

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ РАМЫ

STATIC FRAME CALCULATION

Авторы: Бухвалов Леонид Сергеевич (Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет)

Аннотация: В работе представлен статический расчет металлической рамы, подобраны сечения, выполнена проверка по II группе предельных состояний.

Ключевые слова: рама, подбор сечений, прогиб, сочетания усилий

Annotation: The work presents a static calculation of the metal frame, hand-sections, checked on the second group of limit states

Keywords: frame, selection of cross-sections, deflection, combination of efforts

Статический расчёт рамы выполнен методом подбора сечений элементов с применением пакета прикладных программ «SCADOffice». В качестве модели принята пространственная модель, учитывающая геометрические параметры и характер распределения нагрузок (собственный вес, вес покрытия, снеговая нагрузка).

Тип схемы: плоская рама (имеет три степени свободы по x , z , cy). В расчетной схеме для всех элементов используется 2 тип КЭ - стержень плоской рамы (x , z , cy).

Крепления стержней между собой обеспечивается шарнирным соединением (поворот относительно UY).

Конечно-элементная модель представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 - Конечно - элементная модель рамы

Статический расчет выполнен для следующих нагрузений:

1. Собственный вес;
2. Вес покрытия;
3. Вес перекрытия;
4. Вес перегородок;
5. Полезная нагрузка;
6. Снег на весь пролёт;
7. Ветер справа;
8. Ветер в торец
9. Ветер слева.;

Расчет выполняется по I и II группам ПС.

Результаты расчета оцениваем по сочетаниям усилий:

Таблица 1 - Расчетные сочетания усилий

$$(L1)*1,2+(L2)*1,4+(L5)*1,3+(L6)*1,2+(L8)*1,05$$

(L1)*1,2+(L2)*1,4+(L3)*1,4+(L5)*1,3+(L6)*1,2+(L8)*1,05
 (L1)*1,2+(L2)*1,4+(L4)*1,4+(L5)*1,3+(L6)*1,2+(L8)*1,05
 (L1)*1,2+(L2)*1,4+(L5)*1,3+(L6)*1,2+(L7)*1,4+(L8)*1,05

Коэффициенты при сочетаниях нагрузок принимаются согласно СП [1].

По результатам статического расчета в программном комплексе «SCADOffice» получены значения приведенных напряжений и отклонения системы в виде перемещений.

Расчёт элементов выполняется согласно СП [2]. Сечения подбираются исходя из полученных усилий при центральном сжатии и при действии продольной силы с изгибом.

Расчёт на устойчивость элементов сплошного сечения при центральном сжатии силой N и удовлетворяющих требованиям 7.1 [2], следует выполнять по формуле:

$$\frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (1)$$

где: N - усилие в элементе, кН;

$\gamma_c = 1$ - коэффициент условий работы, принимается согласно [2];

φ - коэффициент устойчивости при центральном сжатии, значение которого при $\lambda \geq 0,4$ следует определять по формуле:

$$\varphi = (\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \cdot \bar{\lambda}^2}) / \bar{\lambda}^2, \quad (2)$$

Значение коэффициента δ в формуле (Г.2) следует вычислять по формуле:

$$\delta = 9,87 \cdot (1 - \alpha + \beta \cdot \bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2, \quad (3)$$

где: $\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{R_y / E}$ - условная гибкость стержня;

$E = 20600$ кН/см²;

α и β - коэффициенты, определяемые по таблице 7 [2] в зависимости от типов сечений, $\alpha = 0,04$ и $\beta = 0,09$.

При значениях $\bar{\lambda} < 0,4$ для всех типов сечений допускается принимать $\varphi = 1,0$.

A - площадь поперечного сечения стержня;

R_y - расчётное сопротивление стали; так как данная конструкция относится к 2 группе стальных конструкций, то для нее применима сталь С255 по ГОСТ 27772.

Согласно приложению В[2] при температуре $< -45 \text{ C}^0$ расчетное сопротивление стали С255 равно $R_y = 24 \text{ кН/см}^2$ (по таблице В.5 для стали толщиной от 2 до 20 мм);

Расчёт на устойчивость стержней следует выполнять с учетом требований 7.3.2. При определении гибкости стержней радиус инерции сечения и расчетную длину следует принимать согласно требованиям 10.3.1 и 10.3.3[2].

Расчёт прочность элементов сплошного сечения при действии продольной силы с изгибом. следует выполнять по формуле:

$$\frac{M_x}{W_x} + \frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c \quad (4)$$

где M_x - абсолютные значения изгибающего момента при наиболее неблагоприятном сочетании, кНм;

W_x - момент сопротивления сечения относительно оси x ;

Составляющие в формуле 4 аналогичны составляющим в формуле 1.

Все расчёты сводятся в таблицу 2.

Наименование элемента	N, кН	M, кНм	H, см	t, см	B, см	s, см	A, см ²	$R_y \gamma_c$, кН/см ²	φ	I_x , см ⁴	W_x , см ³
Отправочная марка 1	-132,4	271,7	29,6	1,35	30	0,9	108,0	22,8	0,51	18110	1223
Отправочная марка 2	-634,7	-249,3	30,4	1,75	30	1,15	138,7	22,8	0,49	23910	1573

										18110	
Отправочная марка 3	-488,5	-331,7	29,6	1,35	30	0,9	108,0	22,8	0,51		1223
										37160	
Отправочная марка 4	-37,7	-271,7	49,2	1,2	20	0,88	92,38	22,8	1		1511
										37160	
Отправочная марка 5	-37,7	-357,2	49,2	1,2	20	0,88	92,38	22,8	1		1511
										37160	
Отправочная марка 6	-94,5	-309,6	49,2	1,2	20	0,88	92,38	22,8	1		1511
										125930	
Отправочная марка 7	3,6	684,6	69,1	1,55	26	1,2	164,7	22,8			3645

Таблица 2 - Подбор сечений рамы

При расчёте строительных конструкций должно быть выполнено условие согласно [1]:

$$f \leq f_u, \quad (5)$$

где: f - прогиб (выгиб) и перемещение элемента конструкции (или конструкции в целом), определяемые с учетом факторов, влияющих на их значения, максимальные фактические перемещения получены в ППП «SCADOffice» и представлены на рисунке 2

f_u - предельный прогиб (выгиб) или перемещение, устанавливаемые настоящими нормами, в соответствии с приложением Г [1], согласно п.2 таблицы Г.1 при пролёте покрытия 18 м максимальный прогиб будет составлять:

$$l/233 = 18000/233 = 87 \text{ мм.}$$

Перемещения рамы получены от расчетных значений нагрузок.

		Z		
		MM	MM	
✓	■	-85,25	-79,79	8
✓	■	-79,79	-74,33	0
✓	■	-74,33	-68,87	8
✓	■	-68,87	-63,4	8
✓	■	-63,4	-57,94	0
✓	■	-57,94	-52,48	0
✓	■	-52,48	-47,01	0
✓	■	-47,01	-41,55	2
✓	■	-41,55	-36,09	12
✓	■	-36,09	-30,62	16
✓	■	-30,62	-25,16	0
✓	■	-25,16	-19,7	18
✓	■	-19,7	-14,24	4
✓	■	-14,24	-8,77	4
✓	■	-8,77	-3,31	16
✓	■	-3,31	2,15	174

Рисунок 2 – Значения перемещений (мм) от расчетных нагрузок.

Значения перемещений от расчетных нагрузок не превышают предельного значения 87 мм, следовательно, перемещения от нормативных нагрузок также не превышают предельного значения, а принятые сечения элементов удовлетворяют условиям второго предельного состояния.

Литература.

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. М.: Минрегион России, 2011;
2. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*:свод правил: утв. Минрегион России 27.12.10: дата введ. 25.05.11.-М.:Минрегион России, 2011.-81 с. 2011;
3. ГОСТ 25129-82. Грунтовка ГФ-021. Технические условия. М: Издательство стандартов 1982;
4. ГОСТ926-82. Эмаль ПФ-133. Технические условия. М: Издательство стандартов 1982;
5. Катюшин В. В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство).-М.: ОАО «Издательство Стройиздат», 2005.-656 е.:ил.

6. ГОСТ Р 53295-2009 Средства огнезащиты для стальных конструкций.
Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности (с изменением №1).