

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ННГАСУ)»

Кафедра металлических конструкций

**РАСЧЕТНЫЕ СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК ПО СП 20.13330.2011
ПРИ РАСЧЁТЕ ПОПЕРЕЧНОЙ РАМЫ ПРОМЗДАНИЯ**

Методические рекомендации к курсовому проекту по проектированию
стального каркаса цеха одноэтажного промздания для студентов направле-
ния 270800.62 – Строительство, профиль – Промышленное гражданское
строительство.

Нижний Новгород – 2013

УДК 658.382.3

Расчетные сочетания нагрузок по СП 20.13330.2011 при расчете поперечной рамы промздания. Методические рекомендации к курсовому проекту по проектированию стального каркаса цеха одноэтажного промздания для студентов направления 270800.62 – Строительство, профиль – Промышленное гражданское строительство, Нижний Новгород, издание ННГАСУ, 2013, с. ____

Составители:

А.И. Колесов – профессор кафедры металлических конструкций

А.А. Лапшин – профессор кафедры металлических конструкций

И.А. Ямбаев – доцент кафедры металлических конструкций

©Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ), 2013 г.

Содержание

1 Исходные данные	4
2 Особенности вычисления расчётных сочетаний нагрузок на поперечную раму цеха по СП 20.13330.2011	5
3 Пример составления расчётных сочетаний нагрузок на принятые комбинации усилий по СП 20.13330.2011.....	7
4 Сравнительный анализ численных значений сочетаний нагрузок и усилий от них на принятые комбинации по СП 20.13330.2011 и СНиП 2.01.07-85*.....	18
Список литературы	19

1 Исходные данные

Порядок вычисления расчётных сочетаний нагрузок (РСН) на элементы расчетных схем (КЭ-моделей) по [1] принципиально отличается от определения их по [2].

В настоящих Методических рекомендациях особенности применения норм [1] в части определения РСН изложены для студентов при расчете поперечной рамы цеха однопролетного промздания с мостовыми кранами в курсовом проекте по учебной дисциплине «Металлические конструкции, включая сварку», выполняемом студентами 4-го курса специальности 270102.65 – ПГС и направления 270800.62 – Строительство, профиль – ПГС.

Результаты вычислений РСН на принятые комбинации усилий ($\pm M$, $N_{\text{соотв}}$, N_{max} , $\pm M_{\text{соотв}}$) приведены для стальной ступенчатой колонны однопролетной поперечной рамы из курсового проекта по [3, часть 2, стр. 391, табл. X.3] с учётом новых требований [1] по:

- коэффициенту надёжности для крановых нагрузок ($\gamma_f=1,2$);
- коэффициенту надёжности для ветровой нагрузки ($\gamma_f=1,4$);
- учёту новых нормативных снеговых нагрузок для III климатического района по [3]; $S_g=1,8$ кПа;
- учёту новых нормативных ветровых нагрузок для II климатического района по ветровому давлению $w_0=0,30$ кПа [1];
- учёту пульсационной составляющей ветровой нагрузки.

Пересчёт значений M , N , Q , указанных в табл. X.3 [3], выполнен через переходные коэффициенты при линейной зависимости усилий от нагрузок.

2. Особенности вычисления расчётных сочетаний нагрузок на поперечную раму цеха по СП 20.13330.2011

Расчётные сочетания нагрузок (РСН) для колонн поперечной рамы являются исходными при их конструктивном расчёте по предельным состояниям первой группы.

Поэтому они вычисляются на наиболее неблагоприятные, но реальные, комбинации нагрузок или усилий от них отдельно в каждом расчётном сечении каждой колонны.

Из перечня постоянных P_d , временных длительных P_{li} и временных кратковременных P_{ti} нагрузок основных сочетаний в расчётах по предельным состояниям первой группы для элементов поперечной рамы, как правило, рассматривают постоянные (P_d) и временные кратковременные (P_{ti}) нагрузки. Временные длительные (P_{li}) для поперечных рам имеют значение при расчётах по второй группе предельных состояний (по перемещениям).

Согласно нормам [2] при расчёте колонн поперечной рамы все усилия от кратковременных наиболее неблагоприятных нагрузок учитывались с одним коэффициентом сочетаний $\Psi_2=0,9$.

В [1] учёт коэффициентов сочетаний усилий от кратковременных нагрузок принципиально отличен от [2].

Согласно п. 6.4 [1] следует применять следующий коэффициент сочетаний для кратковременных нагрузок:

$$\Psi_{t1}=1,0; \Psi_{t2}=0,9; \Psi_{t3}= \Psi_{t4}=\dots=0,7,$$

где:

Ψ_{t1} —коэффициент сочетаний, соответствующий первой по степени влияния кратковременной нагрузке;

Ψ_{t2} — коэффициент сочетаний, соответствующий второй по степени влияния кратковременной нагрузке;

$\Psi_{t3} = \Psi_{t4}$ – коэффициенты сочетаний для остальных кратковременных нагрузок.

При вычислении РСН для колонн поперечной рамы следует учитывать в основных сочетаниях следующие три вероятные кратковременные полные расчётные нагрузки:

- снеговую;
- крановые (вертикальное давление: тележки слева, тележки справа; поперечное горизонтальное торможение: приложенное к любой колонне и направленное влево или вправо на уровне верхнего пояса подкрановой балки);
- ветровую (слева-напор, справа-отсос).

Поэтому все три коэффициента сочетаний (Ψ_{t1} , Ψ_{t2} , Ψ_{t3}) в разных комбинациях усилий ($\pm M_{\max}$, $N_{\text{соотв}}$; N_{\max} , $\pm M_{\text{соотв}}$) в каждом расчётном сечении колонны могут быть применены. Детально это хорошо просматривается в табл. 2 (РСН), приведенной ниже.

Постоянные нагрузки от собственного веса конструкций рамы, передающиеся на расчётную колонну, учитываются полностью (100%) как по [2], так и по [1], т.е. для них $\Psi_d=1$.

3. Пример составления расчётных сочетаний нагрузок на принятые комбинации усилий по СП 20.13330.2011.

Для этого воспользуемся расчётами поперечной рамы, выполненными в [3, табл.3].

а) Уточнение усилий от снеговой нагрузки:

- нормативные значения снеговой распределённой нагрузки:

- на фонаре ($\mu = 0,8$):

$$S_o = 0,7 \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g = 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,8 = 1,008 \text{ кПа}$$

- на ригеле ($\mu = 1,33$ по [3, стр.352].):

$$S_o = 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 \cdot 1,8 = 1,676 \text{ кПа.}$$

Здесь коэффициенты $c_e = 1,0$; $c_t = 1,0$;

- расчётные значения снеговой распределённой нагрузки:

- на фонаре: $S_p = S_o \cdot \gamma_{fs} = 1,008 \cdot 1,4 = 1,41 \text{ кПа}$

- на ригеле: $S_p = 1,676 \cdot 1,4 = 2,346 \text{ кПа.}$

Опорная реакция ригеля от снега:

$$\frac{2,346}{1,58} \cdot (1,422 + 2,844 + 2,844 + 1,422) + \frac{1,41}{1,12} \cdot (1,008 + 2,016 + 1,008) = \\ = 12,668 + 5,076 = 17,744 \text{ тс} \cong 177,44 \text{ кН.}$$

- сосредоточенные изгибающие моменты в узлах С, С', В, В':

$$M_{c,чн}^o = 177,44 \cdot \frac{b_b}{2} = 177,4 \cdot 0,375 = 66,54 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{B,чн}^o = -177,44 \cdot 2 \cdot \frac{b_n - b_b}{2} = 177,4 \cdot (1,25 - 0,75) = -88,72 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

- расчётные усилия в поперечной раме от снеговой нагрузки на ригеле:

$$q_s = \frac{177,44 \cdot 2}{29,75} = 11,93 \text{ кН / м,}$$

где:

$A'_{\text{CH}} = A''_{\text{CH}} = 177,44 \text{ кН}$ – опорные давления на колонну от снеговой нагрузки на ригеле и промежуточной ферме;

2 – учитывает две фермы: ригель рамы и промежуточную.

Через коэффициент перехода $k = \frac{11,93}{8,5} = 1,40$ получим:

$$M_C = M_{C'} = -280,3 \cdot 1,4 = -392,42 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_B = M_{B'} = 127,5 \cdot 1,4 = -178,5 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_A = M_{A'} = 216,4 \cdot 1,4 = 302,96 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$Q_C = Q_B = Q_A = -23,9 \cdot 1,4 = -33,46 \text{ кН};$$

$$Q_{C'} = Q_{B'} = Q_{A'} = +33,46 \text{ кН}.$$

$N_C = N_B = N_A = -177,44 \cdot 2 = -354,88 \text{ кН}$ с учетом давления через подстропильные фермы.

- расчётные усилия от сосредоточенных изгибающих моментов в уз-

лах С и С' через коэффициент перехода $k = \frac{66,54}{47,3} = 1,40$:

$$M_C = M_{C'} = 21,2 \cdot 1,4 = -29,68 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_B = M_{B'} = -0,96 \cdot 1,4 = -1,34 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_A = M_{A'} = 1,63 \cdot 1,4 = 2,28 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$Q_C = Q_B = Q_A = -0,18 \cdot 1,4 = -0,25 \text{ кН};$$

$$Q_{C'} = Q_{B'} = Q_{A'} = +0,18 \cdot 1,4 = 0,25 \text{ кН}.$$

$$N_C = N_B = N_A = 0;$$

$$N_{C'} = N_{B'} = N_{A'} = 0.$$

- изгибающие моменты в узлах В и В' через переходный коэффициент

$k = \frac{88,72}{63,0} = 1,40$:

$$M_C = M_{C'} = +0,48 \cdot 1,4 = 0,672 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{BC} = M_{B'C'} = -22,0 \cdot 1,4 = -30,8 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{BA} = M_{B'A'} = +41,0 \cdot 1,4 = 57,4 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_A = M_{A'} = -19,4 \cdot 1,4 = -27,16 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_C = Q_B = Q_A = +0,42 \cdot 1,4 = 0,588 \text{ кН};$$

$$Q_{C'} = Q_{B'} = Q_{A'} = -0,42 \cdot 1,4 = -0,588 \text{ кН}.$$

$$N_C = N_B = N_A = 0;$$

$$N_{C'} = N_{B'} = N_{A'} = 0.$$

- суммарные уточнённые усилия от снеговой нагрузки на левой колонне:

$$M_C = -392,42 - 29,68 + 0,672 = -421,43 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{BC} = -178,50 - 1,34 - 30,80 = -210,64 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{BA} = -178,50 - 1,34 + 57,40 = -122,44 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_A = +302,96 + 2,28 - 27,16 = +278,08 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$N_C = N_B = N_A = -354,88 \text{ кН}.$$

$$Q_C = -33,46 - 0,25 + 0,588 = -33,12 \text{ кН};$$

$$Q_B = Q_A = -33,12 \text{ кН}.$$

- суммарные уточнённые усилия от снеговой нагрузки на правой колонне:

$$M_{C'} = -392,42 - 29,68 + 0,672 = -421,43 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{B'C'} = -178,50 - 1,34 - 30,80 = -210,64 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{B'A'} = -178,50 - 1,34 + 57,40 = -122,44 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{A'} = +302,96 + 2,28 - 27,16 = +278,08 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$Q_{C'} = Q_{B'} = Q_{A'} = +33,46 + 0,25 - 0,588 = +33,12 \text{ кН}.$$

$$N_{C'} = N_{B'} = N_{A'} = -354,88 \text{ кН}.$$

б) Усилия от крановых нагрузок не изменились, т.к. $\gamma_{f,кр} = 1,2$ и по [3], и по [2].

в) Уточнение усилий от ветровой нагрузки:

- климатический район по ветровому давлению примем второй (II), аналогично примеру в [3]; но $W_0=0,30$ кПа по [1];
- местность типа «А»; согласно табл. 11.4 [1] влияние пульсационной составляющей в местности «В» и «С» будет выше;
- неравномерно распределенная по высоте цеха нормативная ветровая нагрузка как сумма средней (w_m) и пульсационной (w_p) составляющих:

$$w = w_m \cdot [1 + \xi(z_e) \cdot v] - \text{кН/м}^2,$$

$$\text{где } w_m = w_0 \cdot k(z_e).$$

Тогда будем иметь на высотах: 5 м; 10 м; 20 м; 40 м:

$$w_5 = 0,3 \cdot 0,75 \cdot [1 + 0,85 \cdot 0,543] = 0,329 \text{ кПа};$$

$$w_{10} = 0,3 \cdot 1,0 \cdot [1 + 0,76 \cdot 0,543] = 0,424 \text{ кПа};$$

$$w_{20} = 0,3 \cdot 1,25 \cdot [1 + 0,69 \cdot 0,532] = 0,513 \text{ кПа};$$

$$w_{40} = 0,3 \cdot 1,5 \cdot [1 + 0,62 \cdot 0,512] = 0,593 \text{ кПа}.$$

$$w_{19,8} = \frac{(w_{20} - w_{10}) \cdot 9,8}{10} + w_{10} = \frac{(0,513 - 0,424) \cdot 9,8}{10} + 0,424 =$$

$$= 0,511 \text{ кПа};$$

$$w_{27,47} = \frac{(w_{40} - w_{20}) \cdot 7,47}{20} + w_{20} = \frac{(0,593 - 0,513) \cdot 7,47}{20} + 0,513 =$$

$$= 0,543 \text{ кПа}.$$

Эквивалентная ветровая нагрузка от поверхности земли до низа ригеля:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{ЭКВ}}^1 &= \frac{(w_5 \cdot 5 + \frac{(w_5 + w_{10})}{2} \cdot 5 + \frac{(w_{10} + w_{20})}{2} \cdot 9,8)}{19,8} = \\
 &= \frac{(0,329 \cdot 5 + \frac{(0,329 + 0,424)}{2} \cdot 5 + \frac{(0,424 + 0,513)}{2} \cdot 9,8)}{19,8} = \\
 &= \frac{1,645 + 1,883 + 4,591}{19,8} = 0,41 \text{ кПа};
 \end{aligned}$$

Эквивалентная ветровая нагрузка от низа ригеля до верха кровли фонаря:

$$w_{\text{ЭКВ}}'' = \frac{(w_{19,8} + w_{27,47})}{2} = \frac{(0,511 + 0,543)}{2} = 0,527 \text{ кПа.}$$

- Линейная расчётная равномерно распределенная эквивалентная нагрузка на колонны рамы в кН/м:

$$q_{\text{wa,ЭКВ}} = w_{\text{ЭКВ}}' \cdot \gamma_f \cdot \frac{B_p}{2} \cdot c_e^+ = 0,41 \cdot 1,4 \cdot \frac{12}{2} \cdot (+0,8) = +2,725 \text{ кН / м – напор};$$

$$q_{\text{wo,ЭКВ}} = w_{\text{ЭКВ}}' \cdot \gamma_f \cdot \frac{B_p}{2} \cdot c_e^- = 0,41 \cdot 1,4 \cdot \frac{12}{2} \cdot (-0,5) = -1,722 \text{ кН / м – отсос.}$$

- Сосредоточенная ветровая нагрузка, передающаяся на ригель в верхних узлах С и С' (по рис. X.5 [3]):

напор $w_{\text{с,а}}$:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{с,а}} &= [w_{\text{ЭКВ}}'' \cdot (-1,3 \cdot h_6 + 0,8 \cdot h_5 + 0,7 \cdot h_4 + 0,8 \cdot h_3) \cdot B_p + w_{\text{ЭКВ}}' \cdot 0,8 \cdot \frac{h_2}{2} \cdot \frac{B_p}{2}] \cdot \\
 \gamma_f &= [0,527 \cdot (-1,3 \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 3,43 + 0,7 \cdot 1,13 + 0,8 \cdot 3,03) \cdot 12 + 0,41 \cdot 0,8 \cdot \\
 &2,28 \cdot 6] \cdot 1,4 = (33,574 + 4,487) \cdot 1,4 = 53,29 \text{ кН.}
 \end{aligned}$$

отсос $w_{c',o}$:

$$w_{c',o} = -[w_{\text{ЭКВ}}'' \cdot (0,7 \cdot h_6 + 0,5 \cdot h_5 + 0,7 \cdot h_4 + 0,5 \cdot h_3) \cdot B_p + w_{\text{ЭКВ}}' \cdot 0,5 \cdot \frac{h_2}{2} \cdot \frac{B_p}{2}] \cdot \gamma_f = -[0,527 \cdot (0,7 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 3,43 + 0,7 \cdot 1,13 + 0,5 \cdot 3,05) \cdot 12 + 0,41 \cdot 0,5 \cdot 2,28 \cdot 6] \cdot 1,4 = -(27,705 + 2,804) \cdot 1,4 = -42,713 \text{ кН}.$$

- Сосредоточенная ветровая нагрузка, передающаяся на раму через фахверк на уровне тормозных балок в узлах В и В' (по рис. X.5 [3]):

напор $w_{B,a}$:

$$w_{B,a} = w_{\text{ЭКВ}}' \cdot 0,8 \cdot \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{B_p}{2} \cdot \gamma_f = 0,410 \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot (15,23 + 4,57) \cdot 6 \cdot 1,4 = 27,277 \text{ кН};$$

отсос $w_{B',o}$:

$$w_{B',o} = -w_{\text{ЭКВ}}' \cdot 0,5 \cdot \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{B_p}{2} \cdot \gamma_f = -0,410 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot (15,23 + 4,57) \cdot 6 \cdot 1,4 = -17,048 \text{ кН}.$$

- Расчётные усилия от сосредоточенных ветровых нагрузок на колоннах в т. В, В' через переходные коэффициенты:

$$K_{\text{л}} = \frac{27,277}{22,80} = 1,196 \approx 1,2;$$

$$K_{\text{пр}} = \frac{17,048}{17,10} = 0,997.$$

По примеру [3, стр. 380] имеем:

$$M_A = -82,83 \cdot 0,210 \cdot 1,2 - 59,86 \cdot 0,158 \cdot 0,997 = -20,873 - 9,43 = -30,3 \text{ тм} = -303 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{BC} = M_{BA} = 15,53 \cdot 0,210 \cdot 1,2 - 1,96 \cdot 0,158 \cdot 0,997 = +3,914 - 0,1512 = 3,763 \text{ тм} = 37,63 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$m_C = 9,68 \cdot 0,21 \cdot 1,2 + 23,74 \cdot 0,158 \cdot 0,997 = 2,439 + 3,740 = 6,179 \text{ тм} = 61,79 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{A'} = 59,86 \cdot 0,210 \cdot 1,2 + 82,83 \cdot 0,158 \cdot 0,997 = 15,085 + 13,048 = \\ = 28,133 \text{ тм} = 281,33 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{B'C'} = M_{B'A'} = 1,96 \cdot 0,210 \cdot 1,2 - 15,53 \cdot 0,158 \cdot 0,997 = 0,4939 - 2,4464 = \\ = -1,9525 \text{ тм} = -19,53 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{C'} = -23,74 \cdot 0,210 \cdot 1,2 - 9,68 \cdot 0,158 \cdot 0,997 = -5,9825 - 1,5249 = \\ = -7,5074 \text{ тм} = -75,07 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$Q_A = Q_{BA} = 6,83 \cdot 0,210 \cdot 1,2 + 4,02 \cdot 0,158 \cdot 0,997 = 1,721 + 0,633 = \\ = +2,354 \text{ тс} = 23,54 \text{ кН};$$

$$Q_{BC} = -4,02 \cdot 0,210 \cdot 1,2 + 4,02 \cdot 0,158 \cdot 0,997 = -1,013 + 0,633 = \\ = -0,3798 \text{ тс} = -3,80 \text{ кН};$$

$$Q_{A'} = Q_{B'A'} = 4,02 \cdot 0,210 \cdot 1,2 + 6,83 \cdot 0,158 \cdot 0,997 = +1,013 + 1,076 = \\ = +2,089 \text{ тс} = +20,89 \text{ кН};$$

$$Q_{C'} = 4,02 \cdot 0,210 \cdot 1,2 - 4,02 \cdot 0,158 \cdot 0,997 = +1,013 - 0,633 = \\ = +0,3798 \text{ тс} = +3,80 \text{ кН}.$$

$$N_A = N_C = -Q_{CC'} = +1,11 \cdot 0,210 \cdot 1,2 + 1,11 \cdot 0,158 \cdot 0,997 = +0,277 + 0,175 = \\ = -0,452 \text{ тс} = +4,52 \text{ кН};$$

$$N_{A'} = N_{C'} = -N_A = -4,52 \text{ кН}.$$

- Расчётные усилия от сосредоточенных ветровых нагрузок на колоннах в т. С и С' через переходный коэффициент:

$$\varepsilon = \frac{42,713}{53,290} = 0,802.$$

Тогда по примеру [3, стр. 380] имеем:

$$M_A = M_{A'} = -53,290 \cdot 20,8 \cdot 0,3497 \cdot (1 + 0,802) = -698,49 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_C = M_{C'} = 53,290 \cdot 20,8 \cdot 0,1503 \cdot (1 + 0,802) = 300,21 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_B = M_{B'} = -53,290 \cdot 20,8 \cdot 0,0035 \cdot (1 + 0,802) = -6,99 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$Q_A = Q_C = Q_{A'} = Q_{C'} = 53,290 \cdot 0,5 \cdot (1 + 0,802) = 48,01 \text{ кН}.$$

$$Q_{CC'} = -53,290 \cdot \frac{0,3006}{1,43} \cdot (1 + 0,802) = -20,19 \text{ кН}$$

$$N_A = N_C = -Q_{CC'} = +20,19 \text{ кН}.$$

- Расчётные усилия от распределённой ветровой эквивалентной нагрузки на колонны от базы до низа ригеля через переходный коэффициент ε :

$$\varepsilon = \frac{1,639}{2,623} \cong 0,625,$$

где линейная расчётная эквивалентная равномерно распределённая ветровая нагрузка на колонны от верха оголовка фундамента до низа ригеля при $H = 20,8$ м уточнённо равна:

$$q'_{\text{wa,эKB}} = 2,755 \cdot \frac{19,8}{20,8} = 2,623 \text{ кН/ м— напор};$$

$$q'_{\text{wo,эKB}} = -1,722 \cdot \frac{19,8}{20,8} = -1,639 \text{ кН/ м— отсос}.$$

Тогда по примеру [3, стр. 380 и табл. III.1,8]:

$$\begin{aligned} M_A &= 2,623 \cdot 20,8^2 \cdot [-0,5 + 0,1895 \cdot (1 - 0,625) + 0,0424 \cdot (1 + 0,625)] = \\ &= 2,623 \cdot 20,8^2 \cdot [-0,5 + 0,071 + 0,0689] = -408,65 \text{ кН} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{BC}} = M_{\text{BA}} &= 2,623 \cdot 20,8^2 \cdot [-0,0474 + 0,0474 \cdot (1 - 0,625) + 0,0424 \cdot (1 + \\ &+ 0,625)] = 2,623 \cdot 20,8^2 \cdot [-0,0474 + 0,0177 + 0,0689] = 44,49 \text{ кН} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_C &= 2,623 \cdot 20,8^2 \cdot [-0,0162 \cdot (1 - 0,625) + 0,0424 \cdot (1 + 0,625)] = \\ &= 2,623 \cdot 20,8^2 \cdot [-0,00608 + 0,0689] = 71,29 \text{ кН} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{A'} &= 2,623 \cdot 20,8^2 \cdot [0,5 \cdot 0,625 + 0,1895 \cdot (1 - 0,625) - 0,0424 \cdot (1 + \\ &+ 0,625)] = 2,623 \cdot 20,8^2 \cdot [0,3125 + 0,0711 - 0,0689] = 357,13 \text{ кН} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{B}'\text{C}'} = M_{\text{B}'\text{A}'} &= 2,623 \cdot 20,8^2 \cdot [0,5 \cdot 0,625 \cdot 0,0474 + 0,0474 \cdot (1 - 0,625) - \\ &- 0,0424 \cdot (1 + 0,625)] = 2,623 \cdot 20,8^2 \cdot [0,0148 + 0,01766 - 0,0689] = \\ &= -41,35 \text{ кН} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{C}'} &= 2,623 \cdot 20,8^2 \cdot [-0,0162 \cdot (1 - 0,625) - 0,0424 \cdot (1 + 0,625)] = \\ &= 2,623 \cdot 20,8^2 \cdot [-0,0061 - 0,0689] = -85,11 \text{ кН} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

$$Q_A = 2,623 \cdot 20,8 \cdot [1 - 0,2057 \cdot (1 - 0,625)] = +50,35 \text{ кН};$$

$$Q_C = -2,623 \cdot 20,8 \cdot 0,2057 \cdot (1 - 0,625) = -4,21 \text{ кН};$$

$$Q_{A'} = 2,623 \cdot 20,8 \cdot [0,625 + 0,2057 \cdot (1 - 0,625)] = 38,31 \text{ кН};$$

$$Q_{\text{C}'} = 2,623 \cdot 20,8 \cdot 0,2057 \cdot (1 - 0,625) = 4,21 \text{ кН}.$$

$$N_A = N_B = N_C = 2,623 \cdot 20,8 \cdot \frac{0,0848}{1,43} \cdot (1 + 0,625) = +5,26 \text{ кН};$$

$$N_{A'} = N_{B'} = N_{C'} = -5,26 \text{ кН}.$$

$$Q_{BC} = 12,58 \text{ кН};$$

$$Q_{B'C'} = 14,7 \text{ кН};$$

Суммарные усилия от полной ветровой нагрузки получим сложением их от трёх видов нагрузок: сосредоточенных в узлах С и С'; сосредоточенных в узлах В и В'; равномерно распределенной в пределах $H = 20,8$ м.

Запишем их в расчётных сечениях колонны:

$$M_A = -303,03 - 689,49 - 408,65 = -1410,17 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_A = 23,54 + 48,01 + 50,35 = +121,90 \text{ кН};$$

$$M_{BC} = 37,63 - 6,99 + 44,49 = +75,13 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_{BC} = -3,80 + 48,01 + 12,58 = +56,79 \text{ кН};$$

$$M_{BA} = 37,63 - 6,99 + 44,49 = +75,13 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_{BA} = +23,54 + 48,01 + 12,58 = +84,13 \text{ кН};$$

$$M_C = 61,79 + 300,21 + 71,29 = +433,29 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_C = -3,8 + 48,01 - 4,21 = +40,0 \text{ кН};$$

$$M_{A'} = +281,33 + 689,49 + 357,13 = +1336,95 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_{A'} = +20,89 + 48,01 + 38,31 = +107,21 \text{ кН};$$

$$M_{B'C'} = -19,53 + 6,99 - 41,35 = -53,89 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_{B'C'} = +20,89 + 48,01 + 14,7 = 83,60 \text{ кН};$$

$$M_{B'A'} = -19,53 + 6,99 - 41,35 = -53,89 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_{B'A'} = +20,89 + 48,01 + 14,7 = 83,60 \text{ кН};$$

$$M_{C'} = -75,07 - 300,21 - 85,11 = -460,39 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$N_A = +4,52 + 20,19 + 5,26 = 29,97 \text{ кН};$$

$$N_{A'} = -4,52 - 20,19 - 5,26 = -29,97 \text{ кН};$$

$$Q_C = +3,8 + 48,01 + 4,21 = 56,02 \text{ кН}.$$

Таблица 1

Расчётные усилия в левой колонне поперечной однопролётной рамы с жёсткими узлами (по примеру [3, табл. X.3] с учётом новых требований [1] по снеговым и ветровым нагрузкам]: М-кН; N, Q-кН.

Наименование сечения	Вид усилия	Постоянная нагрузка	Снеговая нагрузка	Крановая нагрузка				Ветровая нагрузка	
				Вертикальное торможение D_{\max} на колонне		Поперечное торможение на колонне			
				левой	правой	левой	правой	слева	справа
				1	2	3	4	5	6
С	М	-686,60	-421,43	-40,30	-139,60	∓53,30	∓87,30	+433,29	-460,36
	N	-671,00	-354,88	+3,30	-3,30	±1,10	∓1,10	+29,97	-29,97
	Q	-51,10	-33,12	-101,40	-54,80	∓64,20	∓16,20	+40,00	+56,02
В _С	М	-359,80	-210,64	+608,20	+210,70	±158,80	±16,10	+75,13	-53,89
	N	-724,00	-354,88	+3,30	-3,30	±1,10	∓1,10	+29,97	-29,97
	Q	-51,10	-33,12	-101,40	-54,80	±44,30	±16,20	56,79	+83,60
В _А	М	-236,30	-122,44	-1165,80	-359,30	±158,80	±16,10	+75,13	-53,89
	N	-814,00	-354,88	-2835,70	-915,30	±1,10	∓1,10	+29,97	-29,97
	Q	-51,10	-33,12	-101,40	-54,80	±44,30	∓16,20	+84,13	+83,60
А	М	+499,2	+278,08	+294,40	+430,00	∓479,20	±249,50	-1410,17	+1336,95
	N	-927,0	-354,88	-2835,70	-915,30	±1,10	∓1,10	+29,97	-29,97
	Q	-51,10	-33,12	-101,40	-54,80	±44,30	∓16,20	+121,90	+107,21

Таблица 2

Расчётные сочетания нагрузок (усилий от них) на левую колонну

Расчётные сечения	№ загрузки хΨt; Виды усилий	По СНиП 2.01.07-85* [2]				По СП 20.13330.2011 [1]				$\Delta = \frac{[1]-[2]}{[1]}$, в %
		+M _{max}	-M _{max}	N _{max}	N _{max}	+M _{max}	-M _{max}	N _{max}	N _{max}	
		N _{соотв.}	N _{соотв.}	+M _{соотв.}	-M _{соотв.}	N _{соотв.}	N _{соотв.}	+M _{соотв.}	-M _{соотв.}	
«С» верх колонны	№ хΨt	1+0,9(3,6,7)	1+(2,4,6,8)× ×0,9	1+(3,6,7) × ×0,9	1+(2,4,6,8) × ×0,9	(1+7) ×1+ +(3,6) ×0,9	(1+8) ×1+ +2×0,9+ +(4,6) ×0,7	(1+7) ×1+ +(3,6) ×0,9	(1,2) ×1+ +8×0,9+ +(4,6) ×0,7	Δ=
	M	-254,34	-1684,45	-254,34	-1684,45	-211,01	-1685,11	-211,01	-1681,21	+0,04%
	N	-640,07	-1021,33	-640,07	-1021,33	-637,07	-1023,44	-637,07	-1055,93	+(0,21÷3,28)
	Q	-91,78	-94,39	-96,30	-99,20	-87,78	-74,59	-87,78	-83,56	-(33÷13)
«В _с » изм. сечения (верх)	№ хΨt	1+0,9(3,5,7)	1+(2,4,5,8) × ×0,9	1+(3,5,7) × ×0,9	1+(2,4,5,8) × ×0,9	(1+3,5) ×1+ +7 ×0,9	(1+2) ×1+ +8 ×0,9	(1+7) ×1+ +(3,5) ×0,9	(1+2) ·1+8·0,9	Δ=
	M	+398,12	-551,17	+398,12	-551,17	+474,82	-618,94 (-582,61)	+405,63	-618,94 (-582,61)	+(10,95÷5,40)
	N	-963,07	-1074,33	-693,07	-1074,33	-692,63	-1105,85 (-1108,93)	-692,05	-1105,85 (-1108,93)	+(2,85÷3,12)
	Q	-51,38	-94,93	-51,38	-94,93	-57,09	-8,98 (-78,35)	-45,70	-8,98 (-78,35)	-21,2
«В _с » изм. сечения (низ)	№ хΨt	1+7×1	1+(2,3,5,8) × ×0,9	1+7×1	1+(2,3,5,8) × ×0,9	1+7×1	(1+3,5) ×1+ +2×0,9+8×0,7	1+7×1	(1+3,5) ×1+ +2×0,9+8×0,7	Δ=
	M	-161,17	-1587,14	-161,17	-1587,14	-161,17	-1708,82	-161,17	-1708,82	+7,12
	N	-843,97	-3713,49	-784,03	-3713,49	-843,03	-3991,17	-843,97	-3991,17	+6,96
	Q	+33,03	-136,80	+33,03	-136,80	+33,03	-168,09	+33,03	-168,09	+18,62
«А» низ колонны	№ хΨt	1+0,9(2,4,5,8)	1+(3,5,7) ×0,9	1+(2,3,5,8) × ×0,9	1+(3,5,7) ·0,9	(1+8) ×1+ +(4,5)×0,9+ +2×0,7	(1+7) ×1+ +(3,5) ×0,9	(1+3,5) ×1+ +2×0,9+ +8×0,7	(1+3,5) ×1+ +7×0,9	Δ=
	M	+2771,01	-936,27	2468,97	-936,27	+2849,09	-1077,29	+2458,94	-954,75	-7,73
	N	-2098,13	-3451,17	-3826,49	-3451,17	-2030,15	-3448,17	-4104,17	-3734,63	+6,77
	Q	-73,61	+7,22 (-72,52)	-115,55	+7,22 (-72,52)	-56,26	+19,41 (-60,33)	-151,56	+1,51 (-87,09)	+23,76

4. Сравнительный анализ численных значений сочетаний нагрузок и усилий от них на принятые комбинации по СП 20.13330.2011 и СНиП 2.01.07-85*.

В табл. 1 приведены уточнённые усилия в колонне поперечной рамы с учётом новых требований [1] по снеговым, крановым и ветровым нагрузкам (с учётом их пульсации).

В табл. 2 приведены результаты приведенных расчётных сочетаний в двух вариантах: по СНиП 2.01.07-85* [2] и по СП 20.13330.2011 [1].

Выполнено сравнение величин полученных сочетаний по [1] и [2] в процентах по формуле:

$$\Delta = \frac{[1] - [2]}{[1]} \cdot 100\%,$$

- в каждом из четырёх расчётных сечений колонны от

наиболее невыгодных комбинаций усилий.

Различия составили:

- для верхней части колонны (сечения «С» и «В_с»):
 - по М – в пределах $\Delta = +(0,04 \div 10,95)\%$;
 - по N – в пределах $\Delta = +(0,21 \div 3,28)\%$;
 - по Q – в пределах $\Delta = -(13 \div 33)\%$.
- для нижней части колонны (сечения «В_А» и «А»):
 - по М – в пределах $\Delta = (+7,12 \div -7,73)\%$;
 - по N – в пределах $\Delta = +(6,69 \div 6,77)\%$;
 - по Q – в пределах $\Delta = (-21,22 \div +23,8)\%$.

Таким образом, расчётные сочетания по нормам [1] на конкретном примере показали увеличение М и N в нижнем сечении примерно на +7%, по Q – на +24%; увеличение М в верхнем сечении до +11%, по Q = до – 33%.

Список литературы

- 1 Свод правил. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. М.:2011, 78 с.
- 2 Нагрузки и воздействия. СНиП 2.01.07-85* Минстрой РФ, М.: 1996, 52 с.
- 3 Расчёт рамных конструкций одноэтажных промышленных зданий. Примак Н.С., К.: 1972, 496 с.

Александр Иванович Колесов
Андрей Александрович Лапшин
Иван Анатольевич Ямбаев

Расчётные сочетания нагрузок по СП 20.13330.2011 при расчёте поперечной рамы промздания

Методические рекомендации к курсовому проекту по проектированию стального каркаса цеха одноэтажного промздания для студентов направления 270800.62 – Строительство, профиль – Промышленное гражданское строительство.

Подписано на печать _____ . Формат 60x90,1/16.

Бумага и печать офисная.

Уч. изд. л. _____. Усл. печ. л. _____. Тираж 300 экз.

Заказ № _____ .

Нижегородский государственный архитектурно строительный университет, 603950, Нижний Новгород, Ильинская, 65.

Полиграфцентр ННГАСУ, 603950, Нижний Новгород, Ильинская, 65.