Лекция №1

1. Содержание и задачи курса «Взрывоустойчивость зданий»
2. Внутренние и внешние аварийные взрывы по отношению к рассматриваемому объекту.
3. Формирование взрывных нагрузок при внутреннем и внешнем аварийных взрывах.

Взрывоопасные установки и взрывоопасное оборудование могут находиться на открытом пространстве, а также и внутри здания. При утечке взрывоопасного вещества на открытом пространстве может образоваться облако из паров горючего вещества, перемешанного воздухом. Взрывы таких облаков могут вызвать значительные разрушения объектов, расположенных в непосредственной близости. Особенно опасны взрывы в открытой атмосфере для зданий, в которых расположены люди и дорогостоящее оборудование. Обоим этим условиям соответствуют здания пунктов управления (операторные), в которых находятся и люди и дорогое оборудование. Основная опасность кроется в хрупком разрушении несущих конструкций под действием взрывных нагрузок. Хрупкое разрушение вызывает катастрофические обвалы тяжелых строительных конструкций. Эти обвалы и являются основным поражающим фактором. И так, при внешнем взрыве взрывное воздействие приходит на объект извне (рис 1) и на параметры такого взрыва воздействовать очень сложно. Основной задачей при обеспечении взрывоустойчивости зданий, подверженных внешнему взрыву является путем расчета и проектирования несущих конструкций избежать потери ими несущей способности и тем самым предотвратить обрушение тяжелых конструкций. При внутреннем аварийном взрыве взрывоопасная смесь образуется внутри здания, и взрывная нагрузка на конструкции формируется здесь же непосредственно во время взрыва. Будем рассматривать (при внутреннем взрыве) только квазистатические взрывы, то есть такие взрывы, при которых давление во всех точках объема одно и тоже и изменяется по времени только по мере развития взрыва. То есть взрыв носит не волновой характер. Такая ситуация имеет место при скоростях горения значительно меньше скорости звука. 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), то есть и на боковые ограждения, и на пол, и на верхние (потолочные) перекрытия действует одна и та же величина избыточного давления. Это давление распирает наружу ограждающие конструкции, и если ограждающие конструкции в каком-нибудь ослабленном месте потеряют целостность, например, стекла остекления, то в этом месте наружу начинают истекать газы из помещения, ведь здесь было повышенное давление. Это истечение приводит к понижению давления внутри помещения, что необходимо учитывать при расчете здания на взрывоустойчивость.

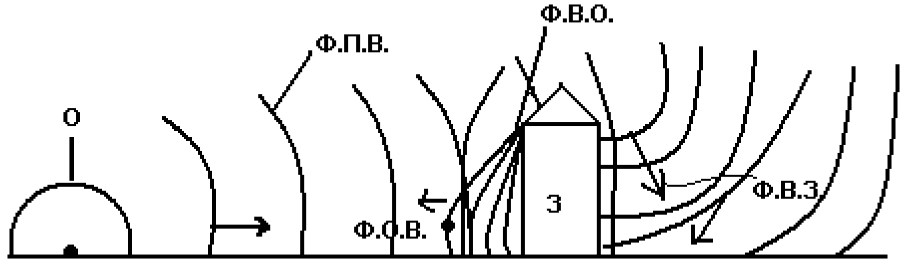

Рис. 1 схема воздействия внешнего взрыва на здание.
О – взорвавшееся облако; З – здание, подвергнутое действию взрыва; ФПВ – фронт падающий волны; ФОВ – фронт отраженной волны; ФВО – фронт волны обтекания; ФВЗ – фронт волны затекания.

Итак, задачей, которую необходимо решить для обеспечения взрывоустойчивости зданий при внутреннем взрыве является обеспечение несущей способности несущих конструкций при взрыве путем расчета и проектирования и при этом необходимо обеспечить снижение нагрузок за счет сброса давления из помещения вследствие разрушения слабых мест в ограждающих (не несущих) конструкциях рис.2.

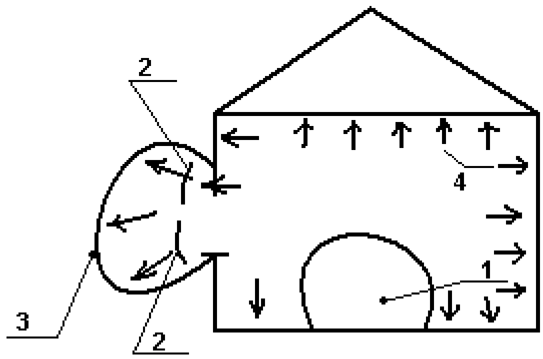

Рис.2. Внутренний взрыв. 1) Взрывное горение в очаге взрыв. 2) Фрагменты разрушенных ограждающих конструкций и образование проема для истечения газов. 3) Истекающие газы. 4) Внутреннее давление взрыва на ограждающие конструкции.

При внешнем взрыве нагрузка на здание формируется в результате взаимодействия подошедшей волны с поверхностью здания. Это взаимодействие сводится к следующим явлениям: 1) Отражение падающей волны от поверхности здания, расположенной ближе других к источнику взрыва. Обычно считается, что отражение нормальное, то есть вектор скорости волны перпендикулярен к фронтальной поверхности (поверхности, обращенной к взрыву). В отраженной волне давление больше, чем в падающей волне. Отраженная волна движется навстречу падающей и газ в ней покоится. 2) Обтекание. Режим обтекания устанавливается в результате расширения газа из области отражения в область проходящей волны. Область повышенного давления образуется только в окрестности фронтальной стены, где волна взаимодействует с твердой поверхностью. Чуть выше и в бок от фронтальной стены волна распространяется, не встречая помех, и первоначальное давление в ней не изменяется, что вызывает разность давлений, и поэтому из зоны отражения газ вверх и в бока будет расширяться (в область более низкого давления) и давление в зоне отражения будет падать и в конце концов понижение давления дойдет до середины нижней части фронтальной стены. С этого момента начинается полное обтекание.

Время установления обтекания – $\tau_{об.} = min \begin{cases} \frac{B}{2C} \\ H/C \end{cases}$

Где В – ширина фронтальной стены, Н – высота фронтальной стены, С – скорость звука в отраженной зоне.

3) Зона скольжения. Формируется на боковых поверхностях и на верхней поверхности (покрытии). Давление на эти поверхности совпадает с давлением в проходящей волне.

4) Так как через сечение занятое (перекрытое) зданием волна не проходит, то в этой зоне газ остается не возмущенным до тех пор, как с боковых поверхностей и с покрытия в эту зону не расширится газ из зоны скольжения, после того как волна пройдет от фронтальной стороны полностью путь, равный длине здания (размер здания по направлению движения волны). В этот момент граница зоны скольжения будет граничить с областью невозмущенного газа, и в эту область устремится волна сжатия. В некотором смысле процесс затекания противоположен процессу установления обтекания. При внешнем аварийном взрыве возможны два режима взрывного превращения газов: 1) детонация 2) дефлаграция. При детонационном режиме, процесс происходит со сверхзвуковой скоростью $M = \frac{D}{C_0} = 3,5 \div 5$; **D** – скорость детонации, **C_0** – скорость звука в невозмущенном газе, взрывная волна переходит в воздух только после того, как фронт детонации дойдет до края облака (рис 3).

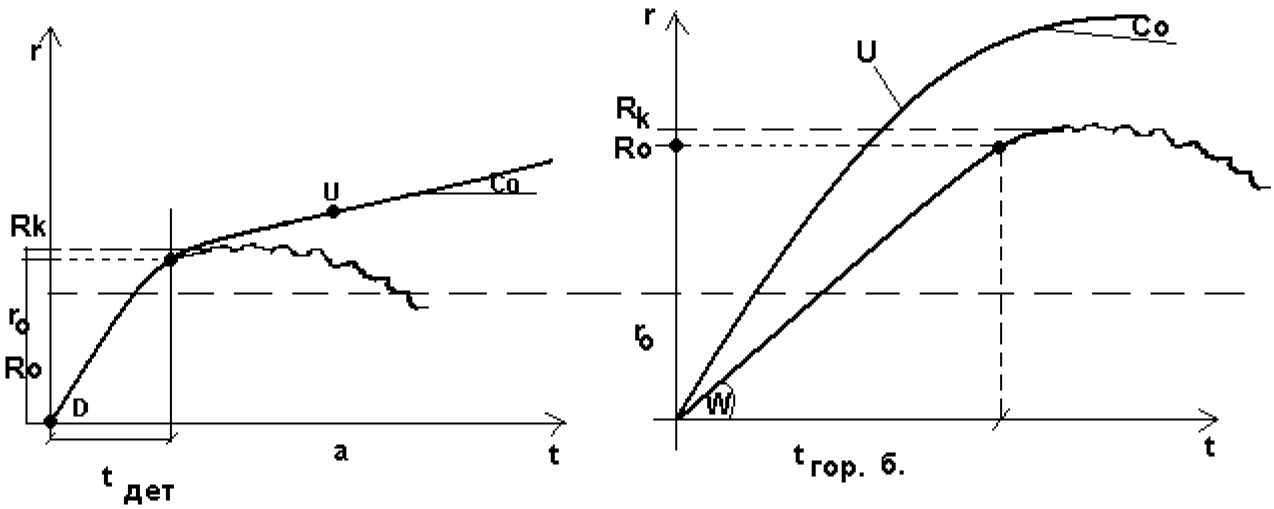

Рис 3. r-t диаграмма для а) детонационного и б) дефлаграционного взрывов. r_0 – начальный радиус полусферического взрывоопасного облака. **R_0** – конечный радиус облака после взрыва **$r_0 = R_0$** при детонации, $R_0 = \sqrt[3]{\sigma} r_0$ - при дефлаграции; **$R_к$** – конечный радиус продуктов сгорания после адиабатического расширения до **P_0**. **D** – скорость детонации, **W** – скорость пламени, **U** – переменная скорость фронта воздушной волны, которая стремится к скорости звука **C_0** при $r \to \infty$. Для динамического расчета конструкций на действие взрывной нагрузки необходимо знать закон изменения давления в волне со временем, то есть знать профиль волны для волн в трехмерном пространстве обязательно существование двух фаз: фаза сжатия и фаза разряжения: рис. 4

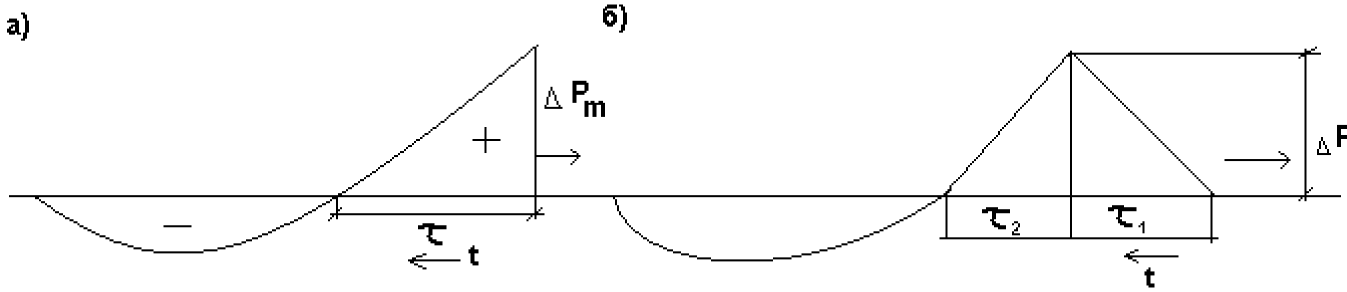

Рис 4. Профиль волны а) с ударным фронтом б) с нарастанием давления. Профиль волны записывается датчиком при прохождении волны мимо данной точки пространства.

Максимальное давление в волне при дефлаграционном взрыве:

$$\Delta Pm = \left\{ \left[1 + \frac{3}{2}(\gamma - 1)\frac{\alpha^2}{1+\alpha}\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} - 1 \right\} \frac{P_0 * R_0}{R} \qquad (1)$$

$W = U_Г * \sigma \left(м/сек. \right)$ **Uг – скорость горения при взрыве** $м/сек.$

$\alpha = \frac{W}{C_0}; \sigma = \frac{\rho_0}{\rho_1}$ - степень расширения при горении. σ = 7.

$$R_0 = r_0 (\sigma)^{1/3} м.; r_0 = \left(\frac{3M_0 Z}{2\pi C_{ст}} \right)^{1/3} м. \qquad (2)$$

M_0 - масса горючего вещества, перешедшего в облако (кг)
Z – коэффициент участия во взрыве. **Z = 0.1-0.5** для перегретых жидкостей. **Z** растет со степенью перегрева. **Z = 0.1** для низкокипящих жидкостей (С.П.Г.)**. Z = 0.02-0.1** для ЛВЖ и ГЖ.
R – расстояние, на котором находится объект (м)
η - стехиометрическая концентрация горючего в воздухе (кг/м), для паров углеводородов η = 0.08(кг/м^3).

При $R \le R_0$ считаем, что $\frac{R_0}{R} = 1$.

Время нарастания давления в волне τ_1 и время спада τ_2, определяются в зависимости от размеров облака и скорости пламени.

$\alpha = 0,2 \quad \tau_1 = (1-\alpha)\frac{R_0}{W} = 2,2 * 10^{-2} r_0 сек; \quad \tau_2 = 1,75 * 10^{-3} r_0 сек.$

$\alpha = 0,3 \quad \tau_1 = 1,3 * 10^{-2} r_0 сек; \quad \tau_2 = 2,2 * 10^{-3} r_0 сек.$

$\alpha = 0,4 \quad \tau_1 = 8,2 * 10^{-3} r_0 сек; \quad \tau_2 = 2,5 * 10^{-3} r_0 сек.$

$\alpha = 0,5 \quad \tau_1 = 5,5 * 10^{-3} r_0 сек; \quad \tau_2 = 2,8 * 10^{-3} r_0 сек.$

$\alpha = 0,6 \quad \tau_1 = 3,60 * 10^{-3} r_0 сек; \quad \tau_2 = 3,0 * 10^{-3} r_0 сек.$

$\alpha = 0,7 \quad \tau_1 = 2,3 * 10^{-3} r_0 сек; \quad \tau_2 = 3,1 * 10^{-3} r_0 сек.$

$\alpha = 0,8 \quad \tau_1 = 1,4 * 10^{-3} r_0 сек; \quad \tau_2 = 3,25 * 10^{-3} r_0 сек.$

Скорость взрывного горения $U_г$ зависит от многих факторов и прежде всего от характера пространства, в котором формируется взрывоопасное облако; а конкретнее, от степени загроможденности этого пространства оборудованием и другими предметами. Обычно эта величина бывает точно неизвестна, поэтому принимаются ориентировочные значения для блокирующих отношений.

В.О.= $\frac{\textit{Площадь закрытая оборудованием}}{\textit{общая площадь}}$;

В.О.=0.5 для самых загроможденных пространств (этажерки с большим количеством оборудования и переплетением труб)

В.О.=0.4 для установок перегонки нефти
В.О.=0.3 для складов нефтепродуктов

Предельная (максимальная) скорость оценивается из выражения:

$$W = \min \begin{cases} K * M_0^{1/6} \; м/сек \\ 100 \, U_н \sigma \, (В.О.* в)^{0,312} \; м/сек \end{cases} \qquad (3)$$

Uн – скорость ламинарного горения для рассматриваемого горючего м/сек
M₀ – масса горючего вещества перешедшего в облако (кг)
K = 43 для углеводородов и других интенсивно горящих горючих
K = 26 для вяло горящих горючих
в – характерный поперечный размер для элементов рассматриваемой установки M_0
$\sigma \approx 6,5 \div 7$ степень расширения при горении.

Давление отражения определяется из соотношения:

$$\Delta\overline{P}_{от} = 2\Delta\overline{P}_m + \frac{(\gamma+1)\Delta\overline{P}_m^2}{2\gamma + (\gamma-1)\Delta\overline{P}_m}; \qquad (4)$$

Где $\gamma = 1{,}4;\quad \Delta\overline{P}_{от} = \frac{\Delta P_{от}}{P_0};\quad \Delta\overline{P}_m = \frac{\Delta P_m}{P_0}$

Профиль волны при отражении принимается неизменным, а точнее $\tau_1 = \tau_{1\,отр}$, $\tau_2 = \tau_{2\,отр}$ то есть и время нарастания давления и время спада давления в положительной фазе при отражении сохраняются.
При внутреннем взрыве формирование взрывной нагрузки зависит не только от характера взрывного горения, но и от скорости вскрытия проемов в ограждающих конструкциях. Через эти проемы происходит истечение газов, что приводит к разгрузке давления. Для обеспечения взрывоустойчивости зданий очень важно подобрать тип и площадь той части ограждающих конструкций, которые должны вскрываться в ходе протекания взрыва. Эти конструкции в дальнейшем будут называться легкосбрасываемыми конструкциями или ЛСК. При всей причудливости характера изменения давления при внутреннем взрыве тем не менее можно отметить фазу нарастания и фазу спада давления (рис 5)

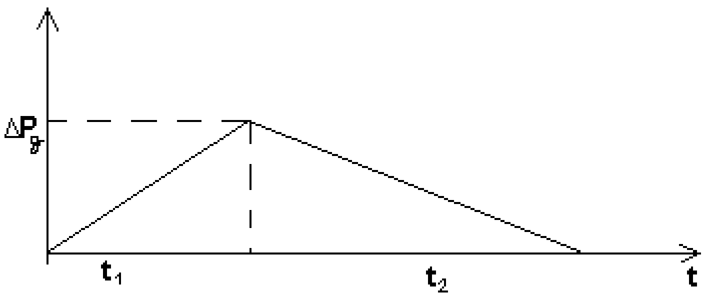

Рис.5 Приближенная зависимость изменения давления при внутреннем взрыве.
Здесь - допускаемое давление. Давление, которое не может быть превышено во время взрыва. Оно определяется несущей способностью несущих конструкций здания.