

ОГЛАВЛЕНИЕ

Условные обозначения	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДИСЦИПЛИНЫ «БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА».....	6
1.1. Формирование взрывных нагрузок при внешних аварийных взрывах (взрывах в атмосфере)	6
1.2. Формирование взрывных нагрузок при внутренних аварийных взрывах (взрывах в помещениях).....	7
1.3. Уравнения, описывающие избыточное давление при внешних дефлаграционных взрывах	10
1.4. Уравнения, описывающие избыточное давление при внутренних дефлаграционных взрывах.....	14
2. РУКОВОДЯЩИЕ ДОКУМЕНТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДПОЛАГАЕМЫХ ВЗРЫВНЫХ НАГРУЗОК И ЗОН ПОРАЖЕНИЯ ПРИ ВНЕШНИХ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВАХ.....	17
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК.....	21
4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ СОГЛАСНО СУЩЕСТВУЮЩИМ МЕТОДИКАМ	24
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПИКОВ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ВСКРЫТИИ ЛСК В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНУТРЕННЕГО ВЗРЫВА	25
6. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ.....	28
Вопросы для самоподготовки	38
Библиографический список.....	40

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ЛСК — легкобрасываемые конструкции
ВВ — взрывчатые вещества
ГВС — газозооушная смесь
 $R_{\text{дог}}$ — волна догона
ГПВС — газопарозоушная смесь
 U_n — скорость пламени относительно продуктов взрыва
ПК — предохранительная конструкция
 ΔP — избыточное давление
 α — коэффициент интенсивности процесса горения
НКПВ — нижний концентрационный предел
ВКПВ — верхний концентрационный предел
 $C_{\text{ср}}$ — средняя концентрация горючего вещества в смеси
 $\varepsilon_{\text{ср}}$ — среднее значение коэффициента расширения
 R_r — радиус облака продуктов взрыва в конце взрывного горения
 M — общая масса взрывоопасного вещества, попавшего в атмосферу
 $\varepsilon_{p,\text{max}}$ — степень расширения при горении
 $\varepsilon_{c,\text{max}}$ — степень сжатия при взрыве в замкнутом объеме
 ΔP_{max} — максимальное избыточное давление
 B, C — коэффициент и показатель степени, определяются в зависимости от величины расчетной скорости распространения пламени
 u_m — амплитуда скорости на поверхности монополя
 Φ — коэффициент вскрытия (освобождения)
 $R_{o,\text{ш}}$ — размер огненного шара
 d — параметр, характеризующий степень дифракции волны на препятствии
 f — коэффициент отражения
 $\Delta P_{\text{доп}}$ — допустимый уровень взрывной нагрузки внутри здания
 $\Delta P_{\text{вскр}}$ — избыточное давление, при котором происходит вскрытие ЛСК
 $S_{\text{пр}(t)}^{\text{осв}}$ — текущее значение площади проемов, свободных от предохранительных конструкций
 $P_{\text{ЛСК}}$ — периметр единичной ЛСК
 $\Delta P_{\text{инер}}$ — параметр, характеризующий инерционность ЛСК
 $G_{\text{ЛСК}}$ — безразмерное ускорение, с которым перемещается ЛСК под действием сил давления
 G — безразмерный параметр
 W_t — тротильовый эквивалент
 q_m — удельная энергия взрыва
 W_k — масса твердых и жидких химически нестабильных соединений
ВУВ — воздушная ударная волна
 $\Delta P_{\text{ф}}$ — избыточное давление на фронте волны
 $\bar{R}$ — радиус с заданным давлением
 K_v — коэффициент
 E — эффективный энергозапас горючей смеси
 M_r — масса горючего
 q_r — теплота взрыва
 λ — безразмерное расстояние
 $E_{\text{уд}}$ — удельная теплота сгорания воздушной смеси
 ε — степень разрушения продуктов сгорания
 W — скорость фронта пламени
 k — константа
 $m_{\text{пр}}$ — приведенная масса газа или пара
 Q_{cr} — удельная теплота сгорания пара или газа
 m — масса горючих газов или паров в горении
 i — величина импульса волны давления
 P_{max} — максимальное значение динамической нагрузки
 K_d — коэффициент динамичности, равен максимальному значению функции динамичности $T(t)$

ВВЕДЕНИЕ

Цель дисциплины «Безопасность объектов строительства» — обучение базовым понятиям, связанным с аварийными ситуациями, сопровождающимися различными взрывными явлениями.

В учебно-методическом пособии поясняются основные особенности развития взрывных аварий внутри зданий и помещений (внутренние взрывы) и особенности протекания аварийных взрывов в атмосфере (внешние взрывы). Дается краткая информация о способах минимизации ущерба при взрывных авариях.

Приводятся методы расчета взрывных нагрузок в помещениях, оборудованных легкосбрасываемыми конструкциями (ЛСК), которые являются наиболее эффективным техническим решением, позволяющим обеспечить устойчивость строительных конструкций при внутренних аварийных взрывах.

Дается краткое описание процессов формирования динамических нагрузок при детонационных и дефлаграционных аварийных взрывах (внешних или взрывах в атмосфере) на наружных установках. Приводятся методы расчета основных параметров динамических нагрузок, сопровождающих внешние аварийные взрывы.

Раскрываются базовые понятия о приведении динамических нагрузок к эквивалентным статическим нагрузкам.

Методические рекомендации к выполнению *практических* и *самостоятельных* работ составлены на основе имеющихся нормативных документов, а также на основании многочисленных экспериментальных и теоретических исследований, выполненных авторами в этой области за последние годы. Кроме этого, авторы принимали участие в расследовании причин достаточно большого количества взрывных аварий, что нашло отражение в данной работе.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДИСЦИПЛИНЫ «БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА»

1.1. ФОРМИРОВАНИЕ ВЗРЫВНЫХ НАГРУЗОК ПРИ ВНЕШНИХ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВАХ (ВЗРЫВАХ В АТМОСФЕРЕ)

Перед описанием поражающих факторов внешних дефлаграционных взрывов необходимо указать физические процессы, возникающие в атмосфере при рассматриваемом типе взрывного превращения.

Дефлаграционные аварийные взрывы в отличие от детонационных взрывов конденсированных взрывчатых веществ (ВВ) и детонационных взрывов газовоздушных смесей (ГВС) характеризуются значительно более медленной (дозвуковой) скоростью распространения пламени W . При взрывах больших объемов ГВС в открытом (неограниченном) пространстве наиболее характерными скоростями пламени являются скорости 140...240 м/с. В связи с этим дефлаграционный взрыв на ближних расстояниях создает взрывную волну, отличающуюся от типичных сферических ударных волн детонационных взрывов следующими особенностями:

- в процессе взрывного горения фронт взрывной волны, движущийся со сверхзвуковой скоростью, и фронт пламени, распространяющийся с дозвуковой скоростью, не совпадают и движутся последовательно друг за другом на определенном, все возрастающем расстоянии друг от друга. Между указанными фронтами находится слой сжатого воздуха;
- избыточное давление и другие параметры в слое сжатого воздуха (скорость потока воздуха, скорость звука в потоке, плотность воздуха, скоростной напор) возрастают от фронта взрывной волны к фронту пламени;
- после окончания взрывного горения на расстоянии R_0 фронт максимального давления отрывается от фронта пламени и начинает распространяться в сторону фронта взрывной волны со скоростью, равной сумме местных скоростей звука и потока газа, и далее на некотором расстоянии от центра взрыва $R_{\text{дог}}$ догоняет фронт взрывной волны.

Математическое описание дефлаграционного взрыва и создаваемой им взрывной волны сложнее, чем описание детонационных взрывов газовоздушных смесей (ГПВС) из-за широкого спектра скоростей распространения пламени, изменчивости указанных скоростей в процессе взрывного горения, большого влияния на них турбулизации взрывоопасной смеси.

1.2. ФОРМИРОВАНИЕ ВЗРЫВНЫХ НАГРУЗОК ПРИ ВНУТРЕННИХ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВАХ (ВЗРЫВАХ В ПОМЕЩЕНИЯХ)

Аварийные взрывы внутри зданий и помещений характеризуются не детонационным, а дефлаграционным типом взрывного превращения, что накладывает определенные особенности на способы прогнозирования взрывных нагрузок и методы уменьшения последствий аварийных взрывов. **Дефлаграционный взрыв** — это быстрое горение (быстрый пожар) газовоздушной смеси, концентрация горючего в которой находится между нижним и верхним концентрационными пределами воспламенения, т.е. смеси, подготовленной к горению. На рис. 1.1 приведены пределы воспламеняемости некоторых горючих смесей, а также зависимости скорости нормального горения от концентрации горючего в смеси.

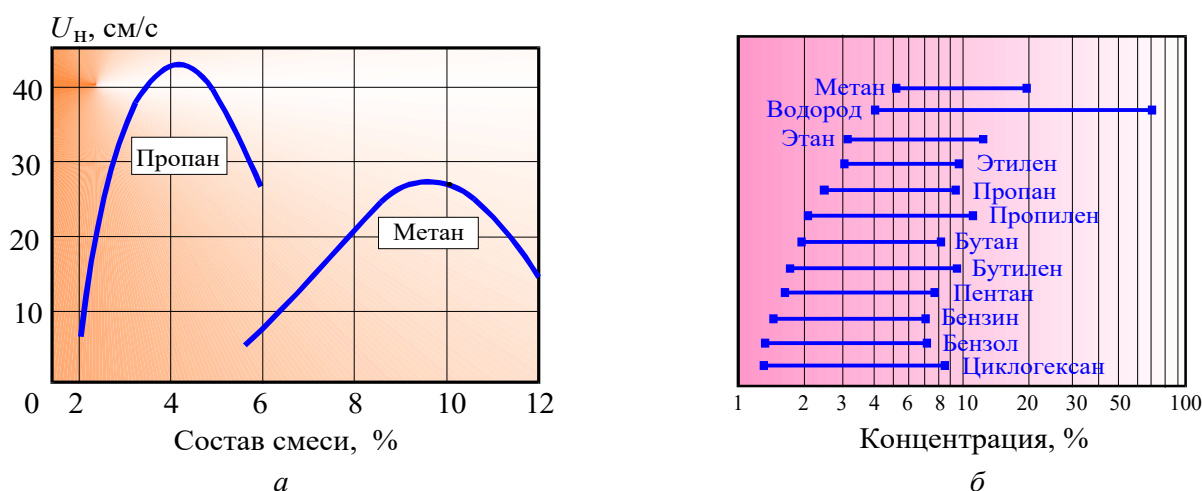


Рис. 1.1. Характеристики взрывоопасности некоторых веществ:

а — нормальная скорость горения углеводородных смесей в зависимости от объемной концентрации;

б — пределы воспламеняемости водорода и углеводородов

Максимальное значение скорости нормального горения U_n наблюдается при определенном процентном содержании горючего газа в смеси. При горении продукты взрыва расширяются в ϵ раз. Пламя движется со скоростью U_n относительно продуктов взрыва. Поэтому видимая скорость пламени (скорость, с которой перемещается пламя относительно неподвижного наблюдателя) представляет собой сумму скоростей расширения смеси (скорости ветра) и скорости нормального горения.

В начальные моменты взрыва (влияние стен помещения на газодинамические потоки мало) видимая скорость пламени достигает величины $\epsilon \cdot U_n$. Для подавляющего большинства смесей видимая скорость пламени не превышает 3 м/с. Исключение составляют водородовоздушные смеси, видимая скорость пламени у которых существенно выше — около 18 м/с.

При дефлаграционном типе взрывного превращения реализуется принцип квазистатичности избыточного давления, который заключается в независимости взрывной нагрузки от пространственной координаты. Это связано с малой скоростью распространения пламени по сравнению со скоростью звука. Все возмущения, возникающие на фронте пламени, распространяются со скоростью звука. Поскольку скорость распространения пламени в среде на порядок меньше скорости звука, то звуковая волна, несущая в себе возмущения, успевает многократно пробежать по несгоревшей смеси и выровнять в ней давление, плотность и температуру за время, необходимое для заметного перемещения фронта пламени по зданию или помещению.

Внутренние дефлаграционные взрывы — это взрывы ГПВС, происходящие в замкнутых и полужамкнутых объемах.

Избыточное давление при данном взрыве в замкнутом объеме достигает 700...900 кПа. При взрывах внутри зданий и сооружений избыточное давление не должно превышать значений 10...15 кПа, что лимитируется прочностью строительных конструкций. Поэтому в зданиях и помещениях в результате разрушения ограждения или срабатывания предохранительных конструкций (ПК) замкнутый объем становится разомкнутым. Малость избыточного давления обуславливает доминирующее влияние газодинамических потоков на формирование области взрывного горения, на развитие аварийного взрыва и уровни избыточного давления.

Для ограничения роста избыточного давления в помещениях при внутренних дефлаграционных взрывах используют остекленные оконные проемы или ЛСК.

При взрыве в помещении, имеющем открытые сбросные проемы, после воспламенения ГПВС фронт пламени перемещает большую часть несгоревшей ГПВС (свежей смеси) в пространство перед фронтом пламени. Поэтому практически сразу начинается истечение непрореагировавшей смеси через открытый проем в атмосферу. При подходе пламени к сбросному проему вследствие резкого изменения плотности истекающих газов возникает волна разрежения, которая начинает турбулизовать несгоревшую смесь, что в свою очередь приводит к увеличению скорости горения и дополнительному росту давления внутри помещения.

Изменение плотности истекающих через сбросные проемы газов (истечение свежей смеси или продуктов сгорания) приводит к появлению во временной зависимости давления двух максимумов. Первый пик давления соответствует началу истечения через сбросные проемы продуктов сгорания, второй — максимальной площади фронта пламени при установившемся процессе истечения через сбросные проемы продуктов сгорания. Преобладание первого пика давления над вторым полностью определяется формой здания, расположением сбросных проемов (объемно-планировочным решением здания) и местом воспламенения смеси.

На рис. 1.2 приведена типичная осциллограмма взрывного давления. Следует отметить, что видимая скорость пламени замедляется в сторону стен без сбросных проемов и увеличивается в сторону стен со сбросными проемами. Изменение скорости пламени связано с влиянием границ (стен), на которых выполняется условие непротекания, т.е. скорость свежей смеси (ветра) на жестких стенках равна нулю.

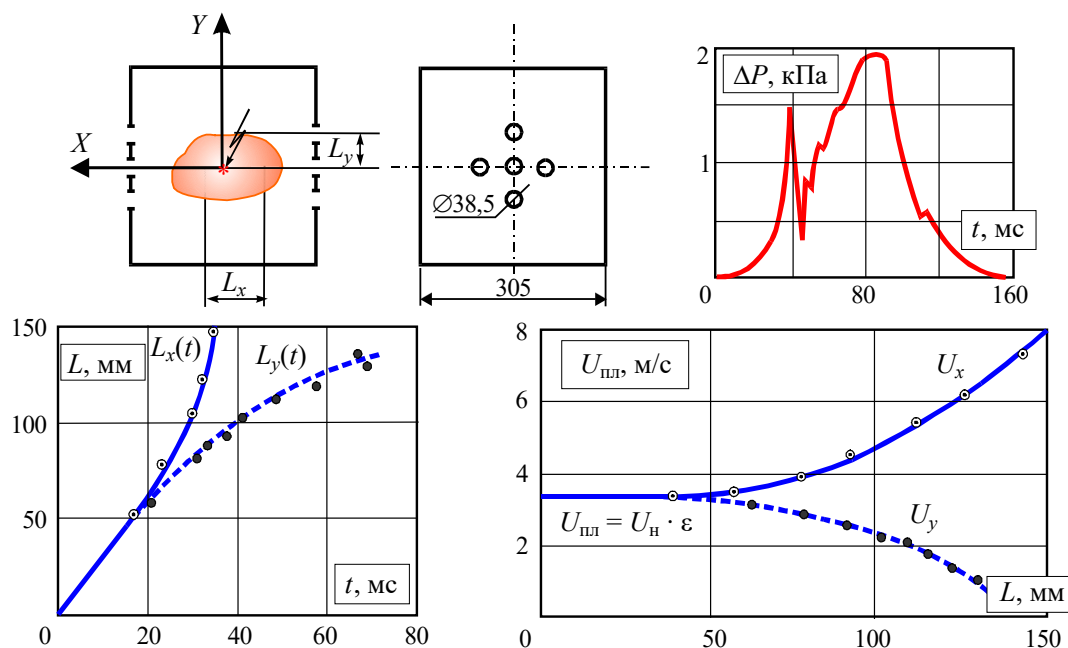


Рис. 1.2. Типичная осциллограмма взрывного давления и динамические характеристики фронта пламени для двух характерных направлений: $U_{пл}$ — видимая скорость пламени; L — размер взрывного облака

Если сбросной проем остеклен, то он в процессе взрывного горения вскрывается. В этот момент возникает локальный по времени максимум давления, затем — спад, после чего давление начинает расти, пока не выгорит вся ГПВС (см. рис. 1.2).

Величина максимального давления в зданиях с глухим остеклением зависит от давления $\Delta P_{\text{вскр}}$ начала разрушения остекления (рис. 1.3), которое зависит от размеров единичной ячейки стекла и его толщины.

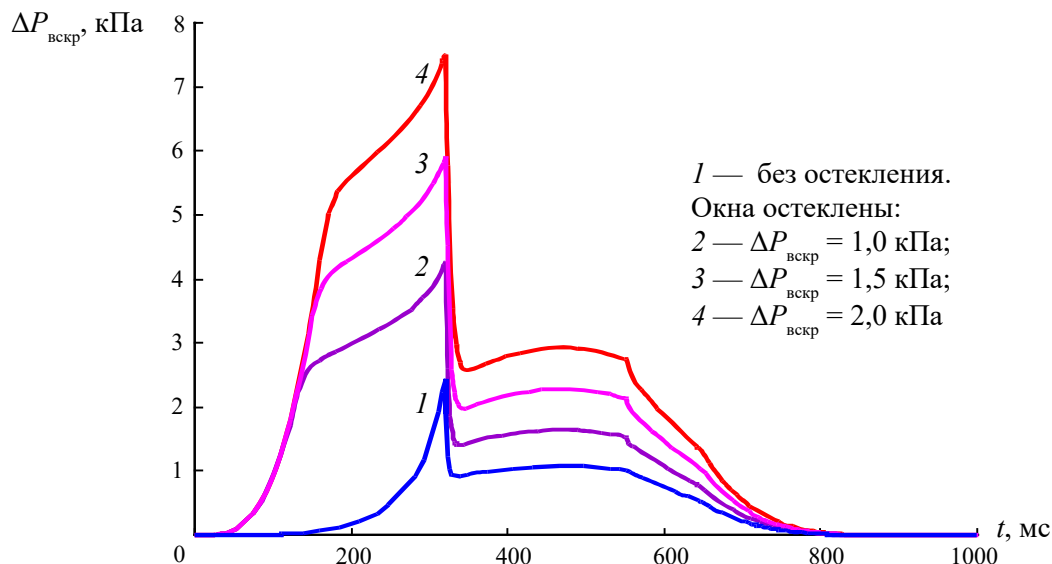


Рис. 1.3. Взрывное давление в помещении с остекленными окнами: ΔP — избыточное давление

При использовании в качестве ПК легкообрасываемых конструкций величина максимального давления в основном зависит от характерных размеров помещения и инерционности ЛСК (рис. 1.4).

Вследствие истечения непрореагировавшей смеси через открытый или вскрывшийся проем только часть первоначально имевшейся смеси успевает прореагировать при внутреннем дефлаграционном взрыве. Остальная часть выбрасывается через проем в атмосферу. Поэтому при частичной загазованности помещения (свыше 15...20 %) взрывные нагрузки близки к нагрузкам, которые реализуются в полностью загазованных помещениях.

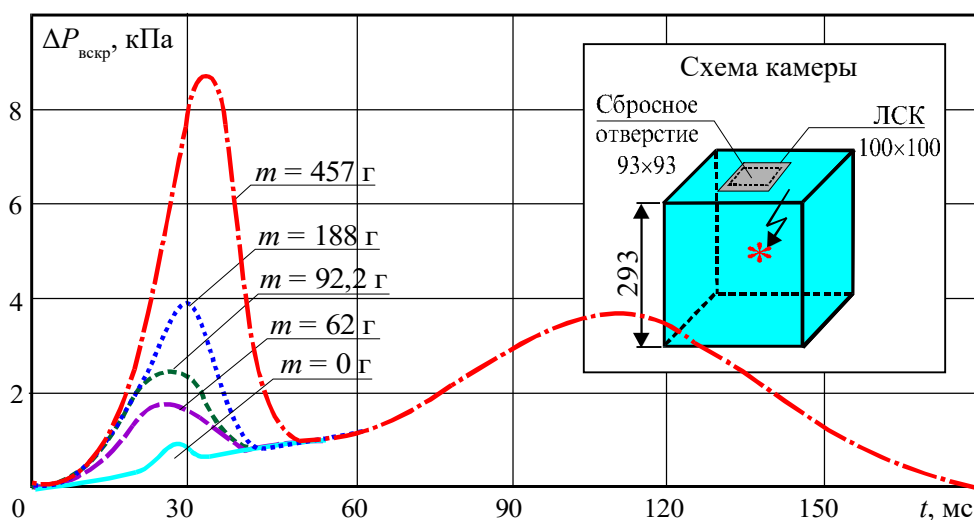


Рис. 1.4. Влияние инерционности ЛСК на уровни взрывных нагрузок

Большую опасность представляет загазованное помещение, соединенное через проем с другим, даже незагазованным, помещением — здесь происходит двухстадийный взрыв.

Максимальное давление в смежных помещениях может быть в несколько раз больше, чем при взрыве в одном изолированном помещении с проемами наружу (рис. 1.5).

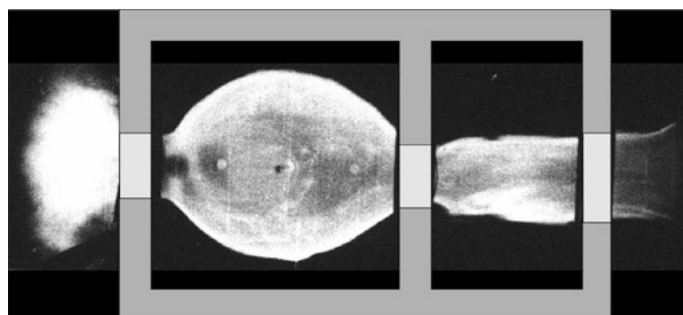


Рис. 1.5. Взрыв пропановоздушной смеси в смежных камерах

На динамические характеристики внутреннего дефлаграционного взрыва большое влияние оказывает турбулизация свежей смеси, приводящая к увеличению нормальной скорости горения и резкому повышению видимой скорости пламени. Интенсификация процесса горения при расчетах обычно учитывается введением коэффициента интенсификации α .

Интенсификация процесса горения при взаимодействии пламени с различного рода препятствиями проиллюстрирована на рис. 1.6.

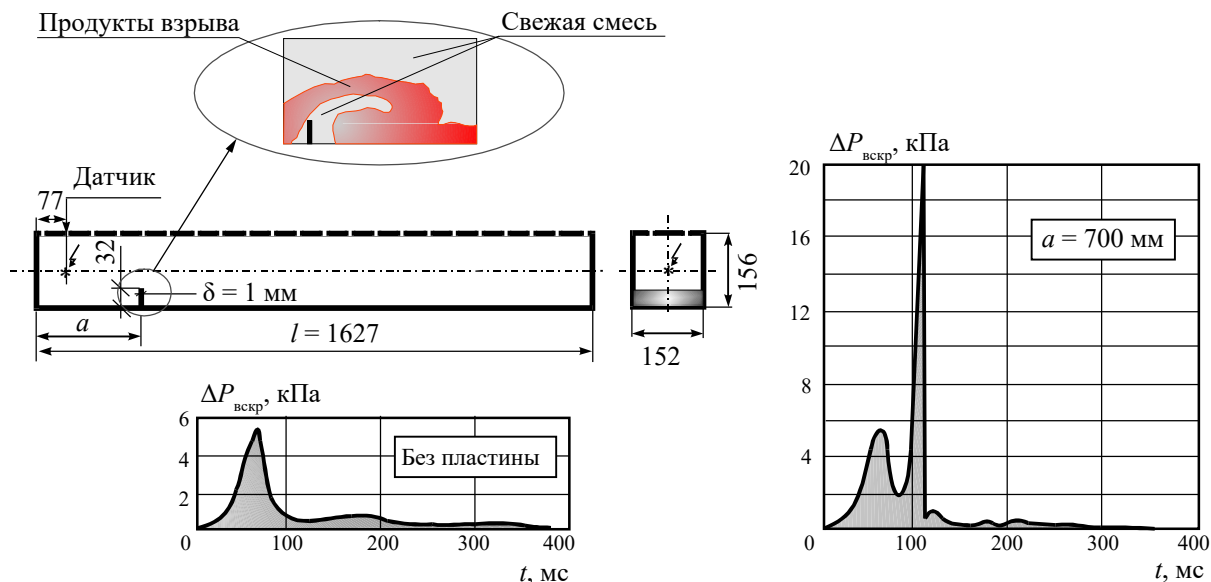


Рис. 1.6. Влияние препятствий, расположенных на пути пламени, на взрывные нагрузки

Происходит резкое наращивание притока продуктов взрыва, так как не только увеличивается общая площадь горения, но и происходит существенная турбулизация смеси в следе за телом. Следствием значительного повышения притока продуктов взрыва является рост взрывного давления.

1.3. УРАВНЕНИЯ, ОПИСЫВАЮЩИЕ ИЗБЫТОЧНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ ВНЕШНИХ ДЕФЛАГРАЦИОННЫХ ВЗРЫВАХ

Остановимся на основных положениях некоторых методик, позволяющих определять параметры волн сжатия при дефлаграционных взрывах в атмосфере. Как отмечалось ранее, дефлаграционные взрывы в атмосфере характеризуются дозвуковой скоростью распространения пламени W . Поэтому поражающие факторы такого взрыва существенно отличаются от поражающих факторов взрывов ВВ и детонационных взрывов ГПВС. При дефлаграционных взрывах ГПВС в атмосфере максимальные скорости пламени не превышают 240 м/с. При этом

практический интерес представляют скорости 70...240 м/с, так как при меньших скоростях интенсивность волны сжатия и скоростной напор близки к нулю.

Как было указано ранее, газопаровоздушные смеси способны взрываться, если концентрация горючего вещества в смеси находится в пределах от нижнего концентрационного предела воспламенения (НКПВ) до верхнего (ВКПВ) (см. рис. 1.1).

Физико-химические параметры некоторых горючих смесей приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Характеристики горючих смесей

№ п/п	Горючее вещество	Смеси с концентрацией горючего, соответствующей $U_{н.маx}$					Смеси на нижнем концентрационном пределе распространения пламени			
		$C_{маx},$ г/м ³	$\rho_{маx},$ кг/м ³	$\varepsilon_{р.маx}^*$	$\varepsilon_{с.маx}^{**}$	$U_{н.маx},$ м/с	$C_{н.к.п.в},$ г/м ³	$\rho_{н.к.п.в},$ кг/м ³	$\varepsilon_{р.н.к.п.в}$	$\varepsilon_{с.н.к.п.в}$
1	Аммиак	163,4	1,09	7,2	8,7	0,10	102,5	1,23	4,8	5,8
2	Ацетилен	90,1	1,19	8,6	10,4	1,61	26,7	1,20	3,3	4,0
3	Ацетон	121,0	1,24	8,1	9,7	0,44	59,0	1,22	5,3	6,4
4	Бензол	104,6	1,27	7,8	9,3	0,47	62,3	1,23	5,1	6,1
5	Бутан	75,8	1,24	8,0	9,6	0,43	38,0	1,22	5,2	6,3
6	Бутилен	79,0	1,25	8,2	9,8	0,44	38,0	1,23	5,1	6,1
7	Винилацетат	160	1,29	8,3	10,0	0,42	80	1,24	5,1	6,1
8	Винилацетилен	87,4	1,24	8,3	9,9	0,61	43,7	1,22	5,1	6,2
9	Водород	24,7	0,85	6,9	8,3	2,67	3,5	1,14	2,1	2,8
10	Гексан	82,0	1,29	7,9	9,3	0,39	41,0	1,24	5,1	6,1
11	Гексин	83,7	1,25	8,2	9,9	0,53	41,8	1,23	5,0	5,9
12	Гептан	93,5	1,26	8,1	9,7	0,41	46,8	1,23	5,1	6,1
13	Гептин	82,4	1,25	8,2	9,8	0,52	41,2	1,23	5,1	6,1
14	Декан	79,3	1,25	8,1	9,8	0,39	39,6	1,23	5,1	6,1
15	Дихлорметан	509,3	1,56	7,5	9,0	0,25	425,0	1,47	5,7	6,8
16	Дихлорэтан	312,2	1,41	7,8	9,4	0,28	173,3	1,32	5,6	6,7
17	Метан	63,5	1,13	7,6	9,1	0,28	31,7	1,15	5,0	6,0
18	Метиловый спирт	163,7	1,23	8,1	9,7	0,54	81,8	1,19	5,2	6,2
19	Нитропропан	196,7	1,34	9,4	11,3	0,48	98,4	1,24	5,2	6,2
20	Нонан	79,2	1,24	8,2	9,8	0,43	39,6	1,21	5,1	6,1
21	Нонен	80,5	1,24	8,3	10,0	0,43	40,3	1,21	5,1	6,1
22	Октан	78,1	1,24	8,3	10,0	0,45	39,2	1,21	5,1	6,1
23	Октен	80,4	1,24	8,4	10,1	0,45	40,2	1,21	5,1	6,1
24	Окись углерода	345,3	1,15	7,3	8,8	0,85	172,7	1,18	4,6	5,5
25	Пентан	76,8	1,23	8,2	9,8	0,42	38,4	1,20	5,1	6,1
26	Пропадиен	87,8	1,21	8,6	10,3	0,38	43,9	1,17	5,1	6,1
27	Пропан	74,1	1,24	8,1	9,7	0,45	37,1	1,21	5,1	6,1
28	Пропилен	78,2	1,24	8,2	9,7	0,58	39,1	1,22	5,0	6,0
29	Этан	72,6	1,19	7,9	9,5	0,45	36,3	1,20	5,1	6,1
30	Этилен	73,8	1,18	8,3	10,0	0,74	36,9	1,18	5,1	6,1
31	Этиловый спирт	125,5	1,27	8,1	9,7	0,56	62,7	1,21	5,2	6,2

* $\varepsilon_{р.маx}$ — степень расширения при горении;

** $\varepsilon_{с.маx}$ — степень сжатия при взрыве в замкнутом объеме.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru