

Лекция №8

Расчёт на взрывные нагрузки металлических стержневых элементов.

- 1 Особенности динамической нагрузки.
- 2 Момент сопротивления изгибу при упругой и пластической деформации.
- 3 Координата критического сечения. Уравнения моментов и предельная нагрузка.
- 4 Пример расчёта.

По схеме отдельных элементов рассчитываются конструкции не входящие в несущую систему здания: плиты ограждений, плиты покрытий и т.п. Их расчёт производится на местное действие нагрузки. Конструкции, входящие в несущую систему здания, рассчитываются как на местное действие нагрузки, как на отдельные элементы (колонна), так и на общее действие взрыва с учётом работы данного элемента в несущей системе всего здания. Для одноэтажных зданий достаточно расчёта всех конструкций на местное действие нагрузки, и общая устойчивость здания будет обеспечена.

Несущие конструкции покрытий зданий при внешнем взрыве в фазе сжатия и нижнего перекрытия взрывоопасных помещений при внутреннем взрыве рассчитываются на действие нагрузки:

$$q_i = q_{st} + P_{ni} \quad (1)$$

P_{ni} – эквивалентная статическая нагрузка, определяемая в зависимости от предельного состояния

$$P_{ni} = k d_i \Delta P_m$$

При внутреннем взрыве расчёт несущих конструкций покрытия и верхнего перекрытия взрывоопасных помещений производится по направлению действия динамической нагрузки. При деформировании “снизу-вверх” ($\uparrow$) и по направлению статической нагрузки (при деформировании “сверху-вниз”) ($\downarrow$). Если $P_{ni\uparrow} > q_{st}$ то конструкция рассчитывается “снизу-вверх” ($\uparrow$) на действие нагрузки, равной:

$$g_i\uparrow = P_{ni\uparrow} - g_{st} \quad (2)$$

Опорные крепления всех элементов (плит, ригелей) рассчитываются на действие отрывающих сил, вызываемых нагрузкой (2).

Если при расчёте по первой группе предельных состояний с коэффициентом динамичности $k d_1$ при деформации конструкций “снизу-вверх” в пластической стадии не снижает её несущую способность при последующем деформировании в обратном

направлении “снизу-вверх”, то расчёт остаётся приемлемым. Для железобетонных конструкций возможно образование трещин в бетонно-растянутой зоне при деформации “снизу-вверх”, так как конструкции обычно рассчитаны на нагрузку “сверху-вниз” и далее при обратном деформировании конструкция уже не выдерживает нагрузку “сверху-вниз” (эксплуатационную). В этом случае при расчёте деформации (снизу-вверх) коэффициент динамичности следует брать k_d2 .

При деформации под действием изгибающего момента в конструкции возникает внутренний момент сопротивления. Его значение определяется согласно:

$$M_{BC} = R_s W \quad (3)$$

R_s – сопротивление материала (стали) растяжению

W – момент сопротивления сечения изгибу

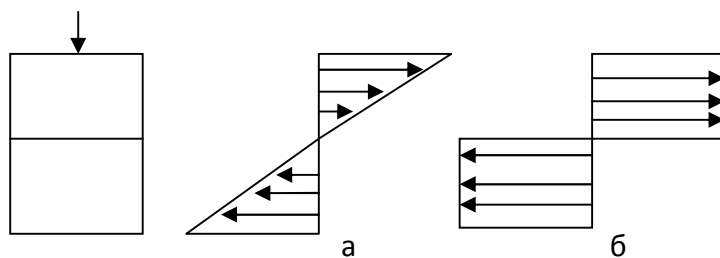


Рис.1

При упругих деформациях разные волокна сечения имеют разные значения сопротивления. При чисто упругой деформации Рис 1(а) крайнее (дальнее от нейтральной плоскости, проходящей через центр тяжести сечения) волокна деформированы и сопротивляются быстрее. При полностью пластичной деформации сопротивление всех волокон одинаково Рис 1(б).

В случае пластичной деформации:

$$M_{пв} = \gamma_d R_{SR} W_{п} \quad (4)$$

γ_d – коэффициент динамического упрочнения

R_{SR} – сопротивление

$W_{п}$ – пластический момент сопротивления сечения изгибу

Пример 1. Определить внутренний момент сопротивления для двутавра 40К2

$L_p = 4\text{ м}$

$\rho = 210,96 \text{ кг/м}^3$

$$W_{\Pi} = 3207 \text{ см}^3$$

$$g = 64140 \text{ см}^4$$

Оба конца заземлены. Материал ст.345, нормативное сопротивление соответствующее статическому пределу текучести равно $R_{СП} = 325 \text{ МПа}$, расчётное сопротивление $R_{SP} = 315 \text{ МПа}$. Гост 27772-88*

ун – снп 11-23-81*

$$E_y = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

$$\zeta_1 = 0,03 \text{ сек.}$$

Частота колебаний конструкции:

$$W = \frac{\alpha^2}{\lambda^2} \sqrt{\frac{IE}{\rho}} = \frac{22,4}{4^2} \sqrt{\frac{64 \cdot 140 \cdot 10^{-8} \cdot 2,1 \cdot 10^{11}}{210,96 \cdot k_1}} = \frac{1118,7}{\sqrt{k_1}} \text{ сек}^{-1}$$

k_1 – учитывает массу, присоединённую к двутавру.

$$k_1 = 4, \text{ то } \omega = 1118,4/4 = 280 \text{ сек}^{-1}$$

При $\zeta_1 > \pi/10 = 0,011 \text{ сек}$

$$\dot{E} = \frac{E_y}{\zeta_1} = \frac{325 \cdot 10^6 \cdot 10^2}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 3} = 51,1 \cdot 10^{-3} \text{ сек}^{-1}$$

Коэффициент динамичности:

$$\gamma_d = 1 + (51,1 \cdot 10^{-3} / 40)^{1/5} = 1,26$$

Динамическое сопротивление материала:

$$R_{SD} = \gamma_d R_{SP} = 1,26 \cdot 315 = 397 \text{ МПа}$$

Внутренний предельный момент сопротивления сечения конструкции:

$$M_{ВП} = W_{\Pi} \cdot 397 = 3207 \cdot 10^{-6} \cdot 397 = 1270 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Максимальная нагрузка $g_i < 952,5 \text{ кН}$

При ширине сбора нагрузки $b = 6 \text{ м}$, максимальное статическое давление:

$$\Delta P_{ST} = 952,6/6 = 158,75 \text{ кПа}$$

Максимальное давление отражения в волне:

$$\Delta P_{\text{ОТР}} = \Delta P_{\text{СТ}}/kd1 = 158,75/0,8 = 198 \text{ кПа}$$

$$kd1 = 0,8 \text{ при } \zeta_1=8,4 \text{ и } \zeta_1/\zeta_2 = 1$$

Максимальное давление в проходящей волне определяется из выражения:

$$P'_{\text{ОТР}} = 2P'_s + 2,4P'^2_s/(2,8 + 0,4 P'_s)$$

$$P'_{\text{ОТР}} = 1,98$$

$$P'_s = 0,754$$

$$P_s = 76,2 \text{ кПа}$$

При пластических деформациях образуются пластические шарниры, в результате происходит перераспределение усилий в конструкции и при этом относительная координата критического сечения $Y = a/l$.

a – расстояние от правой опоры

l – длина пролёта

Уравнение моментов:

$$(M_{и,1}^{(сир)} - M_{и,2}^{(сир)})Y^2 + 2(M_{и,0}^{(ср)} + M_{и,2}^{(сир)})Y - (M_{и,0}^{(ср)} + M_{и,2}^{(сир)}) = 0 \quad (5)$$

$M_{и,0}^{(ср)}$, $M_{и,1}^{(сир)}$, $M_{и,2}^{(сир)}$ – предельные моменты внутренних сил соответственно в пролётном сечении, левом и правом пролётном сечениях.

Для стержневых элементов с защемленными концами, при схеме разрушения с предельными моментами в опорных и пролётном сечении, расположенном на расстоянии a от правой опоры, предельная нагрузка находится по формуле:

$$q_u = 2/l^2 b * \frac{M_{и,1}^{(сир)}Y + M_{и,2}^{(сир)}(1-Y) + M_{и,0}^{(ср)}}{Y(1-Y)} \quad (6)$$

Если левая сторона шарнирная, то $M_{и,1}^{(сир)} = 0$

$$q_u = 2/l^2 b * \frac{M_{и,2}^{(сир)}(1-Y) + M_{и,0}^{(ср)}}{Y(1-Y)} \quad (7)$$

Если сечение элемента не изменяется по длине элемента, то выражения (5)-(7), упростятся.

Пример 2. Определить предельную нагрузку на элемент, рассмотренный в предыдущем примере (оба конца защемлены, левый конец шарнирно защемлён, верхний защемлён).

Из уравнения (5), находим координату y – критического сечения.

Для обоих защемлённых концов ($\mu_1 = \mu_0 = \mu_2$):

$$y = \frac{1}{2}$$

Для нашего шарнирного закрепления:

$$-y^2 + 4y - 2 = 0$$

$$y = \frac{4 \pm \sqrt{16 - 8}}{2} = 0,586$$

Используя значение внутреннего момента $M^{сип} = 1270 \text{ кН*м}$, из предыдущего примера, получим для защемлённых концов:

$$q_u = \frac{2}{6 \cdot 4^2} \cdot \frac{1270 \cdot 2}{0,5 \cdot 0,5} = 211,7 \text{ кПа}$$

Для случая с левым шарнирным закреплением получим:

$$q_u = \frac{2}{6 \cdot 4^2} \cdot \frac{1270 \cdot (2 - 0,586)}{0,586 \cdot (1 - 0,586)} = 154,2 \text{ кПа}$$

Сравнивая результаты примеров 1 и 2 видим, что для случая защемлённых концов, учёт перераспределения нагрузки (пример 2) увеличивает предельную нагрузку по сравнению с (примером 1) на 30%.

Рассмотренные примеры дают возможность сформулировать следующее правило:

- 1) При шарнирном закреплении обоих концов, предельная нагрузка на элемент определяется следующей формулой:

$$q_u = \frac{M_{ио}}{bl^2}$$

q_u – предельная изгибающая нагрузка

$M_{ио}$ – предельный момент сопротивления внутренних сил в пролётном сечении

l – расчётная длина конструкции

b – ширина полосы сбора нагрузки

- 2) При защемлении одного из концов или для неразрезных балок, предельная нагрузка определяется из условия перераспределения усилий по выражениям (5) и (6).

Пример 3. Определить предельную нагрузку для стенового ограждения, изготовленного из трехслойных панелей типа “сэндвич” толщиной 120 мм, толщина стальных листов обшивки 0,7 мм. Между листами расположен слой утеплителя. Для двухпролётной с пролётами по 3 м, наибольшая расчётная равномерно распределённая нагрузка, определяется по контрольным испытаниям и составляет $q_u = 230 \text{ кг/м}^2 = 226 \text{ кН/м}^2$. То есть погонная максимальная нагрузка равна:

$$q_u = q_u b = 2,26 * 1,2 = 2,71 \text{ кН/м}$$

Предельный изгибающий момент в сечении над средней опорой будет:

$$M_{и,1}^{(сир)} = 0,125 q_u l^2 = 0,125 * 2,71 * 3^2 = 3,05 \text{ кН*м}$$

Изгибную жёсткость панели определим без учёта неконструктивного утеплителя:

$$B = E_S I_X = E_S 2(A \delta^2 / 4) = 2,06 * 10^8 * 0,5 * 0,7 * 10^{-3} * 1,2 * 0,12^2 = 1245,9 \text{ кН*м}$$

Погонная статическая нагрузка и масса панели составляют:

$$q_{st} = 0,2 * 1,2 = 0,24 \text{ кН/м}$$

$$m = 0,24 / 9,81 = 0,024 \text{ т/м}$$

Частота колебаний с пролётом $l = 3\text{м}$:

$$\omega = \frac{19,9}{3^2} \sqrt{\frac{1245,9}{0,024}} = 503,8 \text{ сек}^{-1}$$

Параметры динамической нагрузки при $\zeta_1 = 0,03 \text{ сек}$.

$$\omega \zeta_1 = 15,11$$

$$kd_1 = 0,86$$

Из (7) имеем:

$$q_u = 2/l^2 b * \frac{3,05 * (1 - 0,586 + 1)}{0,586 - 0,414} = 3,3 \text{ кПа}$$

Давление в волне:

$$\Delta P = 3,3 / kd_1 = 3,3 / 0,86 = 3,83 \text{ кПа}$$

Если панель установлена на фронтальной стороне, то это давление в отражённой волне и это очень низкое давление, поэтому необходимо усилить эту панель путём уменьшения длины пролётов, что достигается путём установки жёстких промежуточных опор (прогонов). Время конца упругой стадии деформации элементов определяется в зависимости от временных характеристик нагрузки и частичных характеристик конструкций. Для первой группы предельных состояний, то есть при расчёте на несущую способность:

$$t_y = \pi / 2\omega + \zeta_1 / 2 \quad \text{если} \quad \zeta_1 \leq \pi / \omega$$

$$t_y = \zeta_1 \quad \text{если} \quad \zeta_1 > \pi / \omega$$

ω – круговая частота собственных колебаний

При расчёте по пригодности к дальнейшей эксплуатации (вторая группа предельных состояний):

$$t_y = \pi/\omega + \zeta_1/2 \quad \text{если} \quad \zeta_1 \leq 2\pi/\omega$$

$$t_y = \zeta_1 \quad \text{если} \quad \zeta_1 > 2\pi/\omega$$