

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	5
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....	5
Общие требования к выполнению курсовой работы .....	5
Указания по оформлению текста.....	5
Оформление формул и математических выражений .....	6
Оформление таблиц .....	6
Состав курсовой работы.....	6
1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ВЗРЫВЕ.....	7
1.1. Понятие о внутреннем взрыве.....	7
1.2. Способы защиты зданий при внутренних взрывах. Оценка их эффективности .....	10
1.3. Определение эффективности вскрытия ЛСК .....	13
1.4. Безынерционные легкобрасываемые конструкции .....	15
2. ХАРАКТЕР ПОВЕДЕНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ВЗРЫВЕ.....	20
2.1. Деформации строительных конструкций .....	20
2.2. Расчет на несущую способность балочной конструкции с учетом действия инерционных ЛСК.....	21
3. ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ ОТКРЫТЫХ ПРОЕМОВ И РАСЧЕТА НЕСУЩИХ ИЗГИБАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ВЗРЫВЕ.....	29
3.1. Основные характеристики, определяющие прочность строительных конструкций.....	29
3.2. Пример расчета.....	31
Библиографический список .....	34
Список рекомендованной литературы .....	35

## **ВВЕДЕНИЕ**

Представленное учебно-методическое пособие к практическим занятиям и выполнению курсовой работы/курсового проекта по дисциплине «Взрывоустойчивость зданий» разработано на кафедре комплексной безопасности в строительстве НИУ МГСУ для обучающихся по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность, профиль «Пожарная безопасность».

Приведенные в пособии материалы позволят решить задачи, связанные с обеспечением взрывоустойчивости зданий. В том числе с обеспечением несущей способности строительных конструкций при внутреннем взрыве, использованием легкобрасываемых конструкций (ЛСК) разного типа.

В конце пособия приведены примеры расчета определения площади легкобрасываемых конструкций и несущей способности изгибаемых несущих конструкций при воздействии внутреннего взрыва на основе теоретического материала, изложенного в предыдущих главах. Эти примеры дают наглядное представление о методе проведения расчетов, связанных с использованием ЛСК для обеспечения взрывоустойчивости здания. На конкретных примерах показаны способы определения различных параметров несущих конструкций при воздействии взрывной нагрузки.

## **ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

### **ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Курсовая работа должна соответствовать ряду обязательных требований: самостоятельность исследования; анализ литературы по теме исследования; логичность изложения, аргументированность выводов и обобщений; научно-практическая значимость работы.

Вариант задания на курсовое проектирование выдается руководителем (как правило, преподавателем, ведущим занятия в данной группе).

Обучающийся должен регулярно проходить консультации у руководителя в соответствии с планом-графиком выполнения работы, предоставлять ему материал, согласовывать содержание и ход выполнения намеченных в плане-графике этапов, устранять указанные руководителем недостатки.

Курсовая работа выполняется по вариантам задания и состоит из расчетной и графической частей.

В расчетной части определяются физические параметры взрыва, строительных конструкций, предохранительных конструкций. Графическая часть состоит из схематического изображения размещения необходимого количества ПК по площади здания.

### **УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ТЕКСТА**

Текст пояснительной записки (ПЗ) должен быть представлен в распечатанном виде. Параметры полей страницы: верхнее, нижнее — 20 мм, левое — 30 мм, правое — 10 мм. Текст печатается на одной стороне писчей бумаги белого цвета формата А4 (210 × 297 мм) в редакторе Word for Windows гарнитурой (шрифтом) Times New Roman через 1,5 (18 пт) интервала. Основной текст должен быть набран кеглем 14 пт; дополнительный, включая таблицы, подрисуночные подписи, литературу и др. — кеглем 12 пт; головки таблиц и условные обозначений рисунков — 10 пт. Таблицы должны быть набраны в редакторе Word или Excel.

Нумерация страниц должна быть сквозная. Номера страниц ставятся в середине верхнего поля. Первой страницей считается титульный лист. На нем номер страницы не ставится.

Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа (части, книги), обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Разделы, как и подразделы, могут состоять из одного или нескольких пунктов.

Разделы, подразделы текста должны иметь заголовки. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов. Заголовки следует печатать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Расстояние между заголовками раздела, подраздела и текста два интервала. Каждый раздел текста ПЗ рекомендуется начинать с новой страницы.

Текст ПЗ должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований.

В ПЗ должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, единицы физических величин (СИ), их наименование, установленные стандартами, а при их отсутствии — общепринятые в научно-технической литературе.

При оформлении ссылок на литературный источник ссылка в тексте дается в квадратных скобках, где указывается номер источника по списку литературы ПЗ. При упоминании в тексте какого-либо автора работы необходимо указать сначала инициалы, фамилию, затем в квадратных скобках номер по списку литературы ПЗ.

### **ОФОРМЛЕНИЕ ФОРМУЛ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ ВЫРАЖЕНИЙ**

Все формулы и буквенные обозначения набираются в редакторе формул Microsoft Equation.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Формула должна располагаться по центру страницы и отделяться от текста на 6 пт сверху и снизу, нумерация формул выравнивается по правому краю. Номер формулы (выражения) заключается в круглые скобки. Нумерация формул в пределах раздела. Номер формулы должен состоять из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например (1.1) или при сквозной нумерации (1).

Пояснения символов и числовых значений, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснение каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле (выражении). В этом случае после формулы ставится «запятая», первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

### **ОФОРМЛЕНИЕ ТАБЛИЦ**

Название таблицы должно отражать ее содержание, быть точным и кратким. Название следует помещать над таблицей.

Если строки или графы таблицы выходят за формат страницы, ее делят на части. При переносе части таблицы на ту же или другие страницы название помещают над первой частью таблицы. Над другими частями таблицы пишутся слова «Продолжение таблицы» с указанием номера (обозначения) таблицы, при этом повторяют ее головку и боковик.

Обозначение единицы физической величины общей для всех данных в графе или строке таблицы указывают после ее наименования (через запятую).

На все таблицы ПЗ должны быть приведены ссылки в тексте пояснительной записки. Текст и числовые значения величин в таблицах набираются с одинарным межстрочным интервалом и нулевым интервалом перед и после строк.

### **СОСТАВ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

#### **Организация подготовки и выполнения курсовой работы**

Основные этапы выполнения курсовой работы:

- получение варианта задания, анализ исходных данных;
- изучение и описание физических процессов;
- составление плана работы;
- составление плана-графика выполнения работы;
- проведение расчетов, написание и оформление работы;
- представление работы научному руководителю.

Исходные данные для выполнения курсовой работы берутся из варианта задания и справочной литературы. Они должны быть представлены в международной системе единиц (СИ). Наряду с единицами СИ, при необходимости, в скобках указываются другие единицы. Например, «с (мин) или 60 с (10 мин)».

### **Структура курсовой работы**

Курсовая работа должна включать:

- задание на выполнение курсовой работы;
- титульный лист;
- оглавление (содержание);
- введение;
- основную часть;
- заключение (выводы);
- приложения (при необходимости);
- библиографию.

Оглавление должно содержать название разделов, подразделов, глав с указанием номеров страниц в тексте курсовой работы.

Введение должно быть объемом не более половины или одной страницы.

Основная часть курсовой работы должна отражать:

- описание исходных данных;
- описание конструктивной части здания;
- расчеты по определению необходимой площади ЛСК, а также несущей способности конструкций, подверженных воздействию внутреннего взрыва.

В заключении необходимо провести анализ результатов расчетов.

## **1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ВЗРЫВЕ**

### **1.1. ПОНЯТИЕ О ВНУТРЕННЕМ ВЗРЫВЕ**

Внутренний взрыв представляет собой взрыв в ограниченном пространстве. Характеризуется взрыв тем, что скорость выделения энергии соответствует распространению пламени с видимой скоростью относительно неподвижных продуктов сгорания  $W$ , удовлетворяющей условию  $W \leq 35$  м/сек, что соответствует квазистационарному режиму. Давление в помещении растет по мере увеличения массы сгоревшего вещества (выделения тепловой энергии). При квазистатическом характере изменения давления оно действует одинаково во всех направлениях (закон Паскаля) — и на боковые ограждения, и на пол, и на верхние (потолочные) перекрытия действует одна и та же величина избыточного давления. То есть взрыв носит не волновой характер. Истечение газов из объема помещения при таком взрыве также носит квазистатический характер.

Как правило, такого рода взрывы возникают в результате аварий технологического оборудования в зданиях, связанных с добычей, переработкой или хранением продуктов нефтегазовой отрасли.

Характер разрушений в результате действия взрыва свидетельствует о том, что меры по снижению взрывных нагрузок оказываются не эффективными. В первую очередь это относится к мероприятиям по снижению давления взрыва с помощью сброса давления через открывающиеся проемы. До взрыва проемы закрыты предохранительными конструкциями. На начальной стадии взрыва, при низком давлении, связи, удерживающие эти конструкции в системе ограждающих конструкций, разрушаются, и происходит открытие пространства для сброса давления.

Для обеспечения защиты здания от разрушения необходимо, чтобы площадь проемов, перекрытых предохранительными конструкциями, была достаточной и чтобы открытие этой площади было достаточно быстрым.

Первое условие означает, что через полностью открытые проемы сброс давления происходит быстрее, чем его нарастание при максимальной скорости выделения энергии. Скорость сброса давления должна быть достаточной при условиях, которые гарантируют устойчивость защищаемых конструкций. Второе условие предъявляет требования к предохранительным конструкциям и их закреплению и сводится к возможности увеличения площади сброса давления во время начального развития взрыва, так, чтобы обеспечить устойчивость защищаемым конструкциям на этой стадии взрыва. Анализ проблемы внутренних взрывов выполнен с помощью теории подобия, и получены определяющие соотношения в безразмерных комплексах. При этом безразмерные комплексы были одинаковыми для изначально разгерметизированных объемов и для объемов, которые разгерметизировались во время взрыва. Главный результат работ сводится к определению граничных значений безразмерных комплексов, внутри которых находятся все известные к моменту выпуска работ результаты. Позднее были получены результаты, которые не подтверждали выводы. Полученные рассуждения можно объяснить невысокой скоростью турбулентного горения или невыполнением условий квазистационарности взрывов в работах, где прослеживаются волновые эффекты. Взрыв предполагался квазистационарным, а безразмерная скорость горения основана на ламинарном горении.

При аварийных взрывах горение часто турбулизуется из-за присутствия преград. Это положение подтверждается экспериментально и с помощью численного моделирования взрыва в присутствии загроможденного пространства.

Сравнение результатов для взрывов в объемах, которые разгерметизировались после начала взрыва, не приводилось. Но можно с уверенностью утверждать, что в этом случае отклонения могут быть значительными.

Безразмерные комплексы для таких объемов не учитывают величины, от которых с очевидностью зависит давление взрыва на начальной стадии его развития. К этим величинам следует отнести давление разрушения связей, удерживающих предохранительные конструкции; инерционность этих конструкций, от которой зависит скорость ее движения; глубина заделки конструкции в проеме, так как только после смещения предохранительной конструкции на величину глубины заделки в проеме начинается сброс давления. Кроме того, важное значение имеет периметр открытых проемов, так как на начальной стадии открытия проема сброс давления происходит через площадь, определяемую периметром проема и смещением конструкции после выхода из проема.

Влияние момента начала вскрытия и глубина заделки конструкции при этом оказались вне поля зрения авторов. В предлагаемой работе предпринимается попытка предложить безразмерные комплексы, которые позволят описать формирование взрывной нагрузки на стадии начала развития взрыва с учетом сброса давления.

– При квазистационарном взрыве в замкнутом объеме давление непрерывно растет до максимального значения в несколько сот кПа. Например, при взрыве стехиометрической смеси метана эта величина составляет 900 кПа. Типичная величина допускаемого избыточного давления для обеспечения устойчивости промышленных и жилых зданий  $\sim 5$  кПа. Таким образом, с помощью предохранительных конструкций необходимо снизить максимальное давление взрыва более чем в 100 раз. При этом конструкция должна начинать смещение при давлениях 1–2 кПа, в зависимости от ветрового района, вскрытие пространства для истечения должно происходить быстро, чтобы компенсировать рост давления за счет развития очага взрыва. Полное открытие пространства для сброса давления должно обеспечивать условие  $\Delta P_m \geq \Delta P_d$ , где  $\Delta P_m$  — давление в объеме при максимальной скорости выделения энергии в процессе взрыва,  $\Delta P_d$  — допустимое давление взрыва, определяемое из условия предельного равновесия защищаемых конструкций. При рассматриваемых давлениях возможны важные предположения:

– объемная скорость истечения описывается соотношением:

$$\Delta \dot{V} = k_p S \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}};$$

– давление в замкнутом объеме на начальной стадии развития взрыва следует зависимости:

$$\Delta P(t) = \Delta P_{op} \left(\frac{t}{t_0}\right)^3.$$

Отношение плотностей  $\sigma = \rho_u/\rho_b$  исходной горючей смеси к плотности продуктов сгорания не изменяется в течение взрыва. На начальной стадии сброса давления истекает холодная исходная смесь, а в момент максимальной мощности взрыва истекают горячие продукты сгорания плотностью  $\rho_b$ .

В выражениях  $k_p$  — коэффициент расхода,  $S$  — открытая площадь для истечения, плотность истекающего газа,  $\Delta t_{op}$  и  $\Delta P_{op}$  — время начала сброса давления и давление в этот момент времени.

Максимальное давление в разгерметизированном объеме  $\Delta P_m$  достигается при условии равенства скорости образования нового объема в результате горения в момент максимальной скорости взрыва и объемной скорости истечения при сбросе давления:

$$(U_g A_f)_{\max} (\sigma - 1) = k_p S_0 \sqrt{\frac{2\Delta P_m}{\rho_b}},$$

где  $(U_g A_f)$  — произведение скорости горения на площадь пламени. Обычно это произведение достигает максимального значения при максимальном значении площади пламени в момент касания его ограждения. Эта величина зависит от объема и его формы:

$$A_f = K_f V^{2/3}.$$

В результате следует:

$$\frac{\Delta P_m}{P_0} = \frac{\gamma}{2} \frac{(\sigma - 1)^2}{\sigma} \left(\frac{U_g}{C_0}\right)^2 \left(\frac{K_f V_0^{2/3}}{k_p S_0}\right)^2.$$

Данное выражение представляет связь между безразмерными комплексами для условий данной постановки задачи.

Проанализировано влияние глубины заделки  $X_0$  предохранительной панели в проеме, инерционности конструкции, давления разрушения связей предохранительной конструкции с площади и периметра проема, скорости горения и объема помещения на формирование взрывной нагрузки в начальный момент взрыва. До момента начала истечения давление определяется соотношением, а время  $t_v$  начала истечения определяется из выражения:

$$\frac{4}{B} = \left[ \frac{K_1^5}{5} - K_1 + 0,4 \right],$$

где  $K_1 = t_{op}/t_v$  — отношение времени выхода предохранительной конструкции из проема (начало сброса давления) к времени начала движения конструкции при давлении  $\Delta P_V$ .

Параметр « $B$ » определяет движение предохранительной конструкции в проеме:

$$B = \frac{\Delta P_V^{5/3} V_0^{2/3} K_2^{2/3}}{\rho_{\Pi} X_0 U_{g1}^2 P_0^{2/3} (\gamma(\sigma - 1)\sigma^2)^{2/3}},$$

где  $\rho_{\Pi} = M/S_0$  — поверхностная плотность инерционной предохранительной конструкции;  $K_2$  — коэффициент, в дальнейшем учитывающий место инициирования взрыва;  $K_2 = (3/4\pi)^{2/3}$  — для сферического развития очага горения;  $U_{g1}$  — скорость взрывного горения в момент вскрытия проема;  $X_0$  — глубина заделки панели в проеме;  $\Delta P_V$  — задается при проектировании предохранительной конструкции.

Время начала движения предохранительной конструкции определяется по зависимости:

$$t_V = \frac{1}{U_g} \left( \frac{\Delta P_V V_0 3}{4\pi\gamma(\sigma - 1)\sigma^2} \right)^{1/3}.$$

Табл. 1 даст представление о зависимости величины  $t_{op}$  и  $\Delta P_{op}$  от параметра «В»:

Таблица 1

Зависимости величины  $t_{op}$  и  $\Delta P_{op}$  от параметра «В»

$B$	0,5	1	2	4	8	10	16	30	50
$K_1$	2,16	1,91	1,71	1,54	1,41	1,37	1,31	1,26	1,18
$\Delta P_{op}/\Delta P_V$	10,08	7	5	3,65	2,8	2,6	2,25	2	1,66

После начала сброса давления площадь истечения растет, но растет и мощность выделения энергии. В результате давление будет подниматься некоторое время, пока не будет достигнут максимум  $\Delta P_1$ .

С момента начала сброса давления динамика давления в объеме будет описываться комплексом «В» и новым комплексом «В<sub>1</sub>»:

$$B = \frac{U_g^3(\sigma - 1)\sigma^2\rho_{\Pi}\rho_0^{1/2}}{\Pi\Delta P_V^{3/2}}.$$

Зависимость от параметра «В» сохраняется, так как он определяет начальную скорость движения предохранительной конструкции при выходе из проема.

В комплексе «В<sub>1</sub>» появляется параметр «П» — периметр проемов. Это значит, что скорость сброса давления на начальном участке определяется периметром проемов, а не их площадью. Этот участок заканчивается, когда смещение предохранительной конструкции от места выхода из проема достигнет величины:

$$X_1 = \frac{S_0}{\Pi}.$$

В период достижения максимальной величины давления  $\Delta P_1$  и до момента полного открытия проема при смещении панели на величину  $X_1$  происходит падение давления. В момент полного открытия проема давление достигает минимума и затем растет. Этот рост будет ограничен достижением пламени максимальной площади при касании стенок объема.

В соответствии с [1], к взрывоопасным помещениям относятся такие, в объеме которых может выделиться столько горючего вещества, что при его медленном сгорании уровень избыточного давления превысит  $\Delta P = 5$  кПа. В пересчете на стехиометрический состав при полной загазованности  $\Delta P_V \approx 750$  кПа для большинства углеводородных горючих. Используя такие плохо контролируемые параметры, как коэффициент участия горючего во взрыве и негерметичность помещения, удастся снизить уровень давления взрыва примерно в 5–6 раз. Это значит, что при загазованности выше чем 3,5–4 %, в пересчете на стехиометрию — 100, помещения будут взрывоопасными. Однако если отбросить негерметичность помещения и коэффициент участия горючего во взрыве, то предельный уровень загазованности снизится до 0,5–0,6 %.

## 1.2. СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ ПРИ ВНУТРЕННИХ ВЗРЫВАХ. ОЦЕНКА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Согласно [1], здания с взрывоопасными помещениями должны быть обеспечены легко-сбрасываемыми конструкциями (ЛСК), которые, вскрываясь, обеспечивают снижение избыточного давления, возникающего во взрывоопасных помещениях при внутренних аварийных взрывах ГС. Эффективность снижения этого давления зависит от ряда факторов. Наиболее важными из них являются:

- площадь и объем помещения;

- вид горючей смеси, образующейся при аварийной ситуации;
- загроможденность помещения конструкциями и оборудованием;
- общая площадь проемов ЛСК;
- эффективность вскрытия ЛСК.

Площадь проемов, перекрываемых ЛСК, определяется расчетом или назначается из условия  $0,05V_0$  — для категории А и  $0,03V_0$  — для категории Б (где  $V_0$  — объем помещения, м<sup>3</sup>). В [1] предъявляются также требования к конструкции ЛСК, в частности к остеклению.

Остекление относится к безынерционным ЛСК, так как время его разрушения и отлета мало по сравнению со временем протекания взрыва. Основные особенности вскрытия остекления состоят в том, что коэффициент вскрытия стекол зависит от действующего давления. С ростом давления увеличивается коэффициент вскрытия. Он зависит от площади и толщины листа остекления. Увеличивается при увеличении площади листа и уменьшается при увеличении толщины. Для листов стекла прямоугольной формы существует зависимость от соотношения сторон.

Неразрушаемые (инерционные) ЛСК, такие как облегченные панели, освобождают площадь для истечения газов из помещения, где происходит взрыв, по мере их перемещения под действием избыточного давления взрыва. Время полного освобождения площади истечения для таких ЛСК в значительной мере зависит от их массы и является мерой их эффективности. Если время открытия площади проема, перекрываемого ЛСК, меньше времени достижения допустимого давления взрыва  $\Delta P_d$ , то ЛСК являются эффективными и их теоретический коэффициент вскрытия равен 1.

Если принять боковую площадь, освобождаемую для истечения газов перемещающимися ЛСК, за  $S_d$ , а фактическую площадь перекрываемого проема —  $S_\phi$ , то коэффициент вскрытия данной ЛСК  $K_{\text{вскр}}$  определяется как:

$$K_{\text{вскр}} = \frac{S_d}{S_\phi}, \quad (1)$$

где  $S_d$  — площадь, открываемая при вскрытии ЛСК, гарантирующая выполнение условия:

$$\Delta P_m \leq \Delta P_d; \quad (2)$$

$\Delta P_m$  — максимальное давление взрыва;  $\Delta P_d$  — допустимое давление взрыва, определяется несущей способностью конструкций;  $S_\phi$  — фактическая площадь, которую необходимо перекрыть, чтобы обеспечить вскрытие площади, равной  $S_{\text{отр}}$ , при  $K_{\text{вскр}} \leq 1$  — коэффициент вскрытия, где  $S_{\text{отр}}$  — открытая требуемая площадь истечения, которая обеспечивает условие (2).

Учитывая, что в качестве ограждающих конструкций для промышленных зданий с успехом используют трехслойные теплоизоляционные сэндвич-панели, (особенно перспективно их использование в условиях холодного климата) эффективность их как ЛСК, которые, отрываясь от места крепления, открывают достаточную площадь для истечения газов из помещения при внутреннем взрыве, очевидна.

За счет своей малой массы, высокой частоты колебания и коэффициента динамичности, примерно равным 1, нагрузку на сэндвич-панели при взрыве можно рассматривать как квазистатическую. Что существенно облегчает расчет этих панелей.

Проанализируем поведение ЛСК панелей при внутреннем взрыве [3 – 4]. Характер изменения давления при внутреннем взрыве с учетом истечения газов через вскрываемые проемы соответствует рис. 1. В течение времени  $0 - t_B$  взрыв происходит в герметичном объеме и давление увеличивается до  $\Delta P_B$ , при котором крепление панелей ЛСК разрушается и они начинают перемещаться, открывая площадь для истечения газов (сброса давления).

В зависимости от площади вскрываемых проемов, от скорости движения панелей (ЛСК) и скорости взрывного горения, может реализовываться вариант либо  $\Delta P_{m1} < \Delta P_d$ , когда давление взрыва меньше допустимого, либо  $\Delta P_{m2} > \Delta P_d$ , когда давление взрыва больше допустимого (что недопустимо). В первом случае  $\Delta P_{m1} < \Delta P_d$  ЛСК является эффективным, во втором —



неэффективным. Пики давления  $\Delta P_{m1}$  и  $\Delta P_{m2}$  образуются при не полностью открытом проеме, когда боковая площадь истечения меньше площади открытого проема. Второй пик давления реализуется при достижении площади пламени максимального значения. Эта площадь оценивается из геометрических соображений и зависит от геометрической формы взрывоопасного помещения и взаимного расположения ЛСК. Площадь открытых проемов, которая должна обеспечивать условие  $\Delta P < \Delta P_d$  определяется из условий на 2-м пике.

Из рис. 1 следует, что давление на 1-м пике может превысить допустимое давление, что может вызвать разрушение строительных конструкций.

Таким образом, для гарантированной защиты зданий от внутреннего взрыва необходимо, чтобы условия (2) выполнялось не только на 2-м пике, но и на 1-м.

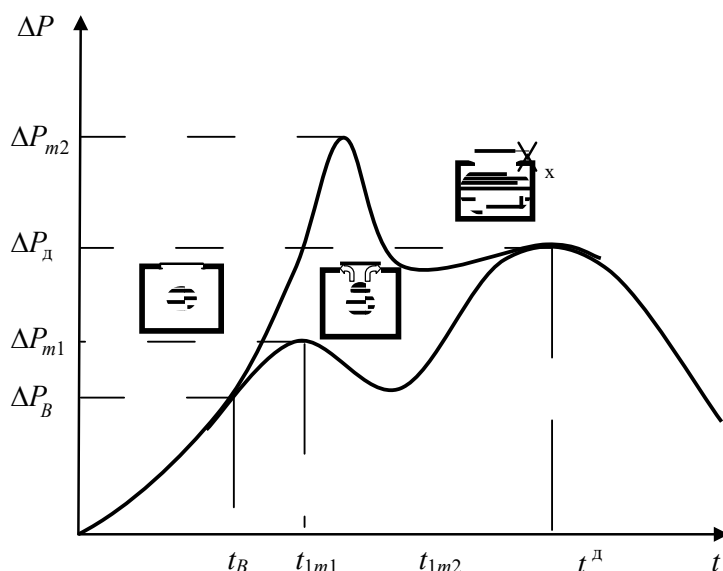


Рис. 1. Изменение давления при внутреннем взрыве с учетом истечения газов через вскрывающиеся проемы

После достижения давления взрыва  $\Delta P_1$  происходит его снижение, так как площадь истечения продолжает увеличиваться с более высоким темпом, чем растет площадь горения. В результате давление достигает минимума и затем вновь увеличивается, так как площадь горения растет, а проемы открылись полностью. Такое описание справедливо для легких ЛСК, таких как сэндвич-панели. Для тяжелых инерционных ЛСК первый пик может не наступить вплоть до времени достижения величины  $(U_r A_f)$  своего максимума.

В интервале времени между первым пиком и новым ростом давления часто происходит смена режима истечения, когда вместо холодной исходной смеси через проемы начинают истекать горячие, и, следовательно, более легкие продукты горения. В результате скорость истечения возрастает в  $\sigma^{1/2}$  раз, и в устье истечения формируется волна разрежения, которая устремляется внутрь объема и возмущает фронт пламени, вызывая интенсификацию горения и акустические колебания в объеме. Эти колебания сохраняются, но, как правило, не усиливаются.

При приближении зоны горения к ограждающим конструкциям пламя касается их, его площадь достигает максимального значения, а затем резко уменьшается. В результате на границе контакта стенок и горячих газов формируется волна разрежения, которая тащит пламя назад, восстанавливая его площадь. В результате возможны следующие варианты:

1. Пламя гаснет в результате смешения холодной смеси с горячими продуктами.
2. Пламя претерпевает несколько колебаний, не теряя связности, то есть не допуская инверсии и проникновения объемов горячего и холодного газа друг в друга.
3. Пламя претерпевает несколько сильных колебаний и возбуждает нелинейные акустические колебания.

При первом варианте реализуется квазистатический режим взрыва. Но до конца смесь не сгорает, пламя выходит из объема и частично гаснет.

Второй вариант дает квазистатический характер взрыва с интенсификацией горения в результате смены режима истечения и генерирования волны разряжения при подходе пламени к поверхностям, ограждающим объем.

В случае третьего варианта реализуется вибрационное взрывное горение, которое способствует волновому характеру процесса.

При квазистатическом режиме взрыва максимальное давление взрыва, соответствующее максимальной площади горения, определяется при условии

$$\frac{\Delta P}{dt} = 0; A_f = A_{f \max}, U_{r1} = U_{r2}.$$

### 1.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВСКРЫТИЯ ЛСК

Если пренебречь неплотностями в ограждающих конструкциях до момента взрыва, то процесс взрыва будет происходить на начальной стадии, как в замкнутом объеме. Давление при этом до момента начала истечения газов в результате срабатывания ЛСК описывается выражением:

$$\frac{\Delta P(t)}{\Delta P_m} = \frac{m(t)}{m_0}. \quad (3)$$

Здесь  $\Delta P(t)$  — избыточное давление в момент времени  $t$ ;  $m(t)$  — масса сгоревшей смеси к этому моменту;  $\Delta P_m$  — избыточное давление после полного сгорания всей смеси массой  $m_0$ .

При незначительных избыточных давлениях  $\Delta P(t) \leq 20$  кПа, что превышает несущую способность большинства зданий, выражение (3) можно записать в виде:

$$\frac{\Delta P(t)}{P_0} = \gamma \frac{\sigma - 1}{\sigma} \frac{V(t)}{V_0}, \quad (4)$$

где  $V(t)$  — объем продуктов сгорания.

При сферической форме очага:

$$\frac{\Delta P(t)}{P_0} = \frac{4/3\pi\gamma U_r^3(\sigma - 1)\sigma^2 t^3}{V_0}. \quad (5)$$

Если время начала истечения газов обозначить как  $t_{op}$ , то давление к этому моменту можно определить из (4)–(5) при  $t = t_{op}$ .

Время открытия для истечения  $t_{op}$  определяется через время разрушения связей  $t_B$ , удерживающих ЛСК и время движения ЛСК в глубине проема, если глубина заделки  $X_0$  (рис. 2):

$$\bar{t}_{op} = t_B(1 + \theta), \quad (6)$$

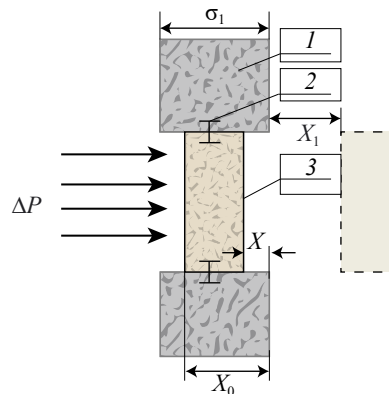


Рис. 2. Расположение ЛСК в глубине заделки: 1 — стена здания; 2 — связь между стеной и ЛСК (узел крепления); 3 — легкобрасываемая конструкция;  $X_0$  — путь предохранительных конструкций до открытия проема

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)