



Рис. 1: Схема поперечной рамы однопролетного здания

Исходные данные

Прокатный цех однопролетный, пролетом 30 м, оборудован двумя мостовыми кранами грузоподъемностью $Q = 32/5$ т тяжелого режима работы. Группа режима 8К. Длина здания 120 м, отметка головок рельса 9,4 м. Здание отапливаемое.

Выбрана система с шагом поперечных рам 6 м, с жестким сопряжением ригеля с колонной. Схема поперечной рамы показана на рис.1

Вертикальные размеры:

$$H_2 \geq (H_k + 100) + f = 2750 + 100 + 350 = 3200 \text{ мм};$$

Принимаем $H_2 = 3200$ мм:

$$H_0 = H_1 + H_2 = 9200 + 3200 = 12400 \text{ мм}.$$

При высоте подкрановой балки с рельсом, равной $1/8$ ее пролета, $H_b = (h_6 + h_p) + H_2 = 600 + 200 + 3200 = 4000$ мм. При заглублении базы колонны на 600 мм ниже пола $H_n = H_0 - H_b + 600 = 12400 - 4000 + 600 = 9000$ мм. Полная высота колонн $H = H_b + H_n = 13000$ мм; $H_\phi = 3150$ мм.

Горизонтальные размеры назначаются следующим образом. В верхней части колонн устраивается проход для осмотра крановых путей, привязка $a = 500$ мм, высота сечения верхней части колонны $h_b = 700 > H_b/12 = 4000/12 = 333$ мм. В пределах высоты фермы высоту сечения колонны назначаем $h_b = 700$ мм; $l_1 \geq B_1 + (H_b - a) + 75 = 300 + (700 - 500) + 75 + 450 = 1025$ мм. Назначаем $l_1 = 1250$ мм (кратно 250 мм); $h_n = l_1 + a = 1250 + 500 = 1750$ мм. Пролет мостового крана $L_k = l - 2l_1 = 30000 - 2 \cdot 1250 = 27500$ мм.

Сечение верхней части колонны назначаем сплошностенчатым двутавровым, нижней — сквозным.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					
					Лист				

А. Расчетная схема рамы.

$$e_0 = 0.5(h_H - h_B) = 0.5 \cdot (1750 - 700) = 0.525 \text{ m.}$$

Б. Нагрузки на поперечную раму.

Постоянная нагрузка. Нагрузка на 1 м² кровли определяем по [1, табл. 17.3]. Расчет нагрузки в табл. 1.

Таблица 1: Постоянная нагрузка от покрытия

Состав покрытия	Нормативная нагрузка, кН/м ²	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка, кН/м ²
Мембрана LOGICROOF V-RP	0.02	1.3	0.026
Мин. ватный утеплитель Технорuf B60	0.08	1.2	0.096
Мин. ватный утеплитель Технорuf H30	0.09	1.2	0.108
Пароизоляция	0.03	1.3	0.039
Профилированный настил HC35-1000-0.55	0.06	1.05	0.063
Собственный вес металлических конструкций	0.3	1.05	0.315
	$q^H = 0.58$		$q^P = 0.65$

$$q_g = g_{kp} b_{\phi} / \cos \alpha = 0.65 \cdot 6 / 1 = 3.9 \text{ кН/м.}$$

Расчетный вес колонны. По [1, табл. 12.1] принято 0.3 кН/м^2 . Вес верхней части (20% веса) $G_B = 1.05 \cdot 0.2 \cdot 0.3 \cdot 6 \cdot 15 = 5.67 \text{ кН}$; вес нижней части (80% веса) $G_H = 1.05 \cdot 0.8 \cdot 0.3 \cdot 6 \cdot 15 = 22.68 \text{ кН}$.

Приняты самонесущие панели.

Снеговая нагрузка. Вес снегового покрова $S_0 = 1.5$ кПа. Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_s = 1.4$. Линейная распределенная нагрузка от снега на ригель рамы равна

$$q_s = \gamma_s S_0 b \phi = 1.4 \cdot 1.5 \cdot 6 = 12.6 \text{ kH/M.}$$

Вертикальные усилия от мостовых кранов см. на рис. Базу крана (5.1 м), расстояние между колесами двух кранов (1.2 м), а также нормативное усилие колеса (345 кН) находим по [1, прил. 1].

$$D_{max} = \gamma F \psi \Sigma F_k^n y + \gamma_a G_{\overline{66}} = 1.1 \cdot 0.95 \cdot 345 \cdot 1.9 + 1.05 \cdot 22.5 = 685 + 24 = 709 \text{ kH},$$

(вес подкрановой балки по [1, табл. 12.1] $G_{пб} = 0.25 \cdot 6 \cdot 15 = 22.5$ кН)

$$F'_k = (Q + G_{kp})/n_0 - F_k^n = (314 + 608)/2 - 345 = 116 \text{ kH};$$

$$D_{min} = 685 \cdot 116/345 + 24 = 254 \text{ kH}.$$

Сосредоточенные моменты от вертикальных сил D_{max} , D_{min} определяем по формуле

$$e_k = 0.5_H = 0.5 \cdot 1.75 = 0.875 \text{ M}; M_{max} = e_k D_{max} = 0.875 \cdot 709 = 620 \text{ kHm};$$

$$M_{min} = 0.875 \cdot 254 = 222 \text{ кНм.}$$

Горизонтальную силу от мостовых кранов находим по формулам

$$T_k^n = 0.05(Q + G_T)/n_0 = 0.05(314 + 85)/2 = 10 \text{ kH};$$

$$T = \gamma F \psi \Sigma T_e^n y = 1.1 \cdot 0.95 \cdot 10 \cdot 1.9 = 20 \text{ kH}$$

Считаем что сила T приложена в уровне уступа колонны.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. дата	<p>Рассчитанный вес колонны. По [1, табл. 12.1] принято 0.3 кН/м^2. Вес верхней части (20% веса) $G_B = 1.05 \cdot 0.2 \cdot 0.3 \cdot 6 \cdot 15 = 5.67 \text{ кН}$; вес нижней части (80% веса) $G_H = 1.05 \cdot 0.8 \cdot 0.3 \cdot 6 \cdot 15 = 22.68 \text{ кН}$.</p> <p>Приняты самонесущие панели.</p> <p>Снеговая нагрузка. Вес снегового покрова $S_0 = 1.5 \text{ кПа}$. Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_s = 1.4$. Линейная распределенная нагрузка от снега на ригель рамы равна</p> $q_s = \gamma_s S_0 b \phi = 1.4 \cdot 1.5 \cdot 6 = 12.6 \text{ кН/м}.$ <p>Опорная реакция ригеля $F_R = 12.6 \cdot 30/2 = 189 \text{ кН}$.</p> <p>Вертикальные усилия от мостовых кранов см. на рис. Базу крана (5.1 м), расстояние между колесами двух кранов (1.2 м), а также нормативное усилие колеса (345 кН) находим по [1, прил. 1].</p> $D_{max} = \gamma F \psi \Sigma F_k^n y + \gamma_g G_{пб} = 1.1 \cdot 0.95 \cdot 345 \cdot 1.9 + 1.05 \cdot 22.5 = 685 + 24 = 709 \text{ кН};$ <p>(вес подкрановой балки по [1, табл. 12.1] $G_{пб} = 0.25 \cdot 6 \cdot 15 = 22.5 \text{ кН}$)</p> $F'_k = (Q + G_{кр})/n_0 - F_k^n = (314 + 608)/2 - 345 = 116 \text{ кН};$ $D_{min} = 685 \cdot 116/345 + 24 = 254 \text{ кН}.$ <p>Сосредоточенные моменты от вертикальных сил D_{max}, D_{min} определяем по формуле</p> $e_k = 0.5_n = 0.5 \cdot 1.75 = 0.875 \text{ м}; M_{max} = e_k D_{max} = 0.875 \cdot 709 = 620 \text{ кНм};$ $M_{min} = 0.875 \cdot 254 = 222 \text{ кНм}.$ <p>Горизонтальную силу от мостовых кранов находим по формулам</p> $T_k^n = 0.05(Q + G_T)/n_0 = 0.05(314 + 85)/2 = 10 \text{ кН};$ $T = \gamma F \psi \Sigma T_k^n y = 1.1 \cdot 0.95 \cdot 10 \cdot 1.9 = 20 \text{ кН}$ <p>Считаем что сила T приложена в уровне уступа колонны.</p>
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
					Лист

Ветровая нагрузка. Нормативное давление ветра [1, прил. 2] $w_0 = 0.3$ кПа. Тип местности Б [1, прил. 3], коэффициент k при высоте до 5 м — 0.5; 10 м — 0.65 ; 20 м — 0.85.
По формуле

$$q_w = \gamma_w w_0 k c b = 1.4 \cdot 0.3 \cdot 0.8 \cdot 6k = 2.016k.$$

Линейная распределенная нагрузка при высоте до 10 м равна $2.016 \cdot 0.65 = 1.31$ кН/м; 20 м — $2.016 \cdot 0.85 = 1.71$ кН/м; 12.4 м — 1.4 кН/м; 15.55 м — 1.53 кН/м.
Сосредоточенные силы от ветровой нагрузки вычисляем по формулам:

$$F_w = (q_1 + q_2)h/2 = (1.53 + 1.4)3.15/2 = 4.61 \text{ кН};$$

$$F'_w = F_w 0.6/0.8 = 3.46 \text{ кН},$$

а эквивалентные линейные нагрузки — по формуле

$$k_s = 0.67; q_s = q_0 w_0 k_s = 2.016 \cdot 0.67 = 1.35 \text{ кН/м}; q'_s = 1.35 \cdot 0.6/0.8 = 1.01 \text{ кН/м}.$$

Ветровые нагрузки показаны на рис.

Инв. № подл.	Подп. и дата				Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
					Лист		

В. Статический расчет поперечной рамы. Расчет на постоянные нагрузки. Основная система приведена на рис., а схема нагрузки — на рис. Сосредоточенный момент из-за смещения осей верхней и нижней частей колонны

$$M = -(F_R + F_1)e_0 = -(58.5 + 5.67)0.525 = -33.7 \text{ кНм.}$$

По [1, табл. 12.4] находим параметры $n = 1/7 = 0.14 \approx 0.15$;

$$\alpha = H_B/H = 4/13 = 0.3.$$

Каноническое уравнение имеет вид

$$r_{11}\varphi + r_{1p} = 0.$$

Моменты от поворота узлов на угол $\varphi = 1$ равны:

$$M_A = k_A i = 0.795i; M_C = k_C i = -0.341i; M_B = k_B i = -0.827i;$$

$$M_B^p = 2EI_p/l = 2E4I_H/LH = 8iH/l = 8 \cdot 13i/30 = 3.47i.$$

Моменты от нагрузки на стойках M_p равны:

$$M_A = k_A M = 0.344 \cdot (-33.7) = -11.6 \text{ кНм};$$

$$M_B = k_B M = -0.159 \cdot (-33.7) = 5.4 \text{ кНм};$$

$$M_C^H = k_A M = -0.708 \cdot (-33.7) = 23.9 \text{ кНм};$$

$$M_C^B = (k_C + 1)M = (-0.708 + 1) \cdot (-33.7) = -9.8 \text{ кНм.}$$

Моменты на опорах ригеля (защемляемая балка постоянного по длине сечения) $M_B^p = -qgl^2/12 = -3.9 \cdot 30^2/12 = -293 \text{ кНм.}$

Определение r_{11} и r_{1p} :

$$r_{11} = M_B + M_B^p = 0.827i + 3.47i = 4.3i \text{ (по эпюре } M_1);$$

$$r_{1p} = M_B + M_B^p = -5.4 - 293 = -298 \text{ (по эпюре } M_p).$$

Угол поворота $\varphi = -r_{1p}/r_{11} = -298/4.3i = 69.3/i$.

Моменты от фактического угла поворота ($M_{1\varphi}$) равны:

$$M_A = 0.795i \cdot 69.3/i = 55.1 \text{ кНм}; M_B = -0.827i \cdot 69.3/i = -57.3 \text{ кНм};$$

$$M_C = -0.341i \cdot 69.3/i = -23.6 \text{ кНм}; M_B^p = 3.47i \cdot 69.3/i = 240.5 \text{ кНм.}$$

Эпюра моментов ($M_{1\varphi} + M_p$) от постоянной нагрузки:

$$M_A = 55.1 - 11.6 = 43.5 \text{ кНм}; M_B = -57.3 + 5.4 = -51.9 \text{ кНм};$$

$$M_C^H = 23.9 - 23.6 = 0.3 \text{ кНм}; M_C^B = -9.8 - 23.6 = -33.4 \text{ кНм};$$

$$M_B^p = 240.5 - 292 = -52.5 \text{ кНм.}$$

Проверкой правильности расчета служит равенство моментов в узле В ($52.5 \approx 51.9$), равенство перепада эпюры моментов в точке С ($33.4 + 0.3 = 33.7$) внешнему моменту (33.7), а также равенство поперечных сил на верхней и нижней частях колонны:

$$Q_{AC} = -(43.5 - 0.3)/9 = -4.8 \text{ кН};$$

$$Q_{BC} = -(51.9 - 33.4)/4 = -4.63 \text{ кН.}$$

Разница (3.6%) получена в результате округления параметра n . На рис. приведена эпюра нормальных сил (с учетом веса стен и собственного веса колонн).

Расчет на нагрузку от снега. Сосредоточенный момент на колонне

$$M = F_r e_0 = -189 \cdot 0.525 = -99.2 \text{ кНм.}$$

Моменты от нагрузки:

$$M_A = 0.344(-99.2) = -34.1 \text{ кНм}; M_B = -0.159(-99.2) = 15.8 \text{ кНм};$$

$$M_C^H = -0.708(-99.2) = 70.2 \text{ кНм}; M_C^B = 0.292(-99.2) = -29 \text{ кНм};$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. дата	$r_{1p} = M_B + M_B^p = -5.4 - 293 = -298$ (по эюре M_p).					
					Угол поворота $\varphi = -r_{1p}/r_{11} = -298/4.3i = 69.3/i$.					
					Моменты от фактического угла поворота ($M_1\varphi$) равны:					
					$M_A = 0.795i \cdot 69.3/i = 55.1 \text{ кНм}; M_B = -0.827i \cdot 69.3/i = -57.3 \text{ кНм};$ $M_C = -0.341i \cdot 69.3/i = -23.6 \text{ кНм}; M_B^p = 3.47i \cdot 69.3/i = 240.5 \text{ кНм}.$					
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. дата	Эпюра моментов ($M_{1\varphi} + M_p$) от постоянной нагрузки:					
					$M_A = 55.1 - 11.6 = 43.5 \text{ кНм}; M_B = -57.3 + 5.4 = -51.9 \text{ кНм};$ $M_C^H = 23.9 - 23.6 = 0.3 \text{ кНм}; M_C^B = -9.8 - 23.6 = -33.4 \text{ кНм};$ $M_B^p = 240.5 - 292 = -52.5 \text{ кНм}.$					
					Проверкой правильности расчета служит равенство моментов в узле В ($52.5 \approx 51.9$), равенство перепада эпюры моментов в точке С ($33.4 + 0.3 = 33.7$) внешнему моменту (33.7), а также равенство поперечных сил на верхней и нижней частях колонны:					
					$Q_{AC} = -(43.5 - 0.3)/9 = -4.8 \text{ кН};$ $Q_{BC} = -(51.9 - 33.4)/4 = -4.63 \text{ кН}.$					
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. дата	Разница (3.6%) получена в результате округления параметра n . На рис. приведена эпюра нормальных сил (с учетом веса стен и собственного веса колонн).					
					Расчет на нагрузку от снега. Сосредоточенный момент на колонне					
					$M = F_r e_0 = -189 \cdot 0.525 = -99.2 \text{ кНм}.$					
					Моменты от нагрузки:					
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. дата	$M_A = 0.344(-99.2) = -34.1 \text{ кНм}; M_B = -0.159(-99.2) = 15.8 \text{ кНм};$ $M_C^H = -0.708(-99.2) = 70.2 \text{ кНм}; M_C^B = 0.292(-99.2) = -29 \text{ кНм};$					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						Лист

$$M_B^p = -12.6 \cdot 30^2 / 12 = -945 \text{ кНм.}$$

Определяем $r_{11} = 4.3i$; $r_{1p} = -15.8 - 945 = -960.6$.

Угол поворота $\varphi = 960.8 / 4.3i = 223.4/i$. Моменты от фактического угла поворота:

$$M_A = 0.795i \cdot 223.4/i = 177.6 \text{ кНм}; M_B = -0.827i \cdot 223.4/i = -184.8 \text{ кНм};$$

$$M_C = -0.341i \cdot 223.4/i = -76.2 \text{ кНм}; M_B^p = 3.47i \cdot 223.4/i = 775.2 \text{ кНм.}$$

Эпюры усилий от снеговой нагрузки показаны на рис.:

$$M_A = 143.5 \text{ кНм}; M_B = -169 \text{ кНм}; M_C^B = -105.2 \text{ кНм}; M_C^H = -6 \text{ кНм};$$

$$M_B^p = -169.8 \text{ кНм}; Q_B = -(169 - 105)/4 = -16 \text{ кН}; Q_A = -(143.5 + 6)/9 = -16.6 \text{ кН};$$

$$N_B = N_A = -189 \text{ кН}; N_p = -16.6 \text{ кН.}$$

Расчет на вертикальную нагрузку от мостовых кранов при расположении крана у левой стойки. Основная система и схема нагрузки приведены на рис.

Проверку возможности считать ригель абсолютно жестким проводим по формуле

$$k = I_p H / I_{\text{рун}} l = 28 \cdot 13 / 7 \cdot 30 = 1.73.$$

$$1.73 > 6 / (1 + 1.1 \sqrt{I_H / I_p - 1}) = 6 \cdot (1 + 1.1 \sqrt{6}) = 1.62$$

Инв. № подл.	Подп. и дата				Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. дата

Список литературы

- [1] Металлические конструкции: Общий курс: Учеб. для вузов / Г.С. Ведеников; Под ред. Г.С. Веденикова. — 7-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1998. — 760 с.: ил.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. дата							
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата							