



Министерство образования
Республики Беларусь

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра «Железобетонные и каменные конструкции»

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПОПЕРЕЧНОЙ РАМЫ ОДНОЭТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ

*Учебно-методическое пособие
по выполнению курсового проекта по дисциплине
«Железобетонные и каменные конструкции»*

**Минск
БНТУ
2015**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Железобетонные и каменные конструкции»

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПОПЕРЕЧНОЙ РАМЫ ОДНОЭТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ

Учебно-методическое пособие
по выполнению курсового проекта по дисциплине
«Железобетонные и каменные конструкции»
для студентов специальности 1-70 02 01
«Промышленное и гражданское строительство»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области строительства и архитектуры*

Минск
БНТУ
2015

УДК 624.012.45.04:69.032.2:378.147.091.313 (075.8)

ББК 38.53я7

C78

Авторы:

А. Е. Шилов, В. Ф. Зверев, С. Н. Делендик, С. М. Коледа, А. А. Шилов

Рецензенты:

А. М. Суцены, главный инженер УП «Белпромпроект»;
А. И. Згировский, зав. кафедрой «Металлические и деревянные
конструкции», канд. техн. наук

Статический расчет поперечной рамы одноэтажного производственного здания : учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта по дисциплине «Железобетонные и каменные конструкции» для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» / А. Е. Шилов [и др.]. – Минск : БНТУ, 2015. – 44 с.
ISBN 978-985-550-689-9.

Учебно-методическое пособие содержит пример расчета поперечной рамы цеха одноэтажного производственного здания, выполненный вручную в соответствии с программой дисциплины для курсового проекта № 2. Приведены общие положения по статическому расчету каркаса одноэтажного производственного здания, последовательность выполнения статического расчета поперечной рамы цеха одноэтажного производственного здания. Пример расчета выполнен в соответствии с требованиями действующих норм проектирования, гармонизированных с европейскими документами. Даны необходимые ссылки на учебную и нормативную литературу.

Пособие предназначено для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» всех форм обучения, а также может быть использовано при курсовом проектировании студентами других строительных специальностей.

УДК 624.012.35:378.147.091.313(075.8)

ББК 33.53я7

ISBN 978-985-550-689-9

© Белорусский национальный
технический университет, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения по статическому расчету каркаса одноэтажного промышленного здания.....	4
2. Последовательность выполнения статического расчета поперечной рамы одноэтажного промышленного здания.....	6
3. Пример расчета поперечной рамы цеха одноэтажного промышленного здания.....	14
3.1. Подготовка исходных данных для расчета на ЭВМ.....	14
3.2. Результаты расчета поперечной рамы цеха на ЭВМ.....	17
3.3. Пример статического расчёта поперечной рамы цеха одноэтажного производственного здания вручную.....	19
3.3.1. Вычисление геометрических характеристик сечений колонн.....	19
3.3.2. Определение реакций верхних концов колонн рамы от единичного смещения.....	20
3.3.3. Загружение рамы постоянной нагрузкой.....	20
3.3.4. Загружение снеговой нагрузкой.....	24
3.3.5. Загружение ветровой нагрузкой.....	27
3.3.6. Загружение крановой нагрузкой.....	30
Крановая нагрузка D_{\max} по оси А (кран в пролете АБ).....	30
Крановая нагрузка D_{\max} по оси Б (кран в пролете АБ).....	33
Горизонтальная тозмозная сила T по оси А (кран в пролете АБ).....	36
Горизонтальная тозмозная сила T по оси Б (кран в пролете АБ).....	38
Литература.....	44

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО СТАТИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ КАРКАСА ОДНОЭТАЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

Каркас здания – нелинейно деформируемая статически неопределимая система, находящаяся под воздействием постоянных и переменных нагрузок. Нелинейность работы этой системы обусловлена геометрическими (наличием продольного изгиба колонн) и физическими факторами (влиянием на жесткость колонн трещин и неупругих деформаций бетона, зависящих от величины усилий и длительности действия нагрузки). Статический расчет рам, образующих эту систему, правильнее всего производить по деформированной схеме с непосредственным учетом продольного изгиба, влияния трещин и неупругих деформаций бетона на кривизну и, соответственно, жесткость колонн. Упрощенно, с использованием стандартных программ типа «Лира» и т. п., статический расчет рам на все воздействия, за исключением вынужденных перемещений, производится по недеформированной схеме как упругой линейно-деформируемой системы без учета влияния трещин на жесткость колонн.

Цель статического расчета – определение усилий и перемещений в сечениях элементов рамы. Для расчета вначале принимают расчетную схему, величины нагрузок и места их приложения. При действии общих для всего здания нагрузок (собственного веса, снега, ветра) пространственный характер работы каркаса при симметричных рамах не проявляется, так как все поперечные рамы находятся в одинаковых условиях и испытывают одинаковые горизонтальные смещения верха колонн. В этом случае каждую раму можно рассматривать как отдельную плоскую систему.

Поперечные рамы рассчитывают на воздействие постоянных (масса покрытия, каркаса, навесных стен и т. п.) и переменных (длительных и кратковременных) нагрузок. Переменной считают нагрузку от воздействия кранов, ветра, снега. В курсовом проекте рассматриваются три варианта поперечных рам: одно-, двух- или трехпролетные. На рис. 1.1 приведены схемы приложения характерных нагрузок на двухпролетную раму.

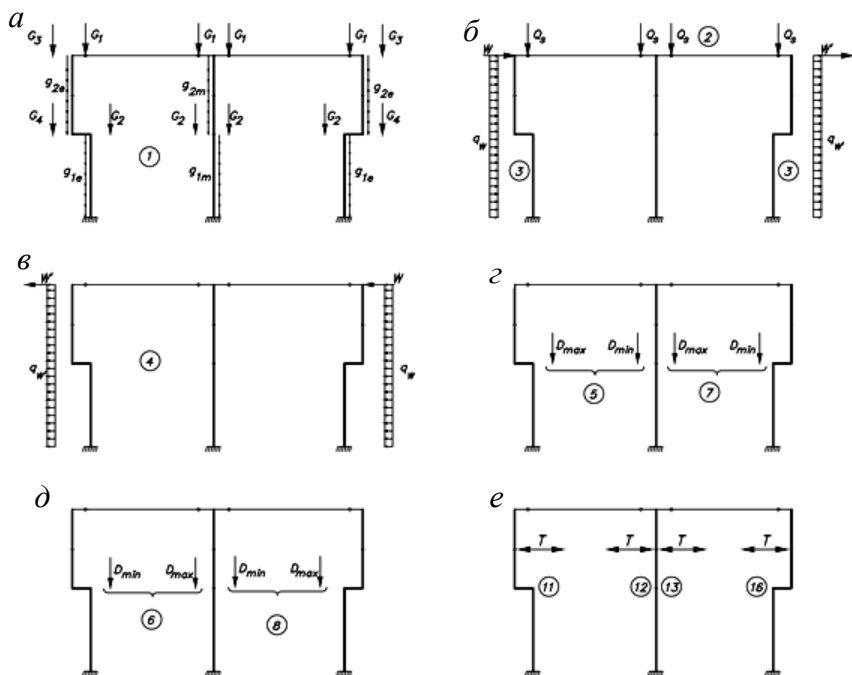


Рис. 1.1. Схемы приложения нагрузок от характерных источников к поперечной раме:

a – от собственного веса конструкций; *б* – от веса снегового покрова и давления ветра слева; *в* – от давления ветра справа; *г* – от вертикального давления крана при D_{max} слева; *д* – то же D_{max} справа; *е* – от поперечного торможения крана; 1–16 – номер характерного источника

Основные положения по статическому расчету каркаса одноэтажного промышленного здания (ОПЗ), рекомендации по сбору нагрузок, подготовки исходных данных для расчета на ЭВМ, а также анализ полученных результатов приведены в [1].

В настоящем учебно-методическом пособии ниже приведены положения по выполнению статического расчета поперечной рамы цеха (ПРЦ) ОПЗ вручную, последовательность выполнения этого расчета, а также сопоставительный анализ результатов расчетов, выполненных вручную и на ЭВМ.

2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПОПЕРЕЧНОЙ РАМЫ ОДНОЭТАЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

Наиболее полно основные положения и рекомендации по выполнению статического расчета ПРЦ ОПЗ приведены в источниках [2, 3, 4, 5].

В настоящем учебно-методическом пособии приведен пример расчета двухпролетной поперечной рамы ОПЗ со ступенчатыми колоннами сплошного сечения.

Для рам с горизонтальными ригелями в одном уровне и шарнирном сопряжении ригелей с колоннами наиболее удобным является метод перемещений, так как в этом случае имеется лишь одно неизвестное – горизонтальное смещение Δ_1 верха колонн. Основную систему получают введением дополнительной связи по направлению этого смещения (рис. 2.1).

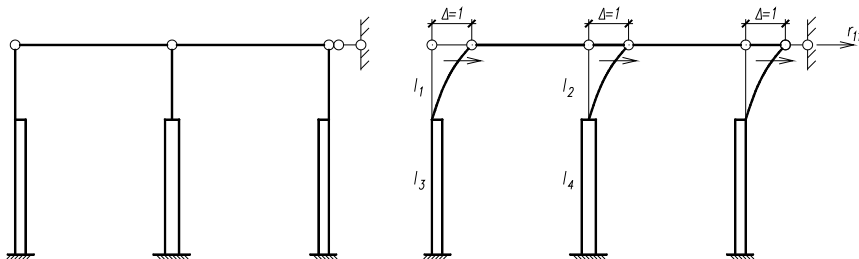


Рис. 2.1. Основная система по методу перемещений

Расчет рамы по данному методу сводится к определению упругих реакций V_e верха колонн от горизонтального смещения Δ_1 при раздельном последовательном нагружении внешней нагрузкой (т. е. с использованием принципа независимости действия сил) и последующим определениям усилий M , N , V в сечениях колонн (рис. 2.2).

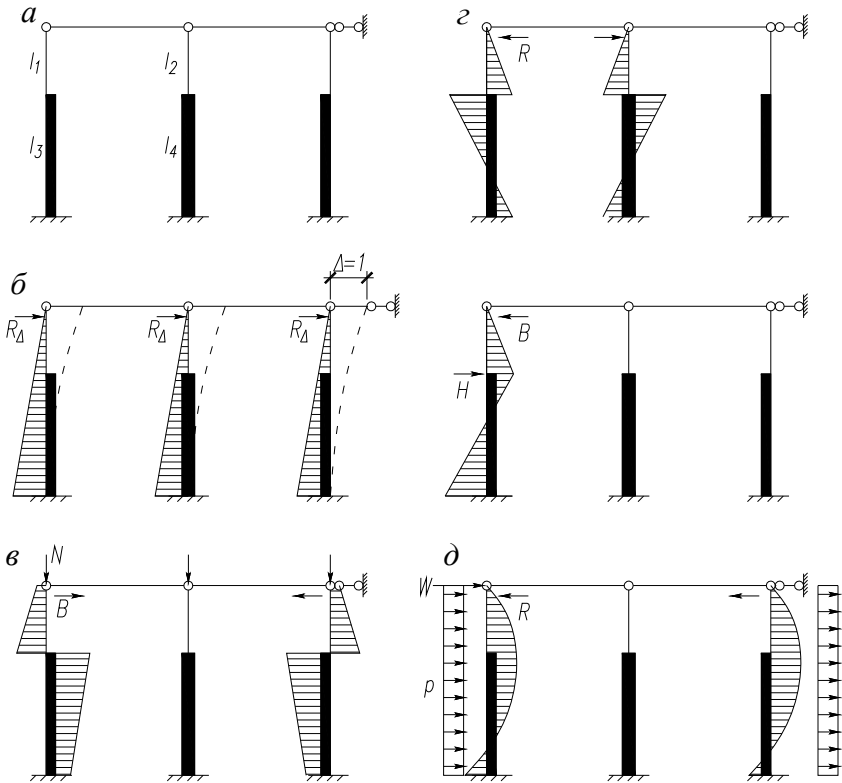


Рис. 2.2. Основная система поперечной рамы и эпюры моментов от воздействия нагрузок

При таком подходе рама рассматривается как упругая линейно деформируемая система с элементами постоянной жесткости (влияние трещин на жесткость колонн не учитывается).

Определение усилий в поперечной раме рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

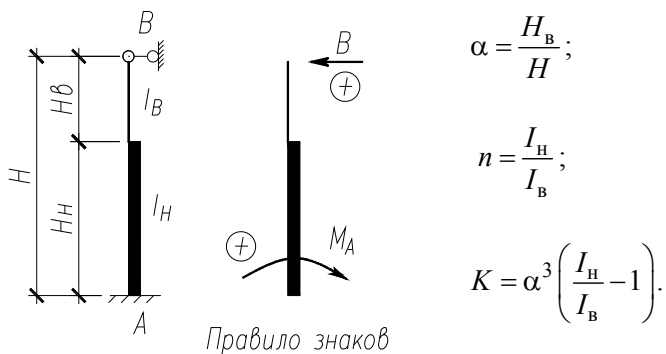
1. Выбирают тип колонн, задаются размерами их сечений, определяют постоянные и переменные нагрузки на раму.

2. Вычисляют моменты инерции надкрановых I_1 , I_2 (I_B) и подкрановых I_3 , I_4 (I_H) частей колонн рамы.

3. Верхним концом колонн рамы придают горизонтальное смещение $\Delta = 1$ (см. рис. 2.1) и определяют реакции B_{Δ} колонн в основной системе от этого смещения по формуле в табл. 2.1.

Таблица 2.1

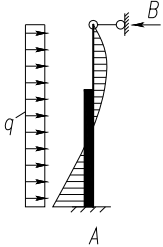
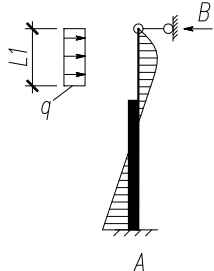
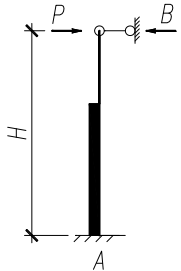
Формулы для расчета сплошных ступенчатых колонн с одним уступом



№ п/п	Схема загрузки и эпюра моментов	Реакция B	Момент M_A
1	2	3	4
1		$B_{\Delta} = -\frac{3E_{ст}I_H}{H^3(1+K)}$	$M_A = -B_{\Delta}H$

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4
2		$B_{\Delta} = -\frac{3M_0 \left(1 + \frac{K}{\alpha}\right)}{2H(1+K)}$	$M_A = B_{\Delta}H - M_0$
3		$B_{\Delta} = -\frac{3M_0(1-\alpha^2)}{2H(1+K)}$	$M_A = B_{\Delta}H - M_0$
4		$B_{\Delta} = -\frac{3M_0\xi(1-\xi)}{2H(1+K)}$	$M_A = B_{\Delta}H - M_0$
5		$B_{\Delta} = -\frac{T(1-\alpha)}{1+K}$	$M_A = B_{\Delta}H - T \times (H - 0,7H_B)$

1	2	3	4
6		$B_{\Delta} = -\frac{3qH(1+\alpha K)}{8(1+K)}$	$M_A = B_{\Delta}H - \frac{qH^2}{2}$
7		$B_{\Delta} = -\frac{qH}{8(1+K)} \times$ $\times [3(1+\alpha K) -$ $-(3+\alpha)(1-\alpha^3)]$	$M_A = B_{\Delta}H - qL_1 \times$ $\times \left(H - \frac{L_1}{2} \right)$
8		$B_{\Delta} = \frac{P}{1+K}$	$M_A = H(B_{\Delta} - P)$

4. Находят сумму реакций верха колонн от смещения $\Delta = 1$

$$r_{11} = \sum_{j=1}^n B_{\Delta j}$$

5. Для каждого вида загрузки рамы внешней нагрузкой (N_g, N_s, D_{\max}, T, w) определяют реакции B_i в стойках в основной системе (с несмещаемыми верхними концами) по формулам, приведенным в табл. 2.1, 2.2, и сумму реакций во всех стойках (см. рис. 2.2)

$$r_{1p} = \sum_{j=1}^n B_{\Delta ij}.$$

6. Для каждого нагружения составляют каноническое уравнение метода перемещений, выражающее равенство нулю реакции в дополнительной связи (так как в действительности эта связь отсутствует):

$$c_{\text{dim}} r_{11} \Delta_1 + R_{1p,i} = 0, \quad (2.1)$$

где c_{dim} – коэффициент, учитывающий пространственную работу каркаса при действии крановых нагрузок и принимаемый равным 3,4 при шаге 12 м и равным 4 при шаге 6 м; при действии остальных нагрузок коэффициент $c_{\text{dim}} = 1$.

Следует отметить, что при выполнении статического расчета на ЭВМ, выполняемого в БНТУ, принята плоская рама без учета пространственной работы каркаса, т. е. c_{dim} принят равным 1. Поэтому при сопоставлении расчетов на ЭВМ и вручную в последнем также необходимо принять $c_{\text{dim}} = 1$.

7. Из канонического уравнения (2.1) находят действительное смещение верха колонн для каждого вида нагружения

$$\Delta_{1,i} = -\frac{R_{1p,i}}{r_{11} c_{\text{dim}}}.$$

8. Для каждого вида нагружения определяют упругие реакции верха колонн

$$B_{e,i} = B_i + \Delta_{1,i} B_{\Delta}.$$

9. Определяют усилия M , N в расчетных сечениях колонны, рассматривая ее как вертикальную консоль, нагруженную непосредственно приложенной к ней внешней нагрузкой и соответствующей ей (нагрузке) упругой реакцией $B_{e,i}$. Обычно рассматривают четыре расчетных сечения:

- I–I – на уровне верха колонны;
- II–II – на уровне верха крановой консоли;
- III–III – под крановой консолью;
- IV–IV – в уровне защемления колонны в фундаменте.

Таблица 2

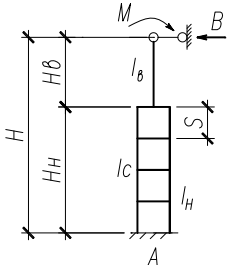
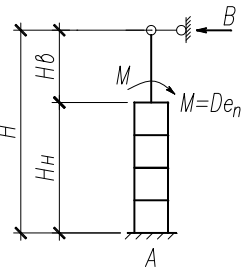
Формулы для расчета двухветвевых колонн

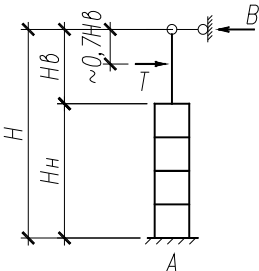
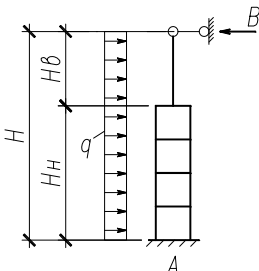
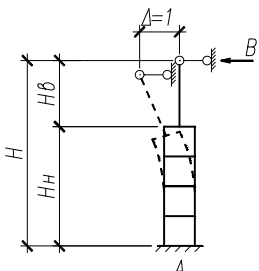
$$\alpha = \frac{H_B}{H}; \quad K = \alpha^3 \left(\frac{I_H}{I_B} - 1 \right); \quad K_1 = \frac{(1-\alpha)^3 I_H}{8n^2 I_c}; \quad I_H = \frac{Ac^2}{2}$$

A – площадь ветви сечения;

c – расстояние между осями распорок;

n – число распорок

Действующая нагрузка	Схема загрузки и эпюра моментов	Реакция B
1	2	3
Момент M применен вверху		$B_{\Delta} = -\frac{3M \left(1 + \frac{K}{\alpha} \right)}{2H (1 + K + K_1)}$
Крановый момент M		$B_{\Delta} = -\frac{3M (1 - \alpha^2)}{2H (1 + K + K_1)}$

1	2	3
<p>Тормозная сила T</p>		$B_{\Delta} = -\frac{T(1-\alpha+K_1)}{1+K+K_1}$
<p>Ветровая нагрузка</p>		$B_{\Delta} = -\frac{3qH[1+\alpha K+1,33(1+\alpha)K_1]}{8(1+K+K_1)}$
<p>Смещение $\Delta = 1$</p>		$B_{\Delta} = -\frac{3E_{ст}I_H}{H^3(1+K+K_1)}$

3. ПРИМЕР РАСЧЕТА ПОПЕРЕЧНОЙ РАМЫ ЦЕХА ОДНОЭТАЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

3.1. Подготовка исходных данных для расчета на ЭВМ

Исходные данные для расчета ПРЦ даны в табл. 3.1, 3.2.

Таблица 3.1

Исходные данные для расчета на ЭВМ

	–	Шифр расчета (две латинские буквы)
	–	Фамилия и инициалы (русские буквы)
	–	Номер группы (112xxx)
2	–	Количество пролетов
19,6	м	Размер пролета в осях
7,230	м	Расстояние от обреза фундамента до верха консоли
3,720	м	Высота надкрановой части колонны
1,200	м	Высота подкрановой балки
0	мм	Привязка крайней колонны
28800	МПа	Модуль упругости бетона колонн
0	–	Код сечения <i>подкрановой</i> части <i>КРАЙНЕЙ</i> колонны: сплошное (прямоугольное) – 0; сквозное – 5
400 600	мм	Ширина и высота сечения, высота сечения ветви ¹ <i>подкрановой</i> части
380	мм	Высота сечения <i>надкрановой</i> части
0	–	² Код сечения <i>подкрановой</i> части <i>СРЕДНЕЙ</i> колонны: сплошное (прямоугольное) – 0; сквозное – 5
400 800	мм	² Ширина и высота сечения, высота сечения ветви ¹ <i>подкрановой</i> части
600	мм	² Высота сечения <i>надкрановой</i> части
326,279	кН	Нагрузка на <i>КРАЙНЮЮ</i> колонну от собственного веса покрытия
–0,040	м	Эксцентриситет ее приложения относительно оси <i>надкрановой</i> части

¹ Для колонны сквозного сечения.

² В случае однопролетного здания не заполняется.

Окончание табл. 3.1

73,872		кН		¹ Нагрузка от собственного веса парапетных панелей
83,106		кН		¹ Нагрузка от собственного веса стеновых панелей
300		мм		Толщина стеновых панелей
90,473		кН		Нагрузка от собственного веса подкрановой балки
89,376		кН		Нагрузка на <i>КРАЙНЮЮ</i> колонну от веса снегового покрова
2,760	1,206	кН	кН/м	Сосредоточенная и распределенная <i>активная</i> нагрузка q'_w от давления ветра W
2,070	0,905	кН	кН/м	Сосредоточенная и распределенная <i>пассивная</i> нагрузка q'_w от давления ветра W'
388,70	120,09	кН		Вертикальная крановая нагрузка D_{max}, D_{min}
14,073		кН		Нагрузка от торможения крана
S		–		Код колонны, рассчитываемой по заданию на проект (K – крайняя колонна, S – средняя колонна)

Таблица 3.2

Распечатка исходных данных для статического расчета на ЭВМ

Кафедра «Железобетонные и каменные конструкции»

Статический расчет одноэтажной рамы по КП

«Одноэтажное производственное здание»

Ivanov I.I. гр. 112xxx (шифр расчета – ab)

*** Общие данные по расчету ***

2 – количество пролетов

19.600 – размер пролета в осях, м

7.230 – расстояние от обреза фундамента до верха консоли, м

3.720 – высота надкрановой части колонны, м

1.200 – высота подкрановой балки, м

0 – привязка крайней колонны, мм

28800 – модуль упругости бетона колонн, МПа

¹ В случае самонесущих кирпичных стен данную нагрузку принять равной 0,01 кН.

*** Форма и размеры сечения колонн, мм ***

0 – код сечения подкрановой части КРАЙНЕЙ колонны – сплошное (прямоугольное)
 400–600 – ширина и высота сечения подкрановой части
 380 – высота сечения надкрановой части

0 – код сечения подкрановой части СРЕДНЕЙ колонны – сплошное (прямоугольное)
 400–800 – ширина и высота сечения подкрановой части
 600 – высота сечения надкрановой части

*** Расчетные нагрузки ***

59,529 – расчетная нагрузка от собственного веса подкрановой части КРАЙНЕЙ колонны, кН
 18,129 – расчетная нагрузка от собственного веса надкрановой части КРАЙНЕЙ колонны, кН
 79,372 – расчетная нагрузка от собственного веса подкрановой части СРЕДНЕЙ колонны, кН
 28,625 – расчетная нагрузка от собственного веса надкрановой части СРЕДНЕЙ колонны, кН
 326,279 – расчетная нагрузка на крайнюю колонну от собственного веса покрытия, кН
 –0,040 – эксцентриситет ее приложения относительно оси надкрановой части, м
 73,872 – расчетная нагрузка от собственного веса парпетных панелей, кН
 83,106 – расчетная нагрузка от собственного веса перемычных панелей, кН
 300 – толщина стеновых панелей, мм
 90,473 – расчетная нагрузка от собственного веса подкрановой балки, кН
 0,450 – эксцентриситет ее приложения относит. оси подкрановой части крайней колонны, м
 89,376 – расчетная нагрузка на крайнюю колонну от веса снегового покрова, кН
 2,760 – сосредоточенная активная расчетная нагрузка от давления ветра W , кН
 1,206 – распределенная активная расчетная нагрузка от давления ветра q_w , кН/м
 2,070 – сосредоточенная пассивная расчетная нагрузка от давления ветра W' , кН
 0,905 – распределенная пассивная расчетная нагрузка от давления ветра q'_w , кН/м
 388,700–120,090 – расчетная крановая нагрузка (D_{\max} D_{\min}), кН
 14,073 – расчетная нагрузка от торможения тележки крана, кН
 S – средняя колонна

3.2. Результаты расчета поперечной рамы цеха на ЭВМ

Результаты расчета параметров ПРЦ приведены в табл. 3.3, 3.4

Таблица 3.3

Усилия /напряжения/ в элементах

Единицы измерения усилий: Т
Единицы измерения моментов: Т*м

Разработан SCAD Group (Украина, Киев)
Thu Sep 25 13:44:18 2014 Ivanov I.I. Я. основная схема 6.0001

У С И Л И Я /НАПРЯЖЕНИЯ/ В ЭЛЕМЕНТАХ										
002_	7-1	7-2	7-3	8-1	8-2	8-3	9-1	9-2	9-3	
	7	7	7	8	8	8	9	9	9	
	8	8	8	9	9	9	10	10	10	

11 - "постоянные нагрузки - собственный вес"										
N	-94.1502	-90.1809	-86.2116	-68.1166	-67.6552	-67.1938	-67.1938	-66.2249	-65.256	
12 - "нагрузка от веса снегового покрова"										
N	-17.876	-17.876	-17.876	-17.876	-17.876	-17.876	-17.876	-17.876	-17.876	
13 - "ветровая нагрузка - ветер слева"										
M	7.88457	5.28158	2.67859	2.67859	2.24656	1.81453	1.81453	0.90726		
Q	-0.72005	-0.72005	-0.72005	-0.72005	-0.72005	-0.72005	-0.72005	-0.72005	-0.72005	
14 - "ветровая нагрузка - ветер справа"										
M	-7.88457	-5.28158	-2.67859	-2.67859	-2.24656	-1.81453	-1.81453	-0.90726		
Q	0.72005	0.72005	0.72005	0.72005	0.72005	0.72005	0.72005	0.72005	0.72005	
15 - "Dmax слева в 1-м пролете"										
N	-12.009	-12.009	-12.009							
M	7.60075	2.11792	-3.36491	5.64208	4.73207	3.82205	3.82205	1.91102		
Q	-1.51669	-1.51669	-1.51669	-1.51669	-1.51669	-1.51669	-1.51669	-1.51669	-1.51669	
16 - "Dmax справа в 1-м пролете"										
N	-38.87	-38.87	-38.87							
M	-9.29527	-15.851	-22.4068	6.74618	5.65809	4.56999	4.56999	2.28499		
Q	-1.81349	-1.81349	-1.81349	-1.81349	-1.81349	-1.81349	-1.81349	-1.81349	-1.81349	
17 - "Dmax слева во 2-м пролете"										
N	-38.87	-38.87	-38.87							
M	9.29527	15.851	22.4068	-6.74618	-5.65809	-4.56999	-4.56999	-2.28499		
Q	1.81349	1.81349	1.81349	1.81349	1.81349	1.81349	1.81349	1.81349	1.81349	
18 - "Dmax справа во 2-м пролете"										
N	-12.009	-12.009	-12.009							
M	-7.60075	-2.11792	3.36491	-5.64208	-4.73207	-3.82205	-3.82205	-1.91102		
Q	1.51669	1.51669	1.51669	1.51669	1.51669	1.51669	1.51669	1.51669	1.51669	
19 - "Т, приложенная к левой крайней колонне"										
M	-5.20323	-3.48545	-1.76767	-1.76767	-1.48256	-1.19745	-1.19745	-0.59872		
Q	0.47518	0.47518	0.47518	0.47518	0.47518	0.47518	0.47518	0.47518	0.47518	
110 - "Т справа в 1-м пролете"										
M	-7.52698	-3.8715	-0.21601	-0.21601	0.3907	0.99742	0.99742	0.49871		
Q	1.01119	1.01119	1.01119	1.01119	1.01119	1.01119	1.01119	-0.3958	-0.3958	
111 - "Т слева во 2-м пролете"										
M	-7.52698	-3.8715	-0.21601	-0.21601	0.3907	0.99742	0.99742	0.49871		
Q	1.01119	1.01119	1.01119	1.01119	1.01119	1.01119	1.01119	-0.3958	-0.3958	
112 - "Т, приложенная к правой крайней колонне"										
M	-5.20323	-3.48545	-1.76767	-1.76767	-1.48256	-1.19745	-1.19745	-0.59872		
Q	0.47518	0.47518	0.47518	0.47518	0.47518	0.47518	0.47518	0.47518	0.47518	

Таблица 3.4

Горизонтальные перемещения ригеля от отдельных моментов

Единицы измерения линейных перемещений: мм
 Единицы измерения угловых перемещений : rad*1000

Разработан SCAD Group (Украина, Киев)
 Thu Sep 25 13:46:26 2014 Ivanov I.I. Я. основная схема 5.0001

П Е Р Е М Е Щ Е Н И Я У З Л О В			
	5	10	
1 - "постоянные нагрузки - собственный вес"			
X	-0.003104		
Z	-0.9942	-1.05902	
UY	-1.30637		
2 - "нагрузка от веса снегового покрова"			
X	-0.00462		
Z	-0.17307	-0.23481	
UY	-0.078523		
3 - "ветровая нагрузка - ветер слева"			
X	6.71042	6.70916	
Z	.08488		
UY	0.73795	1.01014	
4 - "ветровая нагрузка - ветер справа"			
X	-6.70991	-6.70916	
Z	-0.083718		
UY	-0.8286	-1.01014	
5 - "Dmax слева в 1-м пролете"			
X	4.48568	4.48092	
Z	-0.21498	-0.093561	
UY	-0.51378	0.81198	
6 - "Dmax справа в 1-м пролете"			
X	-14.3366	-14.34	
Z	-0.25436	-0.30283	
UY	-2.74519	-1.71457	
7 - "Dmax слева во 2-м пролете"			
X	14.3383	14.34	
Z	0.1714	-0.30283	
UY	2.35875	1.71457	
8 - "Dmax справа во 2-м пролете"			
X	-4.48038	-4.48092	
Z	-0.053558	-0.093561	
UY	-0.73705	-0.81198	
9 - "Т, приложенная к левой крайней колонне"			
X	-4.4294	-4.42754	
Z	-0.072361		
UY	.018233	-0.66662	
10 - "Т справа в 1-м пролете"			
X	-4.62701	-4.62757	
Z	-0.055311		
UY	-0.76117	-0.4829	
11 - "Т слева во 2-м пролете"			
X	-4.62701	-4.62757	
Z	-0.055311		
UY	-0.76117	-0.4829	
12 - "Т, приложенная к правой крайней колонне"			
X	-4.42701	-4.42754	
Z	-0.05292		
UY	-0.72827	-0.66662	

3.3. Пример статического расчёта поперечной рамы цеха одноэтажного производственного здания вручную

3.3.1. Вычисление геометрических характеристик сечений колонн

Моменты инерции сечений колонн крайнего ряда:

– надкрановой части

$$I_1 = \frac{400 \cdot 380^3}{12} = 1,829 \cdot 10^9 \text{ мм}^4;$$

– подкрановой части

$$I_2 = \frac{400 \cdot 600^3}{12} = 7,20 \cdot 10^9 \text{ мм}^4.$$

Коэффициенты для вычисления реакций по табличным формулам:

$$\alpha = H_v / H = 3,720 / 10,95 = 0,340;$$

$$k = \alpha^3 \left(\frac{I_2}{I_1} - 1 \right) = 0,340^3 \left(\frac{7,21}{1,829} - 1 \right) = 0,116;$$

$k_1 = 0$ – для сплошной колонны.

Моменты инерции сечений колонны среднего ряда:

– надкрановой части

$$I_1 = \frac{400 \cdot 600^3}{12} = 7,2 \cdot 10^9 \text{ мм}^4;$$

– подкрановой части

$$I_2 = \frac{400 \cdot 800^3}{12} = 17,07 \cdot 10^9 \text{ мм}^4.$$

Коэффициенты для вычисления реакций по табличным формулам:

$$\alpha = H_{\text{в}}/H = 3,720/10,95 = 0,340;$$

$$k = \alpha^3 \left(\frac{I_2}{I_1} - 1 \right) = 0,340^3 \left(\frac{17,07}{7,2} - 1 \right) = 0,054;$$

$$k_1 = 0.$$

3.3.2. Определение реакций верха колонн рамы от единичного смещения

Верхним концам колонны придаем горизонтальное смещение $\Delta = 1$ и определяем реакции B_{Δ} в основной системе от этого смещения:

– для колонн крайнего ряда

$$B_{\Delta, r} = \frac{3 \cdot E_{\text{ст}} I_{\text{н}}^2}{H^3 (1 + k + k_1)} = \frac{3 \cdot E_{\text{ст}} \cdot 7,21 \cdot 10^9}{10950^3 (1 + 0,116 + 0)} = 14,76 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}};$$

– для средней колонны:

$$B_{\Delta, m} = \frac{3 E_{\text{ст}} \cdot 17,07 \cdot 10^9}{10950^3 (1 + 0,054 + 0)} = 37,00 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}}.$$

Суммарная реакция верха колонн

$$r_{11} = \Sigma B_{\Delta} = (2 \cdot 14,76 + 37,00) E_{\text{ст}} \cdot 10^{-3} = 66,52 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}}.$$

3.3.3. Загружение рамы постоянной нагрузкой

Расчетными являются четыре сечения по длине колонны (рис. 3.1):

I–I – у верха колонны;

II–II – над крановой консолью;

III–III – под крановой консолью;

IV–IV – у верха фундамента.

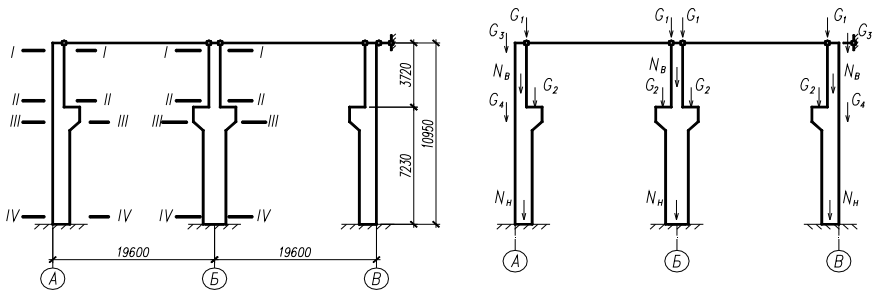


Рис. 3.1. Расчетная схема поперечной рамы здания

При расчете рамы изгибающий момент, вызывающий растягивающие напряжения в левых волокнах стоек, будем считать положительным; поперечную силу – положительной, если она направлена по внешней нормали к поперечному сечению, повернутой на 90° по часовой стрелке.

1. Для двух колонн крайнего ряда:

$$M_1 = G_1 e_1 - G_3 e_3 = 326,279 \cdot 0,04 - 73,842 \cdot 0,34 = -12,06 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$\begin{aligned} M_2 &= -G_1 e'_1 + G_2 e_2 - G_3 e'_3 - G_4 e_4 - N_B e_B = \\ &= 326,279 \cdot 0,150 + 90,473 \cdot 0,45 - 73,842 \cdot 0,45 - 83,106 \times \\ &\quad \times 0,45 - 18,129 \cdot 0,11 = 17,04 \text{ кН}\cdot\text{м}; \end{aligned}$$

M_1, M_2 – моменты в сечениях I-I и III-III от внецентренного приложения постоянной нагрузки.

Реакция

$$\begin{aligned} B_e^g &= -\frac{3M_2(1-\alpha^2) + 3M_1(1+k/\alpha)}{2H(1+k)} = \\ &= -\frac{3 \cdot 17,04 \cdot (1-0,340^2) + 3 \cdot 12,06 \cdot (1+0,116/0,340)}{2 \cdot 10,95 \cdot (1+0,116)} = -3,83 \text{ кН}; \end{aligned}$$

$$B_r^g = -B_e^g = 3,83 \text{ кН.}$$

2. Для колонны среднего ряда нагрузка от веса подкрановой части средней колонны приложена по оси колонны, $e_5 = 0$, от веса подкрановых балок G_2 и от покрытия G_1 – симметрично, изгибающие моменты от этих нагрузок не возникают, нагрузка от стенового ограждения отсутствует, следовательно, $M_1 = 0$, $M_2 = 0$ и реакция $B_m^g = 0$.

3. Суммарная реакция верха колонн в основной системе

$$R_1^g = \Sigma B = B_r^g + B_e^g + B_m^g = 3,83 - 3,83 + 0 = 0.$$

4. Перемещение верха колонн в заданной системе:

– для крайней колонны ряда А

$$B_{e,l} = B_e^g + \Delta_1 B_{\Delta,e} = -3,83 + 0 = -3,83 \text{ кН;}$$

– для средней колонны ряда В

$$B_{e,m} = B_m^g + \Delta_1 B_{\Delta,m} = 0;$$

– для крайней колонны ряда В

$$B_{e,r} = B_r^g + \Delta_1 B_{\Delta,r} = 3,83 + 0 = 3,83 \text{ кН.}$$

Усилия в сечениях колонн представим в таблице (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Расчетные усилия в сечениях колонн

Расчетные параметры	Колонна		
	По оси А	По оси Б	По оси В
B , кН	-3,83	0	+3,83
$R_{1p} = \sum B$	$-3,83 + 0 + 3,83 = 0$		
$\Delta_1 = -R_{1p} / r_{11}$		0	
$B_e = B + \Delta_1 B_\Delta$	-3,83	0	+3,83
Изгибающие моменты, кН·м			
M_I	$= M_1 = 326,279 \cdot 0,04 = 13,05$	0	-13,05
M_{II}	$= M_1 + B_{e,r} H_B = 13,05 + 3,72 \cdot 3,83 = 27,3$	0	-27,3
M_{III}	$= M_2 + M_{II} = -17,04 - 27,3 = -44,34$	0	+44,34
M_{IV}	$= M_1 + M_2 + B_{e,r} H = 13,05 - 27,3 + 3,83 \cdot 10,95 = 27,69$	0	-27,69
Продольные силы, кН			
N_I	$= G_1 = 326,279$	652,56	326,279
N_{II}	$= G_1 + G_3 N_B = 418,28$	$= G_1 + N_B = 681,85$	418,28
N_{III}	$= N_{II} + G_2 + G_4 = 591,859$	$= N_{II} + 2G_2 = 862,131$	591,859
N_{IV}	$= N_{III} + N_H = 651,388$	$= N_{III} + N_H = 941,503$	651,388
Поперечные силы, кН			
V_{III}	+3,83	0	-3,83
V_{IV}	+3,83	0	-3,83

Распределение изгибающих моментов от постоянной нагрузки представлено в виде эпюры (рис. 3.2).

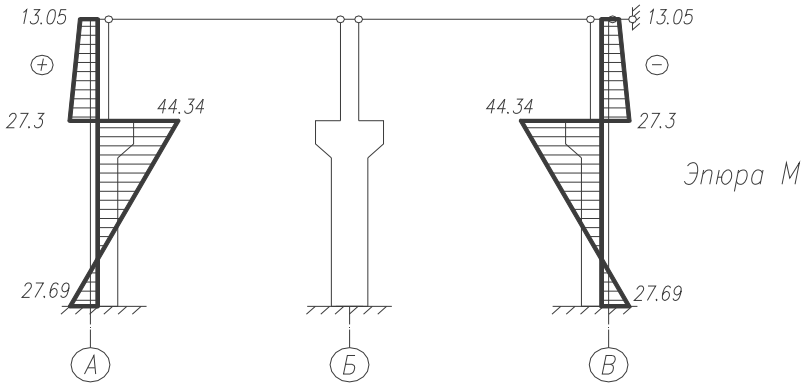


Рис. 3.2. Эпюра изгибающих моментов от постоянной нагрузки

3.3.4. Загружение снеговой нагрузкой (рис. 3.3)

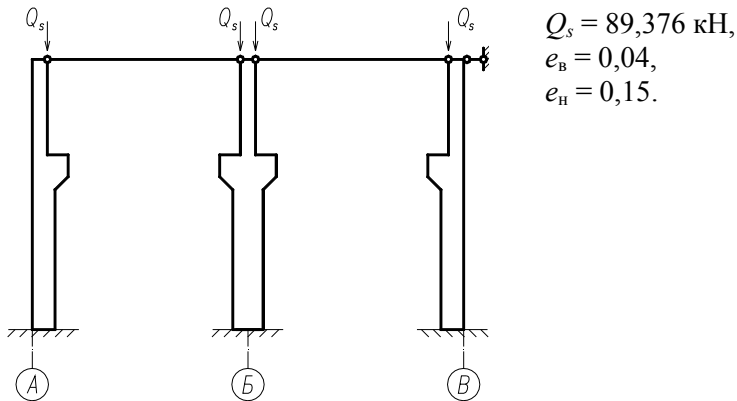


Рис. 3.3. Расчетная схема рамы для нагружения снеговой нагрузкой

1. Реакция верха колонн крайнего ряда А, В

$$B_e^s = - \frac{3 \cdot M_2 (1 - \alpha^2) + 3M_1 (1 + k / \alpha)}{2H (1 + k)} =$$

$$= \frac{-3 \cdot 13,406 \cdot (1 - 0,340^2) + 3 \cdot 3,575 \cdot (1 + 0,116 / 0,340)}{2 \cdot 10,95 \cdot (1 + 0,116)} = -0,738 \text{ кН},$$

где

$$M_1 = Q_s e_b = 89,376 \cdot 0,04 = 3,575 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = Q_s e_b = 89,376 \cdot 0,150 = -13,406 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = Q_s e_b = 89,376 \cdot 0,150 = -13,406 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$B_r^s = -B_e^s = 0,867 \text{ кН}.$$

2. Реакция верха средней колонны по ряду Б $B_m^s = 0$, так как нагрузка симметрична.

3. Суммарная реакция в основной системе

$$R_1^s = \Sigma B = B_e^s + B_r^s + B_m^s = -0,738 + 0,738 + 0 = 0.$$

4. Перемещение верха колонн в заданной системе

$$\Delta_1 = -R_1^s / r_{11} = -0 / 66,52 \cdot 10^{-3} E_{ст} = 0.$$

5. Упругие реакции верха колонн в заданной системе:

– для колонны крайнего ряда А

$$B_{e,l} = B_e^s + \Delta_1 B_{\Delta,e} = -0,738 + 0 = -0,738 \text{ кН};$$

– для колонны среднего ряда Б

$$B_{e,m} = B_m^s + \Delta_1 B_{\Delta,m} = 0;$$

– для колонны крайнего ряда В

$$B_{e,r} = B_r^s + \Delta_1 B_{\Delta,r} = 0,738 + 0 = 0,738 \text{ кН.}$$

Усилия в сечениях колонн представим в таблице (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Расчетные усилия в сечениях колонн от снеговой нагрузки

Расчетные параметры	Колонна		
	По оси А	По оси Б	По оси В
B , кН	-0,738	0	+0,738
$R_{1p} = \sum B$	$-0,738 + 0 + 0,738 = 0$		
$\Delta_1 = -R_{1p} / r_{11}$		0	
$B_e = B + \Delta_1 B_{\Delta}$	-0,738	0	+0,738
Изгибающие моменты, кН·м			
M_I	$89,376 \cdot 0,04 = 3,575$	0	-3,575
M_{II}	$3,575 + 0,738 \cdot 3,72 = 6,32$	0	-6,32
M_{III}	$6,32 - 13,406 = -7,086$	0	+7,086
M_{IV}	$3,575 - 13,406 + 0,738 \cdot 10,95 = -1,75$	0	+1,75
Продольные силы, кН			
N_I	89,376	178,752	89,376
N_{II}	89,376	178,752	89,376
N_{III}	89,376	178,752	89,376
N_{IV}	89,376	178,752	89,376
Поперечные силы, кН			
V_{III}	0,738	0	-0,738
V_{IV}	0,738	0	-0,738

Эпюры изгибающих моментов от снеговой нагрузки представлены на рис. 3.4.

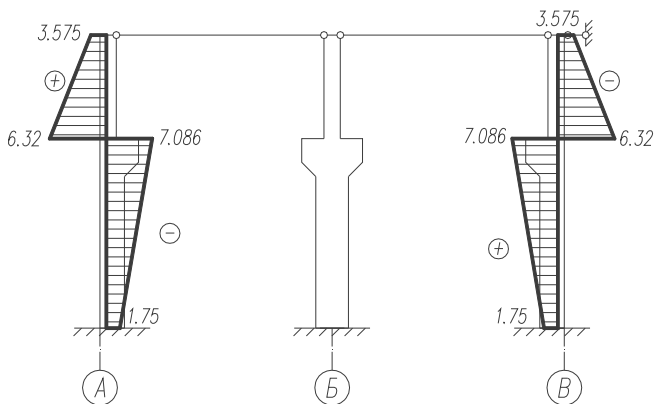


Рис. 3.4. Эпюра изгибающих моментов от снеговой нагрузки

3.3.5. Загружение ветровой нагрузкой (рис. 3.5)

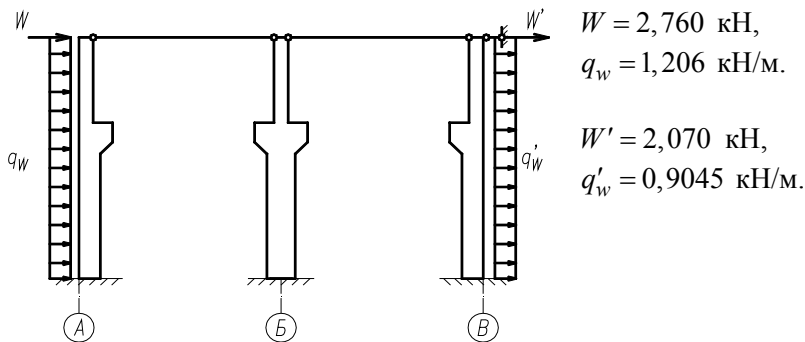


Рис. 3.5. Расчетная схема рамы для нагружения ветровой нагрузкой

Давление ветра слева направо

1. Реакция верха колонн крайнего ряда А

$$B_e^w = -\frac{3q_w H \cdot (1 + k\alpha)}{8 \cdot (1 + k)} =$$

$$= \frac{3 \cdot 1,206 \cdot 10,95 \cdot (1 + 0,116 \cdot 0,340)}{8 \cdot (1 + 0,116)} = 4,612 \text{ кН};$$

– по ряду В

$$B_r^w = + \left(\begin{array}{c} 0,6 \\ 0,8 \end{array} \right) \cdot 4,612 = 3,459;$$

– по ряду Б

$$B_m^w = 0.$$

2. Суммарная реакция верха колонн в основной системе (с учетом реакции от сосредоточенной силы $W = 2,760$ кН)

$$R_1^w = W + \Sigma B = 2,760 + 4,612 + 3,459 + 0 = 10,831 \text{ кН.}$$

3. Перемещение верха колонн в заданной системе

$$\Delta_1 = -R_1^w / r_{11} = -10,831 / (66,52 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}}) = -162,828 \frac{1}{E_{\text{ст}}}.$$

4. Упругие реакции верха колонн рамы в заданной системе:

– по ряду А

$$B_{e,l} = 4,612 - 162,828 \cdot \frac{1}{E_{\text{ст}}} \cdot 14,76 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}} = 2,209 \text{ кН;}$$

– по ряду Б

$$B_{e,m} = 0 - 162,828 \cdot \frac{1}{E_{\text{ст}}} \cdot 37 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}} = -6,025 \text{ кН;}$$

– по ряду В

$$B_{e,r} = 3,459 - 162,828 \cdot \frac{1}{E_{\text{ст}}} \cdot 14,76 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}} = 1,056 \text{ кН.}$$

Усилия в сечениях колонн представим в таблице (табл. 3.7).

Таблица 3.7

Расчетные усилия в сечениях колонн от ветровой нагрузки

Расчетные параметры	Колонна		
	По оси А	По оси Б	По оси В
B , кН	4,612	0	3,459
$R_{1p} = \sum B$	10,831		
$\Delta_1 = -R_{1p} / r_{11}$	$-162,828 \cdot \frac{1}{E_{ст}}$		
$B_e = B +$ $+ \Delta_1 B_{\Delta}$	2,209	-6,025	1,056
Изгибающие моменты, кН·м			
M_I	0	0	0
M_{II}	$-2,209 \cdot 3,72 + 1,206 \times$ $\times 3,72^2/2 = 0,127$	22,413	2,336
M_{III}	0,127	22,413	2,336
M_{IV}	$-2,209 \cdot 10,95 + 1,206 \times$ $\times 10,95^2/2 = 48,116$	65,974	42,685
Продольные силы, кН			
N_I	0	0	0
N_{II}	0	0	0
N_{III}	0	0	0
N_{IV}	0	0	0
Поперечные силы, кН			
V_{III}	$-2,209 + 1,206 \cdot 3,72 = 2,277$	6,025	3,430
V_{IV}	$-2,209 + 1,206 \cdot 10,95 = 10,997$	6,025	12,150

Эпюра изгибающих моментов от ветровой нагрузки представлена на рис. 3.6.

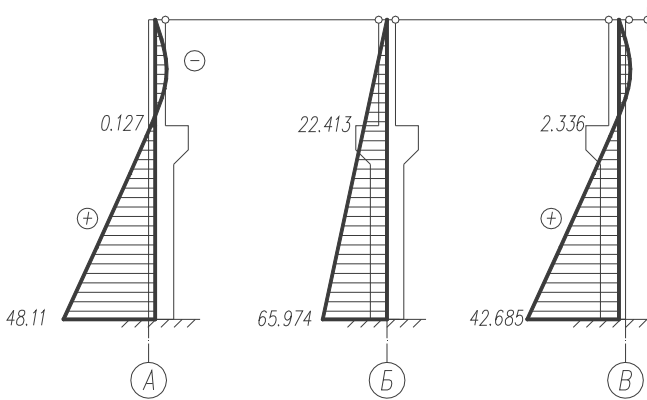


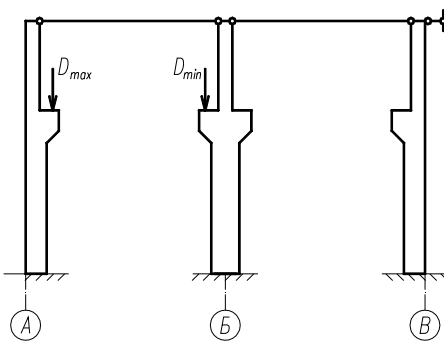
Рис. 3.6. Эпюра изгибающих моментов от ветровой нагрузки

При давлении ветра справа налево усилия в стойках обратно симметричны.

3.3.6. Загрузка крановой нагрузкой

Последовательно рассмотрим загрузку крановой нагрузкой пролетов АБ и БВ при различном положении тележки с грузом в пролете, рис. 3.7.

Крановая нагрузка D_{\max} по оси А (кран в пролете АБ)



$$D_{\max} = 388,70 \text{ кН,}$$

$$e_H = 0,45 \text{ м,}$$

$$M_{\max} = 388,70 \times$$

$$\times 0,45 = 174,915 = M_2, \text{ кН}\cdot\text{м,}$$

$$D_{\min} = 120,09 \text{ кН,}$$

$$e_H = 0,75 \text{ м,}$$

$$M_{\min} = -120,09 \times$$

$$\times 0,75 = -90,068 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Рис. 3.7. Расчетная схема рамы

1. Реакция верха левой стойки рамы в основной системе

$$B_e^{cr} = \frac{3M_2(1-\alpha^2)}{2H(1+k)} = \frac{3 \cdot 174,915 \cdot (1-0,340^2)}{2 \cdot 10,95 \cdot (1+0,116)} = 18,988 \text{ кН.}$$

То же средней стойки рамы

$$B_m^{cr} = \frac{-3M_2(1-\alpha^2)}{2H(1+k)} = \frac{-3 \cdot 90,068 \cdot (1-0,340^2)}{2 \cdot 10,95 \cdot (1+0,116)} = -9,778 \text{ кН.}$$

2. Суммарная реакция в основной системе

$$R_1^{cr} = 18,988 - 9,778 + 0 = 9,21 \text{ кН.}$$

3. Перемещение верха колонн в заданной системе (при $c_{\text{dim}} = 1$)

$$\Delta_1 = -R_1^{cr} / (r_{11}c_{\text{dim}}) = -9,21 / (66,52 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}} \cdot 1) = -138,455 \cdot \frac{1}{E_{\text{ст}}}.$$

4. Упругие реакции верха колонн рамы в заданной системе:

– крайняя колонна ряда А

$$B_{e,l} = B_e^{cr} + \Delta_1 B_{\Delta,e} = 18,988 - 138,455 \times$$

$$\times \frac{1}{E_{\text{ст}}} \cdot 14,76 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}} = 16,945 \text{ кН;}$$

– средняя колонна ряда Б

$$B_{e,m} = B_m^{cr} + \Delta_1 B_{\Delta,m} = -9,778 +$$

$$+ \left(-138,455 \cdot \frac{1}{E_{\text{ст}}} \right) \cdot 37 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}} = -14,91 \text{ кН;}$$

– крайняя колонна ряда В

$$B_{e,r} = 0 - 138,455 \cdot \frac{1}{E_{ст}} \cdot 14,76 \cdot 10^{-3} E_{ст} = -2,044 \text{ кН.}$$

Усилия в сечениях колонн представлены в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Расчетные усилия в сечениях колонн от крановой нагрузки D_{\max} по оси А (кран в пролете АБ)

Расчетные параметры	Колонна		
	По оси А	По оси Б	По оси В
B , кН	18,988	-9,778	0
$R_{1p} = \sum B$	9,21		
$\Delta_1 = -R_{1p} / (r_{11} c_{dim})$	$-138,455 \cdot \frac{1}{E_{ст}}$		
$B_e = B + \Delta_1 B_{\Delta}$	16,945	-14,910	-2,044
Изгибающие моменты, кН·м			
M_I	0	0	0
M_{II}	$-16,945 \cdot 3,72 = -63,035$	56,59	10,528
M_{III}	$-60,035 + 174,915 = 111,88$	-33,478	10,528
M_{IV}	$-16,945 \cdot 10,95 + 174,915 = -10,633$	75,615	30,99
Продольные силы, кН			
N_I	0	0	0
N_{II}	0	0	0
N_{III}	388,70	120,09	0
N_{IV}	388,70	120,09	0
Поперечные силы, кН			
V_{III}	-16,945	14,910	2,044
V_{IV}	-16,945	14,910	2,044

Эпюры изгибающих моментов от крановой нагрузки представлены на рис. 3.8.

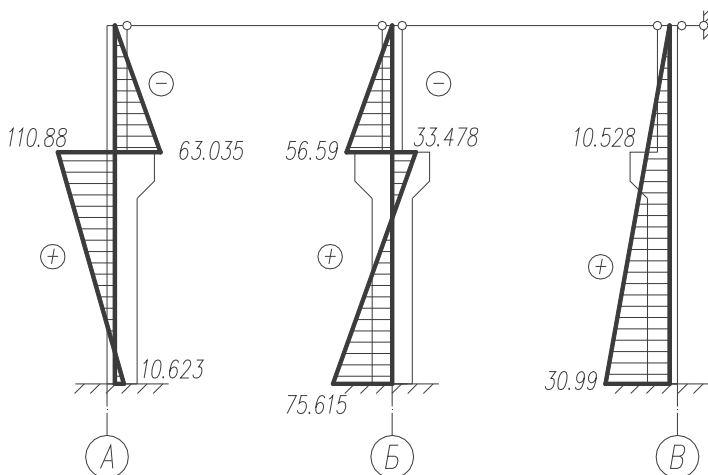


Рис. 3.8. Эпюры изгибающих моментов от крановой нагрузки D_{\max} по оси А (кран в пролете АБ)

Крановая нагрузка D_{\max} по оси В (кран в пролете АБ)

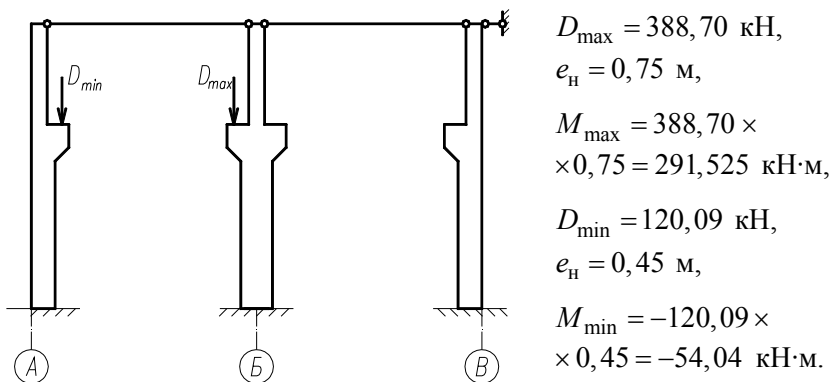


Рис. 3.9. Расчетная схема рамы

$$1. B_e^{cr} = \frac{3M_2(1-\alpha^2)}{2H(1+k)} = \frac{3 \cdot 54,04 \cdot (1-0,340^2)}{2 \cdot 10,95 \cdot (1+0,116)} = 5,864 \text{ кН};$$

$$B_m^{cr} = \frac{-3M_2(1-\alpha^2)}{2H(1+k)} = \frac{-3 \cdot 291,525 \cdot (1-0,340^2)}{2 \cdot 10,95 \cdot (1+0,116)} = -31,647 \text{ кН};$$

$$2. R_1^{cr} = 5,867 - 31,647 + 0 = -25,78 \text{ кН}.$$

$$3. \Delta_1 = -R_1^{cr} / (r_{11}c_{\text{dim}}) = -(-25,78) / (66,52 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}} \cdot 1) = 387,553 \frac{1}{E_{\text{ст}}}.$$

$$4. B_{e,l} = B_e^{cr} + \Delta_1 B_{\Delta,e} = 5,864 + 387,55 \cdot \frac{1}{E_{\text{ст}}} \cdot 14,76 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}} = 11,584 \text{ кН};$$

$$B_{e,m} = B_m^{cr} + \Delta_1 B_{\Delta,m} = -31,647 + 387,553 \times$$

$$\times \frac{1}{E_{\text{ст}}} \cdot 37 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}} = -17,308 \text{ кН};$$

$$B_{e,r} = 0 + 387,553 \cdot \frac{1}{E_{\text{ст}}} \cdot 14,76 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}} = 5,720 \text{ кН}.$$

Усилия в сечениях колонн представлены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

Расчетные усилия в сечениях колонн от крановой нагрузки D_{max} по оси Б (кран в пролете АБ)

Расчетные параметры	Колонна		
	По оси А	По оси Б	По оси В
B , кН	5,864	-31,647	0
$R_{1p} = \sum B$	-25,78		
$\Delta_1 = -R_{1p} / (r_{11}c_{\text{dim}})$	$387,553 \cdot \frac{1}{E_{\text{ст}}}$		
$B_e = B + \Delta_1 B_{\Delta}$	11,584	-17,308	5,720

Расчетные параметры	Колонна		
	По оси А	По оси Б	По оси В
Изгибающие моменты, кН·м			
M_I	0	0	0
M_{II}	$-11,584 \cdot 3,72 = -43,093$	66,39	-21,278
M_{III}	$-43,093 + 54,04 = 10,947$	-225,135	-21,278
M_{IV}	$-11,584 \cdot 10,95 + 54,04 = -72,805$	-101,98	-62,634
Продольные силы, кН			
N_I	0	0	0
N_{II}	0	0	0
N_{III}	120,09	388,70	0
N_{IV}	120,09	388,70	0
Поперечные силы, кН			
V_{III}	-11,584	17,308	-5,720
V_{IV}	-11,584	17,308	-5,720

Эпюра изгибающих моментов от крановой нагрузки дана на рис. 3.10.

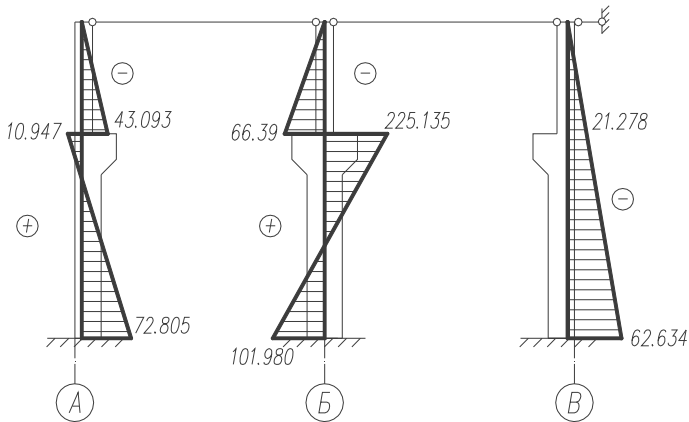


Рис. 3.10. Эпюра изгибающих моментов от крановой нагрузки D_{max} по оси Б (кран в пролете АБ)

Горизонтальная тормозная сила T по оси A
(кран в пролете AB), рис. 3.11

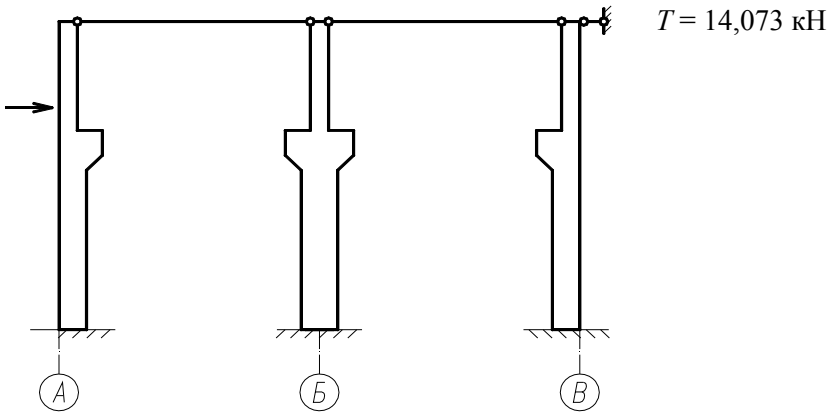


Рис. 3.11. Расчетная схема рамы

$$1. B_e^T = \frac{T(1 - \alpha + k_1)}{1 + k + k_1} = \frac{14,073 \cdot (1 - 0,34)}{1 + 0,116} = 8,323 \text{ кН}, \quad B_m^T = B_r^T = 0.$$

$$2. R_1^T = 8,323 + 0 + 0 = 8,323 \text{ кН}.$$

$$3. \Delta_1 = -R_1^T / (r_{11} c_{\text{dim}}) = -8,323 / (66,52 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}} \cdot 1) =$$

$$= -125,120 \cdot \frac{1}{E_{\text{ст}}}.$$

4. Упругие реакции в заданной системе:

$$B_{e,l} = 8,323 - 125,120 \cdot \frac{1}{E_{\text{ст}}} \cdot 14,76 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}} = 6,476 \text{ кН};$$

$$B_{e,m} = 0 - 125,120 \cdot \frac{1}{E_{\text{ст}}} \cdot 37 \cdot 10^{-3} \cdot E_{\text{ст}} = -4,629 \text{ кН};$$

$$B_{e,r} = 0 - 125,120 \cdot \frac{1}{E_{\text{ст}}} \cdot 14,76 \cdot 10^{-3} E_{\text{ст}} = -1,847 \text{ кН}.$$

Расчетные усилия в сечениях колонн даны в табл. 3.10.

Таблица 3.10

Расчетные усилия в сечениях колонн от усилия T
по оси А (кран в пролете АБ)

Расчетные параметры	Колонна		
	По оси А	По оси Б	По оси В
B , кН $R_{1p} = \sum B$ $\Delta_1 = -R_1^{cr} / (r_{11} c_{dim})$ $B_e = B + \Delta_1 B_\Delta$	8,323 8,323 $-125,120 \cdot \frac{1}{E_{ст}}$ 6,476	0 -4,629	0 -1,847
Изгибающие моменты, кН·м M_I M_{II} M_{III} M_{IV}	0 $-6,476 \cdot 3,72 + 14,073 \times 1,2 = -7,203$ -7,203 $-6,476 \cdot 10,95 + 14,073 \times 8,4 = 47,301$	0 17,220 17,220 50,688	0 6,871 6,871 20,225
Продольные силы, кН N_I N_{II} N_{III} N_{IV}	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0
Поперечные силы, кН V_{III} V_{IV}	14,073 – 6,476 = 7,597 7,597	4,629 4,629	1,847 1,847

Эпюра изгибающих моментов от нагрузки T по оси А дана на рис. 3.12.

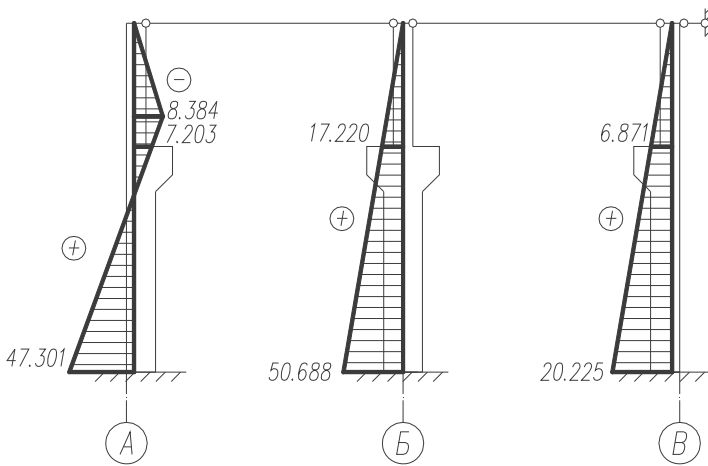


Рис. 3.12. Эпюра изгибающих моментов от нагрузки T по оси А (кран в пролете АБ)

Горизонтальная тормозная сила T по оси Б (кран в пролете АБ), по рис. 3.13

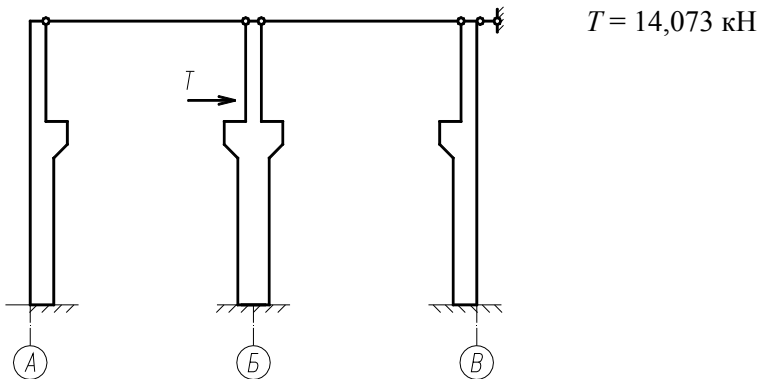


Рис. 3.13. Расчетная схема рамы

$$1. B_m^T = \frac{T(1 - \alpha + k_1)}{1 + k + k_1} = \frac{14,073 \cdot (1 - 0,34)}{1 + 0,054} = 8,812 \text{ кН},$$

$$B_e^T = B_r^T = 0.$$

$$2. R_1^T = 8,812 \text{ кН.}$$

$$3. \Delta_1 = -R_1^T / (r_{11}c_{dim}) = -8,812 / (66,52 \cdot 10^{-3} - 3E_{ст}) =$$

$$= -132,471 \cdot \frac{1}{E_{ст}}.$$

4. Упругие реакции в заданной системе:

$$B_{e,l} = 0 - 132,471 \cdot \frac{1}{E_{ст}} \cdot 14,76 \cdot 10^{-3} E_{ст} = -1,955 \text{ кН;}$$

$$B_{e,m} = 8,812 - 132,471 \cdot \frac{1}{E_{ст}} \cdot 37 \cdot 10^{-3} E_{ст} = 3,911 \text{ кН;}$$

$$B_{e,r} = 0 - 132,471 \cdot \frac{1}{E_{ст}} \cdot 14,76 \cdot 10^{-3} E_{ст} = -1,955 \text{ кН.}$$

Эпюры изгибающих моментов от нагрузки T по оси Б дана на рис. 3.14.

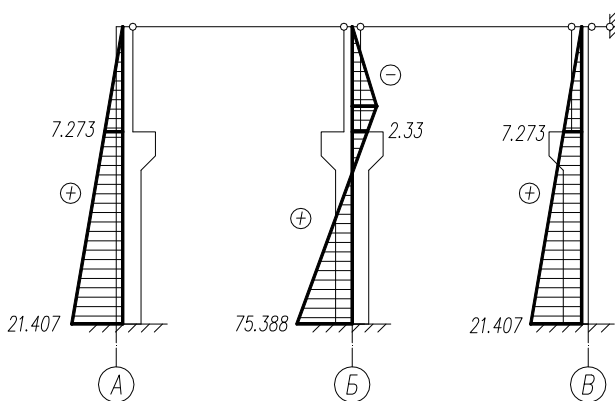


Рис. 3.14. Эпюры изгибающих моментов от нагрузки T по оси Б (кран в пролете АБ)

Расчетные усилия в сечениях колонн от усилия T по оси Б даны в табл. 3.11.

Таблица 3.11

Расчетные усилия в сечениях колонн от усилия T
по оси Б (кран в пролете АБ)

Расчетные параметры	Колонна		
	По оси А	По оси Б	По оси В
B , кН	0	8,812	0
$R_{1p} = \sum B$	8,812		
$\Delta_1 = -R_1^{cr} / (r_{11} c_{dim})$	$-132,471 \cdot \frac{1}{E_{ст}}$		
$B_e = B + \Delta_1 B_\Delta$	-1,955	3,911	-1,955
Изгибающие моменты, кН·м			
M_I	0	0	0
M_{II}	$1,955 \cdot 3,72 = 7,273$	-2,33	7,273
M_{III}	7,273	-2,33	7,273
M_{IV}	$1,955 \cdot 10,95 = 21,407$	75,388	21,407
Продольные силы, кН			
N_I	0	0	0
N_{II}	0	0	0
N_{III}	0	0	0
N_{IV}	0	0	0
Поперечные силы, кН			
V_{III}	1,955	$14,073 - 3,911 = 10,162$	1,955
V_{IV}	1,955	10,162	1,955

При загрузении крановой нагрузкой пролета БВ изображение эпюр M , N и V зеркально к соответствующим эпюрам при загрузении пролета АБ.

Результаты расчетов, полученных ручным методом и на ЭВМ, представлены в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Сопоставление результатов статического расчета колонны по оси Б, полученных ручным методом и на ЭВМ

Наименование нагрузки	Расчетные параметры	Расчет на ЭВМ (100 %)	Ручной расчет	% расхождения
1	2	3	4	5
1. Постоянные нагрузки – собственный вес	$M_I \dots M_{IV}$	0	0	0
	$V_I \dots V_{IV}$	0	0	0
	N_I	-652,56	-652,56	0
	N_{II}	-681,166	-681,185	0,0028
	N_{III}	-862,116	-862,131	0,0017
	N_{IV}	-941,502	-941,503	0,0001
2. Нагрузка от веса снегового покрова	$M_I \dots M_{IV}$	0	0	0
	$V_I \dots V_{IV}$	0	0	0
	N_I	-178,760	-178,752	0,0045
	N_{II}	-178,760	-178,752	0,0045
	N_{III}	-178,760	-178,752	0,0045
	N_{IV}	-178,760	-178,752	0,0045
3. Ветровая нагрузка – ветер слева	M_I	0	0	0
	M_{II}	22,465	22,413	0,232
	M_{III}	22,465	22,413	0,232
	M_{IV}	68,346	65,974	3,471
	$N_I \dots N_{IV}$	0	0	0
	V_{III}	-6,201	-6,025	2,838
	V_{IV}	-6,201	-6,025	2,838
4. Ветровая нагрузка – ветер справа	M_I	0	0	0
	M_{II}	-22,465	-22,413	0,232
	M_{III}	-22,465	-22,413	0,232
	M_{IV}	-68,346	-65,974	3,471
	$N_I \dots N_{IV}$	0	0	0
	V_{III}	6,201	6,025	2,838
	V_{IV}	6,201	6,025	2,838

Продолжение табл. 3.12

1	2	3	4	5
5. D_{\max} слева в I пролете	M_I	0	0	0
	M_{II}	56,421	56,590	0,306
	M_{III}	-33,649	-33,478	0,508
	M_{IV}	76,008	75,615	0,508
	N_I	0	0	0
	N_{II}	0	0	0
	N_{III}	-120,09	-120,09	0
	N_{IV}	-120,09	-120,09	0
	V_{III}	-15,167	-14,910	1,694
	V_{IV}	-15,167	-14,910	1,694
6. D_{\max} справа в I пролете	M_I	0	0	0
	M_{II}	67,462	66,390	1,589
	M_{III}	-224,068	-225,135	0,476
	M_{IV}	-102,953	-101,980	0,945
	N_I	0	0	0
	N_{II}	0	0	0
	N_{III}	-388,70	-388,70	0
	N_{IV}	-388,70	-388,70	0
	V_{III}	-18,135	-17,310	4,549
	V_{IV}	-18,135	-17,310	4,549
7. D_{\max} слева во II пролете	Симметрично 6			
8. D_{\max} справа во II пролете	Симметрично 5			
9. T , приложенная к правой крайней колонне	M_I	0	0	0
	M_{II}	-17,677	-17,220	2,585
	M_{III}	-17,677	-17,220	2,585
	M_{IV}	-52,0323	-50,688	2,584
	$N_I \dots N_{IV}$	0	0	0
	V_{III}	4,752	4,629	2,588
	V_{IV}	4,752	4,629	2,588

Окончание табл. 3.12

1	2	3	4	5
10. T справа в I пролете	M_I	0	0	0
	M_{II}	-2,260	-2,33	3,097
	M_{III}	-2,260	-2,33	3,097
	M_{IV}	75,270	75,388	0,157
	$N_I \dots N_{IV}$	0	0	0
	V_{III}	10,112	10,162	0,495
	V_{IV}	10,112	10,162	0,495
11. T слева во II пролете	Симметрично 10			
12. T , приложенная к правой крайней колонне	Симметрично 9			

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет и конструирование сборных железобетонных конструкций одноэтажного производственного здания : учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта по дисциплине «Железобетонные и каменные конструкции» для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» / В. Г. Казачек [и др.]. – Минск : БНТУ, 2012. – 103 с.
2. Байков, В. Н. Железобетонные конструкции. Общий курс / В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов. – М. : Стройиздат, 1991. – 768 с.
3. Заикин А. И. Железобетонные конструкции одноэтажных промзданий (примеры расчета) / А. И. Заикин – М. : АСБ, 2001. – 272 с.
4. Дрозд, Я. И. Предварительно напряженные железобетонные конструкции / Я. И. Дрозд, Г. П. Пастушков. – Минск : Вышэйшая школа, 1984. – 208 с.
5. Мандриков, А. П. Примеры расчета железобетонных конструкций / А. П. Мандриков. – М. : Стройиздат, 1979. – 423 с.
6. Казачек, В. Г. Эффективные конструктивные решения и методы расчета колонн одноэтажных производственных зданий / В. Г. Казачек. – Минск : УП «Технопринт», 2003. – 232 с.
7. Васильев, Б. Ф. Железобетонные колонны одноэтажных производственных зданий. Расчет и конструирование / Б. Ф. Васильев, А. Я. Розенблюм. – М. : Стройиздат, 1974.
8. Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07–85 / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 36 с. – Дополнение к СНиП (прогибы и перемещения).
9. СНБ 5.03.01–02. Бетонные и железобетонные конструкции / М-во строительства и архитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2003. – 140 с. – С изменениями 1–5.

Учебное издание

ШИЛОВ Александр Евгеньевич
ЗВЕРЕВ Владимир Федорович
ДЕЛЕНДИК Светлана Николаевна и др.

**СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПОПЕРЕЧНОЙ РАМЫ ОДНОЭТАЖНОГО
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ**

Учебно-методическое пособие
по выполнению курсового проекта по дисциплине
«Железобетонные и каменные конструкции»
для студентов специальности 1-70 02 01
«Промышленное и гражданское строительство»

Редактор *Т. Н. Микулик*
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 16.03.2015. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,00. Тираж 150. Заказ 58.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.