

## Лекция 4

### ТЕМА 2. ПРОТИВОВЗРЫВНАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

#### 2.1. Назначение и устройство легкобрасываемых конструкций

##### *Актуальность темы*

Нередко в результате аварий, нарушения режима эксплуатации технологического оборудования, несоблюдения требований пожарной безопасности при производстве работ и другим причинам происходят взрывы, сопровождающиеся разрушением строительных конструкций, технологического оборудования, зданий, гибелью людей. Взрывы увеличивают время тушения пожаров, ущерб от них. Статистические данные показывают, что с ростом числа и мощности взрывоопасных производств, интенсификацией производственных процессов, темпов развития технологий и т.п. возрастает количество взрывов в промышленности и величина причиняемого ущерба. Задачи предотвращения взрывов решаются на других дисциплинах (спецхимия, теория горения, физико-химические основы развития и тушения пожаров, пожарная безопасность технологий) (решение 1 задачи пожарной профилактики). Задача нашего курса научиться обосновывать и разрабатывать технические решения, способные существенно уменьшить, а при возможности устранить, последствия взрывов, т.е. такие технические решения, которые обеспечивают снижение опасных параметров взрыва до безопасных для зданий и людей значений, проводить пожарно-техническую экспертизу противовзрывной защиты зданий (решение 2, 3, 4 задач пожарной профилактики).

##### 2.1.1. Общие сведения о взрыве

Взрывом называется процесс быстрого (за сотые доли секунды) физического или химического превращения веществ или их смесей с выделением большого количества энергии.

Таким образом, отличиями от других видов превращений веществ являются:

- время превращения;
- энергия превращения.

В основе одних взрывов лежит явление детонации, происходящее при физическом разложении веществ (взрыв тротила, ядерный взрыв и т.п.) (детонационные взрывы)

В основе других взрывов лежит быстро протекающая реакция горения газо-паро-пылевоздушных смесей, занимающих часть или весь объем помещения, взрывное горение горючих смесей.

В технической литературе такие взрывы еще называются аварийными, т.к. они возникают вследствие аварийных режимов работы технологического оборудования, электроустановок и т.п.

В решении задачи ПВЗ зданий нас, как работников пожарной охраны, интересуют взрывы аварийные, т.к. природа их возникновения и развития описывается теорией горения. Именно о таких взрывах мы будем говорить в этой теме. Для начала рассмотрим ряд примеров:

25 февраля 1988 г. в г. Перми произошел взрыв газа в 5-этажном. 90-кв. жилом доме.

Ударной волной разрушено 17 наружных панелей, обрушилась лестничная клетка, разрушены межэтажные перекрытия и перегородки между квартирами.

1986 год. П.О. "Кировский завод", цех 170.

В результате нарушения технологического процесса при закалке крупногабаритных деталей в закалочной ванне ШНГ произошёл взрыв паровоздушной смеси. В результате взрыва разрушено ленточное остекление по периметру цеха ( $l > 150$  м), деформированы металлические конструкции технологического оборудования. Строительным конструкциям повреждение не нанесено благодаря большой площади остекления.

### 2.1.2. Параметры взрыва

Рассмотрим, какими же параметрами характеризуется взрывное горение смесей (аварийный взрыв).

Для простоты восприятия материала рассмотрим схему на рисунке 2.1.



Рис. 2.1. Характеристики параметров взрывного горения

Основным из вышеперечисленных параметров является избыточное давление, поэтому рассмотрим его более подробно, а по остальным только конечные уравнения без вывода их (вывод уравнений параметров взрыва дан на страницах 371-380 учебника для ВУЗов под редакцией Кудаленкина В.Ф. "Пожарная профилактика в строительстве").

#### 2.1.2.1. Избыточное давление взрыва

Основным признаком взрыва является мгновенное изменение давления, зависящего от температуры и объёма продуктов горения.

Для замкнутого объёма, полностью заполненного взрывоопасной смесью и при полном сгорании её, при стехиометрической концентрации определяется по уравнению:

$$\Delta P_{\text{в}} = P_{\text{в}} - P_0$$

где:  $P_{\text{в}}$  – давление взрыва;

$P_0$  - начальное значение давления в помещении.

А при частичном загазовании по уравнению:

$$\Delta P_{\text{в}} = P_{\text{в}} - P_0 \cdot \frac{W_{\text{см}}}{W_{\text{пом}}}$$

где:  $W_{\text{ом}}$  - объём взрывоопасной смеси, при стехиометрической концентрации;

$W_{\text{пом}}$  - объём помещения, м<sup>3</sup>;

Абсолютное давление, воздействующее на ограждающие конструкции при взрывном горении смеси в замкнутом объёме, определяется по уравнению Я.Б. Зельдовича:

$$P = P_0 + (P_{\text{в}} - P_0) \cdot \frac{W_{\text{см}}}{W_{\text{пом}}}$$

При  $\frac{W_{\text{см}}}{W_{\text{пом}}} = 1$  избыточное давление при взрыве увеличится в  $\frac{m}{n} \cdot \frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{н}}}$  раз:

где:  $T_{\text{в}}$  - температура продуктов горения при взрыве, К;

$T_{\text{н}}$  - начальная температура смеси, К.

$$\Delta P = P_0 \cdot \left( \frac{m}{n} \cdot \frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{н}}} - 1 \right) \cdot \frac{W_{\text{см}}}{W_{\text{пом}}}$$

Величины  $m$  и  $n$  определяются из реакции горения.

Таблица 2.1.

Избыточное давление на конструкции, Па	Степень разрушения конструкций
----------------------------------------	--------------------------------

Менее $5 \times 10^3$	Разрушение остекления, легких перегородок, вскрытие ЛСК, дверей, ворот (слабые разрушения)
$5 \times 10^3 < \Delta P_v < 5 \times 10^4$	Разрушение плит покрытия, перекрытий, кровли, кирпичных стен толщиной до 51 см, бетонных стен толщиной до 26 см (средние разрушения)
$5 \times 10^4 < \Delta P_v < 5 \times 10^5$	Разрушение зданий со стальным каркасом, кирпичных стен толщиной до 36 см (сильные разрушения)
Более $5 \times 10^5$	Полное разрушение кирпичных и железобетонных зданий

Возникающие при взрыве нагрузки на ограждающие конструкции могут достигать сотен тысяч Паскалей. Допустимое же давление для конструкций при котором они сохраняют несущую, и ограждающую способность, значительно меньше давления, развивающегося при взрыве.

При обеспечении взрывозащиты зданий, необходимо стремиться к тому, чтобы избыточное давление, возникающее при взрыве, не превышало допустимого для конструкций. Снизить давление при взрывах в производственных помещениях до величин, безопасных для прочности и устойчивости основных строительных конструкций, позволяет применение лёгкосбрасываемых конструкций.

Допустимое избыточное давление при взрыве  $P_{\text{доп}}$  может быть определено экспериментальным или расчётным путём.

Наглядно это можно представить изменения давления при взрыве на рисунке 2.2:

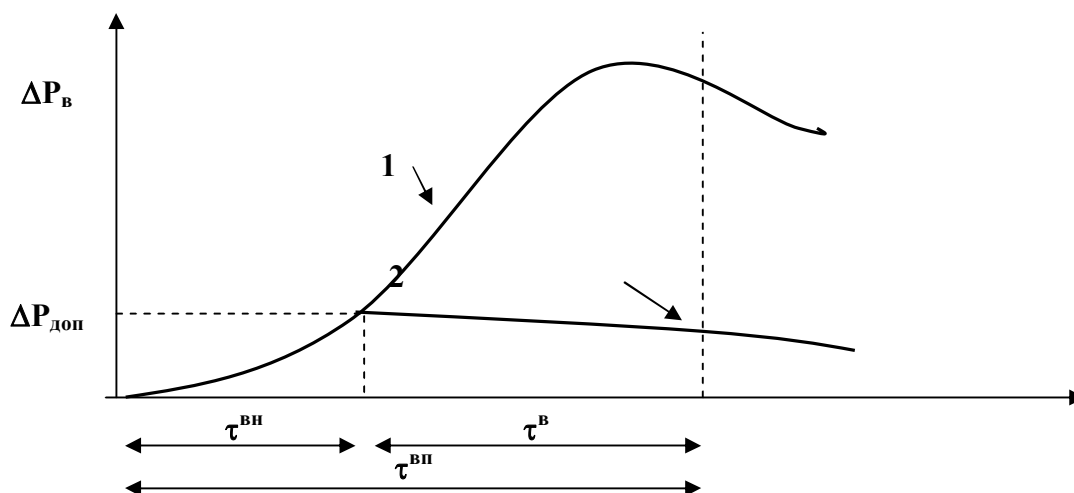


Рис. 2.2. Изменения давления при взрыве:

1 – в замкнутом объёме; 2 – с лёгкосбрасываемыми конструкциями

Если применение ЛСК обеспечивает снижение нагрузок до  $5 \times 10^5$  Па, то проверка несущей способности при взрыве существующих основных конструкций не нужна.

При  $\Delta P_{\text{доп}}$  более  $5 \times 10^3$  Па, необходимо производить расчёт взрывоустойчивости конструкций, а для этого надо знать уравнения, по которым определяются параметры взрыва.

#### 2.1.2.2. Избыточный объём продуктов взрыва

$$\Delta W_{\varepsilon} = (\varepsilon - 1) \cdot \frac{W_{\text{см}}}{W_{\text{пом}}} - 0,8 \cdot \left( \frac{P_{\text{доп}}}{P_0} - 1 \right)$$

где:  $\Delta W_{\varepsilon}$  – избыточный объём продуктов взрыва;  
 $\varepsilon$  - степень расширения продуктов горения при взрыве;  
 $W_{\text{см}}$  - объём взрывоопасной смеси;  
 $W_{\text{пом}}$  - объём помещения;  
 $P_{\text{доп}}$  - допускаемое давление на конструкции;  
 $P_0$  - начальное давление.

#### 2.1.2.3. Температура горения при взрыве

$$T_{\varepsilon} = 0,9 \cdot T_{\Gamma}$$

где:  $T_{\varepsilon}$  - теоретическая температура продуктов горения, К, определяется по уравнению теплового баланса  $n_{\Gamma} \cdot Q_H = Q_{ПГ}$ .

#### 2.1.2.4. Скорость истечения газов при взрыве

$$V_{ист} = 33,4 \cdot \sqrt{T_{ист} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P_0}{P_{дон}} \right)^{0,286} \right]}$$

где:  $T_{ист}$  - температура истечения продуктов взрыва;

$$T_{ист} = \frac{\left[ 0,8 \cdot (\varepsilon - 1) \cdot \frac{W_{см}}{W_{ном}} \right] \cdot T_{\varepsilon} + \left( 0,8 - \frac{W_{см}}{W_{ном}} \right) \cdot T_H}{1,6 + (\varepsilon - 2) \cdot \frac{W_{см}}{W_{ном}}}$$

$\varepsilon$  - степень расширения продуктов горения.

Остальные значения, входящие в уравнение приведены выше.

#### 2.1.2.5. Расчётное время взрыва

(Время истечения продуктов горения, через отверстия, образовавшиеся при вскрытии ЛСК).

$$\tau_{\varepsilon} = \tau_{ВП} - \tau_{ВН}$$

где:  $\tau_{ВП}$  - полное время взрыва;

$\tau_{ВН}$  - время нарастания избыточного давления.

При  $\varepsilon \cdot W_{см} < W_{ном}$  принимает значение:

$$\tau_{\varepsilon} = \frac{0,31 \cdot \left( \sqrt[3]{W_{см}} - \sqrt{\frac{\Delta P_{дон} \cdot W_{ном}}{P_0 (\varepsilon - 1)}} \right)}{V_H \cdot \sqrt[3]{\varepsilon^2}}$$

При  $\varepsilon \cdot W_{см} \geq W_{ном}$  принимает значение:

$$\tau_{\varepsilon} = \frac{0,31 \cdot \sqrt[3]{W_{см}} \cdot \left( 1 - \sqrt[3]{\frac{\varepsilon \cdot \Delta P_{дон}}{P_0 \cdot (\varepsilon - 1)}} \right)}{V_H \cdot \varepsilon}$$

где:  $V_H$  - нормальная скорость горения, а остальные параметры уже известны.

При  $\tau_{\varepsilon} = 0$  - ЛСК не требуется

Перечисленные параметры нам необходимы для расчёта площади лёгкосбрасываемых конструкций.

**ВЫВОД:** Рассмотренные вопросы позволяют подойти к изложению проверочного расчёта площади ЛСК.

### 2.1.3. Расчёт требуемой площади лёгкосбрасываемых конструкций

В настоящее время существуют несколько способов определения требуемой площади ЛСК:

#### 2.1.3.1. Расчёт площади ЛСК по параметрам взрыва, (по уравнению горения)

Условие безопасности:

$$F_{ЛСК.Ф} \geq F_{ЛСК.ТР}$$

Как правило,  $F_{ТР.ЛСК}$  рассчитывается на единицу объёма площади:

$$F_{ЛСК.ТР} = f_{ЛСК.ТР} \cdot W_{ном}$$

В методике расчёта приняты следующие предпосылки и допущения:

- смесь равномерно распределяется по всему объёму помещения или его части с концентрацией близкой к стехиометрической;
- горение смеси распространяется по среде;
- до момента вскрытия ЛСК повышение давления происходит как в замкнутом объёме;
- принимается, что ЛСК разрушаются мгновенно при достижении давления  $\Delta P_{дон}$ ;
- процесс истечения газов через проёмы помещения – адиабатический.

Тогда требуемая площадь ЛСК определяется по уравнению:

$$F_{ЛСК.ТР} = f_{ЛСК.ТР} \cdot W_{ном}$$

Удельная площадь ЛСК определяется как:

$$f_{ЛСК.ТР} = \frac{\Delta W_6}{W_{ист}} \cdot \tau_6$$

при  $\frac{\Delta W_6}{W_{ном}} = \Delta \omega_6$  - [величина избыточного объёма продуктов взрыва на 1 на м<sup>3</sup> объёма помещения.

$$f_{ЛСК.ТР} = \frac{\Delta \omega_6}{W_{ист}} \cdot \tau_6$$

Все значения, используемые в уравнениях вам знакомы по предыдущему разделу. Алгоритм определения  $F_{ЛСК}$  изложен на странице 282 [4].

### 2.1.3.2. Расчет $F_{ТР.ЛСК}$ по СН 502-77

Обозначения в приводимом расчёте соответствуют обозначениям в СН 502-77. Для удобства восприятия приводится идентификация их с обозначением аналогичных величин в п. 2.1.-2.4. настоящей лекции.

Исходные данные для расчёта.

- $\Gamma$  – нормальная скорость горения взрывоопасной смеси, м/с, принимается по прил. 1 СН 502-77.
- $\mathcal{E}_p$  – расчетная площадь расширения продуктов горения, определяется в соответствии с п. 3.1. СН 502-77.
- $P$  – объём помещения, м<sup>3</sup>, определяется по проекту.
- $V$  – объём взрывоопасной смеси, м<sup>3</sup>, определяется в соответствии п. 3.1. СН 502-77.
- $E$  – количество поступивших в помещение веществ, г, определяется по НПБ 105-95.
- $C$  – стехиометрическая концентрация взрывоопасной смеси, г/м<sup>3</sup>, принимается по прил. 1 СН 502-77.
- $P_0$  – атмосферное давление, 10<sup>4</sup> кгс/м<sup>2</sup>.
- $a$  – коэффициент заполнения объёма помещения взрывоопасной смесью, принимаемый по прил. 2 СН 502-77 в зависимости от  $V$ .
- $D$  – вес 1 м<sup>2</sup> легкосбрасываемого элемента с учетом постоянных и временных длительных нагрузок, кг, по проекту.
- $\Phi$  – площадь легко сбрасываемого элемента, по проекту, для элементов площадью менее 1 м<sup>2</sup> – условно равной 1 м<sup>2</sup>.

#### Алгоритм расчёта

1. Определение расчётной степени расширения продуктов горения:

$$\mathcal{E}_p = \mathcal{E} \cdot a + 1$$

2. Определение давления взрыва на горизонтальную поверхность, кгс/м<sup>2</sup>, - осуществляется по прил. 3 СН 502-77 в зависимости от  $\Gamma$  (м/с),  $P$  (м<sup>3</sup>),  $D$  (кгс/м<sup>2</sup>):

$$P^{\Gamma} = 285 \cdot \Gamma + 2 \cdot D + 0,75 \cdot \Gamma \cdot D + 7 \cdot 10^{-7} \cdot P - 110$$

3. Расчёт давления взрыва на горизонтальные ЛСК (кроме стёкол), кгс/м<sup>2</sup>

$$P_p^{\Gamma} = P^{\Gamma} \cdot [1 + 0,25 \cdot \sqrt{\Phi - 1}]$$

4. Расчет давления взрыва на вертикальные ЛСК (кроме стекла), кгс/м<sup>2</sup>:

$$P_p^e = 0,75 \cdot P^r \cdot [1 + 0,25 \cdot \sqrt{\Phi - 1}]$$

5. Определение давления взрыва на листовое стекло независимо от расположения его в пространстве, кгс/м<sup>2</sup>:

$$P_p^{cm} = P^{cm} \cdot Y$$

где:  $P^{cm}$  - давление, разрушающее листовое стекло с соотношением сторон 1:1 при двойном остеклении, кгс/м<sup>2</sup>, (принимается по табл. 2 СН 507-77

$Y$  - коэффициент условий работы (учитывает соотношение сторон стекла, вид остекления); (принимается по табл. 2).

6. Расчёт требуемой площади ЛСЕ на 1 м<sup>3</sup> объёма помещения, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>.

$$K = \frac{0,0032 \cdot \Gamma \cdot \Xi_p \cdot \sqrt[3]{(\Xi_p - 1) \cdot (P_p + P_0)}}{\sqrt{P_p} \cdot \sqrt[3]{P_e \cdot \Pi}}$$

Расчёт требуемой площади горизонтальных ЛСК ( $K^r$ ), вертикальных ЛСК ( $K^B$ ), оконного стекла ( $K^{CT}$ ) производится по п. 3.2.-3.4. СН 502-77.

7. Расчёт требуемой общей площади остекления, м<sup>2</sup>:

$$\Phi_{cm}^{mp} = K_{cm} \cdot \Pi$$

8. Определение требуемой площади дополнительных к остеклению горизонтальных ЛСК, м<sup>2</sup>:

$$\Phi_D^r = (\Phi_{mp}^{cm} - \Phi_{np}^{cm}) \cdot \frac{K^r}{K_{cm}}$$

**ВЫВОД:** Знание расчётных методов проверки площади ПК (ЛСК) позволяет проводить качественную экспертизу ПВЭ зданий и сооружений.