

Расчёт по несущей способности
элементов каркаса навесной фасадной системы

Материал облицовки: Фиброцементные плиты

Согласовано							Расчёт по несущей способности	Лист 1
Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №						
Изм.	Кол.уч	Лист	№Док.	Подпись	Дата			

Содержание

Содержание	2
Введение.....	5
Нагрузки и воздействия.....	5
1. Собственный вес.....	5
2. Ветровые нагрузки	6
3. Гололёдная нагрузка	7
Коэффициенты неразрезности.....	7
Основные буквенные обозначения величин.....	7
Расчет прочности монтажной схемы №1.....	9
1. Исходные данные:	9
2. Расчет вертикального профиля "ГО-40х40х1,2"	9
3. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:.....	18
4. Расчет кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли"	19
5. Расчет соединения кронштейна с профилем.....	25
Расчет прочности монтажной схемы №2	30
1. Исходные данные:	30
2. Расчет вертикального профиля "ГО-40х40х1,2"	30
3. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:.....	41
4. Расчет кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли"	42
5. Расчет соединения кронштейна с профилем.....	49
6. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания.....	52
Расчет прочности монтажной схемы №3.....	55
1. Исходные данные:	55
2. Расчет вертикального профиля "ГО-40х40х1,2"	55
3. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:.....	66
4. Расчет кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли"	67
5. Расчет соединения кронштейна с профилем.....	73

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

6. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания.....	76
---	----

Расчет прочности монтажной схемы №4..... 78

1. Исходные данные:	78
2. Расчет вертикального профиля "ГО-40х40х1,2"	78
3. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:.....	91
4. Расчет кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли".....	93
5. Расчет соединения кронштейна с профилем.....	100
6. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания.....	103

Расчет прочности монтажной схемы №5..... 105

1. Исходные данные:	105
2. Расчет вертикального профиля "ГО-40х40х1,2"	105
3. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:.....	119
4. Расчет кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли".....	121
5. Расчет соединения кронштейна с профилем.....	129
6. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания.....	132

Расчет прочности монтажной схемы №6..... 135

1. Исходные данные:	135
2. Расчет вертикального профиля "ГО-40х40х1,2"	135
3. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:.....	144
4. Расчет кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли".....	146
5. Расчет соединения кронштейна с профилем.....	152
6. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания.....	155

Расчет прочности монтажной схемы №7..... 157

1. Исходные данные:	157
2. Расчет вертикального профиля "ГО-40х40х1,2"	157
3. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:.....	168
4. Расчет кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли".....	169
5. Расчет соединения кронштейна с профилем.....	176

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

6. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания.....	179
---	-----

Расчет прочности монтажной схемы №8..... 182

1. Исходные данные:	182
2. Расчет вертикального профиля "ГО-40х40х1,2"	182
3. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:.....	193
4. Расчет кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли"	194
5. Расчет соединения кронштейна с профилем.....	200
6. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания.....	203

Расчет прочности монтажной схемы №9..... 205

1. Исходные данные:	205
2. Расчет вертикального профиля "ГО-40х40х1,2"	205
3. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:.....	219
4. Расчет кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли"	220
5. Расчет соединения кронштейна с профилем.....	227
6. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания.....	230

Расчет прочности монтажной схемы №10 233

1. Исходные данные:	233
2. Расчет вертикального профиля "ГО-40х40х1,2"	233
3. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:.....	247
4. Расчет кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли"	249
5. Расчет соединения кронштейна с профилем.....	257
6. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания.....	260

Сводная таблица расчётных монтажных схем..... 263

Примечания:..... 264

Условные обозначения кронштейнов:..... 264

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

Введение

Настоящий расчет по несущей способности включает проверку прочности и деформаций металлических профилей и креплений к конструкциям здания, несущих нагрузки от их собственной массы, массы облицовки, давления ветра, а также нагрузки от обледенения облицовки.

При разработке данного расчета были использованы следующие документы:

1. СП 20.13330.2016 «Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85 Нагрузки и воздействия»
2. СП 128.13330.2016 «Актуализированная редакция СНиП 2.03.06–85 Аллюминиевые конструкции»
3. СП 16.13330.2017 «Актуализированная редакция СНиП II–23–81 Стальные конструкции»
4. Справочник проектировщика(Расчётно–теоретический).м1.ред.Уманского, 1973)
5. Справочник проектировщика(Расчётно–теоретический).м2.ред.Уманского, 1973)
6. ГОСТ 27751–2014.Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения

Нагрузки от собственной массы облицовки принимаются по техническим условиям или паспортным данным предприятий–изготовителей.

Нагрузка от веса утеплителя в расчете несущего каркаса не учитывается, так как его крепление производится на тарельчатые дюбели.

Временные нагрузки от ветра принимаются по СП [1].

Нагрузка от обледенения облицовки принимается по СП[1].

Рассматриваемые усилия: изгибающие моменты, поперечные и продольные силы; прогибы определяются с использованием основных положений сопротивления материалов и строительной механики, а также средств ЭВМ.

Коэффициенты надёжности по нагрузкам γ_f принимаются по СП[1].

Единый коэффициент надёжности по ответственности γ_n принимается по ГОСТ[6].

Направления координатных осей в расчётных схемах приняты:

- ось x –горизонтальная в плоскости стены;
- ось y –горизонтальная по нормали к стене;
- ось z –вертикальная в плоскости стены.

Нагрузки и воздействия

На каркас навесных фасадов действуют следующие нагрузки:

- 1.Собственный вес облицовки и каркаса подконструкции;
- 2.Ветровые нагрузки.
- 3.Гололёдная нагрузка.

1. Собственный вес

Расчётная погонная нагрузка от собственного веса вертикального профиля и веса облицовки:

$$P_z \text{ м.п.} = (P_o \cdot \gamma_f \cdot l_x + P_n \cdot \gamma_f) \cdot \gamma_n, \text{ кН/м} \quad (1)$$

где: P_o – вес облицовки по данным производителя, кН/м^2

l_x – шаг направляющих по горизонтали, м

γ_f – коэффициент надёжности по материалу

P_n – вес одного погонного метра профиля, кН/м

γ_n – единый коэффициент надёжности по ответственности. Применяется для всех основных нагрузок при основных сочетаниях нагрузок. В данном расчёте γ_n принят равным 1 и в формулах не участвует

Согласовано					
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №			

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

2. Ветровые нагрузки

Расчётное давление ветра, действующее на высоте z , определяют по формуле:

$$w_{\text{м.п.}} = w_0 \cdot k(z_e) \cdot [1 + \zeta(z_e)] \cdot c_p \cdot v \cdot \gamma_f \cdot \gamma_p \cdot l_x \cdot K_{нер}, \text{ кН/м} \quad (2)$$

где: w_0 – нормативное давление ветра по СП [1]

z – эквивалентная высота здания от поверхности земли;

$k(z_e)$ – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z по СП[1];

$\zeta(z_e)$ – коэффициент пульсации давления ветра для эквивалентной высоты z , принимаемый по СП[1];

c_p – пиковые значения аэродинамических коэффициентов отсоса по СП[1], для рядового участка $c_p = 1,2$, для углового $c_p = 2,2$

v – коэффициент корреляции ветровой нагрузки по СП[1] в зависимости от площади ограждения A , с которой собирается ветровая нагрузка

γ_f – коэффициент надёжности по ветровой нагрузке, принимаемый равным 1,4 по СП[1]

$K_{нер}$ – коэффициент неразрезности по Справочнику проектировщика (вводится для промежуточных вертикальных профилей).

Таблица 2.1 Значения коэффициентов $k(z_e)$

Высота, м	Значения коэффициента $k(z_e)$ для типов местности		
	A	B	C
<5	0,75	0,5	0,4
10	1	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1
80	1,85	1,45	1,15
100	2	1,6	1,25
150	2,25	1,9	1,55
200	2,45	2,1	1,8
250	2,65	2,3	2
300	2,75	2,5	2,2
350	2,75	2,75	2,35
≥480	2,75	2,75	2,75

Таблица 2.2 Значения коэффициентов $\zeta(z_e)$

Высота, м	Значения коэффициента $k(z_e)$ для типов местности		
	A	B	C
<5	0,85	1,22	1,78
10	0,76	1,06	1,78
20	0,69	0,92	1,5
40	0,62	0,8	1,26
60	0,58	0,74	1,14
80	0,56	0,7	1,06
100	0,54	0,67	1
150	0,51	0,62	0,9
200	0,49	0,58	0,84
250	0,47	0,56	0,8
300	0,46	0,54	0,76
350	0,46	0,52	0,73

Расчёт по несущей способности

Согласовано			
Взам. Инв. №			
Подпись и дата			
Инв. № подл.			

≥480	0,46	0,5	0,68
------	------	-----	------

Таблица 2.3 Значения коэффициентов ν

A, м ²	<2	5	10	≥20
$\nu+$	1	0,9	0,8	0,75
$\nu-$	1	0,85	0,75	0,65

3. Гололёдная нагрузка

Расчётное значение поверхностной гололёдной нагрузки определяется по формуле:

$$i \text{ м.п.} = b \cdot k \cdot \mu_2 \cdot \rho \cdot g \cdot \gamma f \cdot l_x \cdot \gamma_n, \text{ кН/м} \quad (3)$$

где: b – толщина стенки гололёда, мм, на элементах круглого сечения диаметром 10мм, расположенных на высоте 10 м над поверхностью земли, принимаемая по таблице 3.1

k – коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололёда по высоте и принимаемый по таблице 3.2

μ_2 – коэффициент, учитывающий отношение площади поверхности элемента, подверженной обледенению, к полной площади поверхности элемента и принимаемый равным 0,6

ρ – плотность льда, принимаемая равной 0,9 г/см³

g – ускорение свободного падения, м/с²

γf – коэффициент надёжности по нагрузке для гололёдной нагрузки

Таблица 3.1

Гололёдные районы	I	II	III	IV	V
Толщина стенки гололёда b , мм	Не менее 3	5	10	15	Не менее 20

Таблица 3.2

Высота над поверхностью земли, м	5	10	20	30	50	70	100
Коэффициент k	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2

Коэффициенты неразрезности

При расчете нагрузок в промежуточных направляющих применяются коэффициенты неразрезности, принимаемые по таблице 5.

Таблица 5

Назначение профиля	Коэффициент $K_{нер}$
Рядовой профиль	1
Промежуточный (2 пролёта)	1.25
Промежуточный (3 пролёта)	1.1
Промежуточный (4 пролёта)	1.143
Промежуточный (5 пролётов)	1.133
Промежуточный (много пролётов)	1

Расчёт по несущей способности

7

Лист

Изм. Кол.уч. Лист №Док. Подпись Дата

Согласовано			
Взам. Инв. №			
Подпись и дата			
Инв. № подл.			

Основные буквенные обозначения величин

A – площадь сечения брутто;

E – модуль цяркасці;

еу – Вылет;

f – προζυδ;

I – момент инерции сечения брутто;

L – длина балки;

l – длина пролета;

a – длина консоли;

M – изгибающий момент;

N – продольная сила;

R – расчётное сопротивление растяжению, сжатию, изгибу;

W – момент сопротивления сечения брутто;

γ_c – коэффициент условий работы;

χ_p – коэффициент надежности по назначению;

σ – нормальные напряжения;

a1, a2 – обозначение верхней и нижней консолей вертикальной направляющей соответственно;

11, 12, 13, 14, 15 – обозначение пролетов направляющей.

R1, R2, R3, R4, R5 – обозначение опор (кронштейнов);

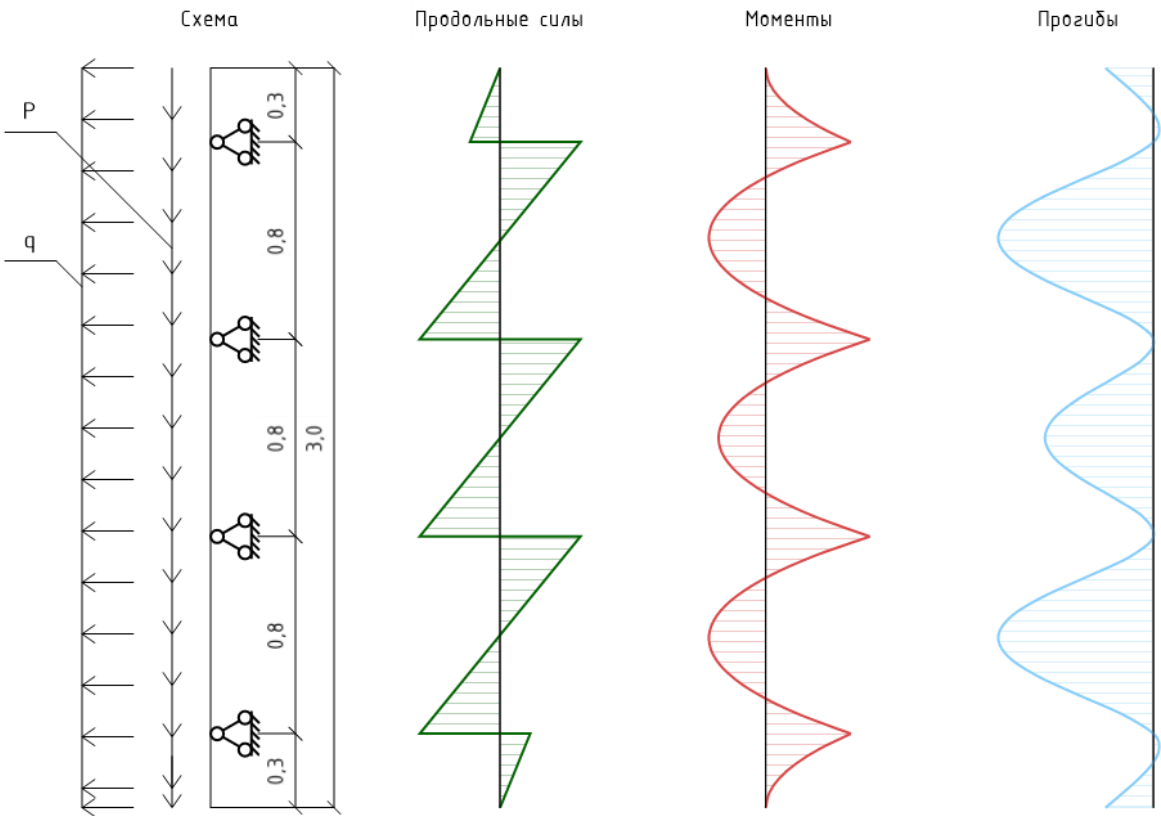
Кнер – коэффициент неразрезности по Справочнику проектировщика (вводится для промежуточных профилей):

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №	Согласовано									
			Расчёт по несущей способности							Лист		
Изм.	Кол.уч.	Лист								№Док.	Подпись	Дата

Расчет прочности монтажной схемы №6

1. Исходные данные:

- 1. Район строительства:
- 2. Ветровой район: I – 0,23 кН Тип местности: B
- 3. Ветровая зона: Рядовая
- 4. Высота применения: 12 м
- 5. Гололёдный район: II
- 6. Уровень ответственности здания: КС-2
- 7. Материал облицовки: Фиброцементные плиты
- 8. Вес облицовки: 17 кг/м² (0,167 кН/м²)
- 9. Вертикальный профиль: ГО-40х40х1,2
- 10. Шаг вертикального профиля по горизонтали: 0,65 м
- 11. Схема вертикального профиля: трехпролетная балка ГО-40х40х1,2_4КРУ-1р[↑18] 0,3|0,8+0,8+0,8|0,3
- 12. Вылет: 0,25 м
- 13. Несущие кронштейны:
-КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли с креплением на один анкер в верхнее отверстие в ячеистые блоки..



2. Расчет вертикального профиля "ГО-40х40х1,2"

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

Профиль	Вес, кг/м	Редуцируемое сечение	A, см ²	Ix, см ⁴	Wx, см ³	E, МПа	Ry, МПа
ГО-40х40х1,2	0,75	Горизонтальная полка	0,716	1,235	0,468	210000	225
		Вертикальная полка	0,807	0,634	0,282		

2.1 Расчет при сочетании Вес + Ветер (далее [ВВ])

2.11 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от веса облицовки и профиля определяется по формуле (1):

$$Pz \text{ м.п.} = P_o \cdot \gamma_f \cdot l_x + P_n \cdot \gamma_f, \text{ кН/м}$$

$$Pz \text{ м.п.} = 0,167 \cdot 1,2 \cdot 0,65 + 0,007 \cdot 1,05 = 0,138 \text{ кН/м}$$

2.12 [ВВ] Продольные усилия в профиле:

$$Nz = Pz \text{ м.п.} \cdot l_z, \text{ кН}$$

где: l_z – длина направляющей, с которой собирается нагрузка, м.

$$Nza = Pz \text{ м.п.} \cdot lza = 0,138 \cdot 0,3 = 0,041 \text{ кН}$$

$$Nzl = Pz \text{ м.п.} \cdot lzl = 0,138 \cdot 0,8 = 0,11 \text{ кН}$$

Тонкостенный профиль при работе на изгиб в сжатой зоне теряет устойчивость и в работу включается редуцированное сечение профиля. Поэтому наихудшим случаем может быть как изгиб в пролетах, где сжимается внутренняя сторона сечения, так и изгиб на опорах, где сжимается внешняя часть сечения. Кроме того, наихудшим случаем может быть как отрицательное давление ветра, так и положительное.

2.13 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра определяется по формуле (2):

$$w_p \text{ м.п.} = w_0 \cdot k(ze) \cdot (1 + \zeta(z)) \cdot c_p \cdot \gamma_f \cdot v \cdot l_x \cdot K_{нер}, \text{ кН/м}$$

$$w_p \text{ м.п.} = 0,23 \cdot 0,69 \cdot (1 + 1,03) \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1,25 = 0,44 \text{ кН/м}$$

2.14 [ВВ] Определяем изгибающий момент на опоре от горизонтальной нагрузки:

$$M_x = k \cdot w \cdot l^2, \text{ кН·м}$$

где: k – коэффициент по таблицам справочника проектировщика или по методу конечных элементов.

Проверка по справочнику проектировщика

$$Mxa = 0,5 \cdot 0,44 \cdot 0,3^2 = 0,02 \text{ кН·м}$$

$$Mxl = 0,1 \cdot 0,44 \cdot 0,8^2 = 0,028 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mxa = 0,5 \cdot 0,44 \cdot 0,3^2 = 0,02 \text{ кН·м}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$M_{x1} = 0,086 \cdot 0,44 \cdot 0,8^2 = 0,024 \text{ кН·м}$$

2.1.5 [ВВ] Нормальные напряжения на опоре во внешнем сечении направляющей (горизонтальная полка):

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} \cdot 1000 + \frac{N_z}{A} \cdot 10 < R \cdot \gamma_c, \text{ МПа}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_a = \frac{0,02}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 43,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,024}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,716} \cdot 10 = 52,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_a = \frac{0,02}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 43,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,024}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,716} \cdot 10 = 52,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.6 [ВВ] Нормальные напряжения на опоре во внутреннем сечении направляющей (вертикальная полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_a = \frac{0,02}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,807} \cdot 10 = 71,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,028}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,807} \cdot 10 = 100,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_a = \frac{0,02}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,807} \cdot 10 = 71,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,028}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,807} \cdot 10 = 100,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.7 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра равна 0,44 кН/м (см. пункт 2.13 [ВВ]).

2.1.8 [ВВ] Определяем изгибающий момент в пролёте от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

M_{x1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,08 \cdot 0,44 \cdot 0,8^2 = 0,023 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,025 \cdot 0,44 \cdot 0,8^2 = 0,007 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,08 \cdot 0,44 \cdot 0,8^2 = 0,023 \text{ кН·м}$$

M_{x2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

Мхa1 – отсутствует

$$M_{x11} = 0,047 \cdot 0,44 \cdot 0,8^2 = 0,013 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,039 \cdot 0,44 \cdot 0,8^2 = 0,011 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,047 \cdot 0,44 \cdot 0,8^2 = 0,013 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Мхa2 – отсутствует

2.1.9 [BB] Нормальные напряжения в пролёте во внутреннем сечении направляющей (вертикальная полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,807} \cdot 10 = 0,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,013}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,807} \cdot 10 = 47,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,011}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,807} \cdot 10 = 40,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,013}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,807} \cdot 10 = 47,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,807} \cdot 10 = 0,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,807} \cdot 10 = 0,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,013}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,807} \cdot 10 = 47,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,011}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,807} \cdot 10 = 40,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,013}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,807} \cdot 10 = 47,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,807} \cdot 10 = 0,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.10 [BB] Нормальные напряжения в пролёте во внешнем сечении направляющей (горизонтальная полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 0,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,023}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,716} \cdot 10 = 50,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,007}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,716} \cdot 10 = 16,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,023}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,716} \cdot 10 = 50,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано			

Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №	

						Расчёт по несущей способности 138	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 0,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 0,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,023}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,716} \cdot 10 = 50,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,007}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,716} \cdot 10 = 16,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,023}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,11}{0,716} \cdot 10 = 50,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 0,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.111 [ВВ] Нормативная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра определяется по формуле:

$$w_{н \text{ м.п.}} = \frac{w_p \text{ м.п.}}{\gamma_f}, \text{ кН/м}$$

$$w_{н} = \frac{0,44}{1,4} = 0,314 \text{ кН/м}$$

2.1.12 [ВВ] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{w_{н} \cdot l^4}{I_x \cdot E \cdot 10} - \frac{M1 + M2}{16 \cdot I_x \cdot E \cdot 1,4} \cdot l^2 \cdot 10 < \frac{l}{200}, \text{ см}$$

где: l – длина пролета, см

M1, M2 – момент слева и справа от пролета, кН · м.

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,314 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,028 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,07 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,314 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,028 \cdot 100 + 0,028 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,314 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,028 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,07 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f = k \cdot \frac{w_{н} \cdot l^4}{I_x \cdot E \cdot 10} < \frac{l}{200}, \text{ см}$$

где: k – коэффициент, полученный методом конечных элементов

l – длина пролета, см

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$f_{a1} = 0,05093 \cdot \frac{0,314 \cdot 30^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l1} = 0,00326 \cdot \frac{0,314 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,03 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = 0,00228 \cdot \frac{0,314 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = 0,00326 \cdot \frac{0,314 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,03 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{a2} = 0,05093 \cdot \frac{0,314 \cdot 30^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

2.1.13 [BB] Нормативная погонная нагрузка от положительного давления ветра численно равна отрицательной: 0,314 кН/м (см. пункт 2.111 [BB]).

2.1.14 [BB] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,314 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,028 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,314 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,028 \cdot 100 + 0,028 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,314 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,028 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{a1} = 0,05093 \cdot \frac{0,314 \cdot 30^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l1} = 0,00326 \cdot \frac{0,314 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = 0,00228 \cdot \frac{0,314 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = 0,00326 \cdot \frac{0,314 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{a2} = 0,05093 \cdot \frac{0,314 \cdot 30^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

2.2 Расчет при сочетании Вес + Ветер + Гололёд (далее [BBГ])

2.2.1 [BBГ] Расчётная погонная нагрузка от веса облицовки и профиля равна 0,138 кН/м (см. пункт 2.11 [BB]).

2.2.2 [BBГ] Расчётная погонная нагрузка от гололёда определяется по формуле (3):

$$i \text{ м.п.} = 2 \cdot b \cdot k \cdot \mu_2 \cdot p \cdot g \cdot \gamma_f \cdot l_x / 1000, \text{ кН/м}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$i \text{ м.п.} = 2 \cdot 5 \cdot 1,04 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot 1,8 \cdot 0,65 / 1000 = 0,064 \text{ кН/м}$$

2.2.3 [ВВГ] Суммарная вертикальная расчётная погонная нагрузка:

$$q_{zp} \text{ м.п.} = P_{zp} \text{ м.п.} + i_{p} \text{ м.п.} = 0,138 + 0,064 = 0,202 \text{ кН/м}$$

2.2.4 [ВВГ] Продольные усилия в профиле:

$$N_{za} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{za} = 0,202 \cdot 0,3 = 0,061 \text{ кН}$$

$$N_{zl} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{zl} = 0,202 \cdot 0,8 = 0,162 \text{ кН}$$

2.2.5 [ВВГ] Расчётная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра:

$$q_{wp} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,44 = 0,264 \text{ кН/м}$$

где: w_p м.п. – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м (см. пункт 2.13 [ВВ]).

2.2.6 [ВВГ] Определяем изгибающий момент на опоре от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{xa} = 0,5 \cdot 0,264 \cdot 0,3^2 = 0,012 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl} = 0,1 \cdot 0,264 \cdot 0,8^2 = 0,017 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa} = 0,5 \cdot 0,264 \cdot 0,3^2 = 0,012 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl} = 0,086 \cdot 0,264 \cdot 0,8^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

2.2.7 [ВВГ] Нормальные напряжения на опоре во внешнем сечении направляющей (горизонтальная полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_a = \frac{0,012}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,716} \cdot 10 = 26,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,015}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,716} \cdot 10 = 34,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_a = \frac{0,012}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,716} \cdot 10 = 26,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,015}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,716} \cdot 10 = 34,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.2.8 [ВВГ] Нормальные напряжения на опоре во внутреннем сечении направляющей (вертикальная полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_a = \frac{0,012}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,807} \cdot 10 = 43,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,017}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,807} \cdot 10 = 62,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_a = \frac{0,012}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,807} \cdot 10 = 43,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,017}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,807} \cdot 10 = 62,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.2.9 [ВВГ] Расчётная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра:

$$q_{wp} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,44 = 0,264 \text{ кН/м}$$

где: w_p м.п. – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м (см. пункт 2.13 [ВВ]).

2.2.10 [ВВГ] Определяем изгибающий момент в пролёте от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

M_{xa1} – отсутствует

$$M_{xl1} = 0,08 \cdot 0,264 \cdot 0,8^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,025 \cdot 0,264 \cdot 0,8^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,08 \cdot 0,264 \cdot 0,8^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

M_{xa2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

M_{xa1} – отсутствует

$$M_{xl1} = 0,047 \cdot 0,264 \cdot 0,8^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,039 \cdot 0,264 \cdot 0,8^2 = 0,007 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,047 \cdot 0,264 \cdot 0,8^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

M_{xa2} – отсутствует

2.2.11 [ВВГ] Нормальные напряжения в пролёте во внутреннем сечении направляющей (вертикальная полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,807} \cdot 10 = 0,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,807} \cdot 10 = 30,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,007}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,807} \cdot 10 = 26,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,807} \cdot 10 = 30,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,807} \cdot 10 = 0,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,807} \cdot 10 = 0,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №			

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma_{l1} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,807} \cdot 10 = 30,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,007}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,807} \cdot 10 = 26,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,807} \cdot 10 = 30,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,807} \cdot 10 = 0,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.2.12 [ВВГ] Нормальные напряжения в пролёте во внешнем сечении направляющей (горизонтальная полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,716} \cdot 10 = 0,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,014}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,716} \cdot 10 = 32,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,004}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,716} \cdot 10 = 10,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,014}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,716} \cdot 10 = 32,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,716} \cdot 10 = 0,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,716} \cdot 10 = 0,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,014}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,716} \cdot 10 = 32,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,004}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,716} \cdot 10 = 10,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,014}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,162}{0,716} \cdot 10 = 32,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,716} \cdot 10 = 0,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.2.13 [ВВГ] Нормативная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра:

$$q_{\text{ун м.п.}} = 0,6 \cdot \text{ун м.п.} = 0,6 \cdot 0,314 = 0,188 \text{ кН/м}$$

где: ун м.п. – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м (см. пункт 2..111 [ВВ]).

2.2.14 [ВВГ] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,188 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,017 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

Расчёт по несущей способности						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	
					143	

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,188 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,017 \cdot 100 + 0,017 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,188 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,017 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{a1} = 0,05093 \cdot \frac{0,188 \cdot 30^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l1} = 0,00326 \cdot \frac{0,188 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = 0,00228 \cdot \frac{0,188 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = 0,00326 \cdot \frac{0,188 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{a2} = 0,05093 \cdot \frac{0,188 \cdot 30^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

2.2.15 [ВВГ] Нормативная погонная нагрузка от положительного давления ветра:

$$q_{\text{ун м.п.}} = 0,6 \cdot \text{ун м.п.} = 0,6 \cdot 0,314 = 0,188 \text{ кН/м}$$

где: ун м.п. – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м (см. пункт 2..111 [ВВ]).

2.2.16 [ВВГ] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,188 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,017 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,188 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,017 \cdot 100 + 0,017 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,188 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,017 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,05093 \cdot \frac{0,188 \cdot 30^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_l = 0,00326 \cdot \frac{0,188 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

Вывод: Направляющая ГО-40х40х1,2 отвечает требованиям прочности.

3. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:

3.1 Расчет реакций при сочетании Вес + Ветер (далее [ВВ]):

3.1.1 [ВВ] Реакции от вертикальной нагрузки:

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 144	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$N_z = P_z \text{ м.п.} \cdot L_z / \text{пк, кН}$$

где: P_z м.п. – вертикальная нагрузка на вертикальный профиль, кН/м

L_z – длина вертикального профиля, м;

пк – количество несущих кронштейнов.

$$N_z = P_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 4 = 0,138 \cdot 3 / 4 = 0,104 \text{ кН}$$

3.1.2 [ВВ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Для кронштейна между пролетом и консолью вертикального профиля:

$$N_y = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l + a), \text{ кН}$$

Для кронштейна между пролетами вертикального профиля:

$$N_y = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_i + l_{i+1}}{2}, \text{ кН}$$

где: k – коэффициент по таблицам Справочника проектировщика или по методу конечных элементов.

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,44 \cdot (0,4 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,273 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,44 \cdot 1,1 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,387 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,44 \cdot 1,1 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,387 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_3 + a_2) = 0,44 \cdot (0,4 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,273 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,44 \cdot (0,484 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,302 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,44 \cdot 1,016 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,358 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,44 \cdot 1,016 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,358 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_3 + a_2) = 0,44 \cdot (0,484 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,302 \text{ кН}$$

3.2 Расчет реакций при сочетании Вес + Ветер + Гололёд (далее [ВВГ]):

3.2.1 [ВВГ] Реакции от вертикальной нагрузки:

$$N_z = q_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 4 = 0,202 \cdot 3 / 4 = 0,152 \text{ кН}$$

3.2.2 [ВВГ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,264 \cdot (0,4 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,164 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,264 \cdot 1,1 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,232 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,264 \cdot 1,1 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,232 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_3 + a_2) = 0,264 \cdot (0,4 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,164 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$N_{y1} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,264 \cdot (0,484 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,181 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,264 \cdot 1,016 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,215 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,264 \cdot 1,016 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,215 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_3 + a_2) = 0,264 \cdot (0,484 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,181 \text{ кН}$$

4. Расчет кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли"

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

Кронштейн	A, см ²	I _x , см ⁴	W _x , см ³	J _y , см ³	W _y , см ³	W _n , см ³	E, МПа	R _y , МПа
КРУ-1р верт.	2	12,23	2,72	0,13	0,17	0,185	210000	225

4.1 Расчет кронштейна при сочетании Вес + Ветер (далее [ВВ]).

4.1.1 [ВВ] Расчет консоли кронштейна:

Изгибающий момент в консоли кронштейна от вертикальной нагрузки:

$$M_x = N_z \cdot e_y = 0,104 \cdot 0,25 = 0,026 \text{ кН·м}$$

Изгибающий момент в консоли кронштейна от горизонтальной нагрузки:

$$M_{z1} = N_{y1} \cdot e_x = 0,273 \cdot 0,02 = 0,00546 \text{ кН·м}$$

$$M_{z2} = N_{y2} \cdot e_x = 0,387 \cdot 0,02 = 0,00774 \text{ кН·м}$$

$$M_{z3} = N_{y3} \cdot e_x = 0,387 \cdot 0,02 = 0,00774 \text{ кН·м}$$

$$M_{z4} = N_{y4} \cdot e_x = 0,273 \cdot 0,02 = 0,00546 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} \cdot 1000 + \frac{M_z}{W_y} \cdot 1000 + \frac{N_y}{A} \cdot 10 < R_y \cdot \gamma_s, \text{ МПа}$$

$$\sigma_1 = \frac{0,026}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00546}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,273}{2} \cdot 10 = 43 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,026}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00774}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,387}{2} \cdot 10 = 57 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,026}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00774}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,387}{2} \cdot 10 = 57 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,026}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00546}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,273}{2} \cdot 10 = 43 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Согласовано				
Взам. Инв. №				
Подпись и дата				
Инв. № подл.				

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		
						146	

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma_1 = \frac{0,026}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00604}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,302}{2} \cdot 10 = 46,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,026}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00716}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,358}{2} \cdot 10 = 53,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,026}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00716}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,358}{2} \cdot 10 = 53,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,026}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00604}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,302}{2} \cdot 10 = 46,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.2 [BB] Расчет напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_z = N_y \cdot e_{x1}, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: e_{x1} – расстояние от оси ветровой нагрузки до края шляпки анкера, м

$$M_{z1} = 0,273 \cdot 0,012 = 0,00328 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,387 \cdot 0,012 = 0,00464 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,387 \cdot 0,012 = 0,00464 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,273 \cdot 0,012 = 0,00328 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{z1} = 0,302 \cdot 0,012 = 0,00362 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,358 \cdot 0,012 = 0,0043 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,358 \cdot 0,012 = 0,0043 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,302 \cdot 0,012 = 0,00362 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{M_z}{W_n} \cdot 1000 < R_n \cdot \gamma_s, \text{ МПа}$$

где: W_n – момент сопротивления пяты кронштейна, см^3

$$\sigma_1 = \frac{0,00328}{0,185} \cdot 1000 = 17,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00464}{0,185} \cdot 1000 = 25,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00464}{0,185} \cdot 1000 = 25,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00328}{0,185} \cdot 1000 = 17,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Расчёт по несущей способности

147

Лист

Изм. Кол.уч Лист №Док. Подпись Дата

Проверка по методу конечных элементов

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00362}{0,185} \cdot 1000 = 19,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0043}{0,185} \cdot 1000 = 23,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0043}{0,185} \cdot 1000 = 23,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00362}{0,185} \cdot 1000 = 19,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.3 [BB] Расчет напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_z = N_y \cdot e_{x3}, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: e_{x3} – расстояние от оси ветровой нагрузки до полки кронштейна, м

$$M_{z1} = 0,273 \cdot 0,02 = 0,00546 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,387 \cdot 0,02 = 0,00774 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,387 \cdot 0,02 = 0,00774 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,273 \cdot 0,02 = 0,00546 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{z1} = 0,302 \cdot 0,02 = 0,00604 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,358 \cdot 0,02 = 0,00716 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,358 \cdot 0,02 = 0,00716 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,302 \cdot 0,02 = 0,00604 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00546}{0,185} \cdot 1000 = 29,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00774}{0,185} \cdot 1000 = 41,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00774}{0,185} \cdot 1000 = 41,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00546}{0,185} \cdot 1000 = 29,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00604}{0,185} \cdot 1000 = 32,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №			

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma_2 = \frac{0,00716}{0,185} \cdot 1000 = 38,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00716}{0,185} \cdot 1000 = 38,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00604}{0,185} \cdot 1000 = 32,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.4 [ВВ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f = \frac{N_z \cdot e_y^3 \cdot 10}{3 \cdot E \cdot I_x} < \frac{e_y}{100}, \text{ см}$$

где: e_y – Вылет, см

$$f_z = \frac{0,104 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,002 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,104 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,002 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

4.2 Расчет кронштейна при сочетании Вес + Ветер + Гололёд (далее [ВВГ]).

4.2.1 [ВВГ] Расчет консоли кронштейна:

Изгибающий момент в консоли кронштейна от вертикальной нагрузки:

$$M_x = N_z \cdot e_y = 0,152 \cdot 0,25 = 0,038 \text{ кН·м}$$

Изгибающий момент в консоли кронштейна от горизонтальной нагрузки:

$$M_{z1} = N_{y1} \cdot e_x = 0,164 \cdot 0,02 = 0,00328 \text{ кН·м}$$

$$M_{z2} = N_{y2} \cdot e_x = 0,232 \cdot 0,02 = 0,00464 \text{ кН·м}$$

$$M_{z3} = N_{y3} \cdot e_x = 0,232 \cdot 0,02 = 0,00464 \text{ кН·м}$$

$$M_{z4} = N_{y4} \cdot e_x = 0,164 \cdot 0,02 = 0,00328 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma_1 = \frac{0,038}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00328}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,164}{2} \cdot 10 = 34,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,038}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00464}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,232}{2} \cdot 10 = 42,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,038}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00464}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,232}{2} \cdot 10 = 42,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,038}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00328}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,164}{2} \cdot 10 = 34,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 14.9	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma_1 = \frac{0,038}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00362}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,181}{2} \cdot 10 = 36,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,038}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,0043}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,215}{2} \cdot 10 = 40,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,038}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,0043}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,215}{2} \cdot 10 = 40,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,038}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00362}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,181}{2} \cdot 10 = 36,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.2 [ВВГ] Расчет напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

$$Mz_1 = 0,164 \cdot 0,012 = 0,00197 \text{ кН·м}$$

$$Mz_2 = 0,232 \cdot 0,012 = 0,00278 \text{ кН·м}$$

$$Mz_3 = 0,232 \cdot 0,012 = 0,00278 \text{ кН·м}$$

$$Mz_4 = 0,164 \cdot 0,012 = 0,00197 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mz_1 = 0,181 \cdot 0,012 = 0,00217 \text{ кН·м}$$

$$Mz_2 = 0,215 \cdot 0,012 = 0,00258 \text{ кН·м}$$

$$Mz_3 = 0,215 \cdot 0,012 = 0,00258 \text{ кН·м}$$

$$Mz_4 = 0,181 \cdot 0,012 = 0,00217 \text{ кН·м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00197}{0,185} \cdot 1000 = 10,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00278}{0,185} \cdot 1000 = 15 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00278}{0,185} \cdot 1000 = 15 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00197}{0,185} \cdot 1000 = 10,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00217}{0,185} \cdot 1000 = 11,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00258}{0,185} \cdot 1000 = 13,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 150	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma_3 = \frac{0,00258}{0,185} \cdot 1000 = 13,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00217}{0,185} \cdot 1000 = 11,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.3 [ВВГ] Расчет напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{z1} = 0,164 \cdot 0,02 = 0,00328 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,232 \cdot 0,02 = 0,00464 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,232 \cdot 0,02 = 0,00464 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,164 \cdot 0,02 = 0,00328 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{z1} = 0,181 \cdot 0,02 = 0,00362 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,215 \cdot 0,02 = 0,0043 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,215 \cdot 0,02 = 0,0043 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,181 \cdot 0,02 = 0,00362 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00328}{0,185} \cdot 1000 = 17,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00464}{0,185} \cdot 1000 = 25,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00464}{0,185} \cdot 1000 = 25,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00328}{0,185} \cdot 1000 = 17,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00362}{0,185} \cdot 1000 = 19,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0043}{0,185} \cdot 1000 = 23,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0043}{0,185} \cdot 1000 = 23,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00362}{0,185} \cdot 1000 = 19,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.4 [ВВГ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$f_z = \frac{0,152 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,003 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,152 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,003 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Вывод: Кронштейн КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли отвечает требованиям прочности.

5. Расчет соединения кронштейна с профилем

Тип крепления: Закlepка вытяжная диаметром 4мм А2/А2.

Допустимое усилие на срез: 1,7 кН.

Допустимое усилие на разрыв: 2,2 кН.

Механические характеристики см. таблицу 3 ГОСТ Р ИСО 15979-2017

Количество соединений в креплении: 2 шт.

5.1 Расчет при сочетании Вес + Ветер (далее [ВВ])

5.1.1 [ВВ] Расчет на срез от вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$N_s = \frac{\sqrt{N_z^2 + N_y^2}}{n_z} \cdot \gamma_m \leq N_{nrs}, \text{ кН}$$

где: N_z – вертикальная нагрузка на соединение, кН

N_y – горизонтальная нагрузка на соединение, кН

n_z – количество заклепок, шт

γ_m – коэффициент надёжности соединения

N_{nrs} – расчётное усилие на срез, кН

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{s1} = \frac{\sqrt{0,104^2 + 0,273^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,183 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{\sqrt{0,104^2 + 0,387^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,25 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{\sqrt{0,104^2 + 0,387^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,25 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{\sqrt{0,104^2 + 0,273^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,183 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{s1} = \frac{\sqrt{0,104^2 + 0,302^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,2 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{\sqrt{0,104^2 + 0,358^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,233 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 152	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$Ns3 = \frac{\sqrt{0,104^2 + 0,358^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,233 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns4 = \frac{\sqrt{0,104^2 + 0,302^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,2 \leq 1,7 \text{ кН}$$

5.1.2 [BB] Расчет на смятие от вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$\frac{\sqrt{(Nz)^2 + (Ny)^2}}{nз \cdot d \cdot t} \cdot 1000 \leq R_{gp}, \text{ МПа}$$

где: d – диаметр отверстия для заклёпки (самореза), мм

t – толщина стенки направляющей, мм

R_{gp} – расчётное сопротивление смятию элементов, соединяемых заклёпками, МПа

Проверка по справочнику проектировщика

$$\frac{\sqrt{0,104^2 + 0,273^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 30,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,104^2 + 0,387^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 41,7 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,104^2 + 0,387^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 41,7 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,104^2 + 0,273^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 30,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{\sqrt{0,104^2 + 0,302^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 33,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,104^2 + 0,358^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 38,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,104^2 + 0,358^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 38,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,104^2 + 0,302^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 33,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

5.2 Расчет при сочетании Вес + Ветер + Гололёд (далее [BBГ])

5.2.1 [BBГ] Расчет на срез от вертикальной и горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$Ns1 = \frac{\sqrt{0,152^2 + 0,164^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,14 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns2 = \frac{\sqrt{0,152^2 + 0,232^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,173 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$N_{s3} = \frac{\sqrt{0,152^2 + 0,232^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,173 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{\sqrt{0,152^2 + 0,164^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,14 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{s1} = \frac{\sqrt{0,152^2 + 0,181^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,148 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{\sqrt{0,152^2 + 0,215^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,165 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{\sqrt{0,152^2 + 0,215^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,165 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{\sqrt{0,152^2 + 0,181^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,148 \leq 1,7 \text{ кН}$$

5.2.2 [ВВГ] Расчет на смятие от вертикальной и горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\frac{\sqrt{0,152^2 + 0,164^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 23,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,152^2 + 0,232^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 28,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,152^2 + 0,232^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 28,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,152^2 + 0,164^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 23,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{\sqrt{0,152^2 + 0,181^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 24,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,152^2 + 0,215^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 27,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,152^2 + 0,215^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 27,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,152^2 + 0,181^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 24,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

Вывод: Соединение кронштейна с профилем отвечает требованиям прочности.

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

6. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания

Крепление в ячеистые блоки на один анкер в верхнее отверстие. .

6.1 [ВВ] Вырывающее усилие анкера при сочетании Вес + Ветер:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_a = \frac{M_x}{b_z} + N_y \cdot \frac{e_b}{e_a}, \text{ кН}$$

где: b_z – опорное плечо анкера по оси Z, м

e_b – плечо ветровой нагрузки по оси X, м

e_a – плечо анкера по оси X, м

$$N_{a1} = \frac{0,026}{0,075} + 0,273 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,79 \text{ кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,026}{0,075} + 0,387 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,97 \text{ кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,026}{0,075} + 0,387 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,97 \text{ кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,026}{0,075} + 0,273 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,79 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{a1} = \frac{0,026}{0,075} + 0,302 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,83 \text{ кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,026}{0,075} + 0,358 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,92 \text{ кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,026}{0,075} + 0,358 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,92 \text{ кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,026}{0,075} + 0,302 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,83 \text{ кН}$$

6.2 [ВВГ] Вырывающее усилие анкера при сочетании Вес + Ветер + Гололёд:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{a1} = \frac{0,038}{0,075} + 0,164 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,77 \text{ кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,038}{0,075} + 0,232 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,88 \text{ кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,038}{0,075} + 0,232 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,88 \text{ кН}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 155	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$N_{a4} = \frac{0,038}{0,075} + 0,164 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,77 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{a1} = \frac{0,038}{0,075} + 0,181 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,8 \text{ кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,038}{0,075} + 0,215 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,85 \text{ кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,038}{0,075} + 0,215 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,85 \text{ кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,038}{0,075} + 0,181 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,8 \text{ кН}$$

Вывод: Допустимое усилие анкера на вырыв при креплении кронштейна КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли в ячеистые блоки на один анкер в верхнее отверстие должно быть не менее 0,97 кН.

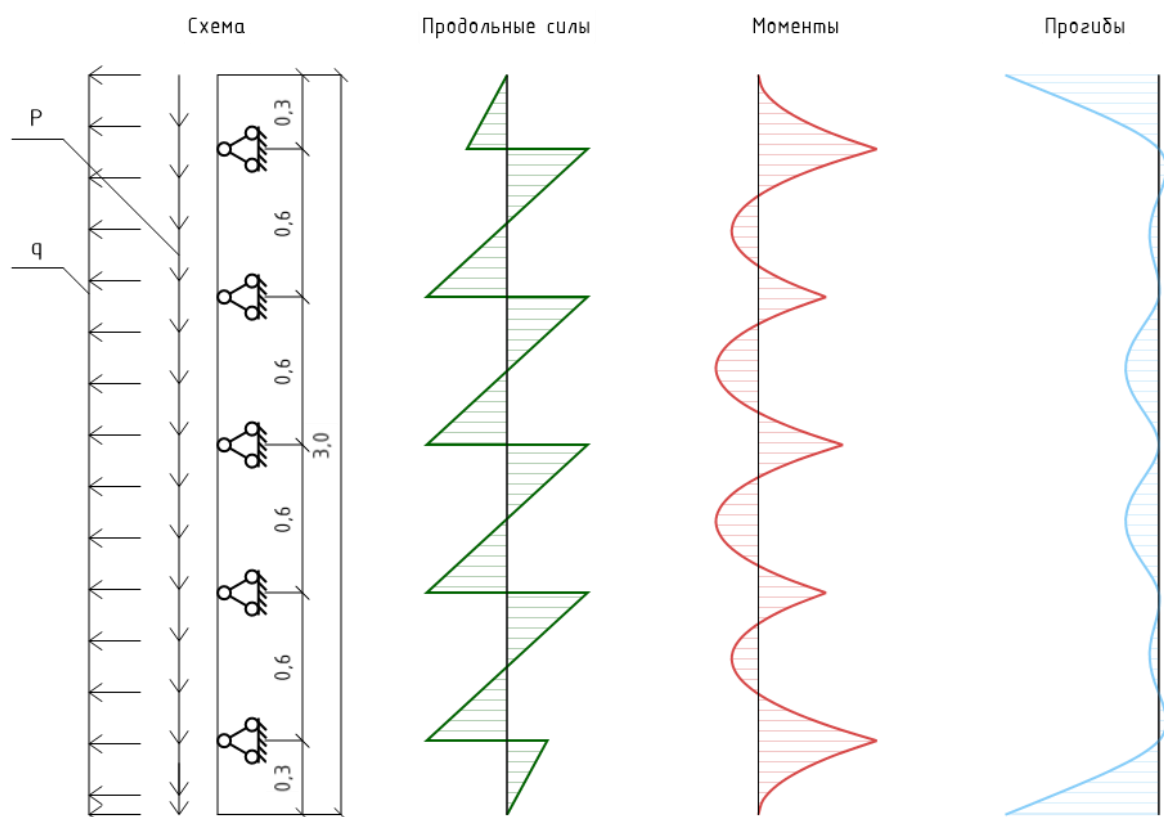
Согласовано							Изм. Кол.уч Лист №Док. Подпись Дата	Расчёт по несущей способности 156	Лист
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №							

Расчет прочности монтажной схемы №9

1. Исходные данные:

1. Район строительства:
2. Ветровой район: I – 0,23 кН Тип местности: B
3. Ветровая зона: Узловая
4. Высота применения: 12 м
5. Гололёдный район: II
6. Уровень ответственности здания: КС-2
7. Материал облицовки: Фиброцементные плиты
8. Вес облицовки: 17 кг/м^2 ($0,167 \text{ кН/м}^2$)
9. Вертикальный профиль: Г0-40x40x1,2
10. Шаг вертикального профиля по горизонтали: 0,65 м
11. Схема вертикального профиля: четырехпролетная балка Г0-40x40x1,2_5КРЧ-1p[↑18] 0,3|0,6+0,6+0,6+0,6|0,3
12. Вылет: 0,25 м
13. Несущие кронштейны:

-КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли с креплением на один анкер в верхнее отверстие в ячеистые блоки..



2. Расчет вертикального профиля "ГО-40х40х1,2"

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

Име.№ подл.	Подпись и дата	Взам. Име. №	Согласовано	

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

Профиль	Вес, кг/м	Редуцируемое сечение	A, см ²	Ix, см ⁴	Wx, см ³	E, МПа	Ry, МПа
ГО-40х40х1,2	0,75	Горизонтальная полка	0,716	1,235	0,468	210000	225
		Вертикальная полка	0,807	0,634	0,282		

2.1 Расчет при сочетании Вес + Ветер (далее [ВВ])

2.11 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от веса облицовки и профиля определяется по формуле (1):

$$P_z \text{ м.п.} = P_o \cdot \gamma_f \cdot l_x + P_n \cdot \gamma_f, \text{ кН/м}$$

$$P_z \text{ м.п.} = 0,167 \cdot 1,2 \cdot 0,65 + 0,007 \cdot 1,05 = 0,138 \text{ кН/м}$$

2.12 [ВВ] Продольные усилия в профиле:

$$N_z = P_z \text{ м.п.} \cdot l_z, \text{ кН}$$

где: l_z – длина направляющей, с которой собирается нагрузка, м.

$$N_{za} = P_z \text{ м.п.} \cdot l_{za} = 0,138 \cdot 0,3 = 0,041 \text{ кН}$$

$$N_{zl} = P_z \text{ м.п.} \cdot l_{zl} = 0,138 \cdot 0,6 = 0,083 \text{ кН}$$

Тонкостенный профиль при работе на изгиб в сжатой зоне теряет устойчивость и в работу включается редуцированное сечение профиля. Поэтому наихудшим случаем может быть как изгиб в пролетах, где сжимается внутренняя сторона сечения, так и изгиб на опорах, где сжимается внешняя часть сечения. Кроме того, наихудшим случаем может быть как отрицательное давление ветра, так и положительное.

2.13 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра определяется по формуле (2):

$$w_p \text{ м.п.} = w_0 \cdot k(z_e) \cdot (1 + \zeta(z)) \cdot c_p \cdot \gamma_f \cdot v \cdot l_x \cdot K_{нер}, \text{ кН/м}$$

$$w_p \text{ м.п.} = 0,23 \cdot 0,69 \cdot (1 + 1,03) \cdot 2,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1,25 = 0,806 \text{ кН/м}$$

2.14 [ВВ] Определяем изгибающий момент на опоре от горизонтальной нагрузки:

$$M_x = k \cdot w \cdot l^2, \text{ кН·м}$$

где: k – коэффициент по таблицам справочника проектировщика или по методу конечных элементов.

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,806 \cdot 0,3^2 = 0,036 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,107 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,031 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,107 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,031 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,107 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,031 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,107 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,031 \text{ кН·м}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

Расчёт по несущей способности						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	
206						

$$M_{\alpha 2} = 0,5 \cdot 0,806 \cdot 0,3^2 = 0,036 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{\alpha 1} = 0,5 \cdot 0,806 \cdot 0,3^2 = 0,036 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 11} = 0,125 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,036 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 12} = 0,089 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,026 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 13} = 0,089 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,026 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 14} = 0,125 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,036 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 2} = 0,5 \cdot 0,806 \cdot 0,3^2 = 0,036 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

2.15 [ВВ] Нормальные напряжения на опоре во внешнем сечении направляющей (горизонтальная полка):

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} \cdot 1000 + \frac{N_z}{A} \cdot 10 < R \cdot \text{ус, МПа}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{\alpha 1} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 77,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 78,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,026}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 56,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} = \frac{0,026}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 56,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{14} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 78,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\alpha 2} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 77,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{\alpha 1} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 77,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 78,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,026}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 56,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} = \frac{0,026}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 56,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{14} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 78,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\alpha 2} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 77,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 207	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

2.16 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от положительного давления ветра определяется по формуле (2):

$$\text{вр м.п.} = 0,23 \cdot 0,69 \cdot (1 + 1,03) \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1,25 = 0,44 \text{ кН/м}$$

2.1.7 [ВВ] Определяем изгибающий момент на опоре от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{\text{ха1}} = 0,5 \cdot 0,44 \cdot 0,3^2 = 0,02 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл1}} = 0,107 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,017 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл2}} = 0,107 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,017 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл3}} = 0,107 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,017 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл4}} = 0,107 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,017 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{ха2}} = 0,5 \cdot 0,44 \cdot 0,3^2 = 0,02 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{\text{ха1}} = 0,5 \cdot 0,44 \cdot 0,3^2 = 0,02 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл1}} = 0,125 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,02 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл2}} = 0,089 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл3}} = 0,089 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл4}} = 0,125 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,02 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{ха2}} = 0,5 \cdot 0,44 \cdot 0,3^2 = 0,02 \text{ кН·м}$$

2.1.8 [ВВ] Нормальные напряжения на опоре во внутреннем сечении направляющей (вертикальная полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{\text{а1}} = \frac{0,02}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,807} \cdot 10 = 71,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{л1}} = \frac{0,02}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 72 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{л2}} = \frac{0,014}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 50,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{л3}} = \frac{0,014}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 50,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{л4}} = \frac{0,02}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 72 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{а2}} = \frac{0,02}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,807} \cdot 10 = 71,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{\text{а1}} = \frac{0,02}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,807} \cdot 10 = 71,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{л1}} = \frac{0,02}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 72 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 208	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma_{l2} = \frac{0,014}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 50,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,014}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 50,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,02}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 72 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,02}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,807} \cdot 10 = 71,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.9 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра равна 0,806 кН/м (см. пункт 2.13 [ВВ]).

2.1.10 [ВВ] Определяем изгибающий момент в пролёте от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

Мхa1 – отсутствует

$$M_{x11} = 0,077 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,022 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,037 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,037 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,077 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,022 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Мхa2 – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

Мхa1 – отсутствует

$$M_{x11} = 0,027 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,045 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,045 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,027 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Мхa2 – отсутствует

2.1.11 [ВВ] Нормальные напряжения в пролёте во внутреннем сечении направляющей (вертикальная полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,807} \cdot 10 = 0,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 29,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,013}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 47,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,013}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 47,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 29,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №			

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,807} \cdot 10 = 0,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,807} \cdot 10 = 0,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 29,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,013}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 47,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,013}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 47,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,807} \cdot 10 = 29,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,807} \cdot 10 = 0,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.12 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от положительного давления ветра равна 0,44 кН/м (см. пункт 2.16 [ВВ]).

2.1.13 [ВВ] Определяем изгибающий момент в пролёте от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

М_{хa1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,077 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,012 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,037 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,037 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,077 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,012 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

М_{хa2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

М_{хa1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,027 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,045 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,007 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,045 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,007 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,027 \cdot 0,44 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

М_{хa2} – отсутствует

2.1.14 [ВВ] Нормальные напряжения в пролёте во внешнем сечении направляющей (горизонтальная полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 0,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,004}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 210	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma_{l2} = \frac{0,007}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 16,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,007}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 16,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,004}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 0,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 0,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,004}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,007}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 16,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,007}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 16,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,004}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 0,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.115 [ВВ] Нормативная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра определяется по формуле:

$$w_{н.м.п.} = \frac{w_{р.м.п.}}{\gamma_f}, \text{ кН/м}$$

$$w_{н.м.п.} = \frac{0,806}{1,4} = 0,576 \text{ кН/м}$$

2.1.16 [ВВ] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{w_{н.м.п.} \cdot l^4}{I_x \cdot E \cdot 10} - \frac{M_1 + M_2}{16 \cdot I_x \cdot E \cdot 1,4} \cdot l^2 \cdot 10 < \frac{l}{200}, \text{ см}$$

где: l – длина пролета, см

M1, M2 – момент слева и справа от пролета, кН · м.

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,576 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,031 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,576 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,031 \cdot 100 + 0,031 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,576 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,031 \cdot 100 + 0,031 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Расчёт по несущей способности

211

Лист

Изм. Кол.уч. Лист №Док. Подпись Дата

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,576 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,031 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f = k \cdot \frac{w_H \cdot l^4}{I_x \cdot E \cdot 10} \leq \frac{l}{200}, \text{ см}$$

где: k – коэффициент, полученный методом конечных элементов

l – длина пролета, см

$$f_a = 0,22024 \cdot \frac{0,576 \cdot 30^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,08 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_l = 0,00083 \cdot \frac{0,576 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

2.117 [ВВ] Нормативная погонная нагрузка от положительного давления ветра определяется по формуле:

$$w_H = \frac{0,44}{1,4} = 0,314 \text{ кН/м}$$

2.1.18 [ВВ] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,314 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,017 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,314 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,017 \cdot 100 + 0,017 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,314 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,017 \cdot 100 + 0,017 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,314 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,017 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,22024 \cdot \frac{0,314 \cdot 30^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_l = 0,00083 \cdot \frac{0,314 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

2.2 Расчет при сочетании Вес + Ветер + Гололёд (далее [ВВГ])

2.2.1 [ВВГ] Расчётная погонная нагрузка от веса облицовки и профиля равна 0,138 кН/м (см. пункт 2.11 [ВВ]).

2.2.2 [ВВГ] Расчётная погонная нагрузка от гололёда определяется по формуле (3):

$$i \text{ м.п.} = 2 \cdot b \cdot k \cdot \mu_2 \cdot p \cdot g \cdot \gamma_f \cdot l_x / 1000, \text{ кН/м}$$

$$i \text{ м.п.} = 2 \cdot 5 \cdot 1,04 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot 1,8 \cdot 0,65 / 1000 = 0,064 \text{ кН/м}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

Расчёт по несущей способности						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	

2.2.3 [ВВГ] Суммарная вертикальная расчётная погонная нагрузка:

$$q_{zp} \text{ м.п.} = P_{zp} \text{ м.п.} + i_{p} \text{ м.п.} = 0,138 + 0,064 = 0,202 \text{ кН/м}$$

2.2.4 [ВВГ] Продольные усилия в профиле:

$$N_{za} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{za} = 0,202 \cdot 0,3 = 0,061 \text{ кН}$$

$$N_{zl} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{zl} = 0,202 \cdot 0,6 = 0,121 \text{ кН}$$

2.2.5 [ВВГ] Расчётная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра:

$$q_{wp} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,806 = 0,484 \text{ кН/м}$$

где: w_p м.п. – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м (см. пункт 2..13 [ВВ]).

2.2.6 [ВВГ] Определяем изгибающий момент на опоре от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,484 \cdot 0,3^2 = 0,022 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,107 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,019 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,107 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,019 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,107 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,019 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,107 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,019 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,484 \cdot 0,3^2 = 0,022 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,484 \cdot 0,3^2 = 0,022 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,125 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,022 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,089 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,016 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,089 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,016 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,125 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,022 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,484 \cdot 0,3^2 = 0,022 \text{ кН·м}$$

2.2.7 [ВВГ] Нормальные напряжения на опоре во внешнем сечении направляющей (горизонтальная полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,022}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,716} \cdot 10 = 47,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,022}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 48,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,016}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 35,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,016}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 35,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,022}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 48,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 213	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma_{a2} = \frac{0,022}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,716} \cdot 10 = 47,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,022}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,716} \cdot 10 = 47,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,022}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 48,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,016}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 35,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,016}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 35,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,022}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 48,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,022}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,716} \cdot 10 = 47,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.2.8 [ВВГ] Расчётная погонная нагрузка от положительного давления ветра:

$$q_{wp} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,44 = 0,264 \text{ кН/м}$$

где: w_p м.п. – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м (см. пункт 2..16 [ВВ]).

2.2.9 [ВВГ] Определяем изгибающий момент на опоре от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,264 \cdot 0,3^2 = 0,012 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,107 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,107 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,107 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,107 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,264 \cdot 0,3^2 = 0,012 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,264 \cdot 0,3^2 = 0,012 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,125 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,012 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,089 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,089 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,125 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,012 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,264 \cdot 0,3^2 = 0,012 \text{ кН·м}$$

2.2.10 [ВВГ] Нормальные напряжения на опоре во внутреннем сечении направляющей (вертикальная полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,012}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,807} \cdot 10 = 43,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

Расчёт по несущей способности						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	
					214	

$$\sigma_{l1} = \frac{0,012}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 44,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 29,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 29,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,012}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 44,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,012}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,807} \cdot 10 = 43,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,012}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,807} \cdot 10 = 43,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,012}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 44,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 29,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 29,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,012}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 44,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,012}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,807} \cdot 10 = 43,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.2.11 [ВВГ] Расчётная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра:

$$q_{wp} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,806 = 0,484 \text{ кН/м}$$

где: w_p м.п. – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м (см. пункт 2.13 [ВВ]).

2.2.12 [ВВГ] Определяем изгибающий момент в пролёте от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

M_{xa1} – отсутствует

$$M_{xl1} = 0,077 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,037 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,037 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,077 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

M_{xa2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

M_{xa1} – отсутствует

$$M_{xl1} = 0,027 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,045 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,045 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$M_{x14} = 0,027 \cdot 0,484 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

M_{x2} – отсутствует

2.2.13 [ВВГ] Нормальные напряжения в пролёте во внутреннем сечении направляющей (вертикальная полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,807} \cdot 10 = 0,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,005}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 19,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 29,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 29,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,005}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 19,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,807} \cdot 10 = 0,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,807} \cdot 10 = 0,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,005}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 19,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 29,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 29,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,005}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,807} \cdot 10 = 19,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,807} \cdot 10 = 0,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.2.14 [ВВГ] Расчётная погонная нагрузка от положительного давления ветра:

$$q_{вр \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot w_{р \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot 0,44 = 0,264 \text{ кН/м}$$

где: $w_{р \text{ м.п.}}$ – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м (см. пункт 2.16 [ВВ]).

2.2.15 [ВВГ] Определяем изгибающий момент в пролёте от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

M_{x1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,077 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,007 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,037 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,037 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 216	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$M_{x14} = 0,077 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,007 \text{ кН·м}$$

M_{x2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

M_{x1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,027 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,045 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,045 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{x14} = 0,027 \cdot 0,264 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

M_{x2} – отсутствует

2.2.16 [ВВГ] Нормальные напряжения в пролёте во внешнем сечении направляющей (горизонтальная полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,716} \cdot 10 = 0,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,003}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 8,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,004}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 10,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,004}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 10,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 8,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,716} \cdot 10 = 0,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,716} \cdot 10 = 0,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,003}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 8,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,004}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 10,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,004}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 10,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,121}{0,716} \cdot 10 = 8,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,061}{0,716} \cdot 10 = 0,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.2.17 [ВВГ] Нормативная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра:

$$q_{\text{ун м.п.}} = 0,6 \cdot w_{\text{н м.п.}} = 0,6 \cdot 0,576 = 0,346 \text{ кН/м}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 217	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

где: w_n м.п. – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м (см. пункт 2..115 [ВВ]).

2.2.18 [ВВГ] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,346 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,019 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,346 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,019 \cdot 100 + 0,019 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,346 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,019 \cdot 100 + 0,019 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,346 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,019 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,22024 \cdot \frac{0,346 \cdot 30^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,05 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_l = 0,00083 \cdot \frac{0,346 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

2.2.19 [ВВГ] Нормативная погонная нагрузка от положительного давления ветра:

$$q_{un} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_n \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,314 = 0,188 \text{ кН/м}$$

где: w_n м.п. – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м (см. пункт 2..117 [ВВ]).

2.2.20 [ВВГ] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,188 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,01 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,188 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,01 \cdot 100 + 0,01 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,188 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,01 \cdot 100 + 0,01 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,188 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,01 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,22024 \cdot \frac{0,188 \cdot 30^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_l = 0,00083 \cdot \frac{0,188 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Вывод: Направляющая Г0-40х40х1,2 отвечает требованиям прочности.

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		
						218	

3. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:

3.1 Расчет реакций при сочетании Вес + Ветер (далее [ВВ]):

3.1.1 [ВВ] Реакции от вертикальной нагрузки:

$$N_z = P_z \text{ м.п.} \cdot L_z / \text{пк}, \text{ кН}$$

где: P_z м.п. – вертикальная нагрузка на вертикальный профиль, кН/м

L_z – длина вертикального профиля, м;

пк – количество несущих кронштейнов.

$$N_z = P_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 5 = 0,138 \cdot 3 / 5 = 0,083 \text{ кН}$$

3.1.2 [ВВ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Для кронштейна между пролетом и консолью вертикального профиля:

$$N_y = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l + a), \text{ кН}$$

Для кронштейна между пролетами вертикального профиля:

$$N_y = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_i + l_{i+1}}{2}, \text{ кН}$$

где: k – коэффициент по таблицам Справочника проектировщика или по методу конечных элементов.

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,806 \cdot (0,393 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,432 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,806 \cdot 1,143 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,553 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,806 \cdot 0,929 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,449 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,806 \cdot 1,143 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,553 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_4 + a_2) = 0,806 \cdot (0,393 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,432 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,806 \cdot (0,554 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,51 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,806 \cdot 0,929 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,449 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,806 \cdot 1,036 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,501 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,806 \cdot 0,929 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,449 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_4 + a_2) = 0,806 \cdot (0,554 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,51 \text{ кН}$$

3.2 Расчет реакций при сочетании Вес + Ветер + Гололёд (далее [ВВГ]):

3.2.1 [ВВГ] Реакции от вертикальной нагрузки:

$$N_z = q_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 5 = 0,202 \cdot 3 / 5 = 0,121 \text{ кН}$$

3.2.2 [ВВГ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 219	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,484 \cdot (0,393 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,259 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,484 \cdot 1,143 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,332 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,484 \cdot 0,929 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,27 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,484 \cdot 1,143 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,332 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_4 + a_2) = 0,484 \cdot (0,393 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,259 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,484 \cdot (0,554 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,306 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,484 \cdot 0,929 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,27 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,484 \cdot 1,036 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,301 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,484 \cdot 0,929 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,27 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_4 + a_2) = 0,484 \cdot (0,554 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,306 \text{ кН}$$

4. Расчет кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли"

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

Кронштейн	A, см ²	Ix, см ⁴	Wx, см ³	Jy, см ³	Wy, см ³	Wп, см ³	E, МПа	Ry, МПа
КРУ-1р верт.	2	12,23	2,72	0,13	0,17	0,185	210000	225

4.1 Расчет кронштейна при сочетании Вес + Ветер (далее [ВВ]).

4.1.1 [ВВ] Расчет консоли кронштейна:

Изгибающий момент в консоли кронштейна от вертикальной нагрузки:

$$M_x = N_z \cdot e_y = 0,083 \cdot 0,25 = 0,02075 \text{ кН·м}$$

Изгибающий момент в консоли кронштейна от горизонтальной нагрузки:

$$M_{z1} = N_{y1} \cdot e_x = 0,432 \cdot 0,02 = 0,00864 \text{ кН·м}$$

$$M_{z2} = N_{y2} \cdot e_x = 0,553 \cdot 0,02 = 0,01106 \text{ кН·м}$$

$$M_{z3} = N_{y3} \cdot e_x = 0,449 \cdot 0,02 = 0,00898 \text{ кН·м}$$

$$M_{z4} = N_{y4} \cdot e_x = 0,553 \cdot 0,02 = 0,01106 \text{ кН·м}$$

$$M_{z5} = N_{y5} \cdot e_x = 0,432 \cdot 0,02 = 0,00864 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

Согласовано					
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №			

						Расчёт по несущей способности 220	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} \cdot 1000 + \frac{M_z}{W_y} \cdot 1000 + \frac{N_y}{A} \cdot 10 < R_y \cdot \gamma_s, \text{ МПа}$$

$$\sigma_1 = \frac{0,02075}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00864}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,432}{2} \cdot 10 = 60,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,02075}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,01106}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,553}{2} \cdot 10 = 75,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,02075}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00898}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,449}{2} \cdot 10 = 62,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,02075}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,01106}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,553}{2} \cdot 10 = 75,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,02075}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00864}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,432}{2} \cdot 10 = 60,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma_1 = \frac{0,02075}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,0102}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,51}{2} \cdot 10 = 70,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,02075}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00898}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,449}{2} \cdot 10 = 62,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,02075}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,01002}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,501}{2} \cdot 10 = 69,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,02075}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00898}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,449}{2} \cdot 10 = 62,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,02075}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,0102}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,51}{2} \cdot 10 = 70,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.2 [BB] Расчет напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_z = N_y \cdot e_{x1}, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: e_{x1} – расстояние от оси ветровой нагрузки до края шляпки анкера, м

$$M_{z1} = 0,432 \cdot 0,012 = 0,00518 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,553 \cdot 0,012 = 0,00664 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,449 \cdot 0,012 = 0,00539 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,553 \cdot 0,012 = 0,00664 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z5} = 0,432 \cdot 0,012 = 0,00518 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{z1} = 0,51 \cdot 0,012 = 0,00612 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,449 \cdot 0,012 = 0,00539 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,501 \cdot 0,012 = 0,00601 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$Mz4 = 0,449 \cdot 0,012 = 0,00539 \text{ кН·м}$$

$$Mz5 = 0,51 \cdot 0,012 = 0,00612 \text{ кН·м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{Mz}{Wn} \cdot 1000 < Rn \cdot \gamma_s, \text{ МПа}$$

где: Wn – момент сопротивления пяты кронштейна, см^3

$$\sigma_1 = \frac{0,00518}{0,185} \cdot 1000 = 28 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00664}{0,185} \cdot 1000 = 35,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00539}{0,185} \cdot 1000 = 29,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00664}{0,185} \cdot 1000 = 35,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00518}{0,185} \cdot 1000 = 28 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00612}{0,185} \cdot 1000 = 33,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00539}{0,185} \cdot 1000 = 29,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00601}{0,185} \cdot 1000 = 32,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00539}{0,185} \cdot 1000 = 29,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00612}{0,185} \cdot 1000 = 33,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.3 [ВВ] Расчет напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$Mz = N_y \cdot ex3, \text{ кН·м}$$

где: $ex3$ – расстояние от оси ветровой нагрузки до полки кронштейна, м

$$Mz1 = 0,432 \cdot 0,02 = 0,00864 \text{ кН·м}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$Mz2 = 0,553 \cdot 0,02 = 0,01106 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz3 = 0,449 \cdot 0,02 = 0,00898 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz4 = 0,553 \cdot 0,02 = 0,01106 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz5 = 0,432 \cdot 0,02 = 0,00864 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mz1 = 0,51 \cdot 0,02 = 0,0102 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz2 = 0,449 \cdot 0,02 = 0,00898 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz3 = 0,501 \cdot 0,02 = 0,01002 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz4 = 0,449 \cdot 0,02 = 0,00898 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz5 = 0,51 \cdot 0,02 = 0,0102 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00864}{0,185} \cdot 1000 = 46,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01106}{0,185} \cdot 1000 = 59,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00898}{0,185} \cdot 1000 = 48,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01106}{0,185} \cdot 1000 = 59,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00864}{0,185} \cdot 1000 = 46,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,0102}{0,185} \cdot 1000 = 55,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00898}{0,185} \cdot 1000 = 48,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01002}{0,185} \cdot 1000 = 54,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00898}{0,185} \cdot 1000 = 48,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,0102}{0,185} \cdot 1000 = 55,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.4 [ВВ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f = \frac{Nz \cdot ey^3 \cdot 10}{3 \cdot E \cdot Ix} < \frac{ey}{100}, \text{ см}$$

где: ey – Вылет, см

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 223	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$f_z = \frac{0,083 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,002 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,083 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,002 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

4.2 Расчет кронштейна при сочетании Вес + Ветер + Гололёд (далее [ВВГ]).

4.2.1 [ВВГ] Расчет консоли кронштейна:

Изгибающий момент в консоли кронштейна от вертикальной нагрузки:

$$M_x = N_z \cdot e_y = 0,121 \cdot 0,25 = 0,03025 \text{ кН·м}$$

Изгибающий момент в консоли кронштейна от горизонтальной нагрузки:

$$M_{z1} = N_{y1} \cdot e_x = 0,259 \cdot 0,02 = 0,00518 \text{ кН·м}$$

$$M_{z2} = N_{y2} \cdot e_x = 0,332 \cdot 0,02 = 0,00664 \text{ кН·м}$$

$$M_{z3} = N_{y3} \cdot e_x = 0,27 \cdot 0,02 = 0,0054 \text{ кН·м}$$

$$M_{z4} = N_{y4} \cdot e_x = 0,332 \cdot 0,02 = 0,00664 \text{ кН·м}$$

$$M_{z5} = N_{y5} \cdot e_x = 0,259 \cdot 0,02 = 0,00518 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma_1 = \frac{0,03025}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00518}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,259}{2} \cdot 10 = 42,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,03025}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00664}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,332}{2} \cdot 10 = 51,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,03025}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,0054}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,27}{2} \cdot 10 = 44,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,03025}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00664}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,332}{2} \cdot 10 = 51,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,03025}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00518}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,259}{2} \cdot 10 = 42,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma_1 = \frac{0,03025}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00612}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,306}{2} \cdot 10 = 48,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,03025}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,0054}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,27}{2} \cdot 10 = 44,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,03025}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00602}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,301}{2} \cdot 10 = 48 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,03025}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,0054}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,27}{2} \cdot 10 = 44,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №			

						Расчёт по несущей способности 224	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma_5 = \frac{0,03025}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00612}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,306}{2} \cdot 10 = 48,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.2 [ВВГ] Расчет напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{z1} = 0,259 \cdot 0,012 = 0,00311 \text{ кН·м}$$

$$M_{z2} = 0,332 \cdot 0,012 = 0,00398 \text{ кН·м}$$

$$M_{z3} = 0,27 \cdot 0,012 = 0,00324 \text{ кН·м}$$

$$M_{z4} = 0,332 \cdot 0,012 = 0,00398 \text{ кН·м}$$

$$M_{z5} = 0,259 \cdot 0,012 = 0,00311 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{z1} = 0,306 \cdot 0,012 = 0,00367 \text{ кН·м}$$

$$M_{z2} = 0,27 \cdot 0,012 = 0,00324 \text{ кН·м}$$

$$M_{z3} = 0,301 \cdot 0,012 = 0,00361 \text{ кН·м}$$

$$M_{z4} = 0,27 \cdot 0,012 = 0,00324 \text{ кН·м}$$

$$M_{z5} = 0,306 \cdot 0,012 = 0,00367 \text{ кН·м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00311}{0,185} \cdot 1000 = 16,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00398}{0,185} \cdot 1000 = 21,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00324}{0,185} \cdot 1000 = 17,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00398}{0,185} \cdot 1000 = 21,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00311}{0,185} \cdot 1000 = 16,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00367}{0,185} \cdot 1000 = 19,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00324}{0,185} \cdot 1000 = 17,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00361}{0,185} \cdot 1000 = 19,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 225	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma_4 = \frac{0,00324}{0,185} \cdot 1000 = 17,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00367}{0,185} \cdot 1000 = 19,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.3 [ВВГ] Расчет напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$Mz1 = 0,259 \cdot 0,02 = 0,00518 \text{ кН·м}$$

$$Mz2 = 0,332 \cdot 0,02 = 0,00664 \text{ кН·м}$$

$$Mz3 = 0,27 \cdot 0,02 = 0,0054 \text{ кН·м}$$

$$Mz4 = 0,332 \cdot 0,02 = 0,00664 \text{ кН·м}$$

$$Mz5 = 0,259 \cdot 0,02 = 0,00518 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mz1 = 0,306 \cdot 0,02 = 0,00612 \text{ кН·м}$$

$$Mz2 = 0,27 \cdot 0,02 = 0,0054 \text{ кН·м}$$

$$Mz3 = 0,301 \cdot 0,02 = 0,00602 \text{ кН·м}$$

$$Mz4 = 0,27 \cdot 0,02 = 0,0054 \text{ кН·м}$$

$$Mz5 = 0,306 \cdot 0,02 = 0,00612 \text{ кН·м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00518}{0,185} \cdot 1000 = 28 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00664}{0,185} \cdot 1000 = 35,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0054}{0,185} \cdot 1000 = 29,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00664}{0,185} \cdot 1000 = 35,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00518}{0,185} \cdot 1000 = 28 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00612}{0,185} \cdot 1000 = 33,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0054}{0,185} \cdot 1000 = 29,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00602}{0,185} \cdot 1000 = 32,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0054}{0,185} \cdot 1000 = 29,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 226	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma_5 = \frac{0,00612}{0,185} \cdot 1000 = 33,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.4 [ВВГ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,121 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,002 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,121 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,002 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Вывод: Кронштейн КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли отвечает требованиям прочности.

5. Расчет соединения кронштейна с профилем

Тип крепления: Закlepка вытяжная диаметром 4мм А2/А2.

Допустимое усилие на срез: 1,7 кН.

Допустимое усилие на разрыв: 2,2 кН.

Механические характеристики см. таблицу 3 ГОСТ Р ИСО 15979-2017

Количество соединений в креплении: 2 шт.

5.1 Расчет при сочетании Вес + Ветер (далее [ВВ])

5.1.1 [ВВ] Расчет на срез от вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$N_s = \frac{\sqrt{N_z^2 + N_y^2}}{n_z} \cdot \gamma_m \leq N_{nrs}, \text{ кН}$$

где: N_z – вертикальная нагрузка на соединение, кН

N_y – горизонтальная нагрузка на соединение, кН

n_z – количество заклепок, шт

γ_m – коэффициент надёжности соединения

N_{nrs} – расчётное усилие на срез, кН

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{s1} = \frac{\sqrt{0,083^2 + 0,432^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,275 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{\sqrt{0,083^2 + 0,553^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,349 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{\sqrt{0,083^2 + 0,449^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,285 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{\sqrt{0,083^2 + 0,553^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,349 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	227	

$$N_{s5} = \frac{\sqrt{0,083^2 + 0,432^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,275 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{s1} = \frac{\sqrt{0,083^2 + 0,51^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,323 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{\sqrt{0,083^2 + 0,449^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,285 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{\sqrt{0,083^2 + 0,501^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,317 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{\sqrt{0,083^2 + 0,449^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,285 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{\sqrt{0,083^2 + 0,51^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,323 \leq 1,7 \text{ кН}$$

5.1.2 [BB] Расчет на смятие от вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$\frac{\sqrt{(N_z)^2 + (N_y)^2}}{n_z \cdot d \cdot t} \cdot 1000 \leq R_{gr}, \text{ МПа}$$

где: d – диаметр отверстия для заклёпки (самореза), мм

t – толщина стенки направляющей, мм

R_{gr} – расчётное сопротивление смятию элементов, соединяемых заклёпками, МПа

Проверка по справочнику проектировщика

$$\frac{\sqrt{0,083^2 + 0,432^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 45,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,083^2 + 0,553^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 58,2 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,083^2 + 0,449^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 47,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,083^2 + 0,553^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 58,2 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,083^2 + 0,432^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 45,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{\sqrt{0,083^2 + 0,51^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 53,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,083^2 + 0,449^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 47,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	228	

$$\frac{\sqrt{0,083^2+0,501^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 52,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,083^2+0,449^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 47,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,083^2+0,51^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 53,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

5.2 Расчет при сочетании Вес + Ветер + Гололёд (далее [ВВГ])

5.2.1 [ВВГ] Расчет на срез от вертикальной и горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$Ns1 = \frac{\sqrt{0,121^2+0,259^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,179 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns2 = \frac{\sqrt{0,121^2+0,332^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,221 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns3 = \frac{\sqrt{0,121^2+0,27^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,185 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns4 = \frac{\sqrt{0,121^2+0,332^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,221 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns5 = \frac{\sqrt{0,121^2+0,259^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,179 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Ns1 = \frac{\sqrt{0,121^2+0,306^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,206 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns2 = \frac{\sqrt{0,121^2+0,27^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,185 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns3 = \frac{\sqrt{0,121^2+0,301^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,203 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns4 = \frac{\sqrt{0,121^2+0,27^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,185 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns5 = \frac{\sqrt{0,121^2+0,306^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,206 \leq 1,7 \text{ кН}$$

5.2.2 [ВВГ] Расчет на смятие от вертикальной и горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\frac{\sqrt{0,121^2+0,259^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 29,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,121^2+0,332^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 36,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 229	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\frac{\sqrt{0,121^2+0,27^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 30,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,121^2+0,332^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 36,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,121^2+0,259^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 29,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{\sqrt{0,121^2+0,306^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 34,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,121^2+0,27^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 30,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,121^2+0,301^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 33,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,121^2+0,27^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 30,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,121^2+0,306^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 34,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

Вывод: Соединение кронштейна с профилем отвечает требованиям прочности.

6. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания

Крепление в ячеистые блоки на один анкер в верхнее отверстие. .

6.1 [ВВ] Вырывающее усилие анкера при сочетании Вес + Ветер:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_a = \frac{M_x}{b_z} + N_y \cdot \frac{e_b}{e_a}, \text{ кН}$$

где: b_z – опорное плечо анкера по оси Z, м

e_b – плечо ветровой нагрузки по оси X, м

e_a – плечо анкера по оси X, м

$$N_{a1} = \frac{0,02075}{0,075} + 0,432 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,97 \text{ кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,02075}{0,075} + 0,553 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,17 \text{ кН}$$

Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

						Расчёт по несущей способности 230	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$Na3 = \frac{0,02075}{0,075} + 0,449 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1 \text{ кН}$$

$$Na4 = \frac{0,02075}{0,075} + 0,553 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,17 \text{ кН}$$

$$Na5 = \frac{0,02075}{0,075} + 0,432 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,97 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Na1 = \frac{0,02075}{0,075} + 0,51 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,1 \text{ кН}$$

$$Na2 = \frac{0,02075}{0,075} + 0,449 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1 \text{ кН}$$

$$Na3 = \frac{0,02075}{0,075} + 0,501 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,08 \text{ кН}$$

$$Na4 = \frac{0,02075}{0,075} + 0,449 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1 \text{ кН}$$

$$Na5 = \frac{0,02075}{0,075} + 0,51 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,1 \text{ кН}$$

6.2 [ВВГ] Вырывающее усилие анкера при сочетании Вес + Ветер + Гололёд:

Проверка по справочнику проектировщика

$$Na1 = \frac{0,03025}{0,075} + 0,259 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,82 \text{ кН}$$

$$Na2 = \frac{0,03025}{0,075} + 0,332 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,94 \text{ кН}$$

$$Na3 = \frac{0,03025}{0,075} + 0,27 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,84 \text{ кН}$$

$$Na4 = \frac{0,03025}{0,075} + 0,332 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,94 \text{ кН}$$

$$Na5 = \frac{0,03025}{0,075} + 0,259 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,82 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Na1 = \frac{0,03025}{0,075} + 0,306 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,9 \text{ кН}$$

$$Na2 = \frac{0,03025}{0,075} + 0,27 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,84 \text{ кН}$$

$$Na3 = \frac{0,03025}{0,075} + 0,301 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,89 \text{ кН}$$

$$Na4 = \frac{0,03025}{0,075} + 0,27 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,84 \text{ кН}$$

$$Na5 = \frac{0,03025}{0,075} + 0,306 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,9 \text{ кН}$$

Согласовано					
Изм. № подл.	Взам. Инв. №				
	Подпись и дата				

						Расчёт по несущей способности 231	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

Вывод: Допустимое усилие анкера на вырыв при креплении кронштейна КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли в ячеистые блоки на один анкер в верхнее отверстие должно быть не менее 1,17 кН.

						Инв. № подл.		Подпись и дата		Взам. Инв. №		Согласовано			