

Лекция №6

- 1) Вскрытие нерулонных ЛСК. Определение коэффициента вскрытия и формы нагрузки.
- 2) Вскрытие стекол остекления. Определение коэффициента вскрытия и формы нагрузки.

При горении в герметичном объеме давление вскрытия (ΔP_B) достигается ко времени t_B

$$t_B = \frac{1}{U_r \sigma} \left(\frac{3\sigma V_0}{4\pi\beta} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\Delta P_B}{\Delta P_m} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

Если взрывное горение инициируется в разгерметизированном объеме, то изменение давления будет контролироваться 2 процессами: 1) Горение – повышает давление;

2) Истечение газов через негерметичности – снижает давление. При $\frac{\Delta P_B}{\Delta P_m} < 1$

$$\frac{d\Delta P}{P_0 dt} = \frac{U_r(\sigma - 1)A_n - S_{0m} \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_1}} [\xi + (1 - \xi)\sqrt{\sigma}]}{\frac{V_1}{\gamma_1} + \frac{V_2}{\gamma_2}} \quad (2)$$

В случае вскрытия инерционных ЛСК, давление после начала вскрытия продолжает расти от ΔP_B до $\Delta P_1 = \Delta P_d$.

Эффективными считаются ЛСК, которые вскрываются полностью к моменту достижения ΔP_d и не допускают дальнейшего роста давления.

Представим уравнение (2) совместно с уравнением движения вскрываемой ЛСК в окрестности точки начала вскрытия ($\Delta P_B, t_B$).

Анализ проводится в следующих переменных:

$$\pi = \frac{\Delta P - \Delta P_B}{\Delta P_B} \Rightarrow \frac{\Delta P}{\Delta P_B} = 1 + \pi \quad (3)$$

$$\theta = \frac{t - t_B}{t_B} \Rightarrow \frac{t}{t_B} = 1 + \theta$$

В этих переменных уравнение 2 и уравнение движения ЛСК:

$$\frac{d\pi}{d\theta} = \frac{3\gamma(\sigma - 1)}{E - 1} \left(K_{\phi 1} \left(1 + \frac{\sigma^*}{\sigma} \theta \right)^2 - \frac{t_B}{\sigma - 1} \frac{\Delta P_m}{\Delta P_B} \frac{\sum S_{0i} n_i \bar{\chi}}{3V_0} \sqrt{\frac{2\Delta P_B}{\rho_{i1}}} (1 + \pi) \right) \quad (4)$$

$$\frac{d^2 x}{d\theta^2} = \frac{\Delta P_B t_B^2 \Pi}{M} (1 + \pi) \quad x = \frac{S_0 \bar{x}}{\Pi} \quad (5)$$

$E = \frac{P_m}{P_0}$ - максимальная степень сжатия при горении в условиях $V = \text{const}$

$K_{\Phi 1}$ – коэффициент, учитывающий отклонение формы пламени от сферической в результате вытягивания фронта пламени в сторону открывающегося проема. При условии $\theta < 1$ и $\pi < 1$ $K_{\Phi 1} \approx 1$, σ^* - эффективная степень расширения продуктов сгорания при их

истечении через проемы $\sigma^* \approx \frac{\sigma + 1}{2}$; $\sigma = \frac{\rho_1}{\rho_2}$ - физическая степень при горении, t_B - время

от начала взрыва до начала вскрытия; форма пламени при $t < t_B$ сферическая, так как $\Delta P_B / \Delta P_m < 1$.

S_n - общая площадь n открытых проемов,

M_i - масса всасывающегося ЛСК (кг)

x - смещение ЛСК, при вскрытии $0 \leq x < S_0 / \Pi$

Π - периметр проема $\Pi = 2(a+b)$, где a и b - стороны проема.

Для легких ЛСК и для смесей с невысокой скоростью горения давления в процессе вскрытия ЛСК растет незначительно так, что имеет место $\pi < 1$, $\theta < 1$.

Если теперь вспомнить, что $\sum S_{oi} n_i = S_{on}$ и определяется

$$S_{on} = \frac{0,1 U_r (\sigma - 1) AB \left(1 + \frac{L}{5A} \right) \rho_1^{1/2}}{\sqrt{\Delta P_\partial} K_{\Phi 1}} \quad (6)$$

то уравнение (4) преобразуется к виду:

$$\frac{d\pi}{d\theta} = \frac{3\gamma(\sigma - 1)}{E - 1} \left[K_{\Phi 1} \left(1 + \frac{\sigma^*}{\sigma} \theta \right)^2 - \frac{AB \left(1 + \frac{L}{5A} \right) (a + b) \Delta P_B}{\pi U_r^2 M K_{\Phi 2}} \left(\frac{\Delta P_B}{\Delta P_\partial} \right)^{1/2} \left(\frac{\rho_1}{\rho_i} \right)^{1/2} \theta^2 \right] \quad (7)$$

Из (7), при условии максимума давления $\frac{d\pi}{d\theta} = 0$, имеет место: $\theta_m = \frac{1}{\sqrt{A_3} - 1}$ (8)

Где θ_m - время вскрытия инерционного ЛСК до наступления пика давления

$$A_3 = \frac{K_{\Phi T} V_0^{2/3} (a+b) \Delta P_B K_{И1}}{4\pi U_{\Gamma}^2 \sigma^2 M K_{И2} K_{\Phi 1}} \left(\frac{\Delta P_B}{\Delta P_0} \right)^{1/2} \quad (9)$$

A_3 -параметр, характеризующий эффективность вскрытия ЛСК.

Интегрирование (7) дает для максимального давления на пике:

$$A_M = 2\theta_M(10)$$

При вскрытии достаточно инерционных ЛСК отбрасывать члены порядка π при анализе уравнений (2) и (5) нельзя, поэтому в этом случае принимается $\pi \approx K_{12} \Delta P_d / \Delta P_B$. Параметр эффективности вскрытия A_3 в этом случае имеет вид:

$$\pi \approx K_{12} \Delta P_d / \Delta P_B \quad (11)$$

K_{12} -параметр, учитывающий замену среднего значения π во время вскрытия на максимальное значение. Точное значение этого параметра зависит от каждого конкретного случая. В дальнейшем используется усредненное значение $K_{12}=0.7$

Отметим разницу в выражениях (9) и (11). Выражение (9) характеризует требование к ЛСК, чтобы во время вскрытия давления не поднималось бы выше чем в 1,5 раза по сравнению с ΔP_B и это требование удовлетворяется при $A_3 > 25$, при этом полное вскрытие проема закрываемого ЛСК не обязательно.

Параметр A_3 , определяемый выражением (9) используется только при определении профиля взрывной нагрузки, а именно времени нарастания давления.

Выражение (11) определяет по существу коэффициент вскрытия, то есть величину:

$$\pi \approx K_{12} \Delta P_d / \Delta P_B \quad (12)$$

где S_{Φ} -фактически открытая площадь к моменту достижения поверхности пламени максимальной площади,

S_0 -площадь полностью открытого проема.

Для наиболее инерционных ЛСК $K_{вскр}$ может быть меньше единицы. Поэтому действительная площадь, через которую происходит истечение газов, равна:

$$S_{\Phi} = K_{вскр} S_0 \quad (13)$$

Таким образом, если обратиться к рис. 1, то можно

сформулировать следующее правило:

1. для инерционных ЛСК время нарастания давления до значения ΔP_d , а затем и время спада определяется $\tau_1 = 4\tau_B$, если $\Delta P_B < \frac{1}{3}\Delta P_d$ и $A_э < 25$ (см.9); $\tau_2 = 2,5\tau_B$

$$2. \tau_1 = \frac{\tau_B}{2}, \tau_2 = 6\tau_B, \text{ если } K_{вскр} < 0,3 \text{ (см.11)}, \Delta P_B \leq \frac{\Delta P_d}{2} \quad (15)$$

3. при промежуточных значениях $A_э$ и $K_{вскр}$ время нарастания давления определяется интерполяцией.

Для инерционных ЛСК, устроенных так, что эффективность вскрытия зависит от действия силы тяжести, необходимо учитывать как снижение эффективности при движении ЛСК против действия силы тяжести и повышение эффективности при движении ЛСК, когда сила тяжести действует в направлении движения ЛСК. влияние действия силы тяжести учитывается коэффициентом $K_{св}$ - коэффициентом собственного веса.

1. для смещающихся ЛСК, устраиваемых в покрытии взрывоопасного помещения:

$$K_{C.B.} = 1 - \frac{M * g}{S_0 \Delta P_B} \quad g = 9,81 \frac{m}{c^2} \quad (16)$$

2. для ЛСК, вращающихся вокруг верхнего шарнира

$$K_{C.B.} = 1 - \frac{0,6M * g}{S_0 \Delta P_B} \quad (17)$$

3. для ЛСК, вращающихся вокруг нижнего шарнира

$$K_{C.B.} = 1 + \frac{0,3M * g}{S_0 \Delta P_B} \quad (18)$$

Действительный коэффициент вскрытия определяется как

$$K_{Д.Вс.} = K_{Вс} * K_{C.B.} \quad (19)$$

где $K_{Вс}$ выбираем согласно (14)

В качестве безынерционных ЛСК рассматриваются стекла остекления. 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. Для двойного остекления коэффициент вскрытия меньше, чем для одинарного. Все эти зависимости представлены в таблице.

Таблица 1 Зависимость коэффициента вскрытия стекол от приведенного давления ΔP_{∂}^* для одинарного остекления.

ΔP_{∂}^*	K_{ec}	ΔP_{∂}^*	K_{ec}	ΔP_{∂}^*	K_{ec}	ΔP_{∂}^*	K_{ec}
3	0,00	7	0,161	11	0,66	15	0,915
4	0,005	8	0,27	12	0,762	16	0,93
5	0,03	9	0,399	13	0,837	17	0,936
6	0,08	10	0,534	14	0,886	18	0,94

Таблица 2 для двойного остекления

ΔP_{∂}^*	K_{ec}	ΔP_{∂}^*	K_{ec}	ΔP_{∂}^*	K_{ec}	ΔP_{∂}^*	K_{ec}
7	0,00	13	0,202	19	0,721	25	0,924
8	0,004	14	0,267	20	0,782	26	0,931
9	0,014	15	0,38	21	0,831	27	0,935
10	0,036	16	0,474	22	0,867	28	0,938
11	0,074	17	0,564	23	0,894	29	0,939
12	0,13	18	0,648	24	0,912	30	0,94

$$\Delta P_{\partial}^* = \frac{\Delta P_{\partial}}{K_{S,h} * K_L}$$

ΔP_{∂} – допускаемое давление в кПа

$K_{S,h}$ - коэффициент, учитывающий площадь и толщину остекления

K_L -коэффициент, учитывающий форму проема

$L=b/a$, где $a>b$

Таблица 3

h _{ст} , мм	Величина $K_{S,h}$ при $S_0, \text{м}^2$											
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5
3	0,76	0,55	0,435	0,37	0,32	0,28	0,255	0,235	-	-	-	-
4	1,4	0,86	0,65	0,55	0,48	0,42	0,375	0,335	0,305	0,26	-	-
5	-	1,3	0,98	0,78	0,66	0,57	0,5	0,45	0,41	0,34	0,285	0,25

Таблица 4

Л	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
K_L	1,25	1,11	1,04	1,01	1	1,01	1,06	1,15

При внутреннем аварийном взрыве в случае квазистатического характера его протекания (здесь рассматриваются только такие взрывы) взаимодействие среды с ограждающими конструкциями осуществляется непосредственно оказанием давления на поверхности ограждающих конструкций. Посредством связи, усилия от ограждающих конструкций передаются на другие конструкции: колонны, ригели, балки и т.д.

При использовании остекления в качестве ЛСК, нагрузка формируется по правилу:

- 1) При вскрытии остекления (разрушения стекол или других хрупких мембран) должно выполняться условие: коэффициент вскрытия остекления должен быть таким, что $K_{вс} > 0,5$ при $\Delta P_B < 0,5 \Delta P_d$ $\tau_1 = 4\tau_B$, $\tau_2 = 2,5\tau_B$
- 2) При $K_{вс} < 0,3$ при $\Delta P_B = 0,5 \Delta P_d$ $\tau_1 = \frac{\tau_B}{2}$, $\tau_2 = 6\tau_B$
- 3) При промежуточных значениях $K_{вс}$ время нарастания давления определяется интерполяцией.