНИКОВ)**

20.1. Общие сведения	404
20.2. Конструктивные формы динамических гасителей колебаний	406
20.3. Гашение колебаний приведенной системы с одной степенью свободы с помощью одномассовых гасителей	409
1. Гармонические воздействия	410
2. Периодические импульсы	414
3. Переходные режимы колебаний	415
4. Случайные колебания	419
20.4. Многомассовые гасители колебаний	425
20.5. Расчет многомассовых и континуальных систем с присоединенными гасителями колебаний	428
20.6. Эффективность гашения колебаний некоторых строительных конструкций	432
20.7. Виброгашение массивных фундаментов под оборудование	439
20.8. Примеры применения гасителей колебаний специальных сооружений	442
Список литературы	446
Предметный указатель	457

Юрий Константинович Амбрашвили
Александр Иванович Ананьин
Александр Григорьевич Барченков и др.

**ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ
И КОНСТРУКЦИЙ**

СПРАВОЧНИК ПРОЕКТИРОВЩИКА

Редакция литературы по строительным материалам и конструкциям
Зав. редакцией П. И. Филимонов
Редактор Л. И. Круглова
Внешнее оформление художника А. Г. Моисеева
Технические редакторы В. Д. Павлова, Н. Г. Алеева
Корректор Г. Г. Морозовская
ИБ № 3012

Сдано в набор 19.04.85. Подписано в печать 20.02.86. Формат 70×108^{1/16}. Бумага типогр. № 1, Гарни-
тура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 40,6. Усл. кр.-отт. 40,6. Уч.-изд. л. 49,27. Тираж
23 000 экз. Изд. № А-9991. Зак. № 189. Цена 3 р. 10 к.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7