

Расчёт по несущей способности
элементов каркаса навесной фасадной системы

Материал облицовки: Фиброцементные плиты

Согласовано			

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

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

Лист
1

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

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

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	5	

2. Ветровые нагрузки

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

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

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

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

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

Основные буквенные обозначения величин

- A – площадь сечения брутто;
- E – модуль упругости;
- e_y – Вылет;
- f – прогиб;
- 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;
- у_с – коэффициент условий работы;
- γ_p – коэффициент надежности по назначению;
- σ – нормальные напряжения;
- a₁, a₂ – обозначение верхней и нижней консолей вертикальной направляющей соответственно;
- l₁, l₂, l₃, l₄, l₅ – обозначение пролетов направляющей;
- R₁, R₂, R₃, R₄, R₅ – обозначение опор (кронштейнов);
- Кнер – коэффициент неразрезности по Справочнику проектировщика (вводится для промежуточных профилей);

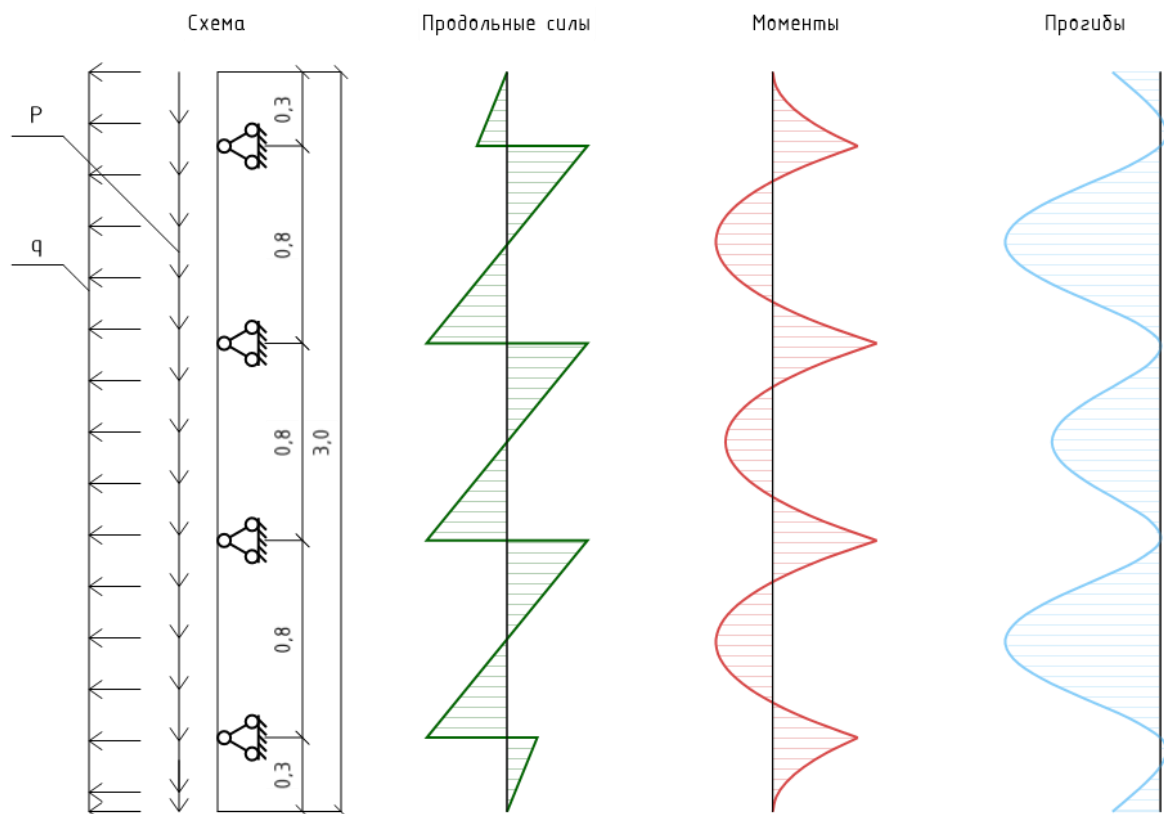
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №	Согласовано				
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	Расчёт по несущей способности	Лист
							8

Расчет прочности монтажной схемы №1

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: 40 кг/м² (0,392 кН/м²)
9. Вертикальный профиль: ГО-40х40х1,2
10. Шаг вертикального профиля по горизонтали: 0,6 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

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

Расчёт по несущей способности

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):

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

$$P_z \text{ м.п.} = 0,392 \cdot 1,2 \cdot 0,6 + 0,007 \cdot 1,05 = 0,29 \text{ кН/м}$$

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.

$$N_{za} = P_z \text{ м.п.} \cdot l_{za} = 0,29 \cdot 0,3 = 0,087 \text{ кН}$$

$$N_{zl} = P_z \text{ м.п.} \cdot l_{zl} = 0,29 \cdot 0,8 = 0,232 \text{ кН}$$

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):

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

$$w_p \text{ м.п.} = 0,23 \cdot 0,69 \cdot (1 + 1,03) \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,325 \text{ кН/м}$$

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

$$M_{xa} = 0,5 \cdot 0,325 \cdot 0,3^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl} = 0,1 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,021 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa} = 0,5 \cdot 0,325 \cdot 0,3^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

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

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

$$M_{x1} = 0,086 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,018 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

$$\sigma_a = \frac{0,015}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 33,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,018}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 41,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_a = \frac{0,015}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 33,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,018}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 41,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_a = \frac{0,015}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 54,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,021}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 77,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_a = \frac{0,015}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 54,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,021}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 77,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.7 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра равна 0,325 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

$$M_{x11} = 0,08 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,017 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,025 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,08 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,017 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

$$M_{x11} = 0,047 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,039 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,047 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

Мхa2 – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 1,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,01}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 38,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 31,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 38,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 1,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 1,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,01}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 38,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,008}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 31,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 38,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 1,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 1,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,017}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 39,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 13,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,017}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 39,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 1,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 1,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,017}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 39,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 13,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,017}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 39,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 1,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2..111 [ВВ] Нормативная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра определяется по формуле:

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

$$w_{н.п.} = \frac{0,325}{1,4} = 0,232 \text{ кН/м}$$

2.1.12 [ВВ] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

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

где: l – длина пролета, см

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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,232 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,021 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,05 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,232 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,021 \cdot 100 + 0,021 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,232 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,021 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,05 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

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

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		

$$f_a = 0,05093 \cdot \frac{0,232 \cdot 30^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_l = 0,00326 \cdot \frac{0,232 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

2.1.13 [BB] Нормативная погонная нагрузка от положительного давления ветра численно равна отрицательной: 0,232 кН/м (см. пункт 2.111 [BB]).

2.1.14 [BB] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,232 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,021 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,232 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,021 \cdot 100 + 0,021 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,232 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,021 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,05093 \cdot \frac{0,232 \cdot 30^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_l = 0,00326 \cdot \frac{0,232 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

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

2.2.1 [BBГ] Расчётная погонная нагрузка от веса облицовки и профиля равна 0,29 кН/м (см. пункт 2.11 [BB]).

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

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

$$i \text{ м.п.} = 2 \cdot 5 \cdot 1,04 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot 1,8 \cdot 0,6 / 1000 = 0,06 \text{ кН/м}$$

2.2.3 [BBГ] Суммарная вертикальная расчётная погонная нагрузка:

$$q_{zp} \text{ м.п.} = P_{zp} \text{ м.п.} + i_{p} \text{ м.п.} = 0,29 + 0,06 = 0,349 \text{ кН/м}$$

2.2.4 [BBГ] Продольные усилия в профиле:

$$N_{za} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{za} = 0,349 \cdot 0,3 = 0,105 \text{ кН}$$

$$N_{zl} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{zl} = 0,349 \cdot 0,8 = 0,279 \text{ кН}$$

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

$$q_{wp} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,325 = 0,195 \text{ кН/м}$$

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

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

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{\text{хв}} = 0,5 \cdot 0,195 \cdot 0,3^2 = 0,009 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\text{хл}} = 0,1 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,012 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{\text{хв}} = 0,5 \cdot 0,195 \cdot 0,3^2 = 0,009 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\text{хл}} = 0,086 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,011 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_a = \frac{0,009}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 20,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,011}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 27,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_a = \frac{0,009}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 20,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,011}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 27,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_a = \frac{0,009}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 33,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,012}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 46 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_a = \frac{0,009}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 33,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,012}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 46 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{\text{вр м.п.}} = 0,6 \cdot w_{\text{р м.п.}} = 0,6 \cdot 0,325 = 0,195 \text{ кН/м}$$

где: $w_{\text{р м.п.}}$ – 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

$M_{\text{хв1}}$ – отсутствует

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

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

$$M_{x11} = 0,08 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,025 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,08 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$M_{x\alpha 2}$ – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

$M_{x\alpha 1}$ – отсутствует

$$M_{x11} = 0,047 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,039 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,047 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$M_{x\alpha 2}$ – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 1,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 24,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 21,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 24,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 1,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 1,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 24,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 21,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 24,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 1,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 1,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{l1} = \frac{0,01}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 25,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,003}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 10,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 25,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 1,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 1,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,01}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 25,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,003}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 10,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 25,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 1,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{\text{ун м.п.}} = 0,6 \cdot w_{\text{н м.п.}} = 0,6 \cdot 0,232 = 0,139 \text{ кН/м}$$

где: $w_{\text{н м.п.}}$ – 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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,139 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,012 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,139 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,012 \cdot 100 + 0,012 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,139 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,012 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,05093 \cdot \frac{0,139 \cdot 30^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_l = 0,00326 \cdot \frac{0,139 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

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

$$q_{\text{ун м.п.}} = 0,6 \cdot w_{\text{н м.п.}} = 0,6 \cdot 0,232 = 0,139 \text{ кН/м}$$

где: $w_{\text{н м.п.}}$ – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м (см. пункт 2..111 [ВВ]).

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

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

2.2.16 [ВВГ] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,139 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,012 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,139 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,012 \cdot 100 + 0,012 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,139 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,012 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,05093 \cdot \frac{0,139 \cdot 30^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_l = 0,00326 \cdot \frac{0,139 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

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:

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

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

L_z – длина вертикального профиля, м;

пк – количество несущих кронштейнов.

$$N_z = P_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 4 = 0,29 \cdot 3 / 4 = 0,217 \text{ кН}$$

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

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,325 \cdot (0,4 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,202 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,325 \cdot 1,1 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,286 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,325 \cdot 1,1 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,286 \text{ кН}$$

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

Расчёт по несущей способности						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	
					18	

$$N_{y4} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_3 + a_2) = 0,325 \cdot (0,4 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,202 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,325 \cdot (0,484 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,223 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,325 \cdot 1,016 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,264 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,325 \cdot 1,016 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,264 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_3 + a_2) = 0,325 \cdot (0,484 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,223 \text{ кН}$$

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

3.2.1 [ВВГ] Реакции от вертикальной нагрузки:

$$N_z = q_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 4 = 0,349 \cdot 3 / 4 = 0,262 \text{ кН}$$

3.2.2 [ВВГ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,195 \cdot (0,4 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,121 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,195 \cdot 1,1 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,172 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,195 \cdot 1,1 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,172 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_3 + a_2) = 0,195 \cdot (0,4 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,121 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,195 \cdot (0,484 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,134 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,195 \cdot 1,016 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,158 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,195 \cdot 1,016 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,158 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_3 + a_2) = 0,195 \cdot (0,484 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,134 \text{ кН}$$

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:

Расчёт по несущей способности

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

$$M_x = N_z \cdot e_y = 0,217 \cdot 0,25 = 0,05425 \text{ кН·м}$$

Изгибающий момент в консоли кронштейна от горизонтальной нагрузки:

$$M_{z1} = N_{y1} \cdot e_x = 0,202 \cdot 0,02 = 0,00404 \text{ кН·м}$$

$$M_{z2} = N_{y2} \cdot e_x = 0,286 \cdot 0,02 = 0,00572 \text{ кН·м}$$

$$M_{z3} = N_{y3} \cdot e_x = 0,286 \cdot 0,02 = 0,00572 \text{ кН·м}$$

$$M_{z4} = N_{y4} \cdot e_x = 0,202 \cdot 0,02 = 0,00404 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

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

$$\sigma_1 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00404}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,202}{2} \cdot 10 = 44,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00572}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,286}{2} \cdot 10 = 55 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00572}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,286}{2} \cdot 10 = 55 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00404}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,202}{2} \cdot 10 = 44,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma_1 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00446}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,223}{2} \cdot 10 = 47,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00528}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,264}{2} \cdot 10 = 52,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00528}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,264}{2} \cdot 10 = 52,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00446}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,223}{2} \cdot 10 = 47,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

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

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

$$M_{z1} = 0,202 \cdot 0,012 = 0,00242 \text{ кН·м}$$

$$M_{z2} = 0,286 \cdot 0,012 = 0,00343 \text{ кН·м}$$

$$M_{z3} = 0,286 \cdot 0,012 = 0,00343 \text{ кН·м}$$

$$M_{z4} = 0,202 \cdot 0,012 = 0,00242 \text{ кН·м}$$

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

$$Mz1 = 0,223 \cdot 0,012 = 0,00268 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz2 = 0,264 \cdot 0,012 = 0,00317 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz3 = 0,264 \cdot 0,012 = 0,00317 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz4 = 0,223 \cdot 0,012 = 0,00268 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

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

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

$$\sigma_1 = \frac{0,00242}{0,185} \cdot 1000 = 13,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00343}{0,185} \cdot 1000 = 18,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00343}{0,185} \cdot 1000 = 18,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00242}{0,185} \cdot 1000 = 13,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00268}{0,185} \cdot 1000 = 14,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00317}{0,185} \cdot 1000 = 17,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00317}{0,185} \cdot 1000 = 17,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00268}{0,185} \cdot 1000 = 14,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

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

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

$$Mz1 = 0,202 \cdot 0,02 = 0,00404 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz2 = 0,286 \cdot 0,02 = 0,00572 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

$$Mz3 = 0,286 \cdot 0,02 = 0,00572 \text{ кН·м}$$

$$Mz4 = 0,202 \cdot 0,02 = 0,00404 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mz1 = 0,223 \cdot 0,02 = 0,00446 \text{ кН·м}$$

$$Mz2 = 0,264 \cdot 0,02 = 0,00528 \text{ кН·м}$$

$$Mz3 = 0,264 \cdot 0,02 = 0,00528 \text{ кН·м}$$

$$Mz4 = 0,223 \cdot 0,02 = 0,00446 \text{ кН·м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00404}{0,185} \cdot 1000 = 21,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00572}{0,185} \cdot 1000 = 30,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00572}{0,185} \cdot 1000 = 30,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00404}{0,185} \cdot 1000 = 21,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00446}{0,185} \cdot 1000 = 24,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00528}{0,185} \cdot 1000 = 28,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00528}{0,185} \cdot 1000 = 28,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00446}{0,185} \cdot 1000 = 24,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.4 [ВВ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

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

где: e_y – Вылет, см

$$f_z = \frac{0,217 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,004 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,217 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,004 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

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

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

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

4.2.1 [ВВГ] Расчет консоли кронштейна:

Изгибающий момент в консоли кронштейна от вертикальной нагрузки:

$$M_x = N_z \cdot e_y = 0,262 \cdot 0,25 = 0,0655 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Изгибающий момент в консоли кронштейна от горизонтальной нагрузки:

$$M_{z1} = N_{y1} \cdot e_x = 0,121 \cdot 0,02 = 0,00242 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = N_{y2} \cdot e_x = 0,172 \cdot 0,02 = 0,00344 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = N_{y3} \cdot e_x = 0,172 \cdot 0,02 = 0,00344 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = N_{y4} \cdot e_x = 0,121 \cdot 0,02 = 0,00242 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma_1 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00242}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,121}{2} \cdot 10 = 38,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00344}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,172}{2} \cdot 10 = 45,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00344}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,172}{2} \cdot 10 = 45,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00242}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,121}{2} \cdot 10 = 38,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma_1 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00268}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,134}{2} \cdot 10 = 40,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00316}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,158}{2} \cdot 10 = 43,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00316}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,158}{2} \cdot 10 = 43,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00268}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,134}{2} \cdot 10 = 40,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$M_{z1} = 0,121 \cdot 0,012 = 0,00145 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,172 \cdot 0,012 = 0,00206 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,172 \cdot 0,012 = 0,00206 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,121 \cdot 0,012 = 0,00145 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{z1} = 0,134 \cdot 0,012 = 0,00161 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

$$Mz2 = 0,158 \cdot 0,012 = 0,0019 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz3 = 0,158 \cdot 0,012 = 0,0019 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz4 = 0,134 \cdot 0,012 = 0,00161 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00145}{0,185} \cdot 1000 = 7,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00206}{0,185} \cdot 1000 = 11,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00206}{0,185} \cdot 1000 = 11,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00145}{0,185} \cdot 1000 = 7,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00161}{0,185} \cdot 1000 = 8,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0019}{0,185} \cdot 1000 = 10,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0019}{0,185} \cdot 1000 = 10,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00161}{0,185} \cdot 1000 = 8,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$Mz1 = 0,121 \cdot 0,02 = 0,00242 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz2 = 0,172 \cdot 0,02 = 0,00344 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz3 = 0,172 \cdot 0,02 = 0,00344 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz4 = 0,121 \cdot 0,02 = 0,00242 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mz1 = 0,134 \cdot 0,02 = 0,00268 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz2 = 0,158 \cdot 0,02 = 0,00316 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz3 = 0,158 \cdot 0,02 = 0,00316 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz4 = 0,134 \cdot 0,02 = 0,00268 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00242}{0,185} \cdot 1000 = 13,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00344}{0,185} \cdot 1000 = 18,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00344}{0,185} \cdot 1000 = 18,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00242}{0,185} \cdot 1000 = 13,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00268}{0,185} \cdot 1000 = 14,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00316}{0,185} \cdot 1000 = 17,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00316}{0,185} \cdot 1000 = 17,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00268}{0,185} \cdot 1000 = 14,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.4 [ВВГ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,262 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,005 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,262 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,005 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

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:

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

Расчёт по несущей способности

25

Лист

Изм. Кол.уч. Лист №Док. Подпись Дата

где: Nz – вертикальная нагрузка на соединение, кН

Ny – горизонтальная нагрузка на соединение, кН

пз – количество заклепок, шт

γт – коэффициент надёжности соединения

Nnrs – расчётное усилие на срез, кН

Проверка по справочнику проектировщика

$$Ns1 = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,202^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,185 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns2 = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,286^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,224 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns3 = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,286^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,224 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns4 = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,202^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,185 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Ns1 = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,223^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,194 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns2 = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,264^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,214 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns3 = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,264^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,214 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns4 = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,223^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,194 \leq 1,7 \text{ кН}$$

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

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

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

t – толщина стенки направляющей, мм

Rgp – расчётное сопротивление смятию элементов, соединяемых заклёпками, МПа

Проверка по справочнику проектировщика

$$\frac{\sqrt{0,217^2 + 0,202^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 30,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,217^2 + 0,286^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 37,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,217^2 + 0,286^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 37,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

$$\frac{\sqrt{0,217^2+0,202^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 30,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{\sqrt{0,217^2+0,223^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 32,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,217^2+0,264^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 35,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,217^2+0,264^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 35,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,217^2+0,223^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 32,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

$$Ns1 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,121^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,18 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns2 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,172^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,196 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns3 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,172^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,196 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns4 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,121^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,18 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Ns1 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,134^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,184 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns2 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,158^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,191 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns3 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,158^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,191 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns4 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,134^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,184 \leq 1,7 \text{ кН}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\frac{\sqrt{0,262^2+0,121^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 30,1 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

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

$$\frac{\sqrt{0,262^2+0,172^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 32,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,262^2+0,172^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 32,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,262^2+0,121^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 30,1 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{\sqrt{0,262^2+0,134^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 30,7 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,262^2+0,158^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 31,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,262^2+0,158^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 31,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,262^2+0,134^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 30,7 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

$$N_{a1} = \frac{0,05425}{0,075} + 0,202 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,05 \text{ кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,05425}{0,075} + 0,286 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,18 \text{ кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,05425}{0,075} + 0,286 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,18 \text{ кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,05425}{0,075} + 0,202 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,05 \text{ кН}$$

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	

$$Na1 = \frac{0,05425}{0,075} + 0,223 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,08 \text{ кН}$$

$$Na2 = \frac{0,05425}{0,075} + 0,264 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,15 \text{ кН}$$

$$Na3 = \frac{0,05425}{0,075} + 0,264 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,15 \text{ кН}$$

$$Na4 = \frac{0,05425}{0,075} + 0,223 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,08 \text{ кН}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$Na1 = \frac{0,0655}{0,075} + 0,121 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,07 \text{ кН}$$

$$Na2 = \frac{0,0655}{0,075} + 0,172 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,15 \text{ кН}$$

$$Na3 = \frac{0,0655}{0,075} + 0,172 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,15 \text{ кН}$$

$$Na4 = \frac{0,0655}{0,075} + 0,121 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,07 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Na1 = \frac{0,0655}{0,075} + 0,134 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,09 \text{ кН}$$

$$Na2 = \frac{0,0655}{0,075} + 0,158 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,13 \text{ кН}$$

$$Na3 = \frac{0,0655}{0,075} + 0,158 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,13 \text{ кН}$$

$$Na4 = \frac{0,0655}{0,075} + 0,134 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,09 \text{ кН}$$

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 1,18 кН.

Согласовано			

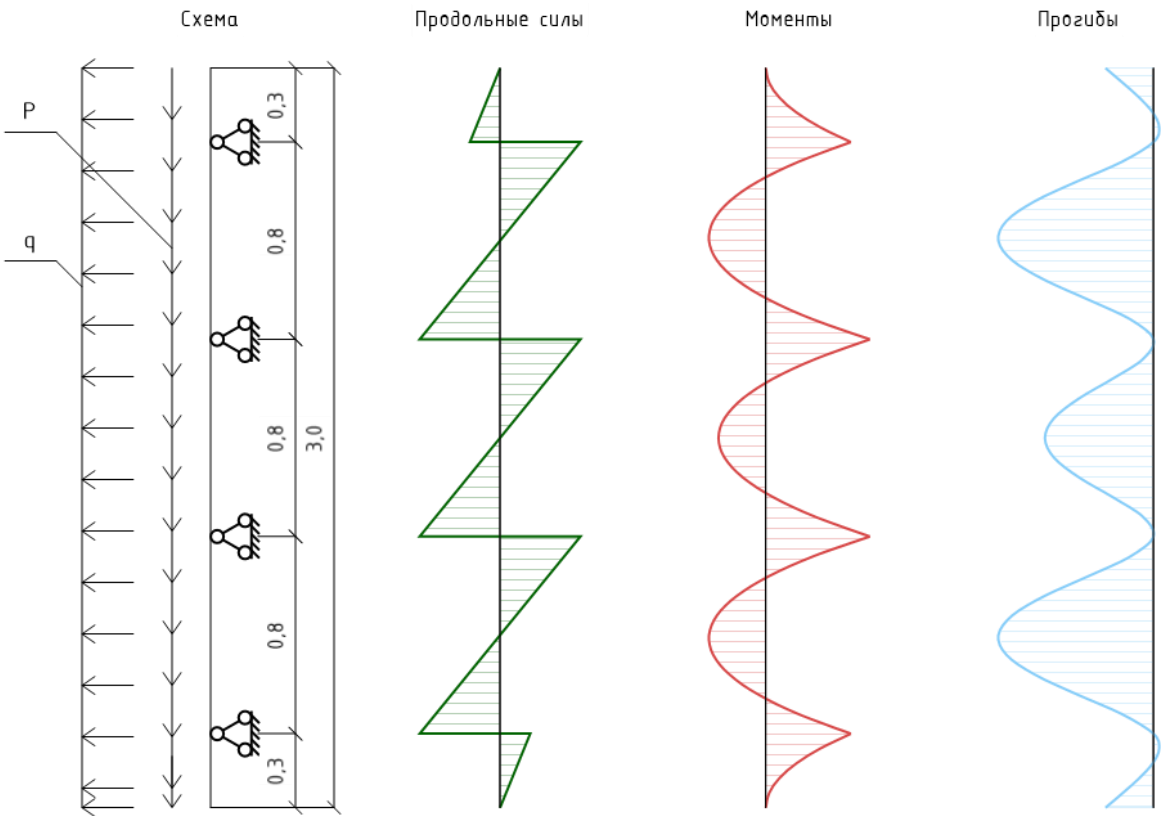
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №	

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

Расчет прочности монтажной схемы №3

1. Исходные данные:

- 1. Район строительства:
- 2. Ветровой район: I – 0,23 кН Тип местности: B
- 3. Ветровая зона: Угловая
- 4. Высота применения: 12 м
- 5. Гололёдный район: II
- 6. Уровень ответственности здания: КС-2
- 7. Материал облицовки: Фиброцементные плиты
- 8. Вес облицовки: 40 кг/м² (0,392 кН/м²)
- 9. Вертикальный профиль: ГО-40х40х1,2
- 10. Шаг вертикального профиля по горизонтали: 0,6 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.		

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

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):

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

$$P_z \text{ м.п.} = 0,392 \cdot 1,2 \cdot 0,6 + 0,007 \cdot 1,05 = 0,29 \text{ кН/м}$$

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.

$$N_{za} = P_z \text{ м.п.} \cdot l_{za} = 0,29 \cdot 0,3 = 0,087 \text{ кН}$$

$$N_{zl} = P_z \text{ м.п.} \cdot l_{zl} = 0,29 \cdot 0,8 = 0,232 \text{ кН}$$

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):

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

$$w_p \text{ м.п.} = 0,23 \cdot 0,69 \cdot (1 + 1,03) \cdot 2,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,595 \text{ кН/м}$$

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

$$M_{xa} = 0,5 \cdot 0,595 \cdot 0,3^2 = 0,027 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl} = 0,1 \cdot 0,595 \cdot 0,8^2 = 0,038 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa} = 0,5 \cdot 0,595 \cdot 0,3^2 = 0,027 \text{ кН·м}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

$$M_{xI} = 0,086 \cdot 0,595 \cdot 0,8^2 = 0,033 \text{ кН·м}$$

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

$$\sigma_a = \frac{0,027}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 58,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,033}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 73,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_a = \frac{0,027}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 58,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,033}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 73,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$w_{р.м.п.} = 0,23 \cdot 0,69 \cdot (1 + 1,03) \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,325 \text{ кН/м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{xa} = 0,5 \cdot 0,325 \cdot 0,3^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

$$M_{xI} = 0,1 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,021 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa} = 0,5 \cdot 0,325 \cdot 0,3^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

$$M_{xI} = 0,086 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,018 \text{ кН·м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_a = \frac{0,015}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 54,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,018}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 66,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_a = \frac{0,015}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 54,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_l = \frac{0,018}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 66,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.9 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра равна 0,595 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

$$M_{x11} = 0,08 \cdot 0,595 \cdot 0,8^2 = 0,03 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,025 \cdot 0,595 \cdot 0,8^2 = 0,01 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,08 \cdot 0,595 \cdot 0,8^2 = 0,03 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Мхa2 – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

Мхa1 – отсутствует

$$M_{x11} = 0,047 \cdot 0,595 \cdot 0,8^2 = 0,018 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,039 \cdot 0,595 \cdot 0,8^2 = 0,015 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,047 \cdot 0,595 \cdot 0,8^2 = 0,018 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Мхa2 – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 1,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,018}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 66,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,015}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 56,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,018}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 66,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 1,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 1,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,018}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 66,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,015}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 56,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,018}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,807} \cdot 10 = 66,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 1,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.12 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от положительного давления ветра равна 0,325 кН/м (см. пункт 2.16 [ВВ]).

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

Проверка по справочнику проектировщика

М_ха1 – отсутствует

$$M_{x11} = 0,08 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,017 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,025 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,08 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,017 \text{ кН·м}$$

М_ха2 – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

М_ха1 – отсутствует

$$M_{x11} = 0,047 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,039 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,047 \cdot 0,325 \cdot 0,8^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

М_ха2 – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 1,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,01}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 24,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,008}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 20,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 24,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 1,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 1,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,01}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 24,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,008}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 20,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,232}{0,716} \cdot 10 = 24,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №			
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата

Расчёт по несущей способности

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 1,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2..115 [BB] Нормативная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра определяется по формуле:

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

$$w_{н. м.п.} = \frac{0,595}{1,4} = 0,425 \text{ кН/м}$$

2.1.16 [BB] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

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

где: l – длина пролета, см

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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,425 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,038 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,09 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,425 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,038 \cdot 100 + 0,038 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,425 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,038 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,09 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

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

где: k – коэффициент, полученный методом конечных элементов

l – длина пролета, см

$$f_{a1} = 0,05093 \cdot \frac{0,425 \cdot 30^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l1} = 0,00326 \cdot \frac{0,425 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,04 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = 0,00228 \cdot \frac{0,425 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,03 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = 0,00326 \cdot \frac{0,425 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,04 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{a2} = 0,05093 \cdot \frac{0,425 \cdot 30^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

2..117 [BB] Нормативная погонная нагрузка от положительного давления ветра определяется по формуле:

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

Расчёт по несущей способности

60

Лист

$$w_n = \frac{0,325}{1,4} = 0,232 \text{ кН/м}$$

2.1.18 [BB] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,232 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,021 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,232 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,021 \cdot 100 + 0,021 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,232 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,021 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,05093 \cdot \frac{0,232 \cdot 30^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_l = 0,00326 \cdot \frac{0,232 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

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

2.2.1 [BBГ] Расчётная погонная нагрузка от веса облицовки и профиля равна 0,29 кН/м (см. пункт 2..11 [BB]).

2..22 [BBГ] Расчётная погонная нагрузка от гололёда определяется по формуле (3):

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

$$i \text{ м.п.} = 2 \cdot 5 \cdot 1,04 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot 1,8 \cdot 0,6 / 1000 = 0,06 \text{ кН/м}$$

2.2.3 [BBГ] Суммарная вертикальная расчётная погонная нагрузка:

$$q_{zp} \text{ м.п.} = P_{zp} \text{ м.п.} + i_{p} \text{ м.п.} = 0,29 + 0,06 = 0,349 \text{ кН/м}$$

2.2.4 [BBГ] Продольные усилия в профиле:

$$N_{za} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{za} = 0,349 \cdot 0,3 = 0,105 \text{ кН}$$

$$N_{zl} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{zl} = 0,349 \cdot 0,8 = 0,279 \text{ кН}$$

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

$$q_{wp} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,595 = 0,357 \text{ кН/м}$$

где: $w_p \text{ м.п.}$ – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м (см. пункт 2..13 [BB]).

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{xa} = 0,5 \cdot 0,357 \cdot 0,3^2 = 0,016 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl} = 0,1 \cdot 0,357 \cdot 0,8^2 = 0,023 \text{ кН·м}$$

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	
61						

$$M_{xa} = 0,5 \cdot 0,357 \cdot 0,3^2 = 0,016 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xl} = 0,086 \cdot 0,357 \cdot 0,8^2 = 0,02 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_a = \frac{0,016}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 35,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,02}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 46,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_a = \frac{0,016}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 35,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,02}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 46,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{wp} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,325 = 0,195 \text{ кН/м}$$

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

$$M_{xa} = 0,5 \cdot 0,195 \cdot 0,3^2 = 0,009 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xl} = 0,1 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,012 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa} = 0,5 \cdot 0,195 \cdot 0,3^2 = 0,009 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xl} = 0,086 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,011 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_a = \frac{0,009}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 33,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,011}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 42,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_a = \frac{0,009}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 33,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_l = \frac{0,011}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 42,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

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

$$q_{up \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,595 = 0,357 \text{ кН/м}$$

где: $w_p \text{ м.п.}$ – 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_{x1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,08 \cdot 0,357 \cdot 0,8^2 = 0,018 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,025 \cdot 0,357 \cdot 0,8^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,08 \cdot 0,357 \cdot 0,8^2 = 0,018 \text{ кН·м}$$

M_{x2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

M_{x1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,047 \cdot 0,357 \cdot 0,8^2 = 0,011 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,039 \cdot 0,357 \cdot 0,8^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,047 \cdot 0,357 \cdot 0,8^2 = 0,011 \text{ кН·м}$$

M_{x2} – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 1,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,011}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 42,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,009}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 35,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,011}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 42,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 1,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 1,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,011}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 42,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,009}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 35,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,011}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,807} \cdot 10 = 42,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 1,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{wp \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,325 = 0,195 \text{ кН/м}$$

где: $w_p \text{ м.п.}$ – 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_{xa1} – отсутствует

$$M_{xl1} = 0,08 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,025 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,08 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

M_{xa2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

M_{xa1} – отсутствует

$$M_{xl1} = 0,047 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,039 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,047 \cdot 0,195 \cdot 0,8^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

M_{xa2} – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 1,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,006}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 16,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 14,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 16,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 1,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 1,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,006}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 16,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 14,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,279}{0,716} \cdot 10 = 16,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 1,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{\text{ун м.п.}} = 0,6 \cdot w_{\text{н м.п.}} = 0,6 \cdot 0,425 = 0,255 \text{ кН/м}$$

где: $w_{\text{н м.п.}}$ – 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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,255 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,023 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,05 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,255 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,023 \cdot 100 + 0,023 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,255 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,023 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,05 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{a1} = 0,05093 \cdot \frac{0,255 \cdot 30^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l1} = 0,00326 \cdot \frac{0,255 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,03 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = 0,00228 \cdot \frac{0,255 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = 0,00326 \cdot \frac{0,255 \cdot 80^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,03 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{a2} = 0,05093 \cdot \frac{0,255 \cdot 30^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

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

$$q_{\text{ун м.п.}} = 0,6 \cdot w_{\text{н м.п.}} = 0,6 \cdot 0,232 = 0,139 \text{ кН/м}$$

где: $w_{\text{н м.п.}}$ – 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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,139 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,012 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,139 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,012 \cdot 100 + 0,012 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,139 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,012 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 80^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

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

$$f_a = 0,05093 \cdot \frac{0,139 \cdot 30^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_l = 0,00326 \cdot \frac{0,139 \cdot 80^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{80}{200} = 0,4 \text{ см}$$

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:

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

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

L_z – длина вертикального профиля, м;

пк – количество несущих кронштейнов.

$$N_z = P_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 4 = 0,29 \cdot 3 / 4 = 0,217 \text{ кН}$$

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

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,595 \cdot (0,4 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,369 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,595 \cdot 1,1 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,524 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,595 \cdot 1,1 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,524 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_3 + a_2) = 0,595 \cdot (0,4 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,369 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,595 \cdot (0,484 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,409 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,595 \cdot 1,016 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,484 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,595 \cdot 1,016 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,484 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_3 + a_2) = 0,595 \cdot (0,484 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,409 \text{ кН}$$

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

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

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

3.2.1 [ВВГ] Реакции от вертикальной нагрузки:

$$N_z = q_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 4 = 0,349 \cdot 3 / 4 = 0,262 \text{ кН}$$

3.2.2 [ВВГ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,357 \cdot (0,4 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,221 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,357 \cdot 1,1 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,314 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,357 \cdot 1,1 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,314 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_3 + a_2) = 0,357 \cdot (0,4 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,221 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,357 \cdot (0,484 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,245 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,357 \cdot 1,016 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,29 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,357 \cdot 1,016 \cdot \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,29 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_3 + a_2) = 0,357 \cdot (0,484 \cdot 0,8 + 0,3) = 0,245 \text{ кН}$$

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:

$$M_x = N_z \cdot e_y = 0,217 \cdot 0,25 = 0,05425 \text{ кН·м}$$

Изгибающий момент в консоли кронштейна от горизонтальной нагрузки:

$$M_{z1} = N_{y1} \cdot e_x = 0,369 \cdot 0,02 = 0,00738 \text{ кН·м}$$

$$M_{z2} = N_{y2} \cdot e_x = 0,524 \cdot 0,02 = 0,01048 \text{ кН·м}$$

$$M_{z3} = N_{y3} \cdot e_x = 0,524 \cdot 0,02 = 0,01048 \text{ кН·м}$$

$$M_{z4} = N_{y4} \cdot e_x = 0,369 \cdot 0,02 = 0,00738 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	Расчёт по несущей способности 67	Лист

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

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

$$\sigma_1 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00738}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,369}{2} \cdot 10 = 65,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,01048}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,524}{2} \cdot 10 = 84,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,01048}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,524}{2} \cdot 10 = 84,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00738}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,369}{2} \cdot 10 = 65,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma_1 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00818}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,409}{2} \cdot 10 = 70,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00968}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,484}{2} \cdot 10 = 79,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00968}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,484}{2} \cdot 10 = 79,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,05425}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00818}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,409}{2} \cdot 10 = 70,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$M_{z1} = 0,369 \cdot 0,012 = 0,00443 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,524 \cdot 0,012 = 0,00629 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,524 \cdot 0,012 = 0,00629 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,369 \cdot 0,012 = 0,00443 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{z1} = 0,409 \cdot 0,012 = 0,00491 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,484 \cdot 0,012 = 0,00581 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,484 \cdot 0,012 = 0,00581 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,409 \cdot 0,012 = 0,00491 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

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

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

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

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

$$\sigma_1 = \frac{0,00443}{0,185} \cdot 1000 = 23,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00629}{0,185} \cdot 1000 = 34 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00629}{0,185} \cdot 1000 = 34 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00443}{0,185} \cdot 1000 = 23,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00491}{0,185} \cdot 1000 = 26,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00581}{0,185} \cdot 1000 = 31,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00581}{0,185} \cdot 1000 = 31,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00491}{0,185} \cdot 1000 = 26,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$M_{z1} = 0,369 \cdot 0,02 = 0,00738 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,524 \cdot 0,02 = 0,01048 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,524 \cdot 0,02 = 0,01048 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,369 \cdot 0,02 = 0,00738 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{z1} = 0,409 \cdot 0,02 = 0,00818 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,484 \cdot 0,02 = 0,00968 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,484 \cdot 0,02 = 0,00968 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,409 \cdot 0,02 = 0,00818 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

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

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	69	

$$\sigma_1 = \frac{0,00738}{0,185} \cdot 1000 = 39,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01048}{0,185} \cdot 1000 = 56,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01048}{0,185} \cdot 1000 = 56,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00738}{0,185} \cdot 1000 = 39,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00818}{0,185} \cdot 1000 = 44,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00968}{0,185} \cdot 1000 = 52,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00968}{0,185} \cdot 1000 = 52,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00818}{0,185} \cdot 1000 = 44,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$f_z = \frac{0,217 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,004 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,217 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,004 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

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:

$$M_x = N_z \cdot e_y = 0,262 \cdot 0,25 = 0,0655 \text{ кН·м}$$

Изгибающий момент в консоли кронштейна от горизонтальной нагрузки:

$$M_{z1} = N_{y1} \cdot e_x = 0,221 \cdot 0,02 = 0,00442 \text{ кН·м}$$

$$M_{z2} = N_{y2} \cdot e_x = 0,314 \cdot 0,02 = 0,00628 \text{ кН·м}$$

$$M_{z3} = N_{y3} \cdot e_x = 0,314 \cdot 0,02 = 0,00628 \text{ кН·м}$$

$$M_{z4} = N_{y4} \cdot e_x = 0,221 \cdot 0,02 = 0,00442 \text{ кН·м}$$

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma_1 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00442}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,221}{2} \cdot 10 = 51,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00628}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,314}{2} \cdot 10 = 62,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00628}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,314}{2} \cdot 10 = 62,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00442}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,221}{2} \cdot 10 = 51,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma_1 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,0049}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,245}{2} \cdot 10 = 54,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,0058}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,29}{2} \cdot 10 = 59,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,0058}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,29}{2} \cdot 10 = 59,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0655}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,0049}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,245}{2} \cdot 10 = 54,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$Mz_1 = 0,221 \cdot 0,012 = 0,00265 \text{ кН·м}$$

$$Mz_2 = 0,314 \cdot 0,012 = 0,00377 \text{ кН·м}$$

$$Mz_3 = 0,314 \cdot 0,012 = 0,00377 \text{ кН·м}$$

$$Mz_4 = 0,221 \cdot 0,012 = 0,00265 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mz_1 = 0,245 \cdot 0,012 = 0,00294 \text{ кН·м}$$

$$Mz_2 = 0,29 \cdot 0,012 = 0,00348 \text{ кН·м}$$

$$Mz_3 = 0,29 \cdot 0,012 = 0,00348 \text{ кН·м}$$

$$Mz_4 = 0,245 \cdot 0,012 = 0,00294 \text{ кН·м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00265}{0,185} \cdot 1000 = 14,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_2 = \frac{0,00377}{0,185} \cdot 1000 = 20,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00377}{0,185} \cdot 1000 = 20,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00265}{0,185} \cdot 1000 = 14,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00294}{0,185} \cdot 1000 = 15,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00348}{0,185} \cdot 1000 = 18,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00348}{0,185} \cdot 1000 = 18,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00294}{0,185} \cdot 1000 = 15,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{z1} = 0,221 \cdot 0,02 = 0,00442 \text{ кН·м}$$

$$M_{z2} = 0,314 \cdot 0,02 = 0,00628 \text{ кН·м}$$

$$M_{z3} = 0,314 \cdot 0,02 = 0,00628 \text{ кН·м}$$

$$M_{z4} = 0,221 \cdot 0,02 = 0,00442 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{z1} = 0,245 \cdot 0,02 = 0,0049 \text{ кН·м}$$

$$M_{z2} = 0,29 \cdot 0,02 = 0,0058 \text{ кН·м}$$

$$M_{z3} = 0,29 \cdot 0,02 = 0,0058 \text{ кН·м}$$

$$M_{z4} = 0,245 \cdot 0,02 = 0,0049 \text{ кН·м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00442}{0,185} \cdot 1000 = 23,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00628}{0,185} \cdot 1000 = 33,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00628}{0,185} \cdot 1000 = 33,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00442}{0,185} \cdot 1000 = 23,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,0049}{0,185} \cdot 1000 = 26,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0058}{0,185} \cdot 1000 = 31,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0058}{0,185} \cdot 1000 = 31,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0049}{0,185} \cdot 1000 = 26,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.4 [ВВГ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,262 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,005 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,262 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,005 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

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

5. Расчет соединения кронштейна с профилем

Тип крепления: Заклепка 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

$$N_{s1} = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,369^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,268 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Расчёт по несущей способности

73

Лист

Изм. Кол.уч Лист №Док. Подпись Дата

$$N_{s2} = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,524^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,354 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,524^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,354 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,369^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,268 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{s1} = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,409^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,289 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,484^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,332 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,484^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,332 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{\sqrt{0,217^2 + 0,409^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,289 \leq 1,7 \text{ кН}$$

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

$$\frac{\sqrt{0,217^2 + 0,369^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 44,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,217^2 + 0,524^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 59,1 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,217^2 + 0,524^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 59,1 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,217^2 + 0,369^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 44,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{\sqrt{0,217^2 + 0,409^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 48,2 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,217^2 + 0,484^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 55,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

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

$$\frac{\sqrt{0,217^2+0,484^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 55,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,217^2+0,409^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 48,2 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

$$Ns1 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,221^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,214 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns2 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,314^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,256 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns3 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,314^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,256 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns4 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,221^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,214 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Ns1 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,245^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,224 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns2 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,29^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,244 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns3 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,29^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,244 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns4 = \frac{\sqrt{0,262^2+0,245^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,224 \leq 1,7 \text{ кН}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\frac{\sqrt{0,262^2+0,221^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 35,7 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,262^2+0,314^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 42,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,262^2+0,314^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 42,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,262^2+0,221^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 35,7 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата

Расчёт по несущей способности

75

Лист

$$\frac{\sqrt{0,262^2 + 0,245^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 37,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,262^2 + 0,29^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 40,7 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,262^2 + 0,29^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 40,7 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,262^2 + 0,245^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 37,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

$$N_{a1} = \frac{0,05425}{0,075} + 0,369 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,32 \text{ кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,05425}{0,075} + 0,524 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,57 \text{ кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,05425}{0,075} + 0,524 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,57 \text{ кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,05425}{0,075} + 0,369 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,32 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{a1} = \frac{0,05425}{0,075} + 0,409 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,38 \text{ кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,05425}{0,075} + 0,484 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,5 \text{ кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,05425}{0,075} + 0,484 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,5 \text{ кН}$$

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

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

$$N_{a4} = \frac{0,05425}{0,075} + 0,409 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,38 \text{ кН}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{a1} = \frac{0,0655}{0,075} + 0,221 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,23 \text{ кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,0655}{0,075} + 0,314 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,38 \text{ кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,0655}{0,075} + 0,314 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,38 \text{ кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,0655}{0,075} + 0,221 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,23 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{a1} = \frac{0,0655}{0,075} + 0,245 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,27 \text{ кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,0655}{0,075} + 0,29 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,34 \text{ кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,0655}{0,075} + 0,29 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,34 \text{ кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,0655}{0,075} + 0,245 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,27 \text{ кН}$$

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 1,57 кН.

Согласовано			

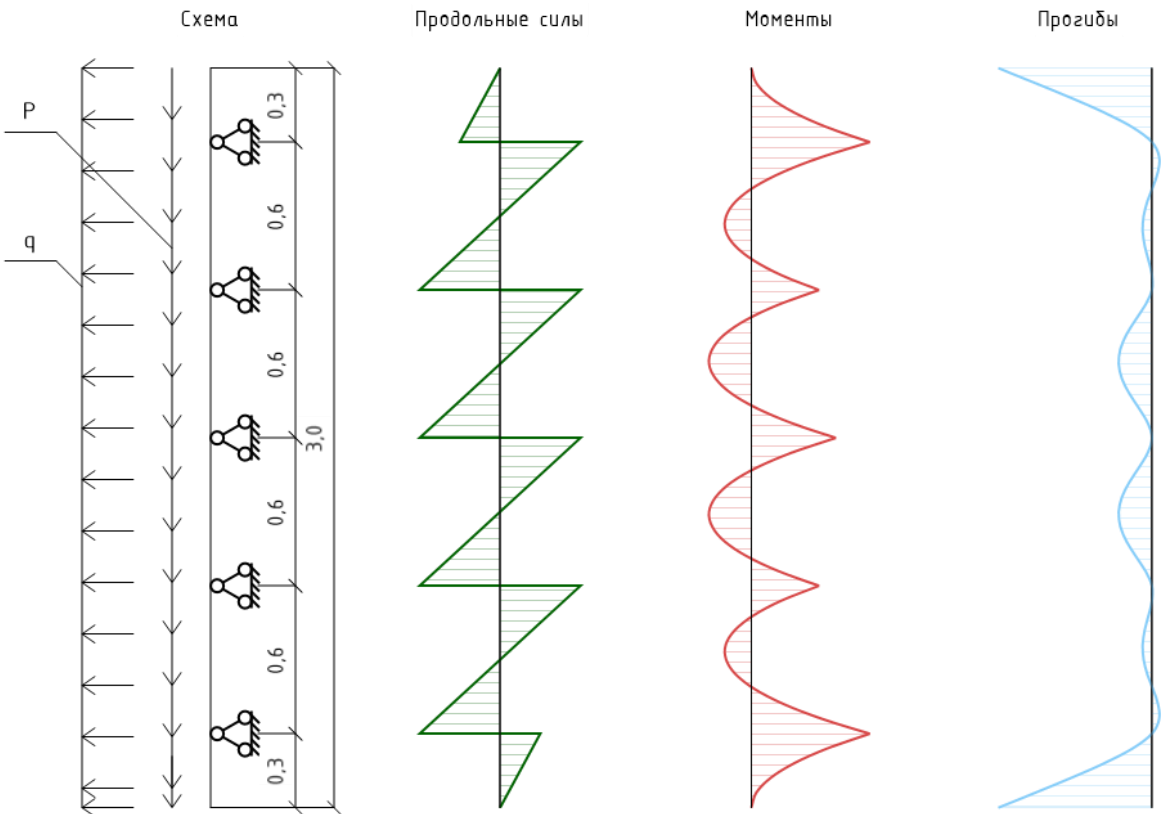
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №	

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

Расчет прочности монтажной схемы №4

1. Исходные данные:

- 1. Район строительства:
- 2. Ветровой район: I – 0,23 кН Тип местности: B
- 3. Ветровая зона: Угловая
- 4. Высота применения: 12 м
- 5. Гололёдный район: II
- 6. Уровень ответственности здания: КС-2
- 7. Материал облицовки: Фиброцементные плиты
- 8. Вес облицовки: 40 кг/м² (0,392 кН/м²)
- 9. Вертикальный профиль: ГО-40х40х1,2
- 10. Шаг вертикального профиля по горизонтали: 0,6 м
- 11. Схема вертикального профиля: четырехпролетная балка ГО-40х40х1,2_5КРУ-1р[↑1б] 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

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):

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

$$P_z \text{ м.п.} = 0,392 \cdot 1,2 \cdot 0,6 + 0,007 \cdot 1,05 = 0,29 \text{ кН/м}$$

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.

$$N_{za} = P_z \text{ м.п.} \cdot l_{za} = 0,29 \cdot 0,3 = 0,087 \text{ кН}$$

$$N_{zl} = P_z \text{ м.п.} \cdot l_{zl} = 0,29 \cdot 0,6 = 0,174 \text{ кН}$$

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):

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

$$w_p \text{ м.п.} = 0,23 \cdot 0,69 \cdot (1 + 1,03) \cdot 2,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,595 \text{ кН/м}$$

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

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,595 \cdot 0,3^2 = 0,027 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,107 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,023 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,107 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,023 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,107 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,023 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,107 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,023 \text{ кН·м}$$

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

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

$$M_{x2} = 0,5 \cdot 0,595 \cdot 0,3^2 = 0,027 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{x1} = 0,5 \cdot 0,595 \cdot 0,3^2 = 0,027 \text{ кН·м}$$

$$M_{x11} = 0,125 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,027 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,089 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,019 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,089 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,019 \text{ кН·м}$$

$$M_{x14} = 0,125 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,027 \text{ кН·м}$$

$$M_{x2} = 0,5 \cdot 0,595 \cdot 0,3^2 = 0,027 \text{ кН·м}$$

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,027}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 58,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,027}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 60,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,019}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 43 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,019}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 43 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,027}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 60,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,027}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 58,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,027}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 58,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,027}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 60,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,019}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 43 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,019}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 43 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,027}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 60,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,027}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 58,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

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

$$\text{вр м.п.} = 0,23 \cdot 0,69 \cdot (1 + 1,03) \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,325 \text{ кН/м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{\text{ха1}} = 0,5 \cdot 0,325 \cdot 0,3^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл1}} = 0,107 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл2}} = 0,107 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл3}} = 0,107 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл4}} = 0,107 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{ха2}} = 0,5 \cdot 0,325 \cdot 0,3^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{\text{ха1}} = 0,5 \cdot 0,325 \cdot 0,3^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл1}} = 0,125 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл2}} = 0,089 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл3}} = 0,089 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{хл4}} = 0,125 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

$$M_{\text{ха2}} = 0,5 \cdot 0,325 \cdot 0,3^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{\text{а1}} = \frac{0,015}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 54,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{л1}} = \frac{0,015}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 55,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{л2}} = \frac{0,01}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 37,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{л3}} = \frac{0,01}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 37,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{л4}} = \frac{0,015}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 55,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{а2}} = \frac{0,015}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 54,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{\text{а1}} = \frac{0,015}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 54,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{л1}} = \frac{0,015}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 55,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{l2} = \frac{0,01}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 37,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 37,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,015}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 55,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,015}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 54,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.9 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра равна 0,595 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

$$M_{x11} = 0,077 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,016 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,037 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,037 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,077 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,016 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Мхa2 – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

Мхa1 – отсутствует

$$M_{x11} = 0,027 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,045 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,045 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,027 \cdot 0,595 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Мхa2 – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 1,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 23,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,01}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 37,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 37,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 23,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №			
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата

Расчёт по несущей способности

82

Лист

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 1,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 1,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 23,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,01}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 37,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 37,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,807} \cdot 10 = 23,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,807} \cdot 10 = 1,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.12 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от положительного давления ветра равна 0,325 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

$$M_{x11} = 0,077 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,037 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,037 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{x14} = 0,077 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

М_{хa2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

М_{хa1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,027 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,045 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,045 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{x14} = 0,027 \cdot 0,325 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

М_{хa2} – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 1,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,003}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 8,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 13,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,005}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 13,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 8,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 1,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 1,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,003}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 8,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 13,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,005}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 13,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,174}{0,716} \cdot 10 = 8,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,087}{0,716} \cdot 10 = 1,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$w_n = \frac{0,595}{1,4} = 0,425 \text{ кН/м}$$

2.1.16 [ВВ] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

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

где: l – длина пролета, см

M_1, M_2 – момент слева и справа от пролета, кН · м.

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,425 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,023 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,425 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,023 \cdot 100 + 0,023 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,425 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,023 \cdot 100 + 0,023 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Расчёт по несущей способности

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

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,425 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,023 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

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

$$f_a = 0,22024 \cdot \frac{0,425 \cdot 30^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,06 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_l = 0,00083 \cdot \frac{0,425 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

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

$$w_H = \frac{0,325}{1,4} = 0,232 \text{ кН/м}$$

2.1.18 [ВВ] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,232 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,013 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,232 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,013 \cdot 100 + 0,013 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,232 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,013 \cdot 100 + 0,013 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,232 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,013 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,22024 \cdot \frac{0,232 \cdot 30^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_l = 0,00083 \cdot \frac{0,232 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

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

2.2.1 [ВВГ] Расчётная погонная нагрузка от веса облицовки и профиля равна 0,29 кН/м (см. пункт 2.11 [ВВ]).

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

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

$$i \text{ м.п.} = 2 \cdot 5 \cdot 1,04 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot 1,8 \cdot 0,6 / 1000 = 0,06 \text{ кН/м}$$

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:

$$q_{zp} \text{ м.п.} = P_{zp} \text{ м.п.} + i_{p} \text{ м.п.} = 0,29 + 0,06 = 0,349 \text{ кН/м}$$

2.2.4 [ВВГ] Продольные усилия в профиле:

$$N_{za} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{za} = 0,349 \cdot 0,3 = 0,105 \text{ кН}$$

$$N_{zl} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{zl} = 0,349 \cdot 0,6 = 0,209 \text{ кН}$$

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

$$q_{wp} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,595 = 0,357 \text{ кН/м}$$

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

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,357 \cdot 0,3^2 = 0,016 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,107 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,107 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,107 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,107 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,357 \cdot 0,3^2 = 0,016 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,357 \cdot 0,3^2 = 0,016 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,125 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,016 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,089 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,089 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,125 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,016 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,357 \cdot 0,3^2 = 0,016 \text{ кН·м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,016}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 35,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,016}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 37,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,011}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 26,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,011}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 26,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,016}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 37,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{a2} = \frac{0,016}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 35,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,016}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 35,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,016}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 37,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,011}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 26,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,011}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 26,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,016}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 37,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,016}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 35,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{wp \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot w_{rp \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot 0,325 = 0,195 \text{ кН/м}$$

где: $w_{rp \text{ м.п.}}$ – 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

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,195 \cdot 0,3^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,107 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,107 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,107 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,107 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,195 \cdot 0,3^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,195 \cdot 0,3^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,125 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,089 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,089 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,125 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,195 \cdot 0,3^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,009}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 33,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{l1} = \frac{0,009}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 34,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 23,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 23,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,009}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 34,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,009}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 33,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,009}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 33,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,009}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 34,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 23,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 23,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,009}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 34,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,009}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 33,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{wp} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,595 = 0,357 \text{ кН/м}$$

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

$$M_{xl1} = 0,077 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,037 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,037 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,077 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

M_{xa2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

M_{xa1} – отсутствует

$$M_{xl1} = 0,027 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,045 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,045 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

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

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

$$M_{x14} = 0,027 \cdot 0,357 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

M_{x2} – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 1,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,003}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 13,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 23,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 23,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 13,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 1,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 1,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,003}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 13,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 23,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 23,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,807} \cdot 10 = 13,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,807} \cdot 10 = 1,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{вр \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot w_{р \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot 0,325 = 0,195 \text{ кН/м}$$

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

$$M_{x11} = 0,077 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,037 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,037 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

$$M_{x14} = 0,077 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$M_{x\alpha 2}$ – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

$M_{x\alpha 1}$ – отсутствует

$$M_{x11} = 0,027 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,002 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,045 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,045 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,027 \cdot 0,195 \cdot 0,6^2 = 0,002 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$M_{x\alpha 2}$ – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{\alpha 1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 1,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,002}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 7,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,003}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 9,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} = \frac{0,003}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 9,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{14} = \frac{0,002}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 7,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\alpha 2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 1,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{\alpha 1} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 1,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,002}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 7,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,003}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 9,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} = \frac{0,003}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 9,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{14} = \frac{0,002}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,209}{0,716} \cdot 10 = 7,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\alpha 2} = \frac{0}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,105}{0,716} \cdot 10 = 1,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{\text{ун м.п.}} = 0,6 \cdot w_{\text{н м.п.}} = 0,6 \cdot 0,425 = 0,255 \text{ кН/м}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

						Расчёт по несущей способности	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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,255 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,255 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100 + 0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,255 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100 + 0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,255 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,22024 \cdot \frac{0,255 \cdot 30^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,03 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_l = 0,00083 \cdot \frac{0,255 \cdot 60^4}{0,634 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

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

$$q_{un} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_n \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,232 = 0,139 \text{ кН/м}$$

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

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,139 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,008 \cdot 100}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,22024 \cdot \frac{0,139 \cdot 30^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{30}{100} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_l = 0,00083 \cdot \frac{0,139 \cdot 60^4}{1,235 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

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:

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

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

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

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

L_z – длина вертикального профиля, м;

$пк$ – количество несущих кронштейнов.

$$N_z = P_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 5 = 0,29 \cdot 3 / 5 = 0,174 \text{ кН}$$

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

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,595 \cdot (0,393 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,319 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,595 \cdot 1,143 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,408 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,595 \cdot 0,929 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,332 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,595 \cdot 1,143 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,408 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_4 + a_2) = 0,595 \cdot (0,393 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,319 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,595 \cdot (0,554 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,376 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,595 \cdot 0,929 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,332 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,595 \cdot 1,036 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,37 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,595 \cdot 0,929 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,332 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_4 + a_2) = 0,595 \cdot (0,554 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,376 \text{ кН}$$

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

3.2.1 [ВВГ] Реакции от вертикальной нагрузки:

$$N_z = q_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 5 = 0,349 \cdot 3 / 5 = 0,209 \text{ кН}$$

3.2.2 [ВВГ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,357 \cdot (0,393 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,191 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,357 \cdot 1,143 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,245 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,357 \cdot 0,929 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,199 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,357 \cdot 1,143 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,245 \text{ кН}$$

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

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

$$N_{y5} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_4 + a_2) = 0,357 \cdot (0,393 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,191 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,357 \cdot (0,554 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,226 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,357 \cdot 0,929 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,199 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,357 \cdot 1,036 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,222 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,357 \cdot 0,929 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,199 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_4 + a_2) = 0,357 \cdot (0,554 \cdot 0,6 + 0,3) = 0,226 \text{ кН}$$

4. Расчет кронштейна "КРЧ-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
КРЧ-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:

$$M_x = N_z \cdot e_y = 0,174 \cdot 0,25 = 0,0435 \text{ кН·м}$$

Изгибающий момент в консоли кронштейна от горизонтальной нагрузки:

$$M_{z1} = N_{y1} \cdot e_x = 0,319 \cdot 0,02 = 0,00638 \text{ кН·м}$$

$$M_{z2} = N_{y2} \cdot e_x = 0,408 \cdot 0,02 = 0,00816 \text{ кН·м}$$

$$M_{z3} = N_{y3} \cdot e_x = 0,332 \cdot 0,02 = 0,00664 \text{ кН·м}$$

$$M_{z4} = N_{y4} \cdot e_x = 0,408 \cdot 0,02 = 0,00816 \text{ кН·м}$$

$$M_{z5} = N_{y5} \cdot e_x = 0,319 \cdot 0,02 = 0,00638 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

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

$$\sigma_1 = \frac{0,0435}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00638}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,319}{2} \cdot 10 = 55,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0435}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00816}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,408}{2} \cdot 10 = 66 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		
						93	

$$\sigma_3 = \frac{0,0435}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00664}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,332}{2} \cdot 10 = 56,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0435}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00816}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,408}{2} \cdot 10 = 66 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,0435}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00638}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,319}{2} \cdot 10 = 55,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma_1 = \frac{0,0435}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00752}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,376}{2} \cdot 10 = 62,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0435}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00664}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,332}{2} \cdot 10 = 56,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0435}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,0074}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,37}{2} \cdot 10 = 61,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0435}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00664}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,332}{2} \cdot 10 = 56,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,0435}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00752}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,376}{2} \cdot 10 = 62,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.2 [ВВ] 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

$$M_{z1} = 0,319 \cdot 0,012 = 0,00383 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,408 \cdot 0,012 = 0,0049 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,332 \cdot 0,012 = 0,00398 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,408 \cdot 0,012 = 0,0049 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z5} = 0,319 \cdot 0,012 = 0,00383 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{z1} = 0,376 \cdot 0,012 = 0,00451 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,332 \cdot 0,012 = 0,00398 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,37 \cdot 0,012 = 0,00444 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,332 \cdot 0,012 = 0,00398 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z5} = 0,376 \cdot 0,012 = 0,00451 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

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

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

$$\sigma = \frac{Mz}{Wn} \cdot 1000 < Rn \cdot \gamma_s, \text{ МПа}$$

где: Wn – момент сопротивления пяты кронштейна, см³

$$\sigma_1 = \frac{0,00383}{0,185} \cdot 1000 = 20,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0049}{0,185} \cdot 1000 = 26,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00398}{0,185} \cdot 1000 = 21,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0049}{0,185} \cdot 1000 = 26,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00383}{0,185} \cdot 1000 = 20,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00451}{0,185} \cdot 1000 = 24,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00398}{0,185} \cdot 1000 = 21,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00444}{0,185} \cdot 1000 = 24 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00398}{0,185} \cdot 1000 = 21,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00451}{0,185} \cdot 1000 = 24,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$Mz = Ny \cdot ex3, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: ex3 – расстояние от оси ветровой нагрузки до полки кронштейна, м

$$Mz1 = 0,319 \cdot 0,02 = 0,00638 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz2 = 0,408 \cdot 0,02 = 0,00816 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz3 = 0,332 \cdot 0,02 = 0,00664 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz4 = 0,408 \cdot 0,02 = 0,00816 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz5 = 0,319 \cdot 0,02 = 0,00638 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mz1 = 0,376 \cdot 0,02 = 0,00752 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

$$Mz2 = 0,332 \cdot 0,02 = 0,00664 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz3 = 0,37 \cdot 0,02 = 0,0074 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz4 = 0,332 \cdot 0,02 = 0,00664 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz5 = 0,376 \cdot 0,02 = 0,00752 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00638}{0,185} \cdot 1000 = 34,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00816}{0,185} \cdot 1000 = 44,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00664}{0,185} \cdot 1000 = 35,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00816}{0,185} \cdot 1000 = 44,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00638}{0,185} \cdot 1000 = 34,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00752}{0,185} \cdot 1000 = 40,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00664}{0,185} \cdot 1000 = 35,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0074}{0,185} \cdot 1000 = 40 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00664}{0,185} \cdot 1000 = 35,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00752}{0,185} \cdot 1000 = 40,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$f_z = \frac{0,174 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,004 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,174 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,004 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

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

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

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:

$$M_x = N_z \cdot e_y = 0,209 \cdot 0,25 = 0,05225 \text{ кН·м}$$

Изгибающий момент в консоли кронштейна от горизонтальной нагрузки:

$$M_{z1} = N_{y1} \cdot e_x = 0,191 \cdot 0,02 = 0,00382 \text{ кН·м}$$

$$M_{z2} = N_{y2} \cdot e_x = 0,245 \cdot 0,02 = 0,0049 \text{ кН·м}$$

$$M_{z3} = N_{y3} \cdot e_x = 0,199 \cdot 0,02 = 0,00398 \text{ кН·м}$$

$$M_{z4} = N_{y4} \cdot e_x = 0,245 \cdot 0,02 = 0,0049 \text{ кН·м}$$

$$M_{z5} = N_{y5} \cdot e_x = 0,191 \cdot 0,02 = 0,00382 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma_1 = \frac{0,05225}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00382}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,191}{2} \cdot 10 = 42,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,05225}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,0049}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,245}{2} \cdot 10 = 49,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,05225}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00398}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,199}{2} \cdot 10 = 43,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,05225}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,0049}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,245}{2} \cdot 10 = 49,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,05225}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00382}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,191}{2} \cdot 10 = 42,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma_1 = \frac{0,05225}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00452}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,226}{2} \cdot 10 = 46,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,05225}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00398}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,199}{2} \cdot 10 = 43,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,05225}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00444}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,222}{2} \cdot 10 = 46,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,05225}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00398}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,199}{2} \cdot 10 = 43,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,05225}{2,72} \cdot 1000 + \frac{0,00452}{0,17} \cdot 1000 + \frac{0,226}{2} \cdot 10 = 46,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

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

$$Mz1 = 0,191 \cdot 0,012 = 0,00229 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz2 = 0,245 \cdot 0,012 = 0,00294 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz3 = 0,199 \cdot 0,012 = 0,00239 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz4 = 0,245 \cdot 0,012 = 0,00294 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz5 = 0,191 \cdot 0,012 = 0,00229 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mz1 = 0,226 \cdot 0,012 = 0,00271 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz2 = 0,199 \cdot 0,012 = 0,00239 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz3 = 0,222 \cdot 0,012 = 0,00266 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz4 = 0,199 \cdot 0,012 = 0,00239 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz5 = 0,226 \cdot 0,012 = 0,00271 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00229}{0,185} \cdot 1000 = 12,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00294}{0,185} \cdot 1000 = 15,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00239}{0,185} \cdot 1000 = 12,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00294}{0,185} \cdot 1000 = 15,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00229}{0,185} \cdot 1000 = 12,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00271}{0,185} \cdot 1000 = 14,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00239}{0,185} \cdot 1000 = 12,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00266}{0,185} \cdot 1000 = 14,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00239}{0,185} \cdot 1000 = 12,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00271}{0,185} \cdot 1000 = 14,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$Mz1 = 0,191 \cdot 0,02 = 0,00382 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz2 = 0,245 \cdot 0,02 = 0,0049 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz3 = 0,199 \cdot 0,02 = 0,00398 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz4 = 0,245 \cdot 0,02 = 0,0049 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz5 = 0,191 \cdot 0,02 = 0,00382 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mz1 = 0,226 \cdot 0,02 = 0,00452 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz2 = 0,199 \cdot 0,02 = 0,00398 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz3 = 0,222 \cdot 0,02 = 0,00444 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz4 = 0,199 \cdot 0,02 = 0,00398 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz5 = 0,226 \cdot 0,02 = 0,00452 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00382}{0,185} \cdot 1000 = 20,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0049}{0,185} \cdot 1000 = 26,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00398}{0,185} \cdot 1000 = 21,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0049}{0,185} \cdot 1000 = 26,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00382}{0,185} \cdot 1000 = 20,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00452}{0,185} \cdot 1000 = 24,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00398}{0,185} \cdot 1000 = 21,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00444}{0,185} \cdot 1000 = 24 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00398}{0,185} \cdot 1000 = 21,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00452}{0,185} \cdot 1000 = 24,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.4 [ВВГ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,209 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,004 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

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

$$f_z = \frac{0,209 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 12,23} = 0,004 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

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

$$N_{s1} = \frac{\sqrt{0,174^2 + 0,319^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,227 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{\sqrt{0,174^2 + 0,408^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,277 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{\sqrt{0,174^2 + 0,332^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,234 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{\sqrt{0,174^2 + 0,408^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,277 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{\sqrt{0,174^2 + 0,319^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,227 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{s1} = \frac{\sqrt{0,174^2 + 0,376^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,259 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{\sqrt{0,174^2 + 0,332^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,234 \leq 1,7 \text{ кН}$$

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

						Расчёт по несущей способности 100	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$N_{s3} = \frac{\sqrt{0,174^2 + 0,37^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,256 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{\sqrt{0,174^2 + 0,332^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,234 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{\sqrt{0,174^2 + 0,376^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,259 \leq 1,7 \text{ кН}$$

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

$$\frac{\sqrt{0,174^2 + 0,319^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 37,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,174^2 + 0,408^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 46,2 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,174^2 + 0,332^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 39 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,174^2 + 0,408^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 46,2 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,174^2 + 0,319^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 37,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{\sqrt{0,174^2 + 0,376^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 43,2 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,174^2 + 0,332^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 39 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,174^2 + 0,37^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 42,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,174^2 + 0,332^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 39 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,174^2 + 0,376^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 43,2 \leq 295 \text{ МПа}$$

5..2 Расчет при сочетании Вес + Ветер + Гололёд (далее [BBГ])

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

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$Ns1 = \frac{\sqrt{0,209^2 + 0,191^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,177 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns2 = \frac{\sqrt{0,209^2 + 0,245^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,201 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns3 = \frac{\sqrt{0,209^2 + 0,199^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,18 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns4 = \frac{\sqrt{0,209^2 + 0,245^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,201 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns5 = \frac{\sqrt{0,209^2 + 0,191^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,177 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Ns1 = \frac{\sqrt{0,209^2 + 0,226^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,192 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns2 = \frac{\sqrt{0,209^2 + 0,199^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,18 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns3 = \frac{\sqrt{0,209^2 + 0,222^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,191 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns4 = \frac{\sqrt{0,209^2 + 0,199^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,18 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns5 = \frac{\sqrt{0,209^2 + 0,226^2}}{2} \cdot 1,25 = 0,192 \leq 1,7 \text{ кН}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\frac{\sqrt{0,209^2 + 0,191^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 29,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,209^2 + 0,245^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 33,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,209^2 + 0,199^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 30,1 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,209^2 + 0,245^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 33,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,209^2 + 0,191^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 29,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

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

						Расчёт по несущей способности 102	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\frac{\sqrt{0,209^2+0,226^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 32,1 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,209^2+0,199^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 30,1 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,209^2+0,222^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 31,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,209^2+0,199^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 30,1 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,209^2+0,226^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 32,1 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

$$N_{a1} = \frac{0,0435}{0,075} + 0,319 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,09 \text{ кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,0435}{0,075} + 0,408 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,24 \text{ кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,0435}{0,075} + 0,332 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,12 \text{ кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,0435}{0,075} + 0,408 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,24 \text{ кН}$$

$$N_{a5} = \frac{0,0435}{0,075} + 0,319 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,09 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{a1} = \frac{0,0435}{0,075} + 0,376 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,19 \text{ кН}$$

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

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

$$Na2 = \frac{0,0435}{0,075} + 0,332 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,12 \text{ кН}$$

$$Na3 = \frac{0,0435}{0,075} + 0,37 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,18 \text{ кН}$$

$$Na4 = \frac{0,0435}{0,075} + 0,332 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,12 \text{ кН}$$

$$Na5 = \frac{0,0435}{0,075} + 0,376 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,19 \text{ кН}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$Na1 = \frac{0,05225}{0,075} + 0,191 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1 \text{ кН}$$

$$Na2 = \frac{0,05225}{0,075} + 0,245 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,09 \text{ кН}$$

$$Na3 = \frac{0,05225}{0,075} + 0,199 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,02 \text{ кН}$$

$$Na4 = \frac{0,05225}{0,075} + 0,245 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,09 \text{ кН}$$

$$Na5 = \frac{0,05225}{0,075} + 0,191 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Na1 = \frac{0,05225}{0,075} + 0,226 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,06 \text{ кН}$$

$$Na2 = \frac{0,05225}{0,075} + 0,199 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,02 \text{ кН}$$

$$Na3 = \frac{0,05225}{0,075} + 0,222 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,05 \text{ кН}$$

$$Na4 = \frac{0,05225}{0,075} + 0,199 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,02 \text{ кН}$$

$$Na5 = \frac{0,05225}{0,075} + 0,226 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,06 \text{ кН}$$

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 1,24 кН.

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

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

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 дюбеля.

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/м²

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

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	5	

2. Ветровые нагрузки

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

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

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

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

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

Основные буквенные обозначения величин

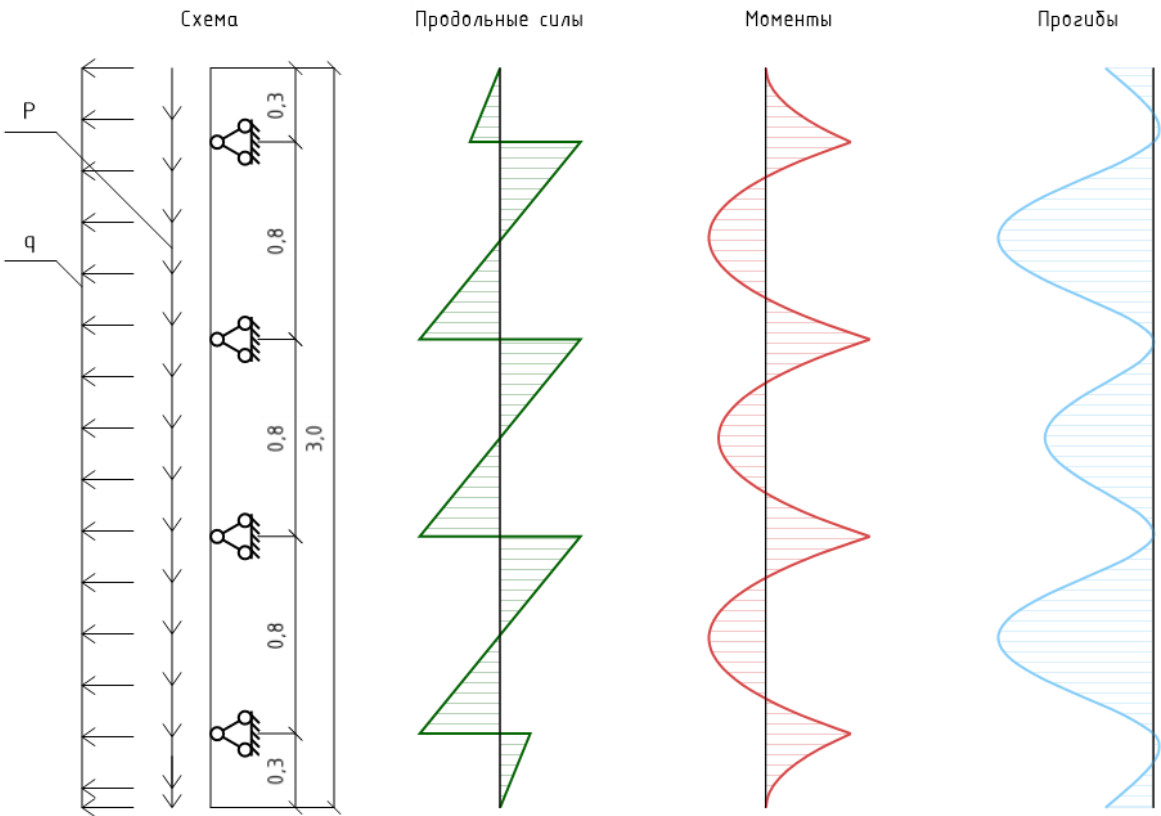
- A – площадь сечения брутто;
- E – модуль упругости;
- e_y – Вылет;
- f – прогиб;
- I – момент инерции сечения брутто;
- L – длина балки;
- l – длина пролета;
- a – длина консоли;
- M – изгибающий момент;
- N – продольная сила;
- R – расчётное сопротивление растяжению, сжатию, изгибу;
- W – момент сопротивления сечения брутто;
- у_с – коэффициент условий работы;
- γ_p – коэффициент надежности по назначению;
- σ – нормальные напряжения;
- a₁, a₂ – обозначение верхней и нижней консолей вертикальной направляющей соответственно;
- l₁, l₂, l₃, l₄, l₅ – обозначение пролетов направляющей;
- R₁, R₂, R₃, R₄, R₅ – обозначение опор (кронштейнов);
- Кнер – коэффициент неразрезности по Справочнику проектировщика (вводится для промежуточных профилей);

Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №	Согласовано				
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	Расчёт по несущей способности	Лист
							8

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. №		
Инв. № подл.			Подпись и дата		

						Расчёт по несущей способности	Лист
							135
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.

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

$$N_{zl} = P_z \text{ м.п.} \cdot l_{zl} = 0,138 \cdot 0,8 = 0,11 \text{ кН}$$

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):

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

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

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

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

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

Проверка по методу конечных элементов

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

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

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

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

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	
					137	

Мхa1 – отсутствует

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

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

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

Мхa2 – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

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

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

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

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

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

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

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

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

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

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

						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:

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

где: $w_{\text{н м.п.}}$ – 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 [ВВ] 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

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

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

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

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

Согласовано			

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

						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. №			
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						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	
					152	

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

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

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

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

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

t – толщина стенки направляющей, мм

R_{гp} – 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

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

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

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

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

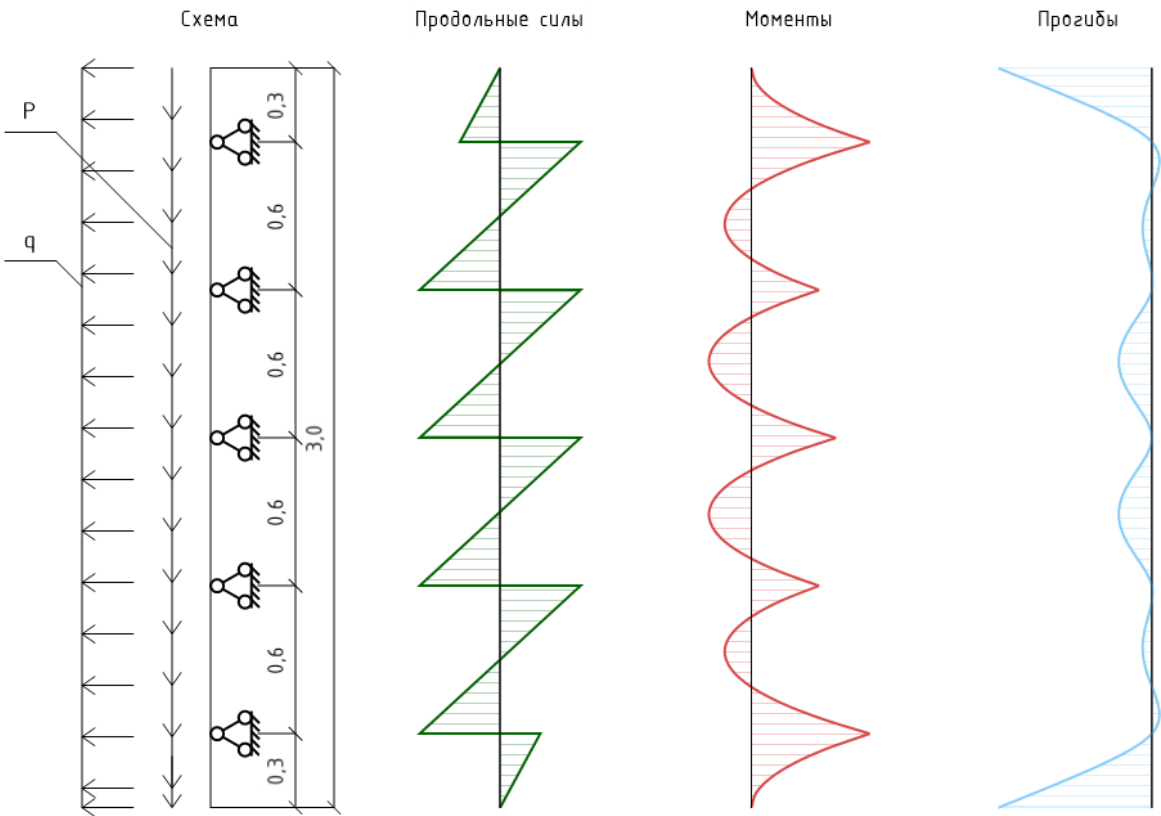
Вывод: Допустимое усилие анкера на вырыв при креплении кронштейна КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли в ячеистые блоки на один анкер в верхнее отверстие должно быть не менее 0,97 кН.

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: Угловая
- 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: четырехпролетная балка ГО-40х40х1,2_5КРУ-1р[↑1б] 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

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

						Расчёт по несущей способности 205	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.					

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

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,806 \cdot 0,3^2 = 0,036 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

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

$$M_{xl1} = 0,125 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,036 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xl2} = 0,089 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,026 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xl3} = 0,089 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,026 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xl4} = 0,125 \cdot 0,806 \cdot 0,6^2 = 0,036 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,806 \cdot 0,3^2 = 0,036 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

$$\sigma_{a1} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 77,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 78,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,026}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 56,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,026}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 56,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 78,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 77,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 77,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 78,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,026}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 56,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,026}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 56,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,083}{0,716} \cdot 10 = 78,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,036}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,041}{0,716} \cdot 10 = 77,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

						Расчёт по несущей способности	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

М_{хa1} – отсутствует

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

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

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

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

М_{хa2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

М_{хa1} – отсутствует

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

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

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

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

М_{хa2} – 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 209	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	
					212	

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 214	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

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

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

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

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

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

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

						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:

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

						Расчёт по несущей способности 221	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$Mz4 = 0,449 \cdot 0,012 = 0,00539 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz5 = 0,51 \cdot 0,012 = 0,00612 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{Mz}{Wn} \cdot 1000 < Rn \cdot \gamma_s, \text{ МПа}$$

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

$$Mz = Ny \cdot ex3, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: $ex3$ – расстояние от оси ветровой нагрузки до полки кронштейна, м

$$Mz1 = 0,432 \cdot 0,02 = 0,00864 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

$$Mz2 = 0,553 \cdot 0,02 = 0,01106 \text{ кН·м}$$

$$Mz3 = 0,449 \cdot 0,02 = 0,00898 \text{ кН·м}$$

$$Mz4 = 0,553 \cdot 0,02 = 0,01106 \text{ кН·м}$$

$$Mz5 = 0,432 \cdot 0,02 = 0,00864 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mz1 = 0,51 \cdot 0,02 = 0,0102 \text{ кН·м}$$

$$Mz2 = 0,449 \cdot 0,02 = 0,00898 \text{ кН·м}$$

$$Mz3 = 0,501 \cdot 0,02 = 0,01002 \text{ кН·м}$$

$$Mz4 = 0,449 \cdot 0,02 = 0,00898 \text{ кН·м}$$

$$Mz5 = 0,51 \cdot 0,02 = 0,0102 \text{ кН·м}$$

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

$$M_{z1} = 0,259 \cdot 0,012 = 0,00311 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,332 \cdot 0,012 = 0,00398 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,27 \cdot 0,012 = 0,00324 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,332 \cdot 0,012 = 0,00398 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z5} = 0,259 \cdot 0,012 = 0,00311 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{z1} = 0,306 \cdot 0,012 = 0,00367 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,27 \cdot 0,012 = 0,00324 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,301 \cdot 0,012 = 0,00361 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,27 \cdot 0,012 = 0,00324 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z5} = 0,306 \cdot 0,012 = 0,00367 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,00311}{0,185} \cdot 1000 = 16,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00398}{0,185} \cdot 1000 = 21,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00324}{0,185} \cdot 1000 = 17,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00398}{0,185} \cdot 1000 = 21,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00311}{0,185} \cdot 1000 = 16,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$Mz_1 = 0,259 \cdot 0,02 = 0,00518 \text{ кН·м}$$

$$Mz_2 = 0,332 \cdot 0,02 = 0,00664 \text{ кН·м}$$

$$Mz_3 = 0,27 \cdot 0,02 = 0,0054 \text{ кН·м}$$

$$Mz_4 = 0,332 \cdot 0,02 = 0,00664 \text{ кН·м}$$

$$Mz_5 = 0,259 \cdot 0,02 = 0,00518 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mz_1 = 0,306 \cdot 0,02 = 0,00612 \text{ кН·м}$$

$$Mz_2 = 0,27 \cdot 0,02 = 0,0054 \text{ кН·м}$$

$$Mz_3 = 0,301 \cdot 0,02 = 0,00602 \text{ кН·м}$$

$$Mz_4 = 0,27 \cdot 0,02 = 0,0054 \text{ кН·м}$$

$$Mz_5 = 0,306 \cdot 0,02 = 0,00612 \text{ кН·м}$$

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:

$$N_s = \frac{\sqrt{N_z^2 + N_y^2}}{n_3} \cdot \gamma_m \leq N_{nrs}, \text{ кН}$$

где: N_z – вертикальная нагрузка на соединение, кН

N_y – горизонтальная нагрузка на соединение, кН

n_3 – 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		

$$\frac{\sqrt{0,083^2+0,501^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 52,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,083^2+0,449^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 47,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sqrt{0,083^2+0,51^2}}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 53,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

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						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	
					230	

$$Na3 = \frac{0,02075}{0,075} + 0,449 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1 \text{ кН}$$

$$Na4 = \frac{0,02075}{0,075} + 0,553 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 1,17 \text{ кН}$$

$$Na5 = \frac{0,02075}{0,075} + 0,432 \cdot \frac{0,05}{0,031} = 0,97 \text{ кН}$$

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.

[illegible]

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
Расчет деформативности направляющих.....	7
Коэффициенты неразрезности.....	8
Основные буквенные обозначения величин.....	8
Расчет прочности монтажной схемы №1.....	9
1. Исходные данные:	9
2. Расчет вертикального профиля "ПО-80х20х1,2"	9
3. Расчет реакций, передающихся от вертикального профиля на горизонтальный профиль:	22
4. Расчет горизонтального профиля "ГО-40х40х1,2"	23
5. Расчет соединения горизонтального профиля с вертикальным профилем	38
6. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:	41
7. Расчет кронштейна "КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли"	43
8. Расчет соединения кронштейна с профилем	49
9. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания	53
Расчет прочности монтажной схемы №2.....	55
1. Исходные данные:	55
2. Расчет вертикального профиля "ПО-80х20х1,2"	55
3. Расчет реакций, передающихся от вертикального профиля на горизонтальный профиль:	70
4. Расчет горизонтального профиля "ГО-40х40х1,2"	71
5. Расчет соединения горизонтального профиля с вертикальным профилем	88
6. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:	90
7. Расчет кронштейна "КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли"	92
8. Расчет соединения кронштейна с профилем	99

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

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

9. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания.....	102
---	-----

Расчет прочности монтажной схемы №3..... 105

1. Исходные данные:	105
2. Расчет вертикального профиля "ZO-1,2"	105
3. Расчет реакций, передающихся от вертикального профиля на горизонтальный профиль:	118
4. Расчет горизонтального профиля "ГО-40х40х1,2"	120
5. Расчет соединения горизонтального профиля с вертикальным профилем	134
6. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:	137
7. Расчет кронштейна "КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли"	139
8. Расчет соединения кронштейна с профилем	146
9. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания	149

Расчет прочности монтажной схемы №4..... 152

1. Исходные данные:	152
2. Расчет вертикального профиля "ZO-1,2"	152
3. Расчет реакций, передающихся от вертикального профиля на горизонтальный профиль:	167
4. Расчет горизонтального профиля "ГО-40х40х1,2"	169
5. Расчет соединения горизонтального профиля с вертикальным профилем	185
6. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:	188
7. Расчет кронштейна "КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли"	190
8. Расчет соединения кронштейна с профилем	197
9. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания	200

Расчет прочности монтажной схемы №5..... 203

1. Исходные данные:	203
2. Расчет вертикального профиля "ТО-80х50х1,2"	203
3. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:	208
4. Расчет кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли"	210
5. Расчет соединения кронштейна с профилем	215
6. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания	218

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

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

Расчет прочности монтажной схемы №6..... 221

1. Исходные данные:221
2. Расчет вертикального профиля "ТО-80х50х1,2"221
3. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:.....226
4. Расчет кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли"228
5. Расчет соединения кронштейна с профилем233
6. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-1р с вертикально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания236

Сводная таблица расчётных монтажных схем.....239

Условные обозначения кронштейнов:.....240

Условные обозначения горизонтальных несущих профилей:.....240

Согласовано	

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

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

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:

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

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

Расчет деформативности направляющих

При расчете направляющих по второму предельному состоянию (расчет на прогиб) используются коэффициенты, принимаемые по таблице 4.

Таблица 4

Схема	Коэффициент k
Однопролетная	0.01302
Двухпролетная	0.0052
Трёхпролетная	0.00675
Четырёхпролетная	0.0063
Пятипролетная	0.0065
Многопролетная	0.0064

Расчёт по несущей способности

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

Коэффициенты неразрезности

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

Таблица 5

Назначение профиля	Коэффициент Кнер
Рядовой профиль	1
Промежуточный (2 пролета)	1.25
Промежуточный (3 пролета)	1.1
Промежуточный (4 пролета)	1.143
Промежуточный (5 пролетов)	1.133
Промежуточный (много пролетов)	1

Основные буквенные обозначения величин

А – площадь сечения брутто;
 Е – модуль упругости;
 еу – Вылет;
 f – прогиб;
 I – момент инерции сечения брутто;
 L – длина балки;
 l – длина пролета;
 а – длина консоли;
 М – изгибающий момент;
 N – продольная сила;
 R – расчётное сопротивление растяжению, сжатию, изгибу;
 W – момент сопротивления сечения брутто;
 ус – коэффициент условий работы;
 γ_n – коэффициент надежности по назначению;
 σ – нормальные напряжения;
 а1, а2 – обозначение верхней и нижней консолей вертикальной направляющей соответственно;
 l1, l2, l3, l4, l5 – обозначение пролетов направляющей;
 R1, R2, R3, R4, R5 – обозначение опор (кронштейнов);
 Кнер – коэффициент неразрезности по Справочнику проектировщика (вводится для промежуточных профилей);

Согласовано			

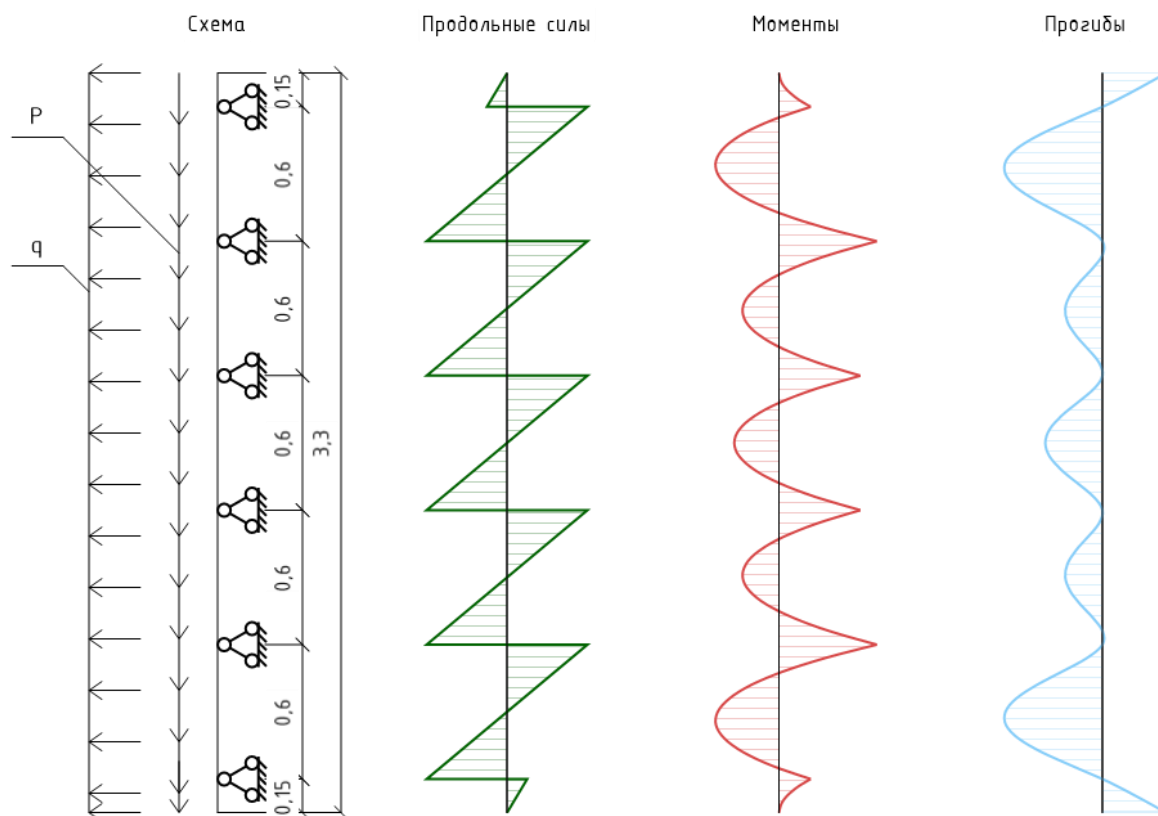
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №	

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

Расчет прочности монтажной схемы №1

1. Исходные данные:

1. Район строительства:
2. Ветровой район: I – 0,23 кН Тип местности: B
3. Ветровая зона: Рядовая
4. Высота применения: 13 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: ПО-80х20х1,2
10. Шаг вертикального профиля по горизонтали: 0,65 м
11. Схема вертикального профиля: пятипролетная балка ПО-80х20х1,2_6КРУ-2р[↔1к] 0,15|0,6+0,6+0,6+0,6+0,6|0,15
12. Вылет: 0,25 м
13. Схема горизонтального профиля: 6ГО-40х40х1,2(∞ х0,7)
14. Несущие кронштейны:
-КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли с креплением на один анкер в ближайшее к консоли кронштейна отверстие в ячеистые блоки..



2. Расчет вертикального профиля "ПО-80х20х1,2"

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

Расчёт по несущей способности

Согласовано	

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Профиль	Вес, кг/м	Редуцируемое сечение	A, см ²	Ix, см ⁴	Wx, см ³	E, МПа	Ry, МПа
ПО-80x20x1,2	1,44	Широкая полка	1,52	1,09	0,872	210000	225
		Узкие полки	1,75	1,12	0,896		

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

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

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

$$Pz \text{ м.п.} = 0,167 \cdot 1,2 \cdot 0,65 + 0,014 \cdot 1,05 = 0,145 \text{ кН/м}$$

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.

$$Nza = Pz \text{ м.п.} \cdot lza = 0,145 \cdot 0,15 = 0,022 \text{ кН}$$

$$Nzl = Pz \text{ м.п.} \cdot lzl = 0,145 \cdot 0,6 = 0,087 \text{ кН}$$

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):

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

$$w_p \text{ м.п.} = 0,23 \cdot 0,71 \cdot (1 + 1,02) \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1 = 0,36 \text{ кН/м}$$

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

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,36 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,105 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,105 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,079 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,105 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,105 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

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

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

$$M_{x2} = 0,5 \cdot 0,36 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{x1} = 0,502 \cdot 0,36 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{x11} = 0,097 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,097 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,081 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{x14} = 0,097 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{x15} = 0,097 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{x2} = 0,502 \cdot 0,36 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,004}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 4,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,013}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 15,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,013}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 15,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 12 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,013}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 15,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,013}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 15,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,004}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 4,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,004}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 4,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,013}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 15,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,013}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 15,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 12 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,013}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 15,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	11	

$$\sigma_{15} = \frac{0,013}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 15,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,004}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 4,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.6 [ВВ] Нормальные напряжения на опоре во внутреннем сечении направляющей (узкие полки):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,004}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 4,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,014}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 16,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,014}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 16,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 11,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,014}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 16,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,014}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 16,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,004}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 4,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,004}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 4,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,014}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 16,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,014}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 16,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 11,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,014}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 16,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,014}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 16,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,004}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 4,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.7 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра равна 0,36 кН/м (см. пункт 2.13 [ВВ]).

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

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

Мх_{а1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,078 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,033 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,046 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,033 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x15} = 0,078 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Мх_{а2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

Мх_{а1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,062 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,036 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,044 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,036 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x15} = 0,062 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Мх_{а2} – отсутствует

2.1.9 [ВВ] Нормальные напряжения в пролёте во внутреннем сечении направляющей (узкие полки):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 9,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,005}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 6,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} = \frac{0,006}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 7,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{14} = \frac{0,005}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 6,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{15} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 9,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 9,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,005}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 6,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 7,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,005}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 6,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 9,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.10 [ВВ] Нормальные напряжения в пролёте во внешнем сечении направляющей (широкая полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,01}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 12 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,004}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 5,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 7,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,004}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 5,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,01}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 12 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,01}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 12 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,004}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 5,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 7,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,004}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 5,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,01}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 12 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

2..111 [BB] Нормативная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра определяется по формуле:

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

$$w_{н. м.п.} = \frac{0,36}{1,4} = 0,257 \text{ кН/м}$$

2.1.12 [BB] 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.

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100 + 0,01 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100 + 0,014 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,01 \cdot 100 + 0,014 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

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

где: k – коэффициент, полученный методом конечных элементов

l – длина пролета, см

$$f_a = 0,83992 \cdot \frac{0,257 \cdot 15^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_l = 0,005 \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

2.1.13 [BB] Нормативная погонная нагрузка от положительного давления ветра численно равна отрицательной: 0,257 кН/м (см. пункт 2..111 [BB]).

2.1.14 [BB] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100 + 0,01 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100 + 0,014 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,01 \cdot 100 + 0,014 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,83992 \cdot \frac{0,257 \cdot 15^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_l = 0,005 \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

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

2.2.1 [ВВГ] Расчётная погонная нагрузка от веса облицовки и профиля равна 0,145 кН/м (см. пункт 2.11 [ВВ]).

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

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

$$i \text{ м.п.} = 2 \cdot 5 \cdot 1,06 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot 1,8 \cdot 0,65 / 1000 = 0,066 \text{ кН/м}$$

2.2.3 [ВВГ] Суммарная вертикальная расчётная погонная нагрузка:

$$q_{zp} \text{ м.п.} = P_{zp} \text{ м.п.} + i_{p} \text{ м.п.} = 0,145 + 0,066 = 0,211 \text{ кН/м}$$

2.2.4 [ВВГ] Продольные усилия в профиле:

$$N_{za} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{za} = 0,211 \cdot 0,15 = 0,032 \text{ кН}$$

$$N_{zl} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{zl} = 0,211 \cdot 0,6 = 0,127 \text{ кН}$$

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

$$q_{wp} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,36 = 0,216 \text{ кН/м}$$

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

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,216 \cdot 0,15^2 = 0,002 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,105 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,105 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,079 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

$$M_{x14} = 0,105 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x15} = 0,105 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,216 \cdot 0,15^2 = 0,002 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa1} = 0,502 \cdot 0,216 \cdot 0,15^2 = 0,002 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x11} = 0,097 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,097 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,081 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,097 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x15} = 0,097 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xa2} = 0,502 \cdot 0,216 \cdot 0,15^2 = 0,002 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,002}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 2,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,008}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 10 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,008}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 10 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 7,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,008}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 10 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,008}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 10 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,002}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 2,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,002}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 2,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,008}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 10 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,008}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 10 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 7,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,008}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 10 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{15} = \frac{0,008}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 10 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,002}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 2,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.2.8 [ВВГ] Нормальные напряжения на опоре во внутреннем сечении направляющей (узкие полки):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,002}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 2,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} = \frac{0,006}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 7,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{14} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{15} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,002}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 2,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,002}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 2,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} = \frac{0,006}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 7,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{14} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{15} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,002}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 2,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{wp \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,36 = 0,216 \text{ кН/м}$$

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

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

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

M_{x1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,078 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,033 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,046 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{x14} = 0,033 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{x15} = 0,078 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

M_{x2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

M_{x1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,062 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,036 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,044 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{x14} = 0,036 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{x15} = 0,062 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

M_{x2} – отсутствует

2.2.11 [ВВГ] Нормальные напряжения в пролёте во внутреннем сечении направляющей (узкие полки):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,005}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 6,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,003}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 4,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,003}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 4,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 4,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,005}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 6,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,005}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 6,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{l2} = \frac{0,003}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 4,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,003}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 4,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 4,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,005}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 6,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,006}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 7,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,003}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 4,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,004}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 5,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 4,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,006}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 7,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,006}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 7,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,003}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 4,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,004}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 5,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 4,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,006}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 7,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{\text{ун м.п.}} = 0,6 \cdot \text{wn м.п.} = 0,6 \cdot 0,257 = 0,154 \text{ кН/м}$$

где: wn 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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,008 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,008 \cdot 100 + 0,006 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,008 \cdot 100 + 0,008 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,006 \cdot 100 + 0,008 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,008 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,83992 \cdot \frac{0,154 \cdot 15^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_l = 0,005 \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

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

$$q_{\text{ун м.п.}} = 0,6 \cdot \text{wn м.п.} = 0,6 \cdot 0,257 = 0,154 \text{ кН/м}$$

где: wn 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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,008 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,008 \cdot 100 + 0,006 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,008 \cdot 100 + 0,008 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,006 \cdot 100 + 0,008 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,008 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

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

$$f_a = 0,83992 \cdot \frac{0,154 \cdot 15^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_l = 0,005 \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Вывод: Направляющая ПО-80х20х1,2 отвечает требованиям прочности.

3. Расчет реакций, передающихся от вертикального профиля на горизонтальный профиль:

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

3.1.1 [ВВ] Расчет 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.

$$N_z = P_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 6 = 0,145 \cdot 3,3 / 6 = 0,08 \text{ кН}$$

3.1.2 [ВВ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Для горизонтального профиля между пролетом и консолью вертикального профиля:

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

Для горизонтального профиля 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

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,36 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,139 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,36 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,245 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,36 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,21 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,36 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,21 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,36 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,245 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,36 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,139 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,36 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,148 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,36 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,234 \text{ кН}$$

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

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

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,36 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,212 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,36 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,212 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,36 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,234 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,36 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,148 \text{ кН}$$

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

3.2.1 [ВВГ] Расчет вертикальной нагрузки:

$$N_z = q_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 6 = 0,211 \cdot 3,3 / 6 = 0,116 \text{ кН}$$

3.2.2 [ВВГ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,216 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,084 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,216 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,147 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,216 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,126 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,216 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,126 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,216 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,147 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,216 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,084 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,216 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,089 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,216 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,14 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,216 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,127 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,216 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,127 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,216 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,14 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,216 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,089 \text{ кН}$$

4. Расчет горизонтального профиля "ГО-40x40x1,2"

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

Профиль	Вес, кг/м	Редуцируемое сечение	A, см ²	I _x , см ⁴	I _y , см ⁴	W _x , см ³	W _y , см ³	E, МПа	R _y , МПа
ГО- 40x40x1,2	0,75	Гор. полка	0,716	1,235	0,272	0,468	0,157	210000	225
		Верт.полка (как стенка)	0,807	0,634	1,372	0,282	0,492		
		Верхнее	0,716	1,235	0,272	0,468	0,157		
		Нижнее	0,807	0,634	1,372	0,282	0,492		

Расчёт по несущей способности

23

Лист

Изм. Кол.уч. Лист №Док. Подпись Дата

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

4.1 Расчёт при сочетании Вес + Ветер (далее [ВВ]):

4.1.1 [ВВ] Определяем изгибающий момент в пролёте от вертикальной нагрузки:

$$M_x = k \cdot N_z \cdot l, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: k – коэффициент по таблицам справочника проектировщика

l – длина пролёта горизонтального профиля, м

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,08 \cdot 0,7 = 0,00958 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,08 \cdot 0,7 = 0,00958 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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 пролётах, 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.

В нашем случае положительное и отрицательное давление ветра равны.

4.1.2 [ВВ] Определяем изгибающий момент от положительного и отрицательного давления ветра:

$$M_y = k \cdot N_y \cdot l, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: k – коэффициент по таблицам справочника проектировщика

l – длина пролёта горизонтального профиля, м

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,139 \cdot 0,7 = 0,01664 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,245 \cdot 0,7 = 0,02933 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,21 \cdot 0,7 = 0,02514 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,21 \cdot 0,7 = 0,02514 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,245 \cdot 0,7 = 0,02933 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,139 \cdot 0,7 = 0,01664 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,148 \cdot 0,7 = 0,01772 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,234 \cdot 0,7 = 0,02801 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,212 \cdot 0,7 = 0,02538 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,212 \cdot 0,7 = 0,02538 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,234 \cdot 0,7 = 0,02801 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,148 \cdot 0,7 = 0,01772 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

4.1.3 [ВВ] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} \cdot 1000 + \frac{M_y}{W_y} \cdot 1000 < R_y \cdot \gamma_s, \text{ МПа}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00958}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01664}{0,157} \cdot 1000 = 140 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00958}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02933}{0,157} \cdot 1000 = 220,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00958}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02514}{0,157} \cdot 1000 = 194,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00958}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02514}{0,157} \cdot 1000 = 194,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00958}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02933}{0,157} \cdot 1000 = 220,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00958}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01664}{0,157} \cdot 1000 = 140 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00958}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01772}{0,157} \cdot 1000 = 146,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00958}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02801}{0,157} \cdot 1000 = 212,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00958}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02538}{0,157} \cdot 1000 = 195,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00958}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02538}{0,157} \cdot 1000 = 195,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00958}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02801}{0,157} \cdot 1000 = 212,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00958}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01772}{0,157} \cdot 1000 = 146,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.4 [ВВ] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00958}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01664}{0,157} \cdot 1000 = 126,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00958}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,02933}{0,157} \cdot 1000 = 207,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00958}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,02514}{0,157} \cdot 1000 = 180,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

$$\sigma_4 = \frac{0,00958}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,02514}{0,157} \cdot 1000 = 180,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00958}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,02933}{0,157} \cdot 1000 = 207,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00958}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01664}{0,157} \cdot 1000 = 126,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00958}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01772}{0,157} \cdot 1000 = 133,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00958}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,02801}{0,157} \cdot 1000 = 198,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00958}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,02538}{0,157} \cdot 1000 = 182,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00958}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,02538}{0,157} \cdot 1000 = 182,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00958}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,02801}{0,157} \cdot 1000 = 198,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00958}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01772}{0,157} \cdot 1000 = 133,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.5 [ВВ] Определяем изгибающий момент на опоре от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,08 \cdot 0,7 = 0,00885 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,08 \cdot 0,7 = 0,00885 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.1.6 [ВВ] Определяем изгибающий момент от положительного и отрицательного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,139 \cdot 0,7 = 0,01537 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,245 \cdot 0,7 = 0,0271 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,21 \cdot 0,7 = 0,02323 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,21 \cdot 0,7 = 0,02323 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,245 \cdot 0,7 = 0,0271 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,139 \cdot 0,7 = 0,01537 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,148 \cdot 0,7 = 0,01637 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,234 \cdot 0,7 = 0,02588 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,212 \cdot 0,7 = 0,02345 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,212 \cdot 0,7 = 0,02345 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,234 \cdot 0,7 = 0,02588 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,148 \cdot 0,7 = 0,01637 \text{ кН·м}$$

4.1.7 [ВВ] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01537}{0,157} \cdot 1000 = 129,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0271}{0,157} \cdot 1000 = 204 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02323}{0,157} \cdot 1000 = 179,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02323}{0,157} \cdot 1000 = 179,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0271}{0,157} \cdot 1000 = 204 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01537}{0,157} \cdot 1000 = 129,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01637}{0,157} \cdot 1000 = 135,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02588}{0,157} \cdot 1000 = 196,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02345}{0,157} \cdot 1000 = 180,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02345}{0,157} \cdot 1000 = 180,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02588}{0,157} \cdot 1000 = 196,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01637}{0,157} \cdot 1000 = 135,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.8 [ВВ] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01537}{0,492} \cdot 1000 = 62,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0271}{0,492} \cdot 1000 = 86,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02323}{0,492} \cdot 1000 = 78,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

						Расчёт по несущей способности	Лист	
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		27	

$$\sigma_4 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02323}{0,492} \cdot 1000 = 78,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0271}{0,492} \cdot 1000 = 86,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01537}{0,492} \cdot 1000 = 62,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01637}{0,492} \cdot 1000 = 64,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02588}{0,492} \cdot 1000 = 84 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02345}{0,492} \cdot 1000 = 79 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02345}{0,492} \cdot 1000 = 79 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02588}{0,492} \cdot 1000 = 84 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00885}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01637}{0,492} \cdot 1000 = 64,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.9 [ВВ] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от отрицательного давления ветра:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,08 \cdot 0,7 = 0,00627 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,08 \cdot 0,7 = 0,00627 \text{ кН·м}$$

Определение прогиба:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = f_z = \frac{N_z \cdot l^3 \cdot 10}{1,18 \cdot 48 \cdot I_x \cdot E} - \frac{M \cdot l^2}{16 \cdot I_x \cdot E \cdot 1,18} \cdot 10 < \frac{l}{200}, \text{ см}$$

где: 1,18 – коэффициент приведения моментов от расчётной нагрузки к моментам от нормативной нагрузки (0,223 кН / 0,189 кН).

$$f_z = \frac{0,08 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,18 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,00627 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,18} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

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		

$$f_z = \frac{0,08 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,18 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,00627 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,18} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

4.1.10 [BB] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от положительного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,08 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,18 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,00627 \cdot 70^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,18} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,08 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,18 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,00627 \cdot 70^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,18} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

4.1.11 [BB] Расчет прогиба профиля от отрицательной горизонтальной нагрузки:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,139 \cdot 0,7 = 0,0109 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,245 \cdot 0,7 = 0,01921 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,21 \cdot 0,7 = 0,01646 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,21 \cdot 0,7 = 0,01646 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,245 \cdot 0,7 = 0,01921 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,139 \cdot 0,7 = 0,0109 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,148 \cdot 0,7 = 0,0116 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,234 \cdot 0,7 = 0,01835 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,212 \cdot 0,7 = 0,01662 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,212 \cdot 0,7 = 0,01662 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,234 \cdot 0,7 = 0,01835 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,148 \cdot 0,7 = 0,0116 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_y = \frac{N_y \cdot l^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot I_y \cdot E} - \frac{M \cdot l^2}{16 \cdot I_y \cdot E \cdot 1,399} \cdot 10 < \frac{l}{200}, \text{ см}$$

где: 1,399 – коэффициент приведения моментов от расчётной нагрузки к моментам от нормативной нагрузки (0,554 кН / 0,396 кН).

$$f_{y1} = \frac{0,139 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0109 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,245 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01921 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,22 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

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

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

$$f_{y3} = \frac{0,21 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01646 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,19 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,21 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01646 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,19 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,245 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01921 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,22 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,139 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0109 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,148 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0116 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,234 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01835 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,21 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,212 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01662 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,19 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,212 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01662 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,19 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,234 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01835 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,21 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,148 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0116 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

4.1.12 [BB] Расчет прогиба профиля от положительной горизонтальной нагрузки:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,139 \cdot 0,7 = 0,0109 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,245 \cdot 0,7 = 0,01921 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,21 \cdot 0,7 = 0,01646 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,21 \cdot 0,7 = 0,01646 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,245 \cdot 0,7 = 0,01921 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,139 \cdot 0,7 = 0,0109 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,148 \cdot 0,7 = 0,0116 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,234 \cdot 0,7 = 0,01835 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,212 \cdot 0,7 = 0,01662 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,212 \cdot 0,7 = 0,01662 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,234 \cdot 0,7 = 0,01835 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,148 \cdot 0,7 = 0,0116 \text{ кН·м}$$

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

Расчёт по несущей способности						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	
					30	

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{y1} = \frac{0,139 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0109 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,245 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01921 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,22 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,21 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01646 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,19 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,21 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01646 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,19 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,245 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01921 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,22 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,139 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0109 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,148 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0116 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,234 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01835 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,21 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,212 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01662 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,19 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,212 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01662 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,19 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,234 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01835 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,21 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,148 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0116 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

4..2 Расчёт при сочетании Вес + Ветер + Гололёд (далее [ВВГ]):

4.2.1 [ВВГ] Определяем изгибающий момент в пролёте от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,116 \cdot 0,7 = 0,01389 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,116 \cdot 0,7 = 0,01389 \text{ кН·м}$$

4.2.2 [ВВГ] Определяем изгибающий момент от положительного и отрицательного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,084 \cdot 0,7 = 0,01005 \text{ кН·м}$$

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

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

$$\begin{aligned} M_{y2} &= 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,0176 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y3} &= 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,126 \cdot 0,7 = 0,01508 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y4} &= 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,126 \cdot 0,7 = 0,01508 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y5} &= 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,0176 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y6} &= 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,084 \cdot 0,7 = 0,01005 \text{ кН}\cdot\text{м} \end{aligned}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\begin{aligned} M_{y1} &= 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,01065 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y2} &= 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,14 \cdot 0,7 = 0,01676 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y3} &= 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,127 \cdot 0,7 = 0,0152 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y4} &= 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,127 \cdot 0,7 = 0,0152 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y5} &= 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,14 \cdot 0,7 = 0,01676 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y6} &= 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,01065 \text{ кН}\cdot\text{м} \end{aligned}$$

4.2.3 [ВВГ] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,01389}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01005}{0,157} \cdot 1000 = 113,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01389}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0176}{0,157} \cdot 1000 = 161,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01389}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01508}{0,157} \cdot 1000 = 145,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01389}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01508}{0,157} \cdot 1000 = 145,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01389}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0176}{0,157} \cdot 1000 = 161,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01389}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01005}{0,157} \cdot 1000 = 113,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,01389}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01065}{0,157} \cdot 1000 = 117,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01389}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01676}{0,157} \cdot 1000 = 156 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01389}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0152}{0,157} \cdot 1000 = 146,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01389}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0152}{0,157} \cdot 1000 = 146,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01389}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01676}{0,157} \cdot 1000 = 156 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01389}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01065}{0,157} \cdot 1000 = 117,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано	

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

4.2.4 [ВВГ] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,01389}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01005}{0,157} \cdot 1000 = 93,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01389}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,0176}{0,157} \cdot 1000 = 141,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01389}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01508}{0,157} \cdot 1000 = 125,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01389}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01508}{0,157} \cdot 1000 = 125,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01389}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,0176}{0,157} \cdot 1000 = 141,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01389}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01005}{0,157} \cdot 1000 = 93,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,01389}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01065}{0,157} \cdot 1000 = 97,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01389}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01676}{0,157} \cdot 1000 = 136,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01389}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,0152}{0,157} \cdot 1000 = 126,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01389}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,0152}{0,157} \cdot 1000 = 126,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01389}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01676}{0,157} \cdot 1000 = 136,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01389}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01065}{0,157} \cdot 1000 = 97,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.5 [ВВГ] Определяем изгибающий момент на опоре от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,116 \cdot 0,7 = 0,01283 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,116 \cdot 0,7 = 0,01283 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.2.6 [ВВГ] Определяем изгибающий момент от положительного и отрицательного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,084 \cdot 0,7 = 0,00929 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,01626 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,126 \cdot 0,7 = 0,01394 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,126 \cdot 0,7 = 0,01394 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,01626 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,084 \cdot 0,7 = 0,00929 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,00984 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,14 \cdot 0,7 = 0,01548 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,127 \cdot 0,7 = 0,01405 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,127 \cdot 0,7 = 0,01405 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,14 \cdot 0,7 = 0,01548 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,00984 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.2.7 [ВВГ] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00929}{0,157} \cdot 1000 = 104,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01626}{0,157} \cdot 1000 = 149,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01394}{0,157} \cdot 1000 = 134,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01394}{0,157} \cdot 1000 = 134,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01626}{0,157} \cdot 1000 = 149,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00929}{0,157} \cdot 1000 = 104,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00984}{0,157} \cdot 1000 = 108,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01548}{0,157} \cdot 1000 = 144,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01405}{0,157} \cdot 1000 = 135 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01405}{0,157} \cdot 1000 = 135 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01548}{0,157} \cdot 1000 = 144,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00984}{0,157} \cdot 1000 = 108,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

4.2.8 [ВВГ] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00929}{0,492} \cdot 1000 = 64,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01626}{0,492} \cdot 1000 = 78,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01394}{0,492} \cdot 1000 = 73,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01394}{0,492} \cdot 1000 = 73,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01626}{0,492} \cdot 1000 = 78,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00929}{0,492} \cdot 1000 = 64,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00984}{0,492} \cdot 1000 = 65,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01548}{0,492} \cdot 1000 = 77 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01405}{0,492} \cdot 1000 = 74,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01405}{0,492} \cdot 1000 = 74,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01548}{0,492} \cdot 1000 = 77 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01283}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00984}{0,492} \cdot 1000 = 65,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.9 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от отрицательного давления ветра:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,116 \cdot 0,7 = 0,00909 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,116 \cdot 0,7 = 0,00909 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Определение прогиба:

Проверка по справочнику проектировщика

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

						Расчёт по несущей способности 35	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$f_z = \frac{0,116 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,322 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,00909 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,322} \cdot 10 = 0,05 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,116 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,322 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,00909 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,322} \cdot 10 = 0,05 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

4.2.10 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от положительного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,116 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,322 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,00909 \cdot 70^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,322} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,116 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,322 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,00909 \cdot 70^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,322} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

4.2.11 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от отрицательной горизонтальной нагрузки:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\begin{aligned} M_{y1} &= 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,084 \cdot 0,7 = 0,00659 \text{ кН·м} \\ M_{y2} &= 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,01152 \text{ кН·м} \\ M_{y3} &= 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,126 \cdot 0,7 = 0,00988 \text{ кН·м} \\ M_{y4} &= 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,126 \cdot 0,7 = 0,00988 \text{ кН·м} \\ M_{y5} &= 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,01152 \text{ кН·м} \\ M_{y6} &= 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,084 \cdot 0,7 = 0,00659 \text{ кН·м} \end{aligned}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\begin{aligned} M_{y1} &= 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,00698 \text{ кН·м} \\ M_{y2} &= 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,14 \cdot 0,7 = 0,01098 \text{ кН·м} \\ M_{y3} &= 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,127 \cdot 0,7 = 0,00996 \text{ кН·м} \\ M_{y4} &= 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,127 \cdot 0,7 = 0,00996 \text{ кН·м} \\ M_{y5} &= 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,14 \cdot 0,7 = 0,01098 \text{ кН·м} \\ M_{y6} &= 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,00698 \text{ кН·м} \end{aligned}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{y1} = \frac{0,084 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00659 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,07 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,147 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01152 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,126 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00988 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,11 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

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

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

$$f_{y4} = \frac{0,126 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00988 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,11 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,147 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01152 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,084 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00659 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,07 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,089 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00698 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,14 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01098 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,127 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00996 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,11 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,127 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00996 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,11 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,14 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01098 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,089 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00698 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

4.2.12 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от положительной горизонтальной нагрузки:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,084 \cdot 0,7 = 0,00659 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,01152 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,126 \cdot 0,7 = 0,00988 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,126 \cdot 0,7 = 0,00988 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,01152 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,084 \cdot 0,7 = 0,00659 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,00698 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,14 \cdot 0,7 = 0,01098 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,127 \cdot 0,7 = 0,00996 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,127 \cdot 0,7 = 0,00996 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,14 \cdot 0,7 = 0,01098 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,00698 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

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

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

$$f_{y1} = \frac{0,084 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00659 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,07 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,147 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01152 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,126 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00988 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,11 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,126 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00988 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,11 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,147 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01152 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,084 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00659 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,07 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,089 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00698 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,14 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01098 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,127 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00996 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,11 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,127 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00996 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,11 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,14 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01098 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,089 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00698 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

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

5. Расчет соединения горизонтального профиля с вертикальным профилем

Тип крепления: Заклепка 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 совместное действие среза от вертикальной нагрузки и разрыва от горизонтальной нагрузки:

$$\sqrt{\left(\frac{N_z \cdot \gamma_m}{n_z \cdot N_{nrs}}\right)^2 + \left(\frac{N_y \cdot \gamma_m}{n_z \cdot N_{nrt}}\right)^2} \leq 1$$

Расчёт по несущей способности

38

Лист

Изм. Кол.уч. Лист №Док. Подпись Дата

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

где: Nz – вертикальная нагрузка на соединение, кН

Ny – горизонтальная нагрузка на соединение, кН

пз – количество заклепок, шт

γт – коэффициент надёжности соединения

Nnrs – расчётное усилие на срез, кН

Nnrt – расчётное усилие на растяжение, кН

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,139 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,049 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,245 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,076 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,21 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,066 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,21 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,066 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,245 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,076 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,139 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,049 \leq 1$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,148 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,051 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,234 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,073 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,212 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,067 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,212 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,067 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,234 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,073 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,148 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,051 \leq 1$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата

Расчёт по несущей способности

5.1.2 [ВВ] Расчет на смятие от вертикальной нагрузки:

$$\frac{N_z}{n_z \cdot d \cdot t} \cdot 1000 \leq R_{gr}, \text{ МПа}$$

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

t – толщина стенки направляющей, мм

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

$$\frac{0,08}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 8,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

5.2.1 [ВВГ] Расчет на совместное действие среза от вертикальной нагрузки и разрыва от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,084 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,049 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,147 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,06 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,126 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,056 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,126 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,056 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,147 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,06 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,084 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,049 \leq 1$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,089 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,05 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,14 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,059 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,127 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,056 \leq 1$$

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

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

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,127 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,056 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,14 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,059 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,089 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,05 \leq 1$$

5.2.2 [BBГ] Расчет на смятие от вертикальной нагрузки:

$$\frac{0,116}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 12,1 \leq 295 \text{ МПа}$$

Вывод: Соединение горизонтального профиля с вертикальным профилем отвечает требованиям прочности.

6. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:

6.1 Расчет реакций при сочетании Вес + Ветер (далее [BB]):

6.1.1 [BB] Реакции от вертикальной нагрузки:

$$N_z = P_z / l_{xn} \cdot l_x + P_{zn} \cdot l_x \cdot \gamma_f, \text{ кН}$$

где: P_z – вертикальная нагрузка на горизонтальный профиль, кН

l_{xn} – шаг вертикального профиля по горизонтали, м

l_x – шаг кронштейнов по горизонтали, м

P_{zn} – вес одного погонного метра горизонтального профиля, кН/м

$$N_z = 0,08 / 0,65 \cdot 0,7 + 0,007 \cdot 0,7 \cdot 1,05 = 0,091 \text{ кН}$$

6.1.2 [BB] Расчётная нагрузка от давления ветра определяется по формуле (2):

$$w_p = w_0 \cdot k(z_e) \cdot (1 + \zeta(z)) \cdot c_p \cdot \gamma_f, \text{ кН/м}^2$$

$$w_p = 0,23 \cdot 0,71 \cdot (1 + 1,02) \cdot 1,2 \cdot 1,4 = 0,554 \text{ кН/м}^2$$

6.1.3 [BB] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Для кронштейна между пролетом и консолью вертикального профиля:

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

Для кронштейна между пролетами вертикального профиля:

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,554 \cdot 0,7 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,15 \text{ кН}$$

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

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

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,263 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,227 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,227 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,263 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,554 \cdot 0,7 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,15 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,554 \cdot 0,7 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,159 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,252 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,229 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,229 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,252 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,554 \cdot 0,7 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,159 \text{ кН}$$

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

6.2.1 [ВВГ] Реакции от вертикальной нагрузки:

$$N_z = 0,116 / 0,65 \cdot 0,7 + 0,007 \cdot 0,7 \cdot 1,05 = 0,13 \text{ кН}$$

6.2.2 [ВВГ] Расчётная нагрузка от давления ветра:

$$q_{вр} = 0,6 \cdot w_p = 0,6 \cdot 0,554 = 0,333 \text{ кН/м}^2$$

где: w_p – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м² (см. пункт 6.12 [ВВ]).

6.2.3 [ВВГ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,333 \cdot 0,7 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,09 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,158 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,136 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,136 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,158 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,333 \cdot 0,7 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,09 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,333 \cdot 0,7 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,096 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,151 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,137 \text{ кН}$$

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

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

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,137 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,151 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,333 \cdot 0,7 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,096 \text{ кН}$$

7. Расчет кронштейна "КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли"

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

Кронштейн	A, см ²	I _x , см ⁴	W _x , см ³	W _y , см ³	W _п , см ³	E, МПа	R _y , МПа
КРУ-2р гор.	2,24	0,21	0,31	3,39	0,31	210000	225

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

7.1.1 [ВВ] Расчет консоли кронштейна:

Изгибающий момент в консоли кронштейна от вертикальной нагрузки:

$$M_x = N_{zk} \cdot e_y = 0,091 \cdot 0,25 = 0,02275 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

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

$$\sigma = \frac{0,02275}{0,31} \cdot 1000 = 73,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma = \frac{0,02275}{0,31} \cdot 1000 = 73,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Изгибающий момент в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$M_{x1} = N_{zk1} \cdot e_y - N_{yk1} \cdot l_z = 0,091 \cdot 0,25 - 0,15 \cdot 0,02 = 0,01975 \text{ кН·м}$$

$$M_{x2} = N_{zk2} \cdot e_y - N_{yk2} \cdot l_z = 0,091 \cdot 0,25 - 0,263 \cdot 0,02 = 0,01749 \text{ кН·м}$$

$$M_{x3} = N_{zk3} \cdot e_y - N_{yk3} \cdot l_z = 0,091 \cdot 0,25 - 0,227 \cdot 0,02 = 0,01821 \text{ кН·м}$$

$$M_{x4} = N_{zk4} \cdot e_y - N_{yk4} \cdot l_z = 0,091 \cdot 0,25 - 0,227 \cdot 0,02 = 0,01821 \text{ кН·м}$$

$$M_{x5} = N_{zk5} \cdot e_y - N_{yk5} \cdot l_z = 0,091 \cdot 0,25 - 0,263 \cdot 0,02 = 0,01749 \text{ кН·м}$$

$$M_{x6} = N_{zk6} \cdot e_y - N_{yk6} \cdot l_z = 0,091 \cdot 0,25 - 0,15 \cdot 0,02 = 0,01975 \text{ кН·м}$$

Напряжения в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки определяют по формуле:

Расчёт по несущей способности

43

Лист

Изм. Кол.уч. Лист №Док. Подпись Дата

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

$$\sigma_1 = \frac{0,01975}{0,31} \cdot 1000 = 63,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01749}{0,31} \cdot 1000 = 56,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01821}{0,31} \cdot 1000 = 58,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01821}{0,31} \cdot 1000 = 58,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01749}{0,31} \cdot 1000 = 56,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01975}{0,31} \cdot 1000 = 63,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Изгибающий момент в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$M_{x1} = N_{zk1} \cdot e_y - N_{yk1} \cdot l_z = 0,091 \cdot 0,25 - 0,159 \cdot 0,02 = 0,01957 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x2} = N_{zk2} \cdot e_y - N_{yk2} \cdot l_z = 0,091 \cdot 0,25 - 0,252 \cdot 0,02 = 0,01771 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x3} = N_{zk3} \cdot e_y - N_{yk3} \cdot l_z = 0,091 \cdot 0,25 - 0,229 \cdot 0,02 = 0,01817 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x4} = N_{zk4} \cdot e_y - N_{yk4} \cdot l_z = 0,091 \cdot 0,25 - 0,229 \cdot 0,02 = 0,01817 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x5} = N_{zk5} \cdot e_y - N_{yk5} \cdot l_z = 0,091 \cdot 0,25 - 0,252 \cdot 0,02 = 0,01771 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x6} = N_{zk6} \cdot e_y - N_{yk6} \cdot l_z = 0,091 \cdot 0,25 - 0,159 \cdot 0,02 = 0,01957 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки определяют по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{0,01957}{0,31} \cdot 1000 = 63,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01771}{0,31} \cdot 1000 = 57,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01817}{0,31} \cdot 1000 = 58,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01817}{0,31} \cdot 1000 = 58,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01771}{0,31} \cdot 1000 = 57,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01957}{0,31} \cdot 1000 = 63,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.1.2 [ВВ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = N_{zk} \cdot e_y, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

$$\sigma_3 = \frac{0,02138}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,091}{2,24} = 69,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,02138}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,091}{2,24} = 69,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,02124}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,091}{2,24} = 68,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,0218}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,091}{2,24} = 70,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.1.4 [ВВ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки на стыке пяты и консоли кронштейна:

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

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

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

$$M_z = 0,15 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_z = 0,159 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

Проверка по методу конечных элементов

7.1.5 [ВВ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

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

где: e_y – Вылет, см

$$f_z = \frac{0,091 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 0,21} = 0,107 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,091 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 0,21} = 0,107 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

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

7.2.1 [ВВГ] Расчет консоли кронштейна:

Изгибающий момент в консоли кронштейна от вертикальной нагрузки:

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

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

$$M_x = N_{zk} \cdot e_y = 0,13 \cdot 0,25 = 0,0325 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma = \frac{0,0325}{0,31} \cdot 1000 = 104,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma = \frac{0,0325}{0,31} \cdot 1000 = 104,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Изгибающий момент в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$M_{x1} = N_{zk1} \cdot e_y - N_{yk1} \cdot l_z = 0,13 \cdot 0,25 - 0,09 \cdot 0,02 = 0,0307 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x2} = N_{zk2} \cdot e_y - N_{yk2} \cdot l_z = 0,13 \cdot 0,25 - 0,158 \cdot 0,02 = 0,02934 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x3} = N_{zk3} \cdot e_y - N_{yk3} \cdot l_z = 0,13 \cdot 0,25 - 0,136 \cdot 0,02 = 0,02978 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x4} = N_{zk4} \cdot e_y - N_{yk4} \cdot l_z = 0,13 \cdot 0,25 - 0,136 \cdot 0,02 = 0,02978 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x5} = N_{zk5} \cdot e_y - N_{yk5} \cdot l_z = 0,13 \cdot 0,25 - 0,158 \cdot 0,02 = 0,02934 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x6} = N_{zk6} \cdot e_y - N_{yk6} \cdot l_z = 0,13 \cdot 0,25 - 0,09 \cdot 0,02 = 0,0307 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки определяют по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{0,0307}{0,31} \cdot 1000 = 99 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,02934}{0,31} \cdot 1000 = 94,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,02978}{0,31} \cdot 1000 = 96,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,02978}{0,31} \cdot 1000 = 96,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,02934}{0,31} \cdot 1000 = 94,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,0307}{0,31} \cdot 1000 = 99 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Изгибающий момент в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$M_{x1} = N_{zk1} \cdot e_y - N_{yk1} \cdot l_z = 0,13 \cdot 0,25 - 0,096 \cdot 0,02 = 0,03058 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x2} = N_{zk2} \cdot e_y - N_{yk2} \cdot l_z = 0,13 \cdot 0,25 - 0,151 \cdot 0,02 = 0,02948 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x3} = N_{zk3} \cdot e_y - N_{yk3} \cdot l_z = 0,13 \cdot 0,25 - 0,137 \cdot 0,02 = 0,02976 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x4} = N_{zk4} \cdot e_y - N_{yk4} \cdot l_z = 0,13 \cdot 0,25 - 0,137 \cdot 0,02 = 0,02976 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x5} = N_{zk5} \cdot e_y - N_{yk5} \cdot l_z = 0,13 \cdot 0,25 - 0,151 \cdot 0,02 = 0,02948 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

$$M_{x6} = N_{xk6} \cdot e_y - N_{yk6} \cdot l_z = 0,13 \cdot 0,25 - 0,096 \cdot 0,02 = 0,03058 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки определяют по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{0,03058}{0,31} \cdot 1000 = 98,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,02948}{0,31} \cdot 1000 = 95,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,02976}{0,31} \cdot 1000 = 96 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,02976}{0,31} \cdot 1000 = 96 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,02948}{0,31} \cdot 1000 = 95,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,03058}{0,31} \cdot 1000 = 98,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.2.2 [ВВГ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_z = 0,13 \cdot 0,25 = 0,0325 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_z = 0,13 \cdot 0,25 = 0,0325 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{0,0325}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,13}{2,24} = 105,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{0,0325}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,13}{2,24} = 105,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.2.3 [ВВГ] Расчет напряжения от вертикальной и горизонтальной нагрузки в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$M_{z1} = 0,13 \cdot 0,25 - 0,096 \cdot 0,006 = 0,03192 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,13 \cdot 0,25 - 0,151 \cdot 0,006 = 0,03159 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

$$Mz3 = 0,13 \cdot 0,25 - 0,137 \cdot 0,006 = 0,03168 \text{ кН·м}$$

$$Mz4 = 0,13 \cdot 0,25 - 0,137 \cdot 0,006 = 0,03168 \text{ кН·м}$$

$$Mz5 = 0,13 \cdot 0,25 - 0,151 \cdot 0,006 = 0,03159 \text{ кН·м}$$

$$Mz6 = 0,13 \cdot 0,25 - 0,096 \cdot 0,006 = 0,03192 \text{ кН·м}$$

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,03192}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,13}{2,24} = 103,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,03159}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,13}{2,24} = 102,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,03168}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,13}{2,24} = 102,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,03168}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,13}{2,24} = 102,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,03159}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,13}{2,24} = 102,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,03192}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,13}{2,24} = 103,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.2.4 [ВВГ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки на стыке пяты и консоли кронштейна:

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$Mz = 0,09 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mz = 0,096 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН·м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

Проверка по методу конечных элементов

7.2.5 [ВВГ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$fz = \frac{0,13 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 0,21} = 0,154 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$fz = \frac{0,13 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 0,21} = 0,154 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Вывод: Кронштейн КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли отвечает требованиям прочности.

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

8. Расчет соединения кронштейна с профилем

Тип крепления: Заклепка 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.

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

8.1.1 [ВВ] Расчет на срез от горизонтальной нагрузки:

$$N_s = \frac{N_y}{n_z} \cdot \gamma_m \leq N_{nrs}, \text{ кН}$$

где: 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

$$N_{s1} = \frac{0,15}{2} \cdot 1,25 = 0,094 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{0,263}{2} \cdot 1,25 = 0,164 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{0,227}{2} \cdot 1,25 = 0,142 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{0,227}{2} \cdot 1,25 = 0,142 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{0,263}{2} \cdot 1,25 = 0,164 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s6} = \frac{0,15}{2} \cdot 1,25 = 0,094 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{s1} = \frac{0,159}{2} \cdot 1,25 = 0,099 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{0,252}{2} \cdot 1,25 = 0,158 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{0,229}{2} \cdot 1,25 = 0,143 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{0,229}{2} \cdot 1,25 = 0,143 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{0,252}{2} \cdot 1,25 = 0,158 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Согласовано					
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №			
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата

Расчёт по несущей способности

50

Лист

$$N_{s6} = \frac{0,159}{2} \cdot 1,25 = 0,099 \leq 1,7 \text{ кН}$$

8.1.2 [ВВ] Расчет на смятие от горизонтальной нагрузки:

$$\frac{N_y}{n_z \cdot d \cdot t} \cdot 1000 \leq R_{гр}, \text{ МПа}$$

где: d – диаметр отверстия для заклёпки (самореза), мм
t – толщина стенки направляющей, мм
R_{гр} – расчётное сопротивление смятию элементов, соединяемых заклёпками, МПа

Проверка по справочнику проектировщика

$$\frac{0,15}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 15,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,263}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 27,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,227}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 23,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,227}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 23,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,263}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 27,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,15}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 15,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{0,159}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,252}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 26,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,229}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 23,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,229}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 23,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,252}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 26,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,159}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

8.2.1 [ВВГ] Расчет на срез от горизонтальной 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		

$$N_{s1} = \frac{0,09}{2} \cdot 1,25 = 0,056 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{0,158}{2} \cdot 1,25 = 0,099 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{0,136}{2} \cdot 1,25 = 0,085 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{0,136}{2} \cdot 1,25 = 0,085 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{0,158}{2} \cdot 1,25 = 0,099 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s6} = \frac{0,09}{2} \cdot 1,25 = 0,056 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{s1} = \frac{0,096}{2} \cdot 1,25 = 0,06 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{0,151}{2} \cdot 1,25 = 0,094 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{0,137}{2} \cdot 1,25 = 0,086 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{0,137}{2} \cdot 1,25 = 0,086 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{0,151}{2} \cdot 1,25 = 0,094 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s6} = \frac{0,096}{2} \cdot 1,25 = 0,06 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$\frac{0,09}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 9,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,158}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,136}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 14,2 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,136}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 14,2 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,158}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,09}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 9,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{0,096}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 10 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

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

$$\frac{0,151}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 15,7 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,137}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 14,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,137}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 14,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,151}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 15,7 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,096}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 10 \leq 295 \text{ МПа}$$

Вывод: Соединение кронштейна с профилем отвечает требованиям прочности.

9. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания

Крепление в ячеистые блоки на один анкер в ближайшее к консоли кронштейна отверстие. .

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_a = \frac{M_x + N_y \cdot e_b}{b_z}$$

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

e_b – плечо ветровой нагрузки по оси Z, м

$$N_{a1} = \frac{0,02275 + 0,15 \cdot 0,06}{0,045} = 0,71 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,02275 + 0,263 \cdot 0,06}{0,045} = 0,86 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,02275 + 0,227 \cdot 0,06}{0,045} = 0,81 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,02275 + 0,227 \cdot 0,06}{0,045} = 0,81 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a5} = \frac{0,02275 + 0,263 \cdot 0,06}{0,045} = 0,86 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a6} = \frac{0,02275 + 0,15 \cdot 0,06}{0,045} = 0,71 \text{ 0 кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{a1} = \frac{0,02275 + 0,159 \cdot 0,06}{0,045} = 0,72 \text{ 0 кН}$$

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

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

$$Na2 = \frac{0,02275 + 0,252 \cdot 0,06}{0,045} = 0,84 \text{ 0 кН}$$

$$Na3 = \frac{0,02275 + 0,229 \cdot 0,06}{0,045} = 0,81 \text{ 0 кН}$$

$$Na4 = \frac{0,02275 + 0,229 \cdot 0,06}{0,045} = 0,81 \text{ 0 кН}$$

$$Na5 = \frac{0,02275 + 0,252 \cdot 0,06}{0,045} = 0,84 \text{ 0 кН}$$

$$Na6 = \frac{0,02275 + 0,159 \cdot 0,06}{0,045} = 0,72 \text{ 0 кН}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$Na1 = \frac{0,0325 + 0,09 \cdot 0,06}{0,045} = 0,84 \text{ 0 кН}$$

$$Na2 = \frac{0,0325 + 0,158 \cdot 0,06}{0,045} = 0,93 \text{ 0 кН}$$

$$Na3 = \frac{0,0325 + 0,136 \cdot 0,06}{0,045} = 0,9 \text{ 0 кН}$$

$$Na4 = \frac{0,0325 + 0,136 \cdot 0,06}{0,045} = 0,9 \text{ 0 кН}$$

$$Na5 = \frac{0,0325 + 0,158 \cdot 0,06}{0,045} = 0,93 \text{ 0 кН}$$

$$Na6 = \frac{0,0325 + 0,09 \cdot 0,06}{0,045} = 0,84 \text{ 0 кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Na1 = \frac{0,0325 + 0,096 \cdot 0,06}{0,045} = 0,85 \text{ 0 кН}$$

$$Na2 = \frac{0,0325 + 0,151 \cdot 0,06}{0,045} = 0,92 \text{ 0 кН}$$

$$Na3 = \frac{0,0325 + 0,137 \cdot 0,06}{0,045} = 0,9 \text{ 0 кН}$$

$$Na4 = \frac{0,0325 + 0,137 \cdot 0,06}{0,045} = 0,9 \text{ 0 кН}$$

$$Na5 = \frac{0,0325 + 0,151 \cdot 0,06}{0,045} = 0,92 \text{ 0 кН}$$

$$Na6 = \frac{0,0325 + 0,096 \cdot 0,06}{0,045} = 0,85 \text{ 0 кН}$$

Вывод: Допустимое усилие анкера на вырыв при креплении кронштейна КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли в ячеистые блоки на один анкер в ближайшее к консоли кронштейна отверстие должно быть не менее 0,93 кН.

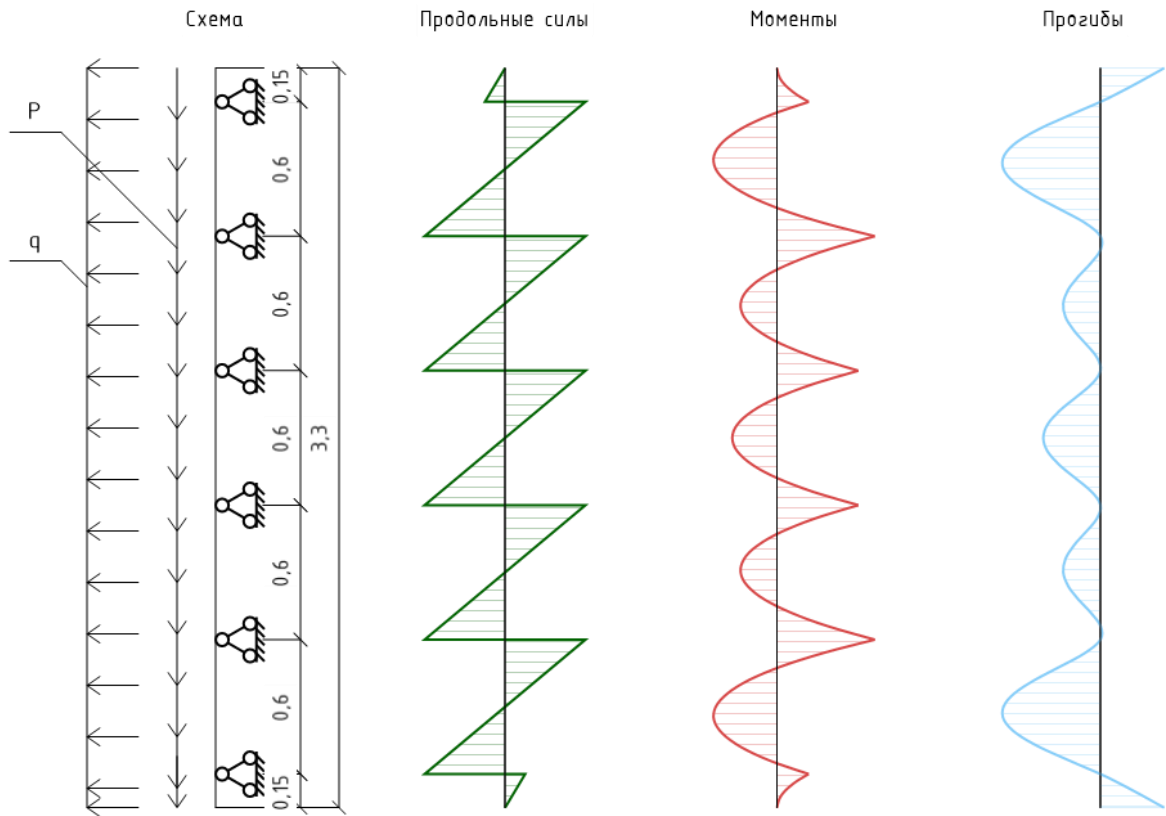
Согласовано					
Взам. Инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

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

Расчет прочности монтажной схемы №2

1. Исходные данные:

- 1. Район строительства:
- 2. Ветровой район: I – 0,23 кН Тип местности: B
- 3. Ветровая зона: Угловая
- 4. Высота применения: 13 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: ПО-80х20х1,2
- 10. Шаг вертикального профиля по горизонтали: 0,65 м
- 11. Схема вертикального профиля: пятипролетная балка ПО-80х20х1,2_6КРУ-2р[↔1к] 0,15|0,6+0,6+0,6+0,6+0,6|0,15
- 12. Вылет: 0,25 м
- 13. Схема горизонтального профиля: 6ГО-40х40х1,2(∞х0,4)
- 14. Несущие кронштейны:
-КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли с креплением на один анкер в ближайшее к консоли кронштейна отверстие в ячеистые блоки..



2. Расчет вертикального профиля “ПО-80х20х1,2”

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

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

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		
						56	

Профиль	Вес, кг/м	Редуцируемое сечение	A, см ²	Ix, см ⁴	Wx, см ³	E, МПа	Ry, МПа
ПО-80x20x1,2	1,44	Широкая полка	1,52	1,09	0,872	210000	225
		Узкие полки	1,75	1,12	0,896		

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

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

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

$$Pz \text{ м.п.} = 0,167 \cdot 1,2 \cdot 0,65 + 0,014 \cdot 1,05 = 0,145 \text{ кН/м}$$

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.

$$Nza = Pz \text{ м.п.} \cdot lza = 0,145 \cdot 0,15 = 0,022 \text{ кН}$$

$$Nzl = Pz \text{ м.п.} \cdot lzl = 0,145 \cdot 0,6 = 0,087 \text{ кН}$$

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):

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

$$w_p \text{ м.п.} = 0,23 \cdot 0,71 \cdot (1 + 1,02) \cdot 2,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1 = 0,66 \text{ кН/м}$$

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

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,66 \cdot 0,15^2 = 0,007 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,105 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,025 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,105 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,025 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,079 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,019 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,105 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,025 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,105 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,025 \text{ кН·м}$$

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

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

$$M_{\alpha 2} = 0,5 \cdot 0,66 \cdot 0,15^2 = 0,007 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{\alpha 1} = 0,502 \cdot 0,66 \cdot 0,15^2 = 0,007 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 11} = 0,097 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,023 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 12} = 0,097 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,023 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 13} = 0,081 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,019 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 14} = 0,097 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,023 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 15} = 0,097 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,023 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 2} = 0,502 \cdot 0,66 \cdot 0,15^2 = 0,007 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{\alpha 1} = \frac{0,007}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 8,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,023}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 26,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,023}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 26,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} = \frac{0,019}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 22,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{14} = \frac{0,023}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 26,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{15} = \frac{0,023}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 26,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\alpha 2} = \frac{0,007}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 8,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{\alpha 1} = \frac{0,007}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 8,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,023}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 26,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,023}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 26,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} = \frac{0,019}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 22,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{14} = \frac{0,023}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 26,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	58	

$$\sigma_{15} = \frac{0,023}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 26,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,007}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 8,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$\text{вр м.п.} = 0,23 \cdot 0,71 \cdot (1 + 1,02) \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1 = 0,36 \text{ кН/м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,36 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,105 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,105 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,079 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,105 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,105 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,36 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa1} = 0,502 \cdot 0,36 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,097 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,097 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,081 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,097 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,097 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,502 \cdot 0,36 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

2.18 [ВВ] Нормальные напряжения на опоре во внутреннем сечении направляющей (узкие полки):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,004}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 4,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,013}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 15 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,013}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 15 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 11,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,013}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 15 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,013}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 15 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{a2} = \frac{0,004}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 4,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,004}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 4,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,013}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 15 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,013}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 15 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 11,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,013}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 15 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,013}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 15 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,004}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 4,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.9 [BB] Расчётная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра равна 0,66 кН/м (см. пункт 2.13 [BB]).

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

Проверка по справочнику проектировщика

М_{хa1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,078 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,019 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,033 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,046 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН·м}$$

$$M_{x14} = 0,033 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{x15} = 0,078 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,019 \text{ кН·м}$$

М_{хa2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

М_{хa1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,062 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,036 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,044 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН·м}$$

$$M_{x14} = 0,036 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{x15} = 0,062 \cdot 0,66 \cdot 0,6^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

М_{хa2} – отсутствует

2.1.11 [BB] Нормальные напряжения в пролёте во внутреннем сечении направляющей (узкие полки):

Проверка по справочнику проектировщика

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

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

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,015}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 17,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,009}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 10,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 11,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,009}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 10,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,015}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 17,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,015}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 17,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,009}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 10,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,01}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 11,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,009}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 10,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,015}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,75} \cdot 10 = 17,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,75} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.12 [BB] Расчётная погонная нагрузка от положительного давления ветра равна 0,36 кН/м (см. пункт 2.16 [BB]).

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

Проверка по справочнику проектировщика

M_{xa1} – отсутствует

$$M_{xl1} = 0,078 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xl2} = 0,033 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xl3} = 0,046 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xl4} = 0,033 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xl5} = 0,078 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,01 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

M_{xa2} – отсутствует

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

M_{x1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,062 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,036 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,044 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,036 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x15} = 0,062 \cdot 0,36 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

M_{x2} – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,008}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 6,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 7,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,005}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 6,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,008}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,008}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 6,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 7,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,005}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 6,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,008}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,087}{1,52} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,022}{1,52} \cdot 10 = 0,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

2..115 [ВВ] Нормативная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра определяется по формуле:

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

$$w_{н. м.п.} = \frac{0,66}{1,4} = 0,472 \text{ кН/м}$$

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.

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,472 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,025 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,472 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,025 \cdot 100 + 0,019 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,472 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,025 \cdot 100 + 0,025 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,472 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,019 \cdot 100 + 0,025 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,472 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,025 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

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

где: k – коэффициент, полученный методом конечных элементов

l – длина пролета, см

$$f_a = 0,83992 \cdot \frac{0,472 \cdot 15^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_l = 0,005 \cdot \frac{0,472 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

2..117 [ВВ] Нормативная погонная нагрузка от положительного давления ветра определяется по формуле:

$$w_{н. м.п.} = \frac{0,36}{1,4} = 0,257 \text{ кН/м}$$

2.1.18 [ВВ] Расчет прогиба профиля:

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100 + 0,01 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100 + 0,014 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,01 \cdot 100 + 0,014 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,83992 \cdot \frac{0,257 \cdot 15^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_l = 0,005 \cdot \frac{0,257 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

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

2.2.1 [ВВГ] Расчётная погонная нагрузка от веса облицовки и профиля равна 0,145 кН/м (см. пункт 2.11 [ВВ]).

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

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

$$i \text{ м.п.} = 2 \cdot 5 \cdot 1,06 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot 1,8 \cdot 0,65 / 1000 = 0,066 \text{ кН/м}$$

2.2.3 [ВВГ] Суммарная вертикальная расчётная погонная нагрузка:

$$q_{zp} \text{ м.п.} = P_{zp} \text{ м.п.} + i_{p} \text{ м.п.} = 0,145 + 0,066 = 0,211 \text{ кН/м}$$

2.2.4 [ВВГ] Продольные усилия в профиле:

$$N_{za} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{za} = 0,211 \cdot 0,15 = 0,032 \text{ кН}$$

$$N_{zl} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{zl} = 0,211 \cdot 0,6 = 0,127 \text{ кН}$$

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

$$q_{wp} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,66 = 0,396 \text{ кН/м}$$

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

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,396 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,105 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,105 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

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

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

$$M_{x13} = 0,079 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,105 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,015 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x15} = 0,105 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,015 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,396 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa1} = 0,502 \cdot 0,396 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x11} = 0,097 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,097 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,081 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,012 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,097 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x15} = 0,097 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xa2} = 0,502 \cdot 0,396 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,004}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 4,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,014}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,014}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,012}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 14,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,014}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,014}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,004}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 4,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,004}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 4,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,014}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,014}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,012}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 14,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,014}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	65	

$$\sigma_{15} = \frac{0,014}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,004}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 4,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{wp} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,36 = 0,216 \text{ кН/м}$$

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

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,216 \cdot 0,15^2 = 0,002 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,105 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,105 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,079 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,105 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,105 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,216 \cdot 0,15^2 = 0,002 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa1} = 0,502 \cdot 0,216 \cdot 0,15^2 = 0,002 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,097 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,097 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,081 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,097 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,097 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,502 \cdot 0,216 \cdot 0,15^2 = 0,002 \text{ кН·м}$$

2.2.10 [ВВГ] Нормальные напряжения на опоре во внутреннем сечении направляющей (узкие полки):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,002}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 2,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 7,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{a2} = \frac{0,002}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 2,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,002}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 2,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 7,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,008}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 9,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,002}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 2,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{вр \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot w_{р \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot 0,66 = 0,396 \text{ кН/м}$$

где: $w_{р \text{ м.п.}}$ – 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_{x1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,078 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,033 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,046 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,007 \text{ кН·м}$$

$$M_{x14} = 0,033 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{x15} = 0,078 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН·м}$$

M_{x2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

M_{x1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,062 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,036 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,044 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{x14} = 0,036 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{x15} = 0,062 \cdot 0,396 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

M_{x2} – отсутствует

2.2.13 [ВВГ] Нормальные напряжения в пролёте во внутреннем сечении направляющей (узкие полки):

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,009}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 10,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 6,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 7,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,005}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 6,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,009}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 10,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,009}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 10,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 6,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 7,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,005}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 6,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,009}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,75} \cdot 10 = 10,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,896} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,75} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{вр \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot w_{р \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot 0,36 = 0,216 \text{ кН/м}$$

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_{xa1} – отсутствует

$$M_{xl1} = 0,078 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,033 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,046 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

$$M_{x14} = 0,033 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x15} = 0,078 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

M_{x2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

M_{x1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,062 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,036 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,044 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,036 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x15} = 0,062 \cdot 0,216 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

M_{x2} – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,005}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 6,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,003}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 4,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,003}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 4,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 4,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,005}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 6,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,005}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 6,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,003}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 4,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,003}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 4,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 4,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{15} = \frac{0,005}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,127}{1,52} \cdot 10 = 6,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,872} \cdot 1000 + \frac{0,032}{1,52} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{\text{ун м.п.}} = 0,6 \cdot \text{wn м.п.} = 0,6 \cdot 0,472 = 0,283 \text{ кН/м}$$

где: wn 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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,283 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,015 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,283 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,015 \cdot 100 + 0,011 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,283 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,015 \cdot 100 + 0,015 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,283 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,011 \cdot 100 + 0,015 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,283 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,015 \cdot 100}{16 \cdot 1,12 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,83992 \cdot \frac{0,283 \cdot 15^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_l = 0,005 \cdot \frac{0,283 \cdot 60^4}{1,12 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

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

$$q_{\text{ун м.п.}} = 0,6 \cdot \text{wn м.п.} = 0,6 \cdot 0,257 = 0,154 \text{ кН/м}$$

где: wn 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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,008 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,008 \cdot 100 + 0,006 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,008 \cdot 100 + 0,008 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,006 \cdot 100 + 0,008 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,008 \cdot 100}{16 \cdot 1,09 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,83992 \cdot \frac{0,154 \cdot 15^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_l = 0,005 \cdot \frac{0,154 \cdot 60^4}{1,09 \cdot 210000 \cdot 10} = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Вывод: Направляющая ПО-80х20х1,2 отвечает требованиям прочности.

3. Расчет реакций, передающихся от вертикального профиля на горизонтальный профиль:

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

3.1.1 [ВВ] Расчет вертикальной нагрузки:

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

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

L_z – длина вертикального профиля, м;

пк – количество несущих кронштейнов.

$$N_z = P_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 6 = 0,145 \cdot 3,3 / 6 = 0,08 \text{ кН}$$

3.1.2 [ВВ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Для горизонтального профиля между пролетом и консолью вертикального профиля:

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

Для горизонтального профиля 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

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,66 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,255 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,66 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,448 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,66 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,386 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,66 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,386 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,66 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,448 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,66 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,255 \text{ кН}$$

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		

$$N_{y1} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,66 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,271 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,66 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,428 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,66 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,389 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,66 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,389 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,66 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,428 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,66 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,271 \text{ кН}$$

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

3.2.1 [ВВГ] Расчет вертикальной нагрузки:

$$N_z = q_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 6 = 0,211 \cdot 3,3 / 6 = 0,116 \text{ кН}$$

3.2.2 [ВВГ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,396 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,153 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,396 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,269 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,396 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,231 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,396 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,231 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,396 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,269 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,396 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,153 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,396 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,163 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,396 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,257 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,396 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,234 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,396 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,234 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,396 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,257 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,396 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,163 \text{ кН}$$

4. Расчет горизонтального профиля "ГО-40x40x1,2"

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

Профиль	Вес, кг/м	Редуцируемое сечение	A, см ²	I _x , см ⁴	I _y , см ⁴	W _x , см ³	W _y , см ³	E, МПа	R _y , МПа
ГО-40x40x1,2	0,75	Гор. полка	0,716	1,235	0,272	0,468	0,157	210000	225
		Верт.полка (как стенка)	0,807	0,634	1,372	0,282	0,492		

Расчёт по несущей способности

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

		Верхнее	0,716	1,235	0,272	0,468	0,157		
		Нижнее	0,807	0,634	1,372	0,282	0,492		

4..1 Расчёт при сочетании Вес + Ветер (далее [ВВ]):

4.1.1 [ВВ] Определяем изгибающий момент в пролёте от вертикальной нагрузки:

$$M_x = k \cdot N_z \cdot l, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: k – коэффициент по таблицам справочника проектировщика

l – длина пролёта горизонтального профиля, м

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,08 \cdot 0,4 = 0,00547 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,08 \cdot 0,4 = 0,00547 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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 пролётах, 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.

4.1.2 [ВВ] Расчётное положительное давление ветра определяют по формуле (2):

4..13 [ВВ] Расчётная нагрузка от давления ветра определяется по формуле (2):

$$w_p = w_0 \cdot k(z_e) \cdot (1 + \zeta(z)) \cdot c_p \cdot \gamma_f, \text{ кН/м}^2$$

$$w_p = 0,23 \cdot 0,71 \cdot (1 + 1,02) \cdot 2,2 \cdot 1,4 = 1,016 \text{ кН/м}^2$$

4.1.4 [ВВ] Определяем изгибающий момент от отрицательного давления ветра:

$$M_y = k \cdot N_y \cdot l, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: k – коэффициент по таблицам справочника проектировщика

l – длина пролёта горизонтального профиля, м

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,255 \cdot 0,4 = 0,01744 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,448 \cdot 0,4 = 0,03064 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,386 \cdot 0,4 = 0,0264 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,386 \cdot 0,4 = 0,0264 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,448 \cdot 0,4 = 0,03064 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,255 \cdot 0,4 = 0,01744 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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		

$$\begin{aligned} M_{y1} &= 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,271 \cdot 0,4 = 0,01854 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y2} &= 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,428 \cdot 0,4 = 0,02928 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y3} &= 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,389 \cdot 0,4 = 0,02661 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y4} &= 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,389 \cdot 0,4 = 0,02661 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y5} &= 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,428 \cdot 0,4 = 0,02928 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y6} &= 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,271 \cdot 0,4 = 0,01854 \text{ кН}\cdot\text{м} \end{aligned}$$

4.1.5 [ВВ] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} \cdot 1000 + \frac{M_y}{W_y} \cdot 1000 < R_y \cdot \gamma_s, \text{ МПа}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00547}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01744}{0,157} \cdot 1000 = 130,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00547}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,03064}{0,157} \cdot 1000 = 214,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00547}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0264}{0,157} \cdot 1000 = 187,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00547}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0264}{0,157} \cdot 1000 = 187,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00547}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,03064}{0,157} \cdot 1000 = 214,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00547}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01744}{0,157} \cdot 1000 = 130,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00547}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01854}{0,157} \cdot 1000 = 137,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00547}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02928}{0,157} \cdot 1000 = 205,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00547}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02661}{0,157} \cdot 1000 = 188,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00547}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02661}{0,157} \cdot 1000 = 188,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00547}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02928}{0,157} \cdot 1000 = 205,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00547}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01854}{0,157} \cdot 1000 = 137,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.6 [ВВ] Определяем изгибающий момент от положительного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,139 \cdot 0,4 = 0,00951 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,245 \cdot 0,4 = 0,01676 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,21 \cdot 0,4 = 0,01436 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,21 \cdot 0,4 = 0,01436 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,245 \cdot 0,4 = 0,01676 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,139 \cdot 0,4 = 0,00951 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,148 \cdot 0,4 = 0,01012 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,234 \cdot 0,4 = 0,01601 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,212 \cdot 0,4 = 0,0145 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,212 \cdot 0,4 = 0,0145 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,234 \cdot 0,4 = 0,01601 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,148 \cdot 0,4 = 0,01012 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.1.7 [ВВ] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00547}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00951}{0,157} \cdot 1000 = 72,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00547}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01676}{0,157} \cdot 1000 = 118,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00547}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01436}{0,157} \cdot 1000 = 103,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00547}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01436}{0,157} \cdot 1000 = 103,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00547}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01676}{0,157} \cdot 1000 = 118,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00547}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00951}{0,157} \cdot 1000 = 72,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00547}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01012}{0,157} \cdot 1000 = 76,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00547}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01601}{0,157} \cdot 1000 = 113,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00547}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,0145}{0,157} \cdot 1000 = 104 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00547}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,0145}{0,157} \cdot 1000 = 104 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00547}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01601}{0,157} \cdot 1000 = 113,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00547}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01012}{0,157} \cdot 1000 = 76,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

4.1.8 [BB] Определяем изгибающий момент на опоре от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,08 \cdot 0,4 = 0,00506 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,08 \cdot 0,4 = 0,00506 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.1.9 [BB] Определяем изгибающий момент от отрицательного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,255 \cdot 0,4 = 0,01612 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,448 \cdot 0,4 = 0,02831 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,386 \cdot 0,4 = 0,0244 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,386 \cdot 0,4 = 0,0244 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,448 \cdot 0,4 = 0,02831 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,255 \cdot 0,4 = 0,01612 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,271 \cdot 0,4 = 0,01713 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,428 \cdot 0,4 = 0,02705 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,389 \cdot 0,4 = 0,02458 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,389 \cdot 0,4 = 0,02458 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,428 \cdot 0,4 = 0,02705 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,271 \cdot 0,4 = 0,01713 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.1.10 [BB] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01612}{0,157} \cdot 1000 = 120,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02831}{0,157} \cdot 1000 = 198,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0244}{0,157} \cdot 1000 = 173,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0244}{0,157} \cdot 1000 = 173,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02831}{0,157} \cdot 1000 = 198,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01612}{0,157} \cdot 1000 = 120,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Согласовано					
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №			
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата

Расчёт по несущей способности

$$\sigma_1 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01713}{0,157} \cdot 1000 = 127,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02705}{0,157} \cdot 1000 = 190,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02458}{0,157} \cdot 1000 = 174,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02458}{0,157} \cdot 1000 = 174,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02705}{0,157} \cdot 1000 = 190,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01713}{0,157} \cdot 1000 = 127,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.11 [BB] Определяем изгибающий момент от положительного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,139 \cdot 0,4 = 0,00878 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,245 \cdot 0,4 = 0,01548 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,21 \cdot 0,4 = 0,01327 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,21 \cdot 0,4 = 0,01327 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,245 \cdot 0,4 = 0,01548 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,139 \cdot 0,4 = 0,00878 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,148 \cdot 0,4 = 0,00935 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,234 \cdot 0,4 = 0,01479 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,212 \cdot 0,4 = 0,0134 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,212 \cdot 0,4 = 0,0134 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,234 \cdot 0,4 = 0,01479 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,148 \cdot 0,4 = 0,00935 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.1.12 [BB] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00878}{0,492} \cdot 1000 = 35,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01548}{0,492} \cdot 1000 = 49,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01327}{0,492} \cdot 1000 = 44,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01327}{0,492} \cdot 1000 = 44,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01548}{0,492} \cdot 1000 = 49,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

$$\sigma_6 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00878}{0,492} \cdot 1000 = 35,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00935}{0,492} \cdot 1000 = 36,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01479}{0,492} \cdot 1000 = 48 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0134}{0,492} \cdot 1000 = 45,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0134}{0,492} \cdot 1000 = 45,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01479}{0,492} \cdot 1000 = 48 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00506}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00935}{0,492} \cdot 1000 = 36,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.13 [ВВ] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от отрицательного давления ветра:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,08 \cdot 0,4 = 0,00358 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,08 \cdot 0,4 = 0,00358 \text{ кН·м}$$

Определение прогиба:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = f_z = \frac{N_z \cdot l^3 \cdot 10}{1,18 \cdot 48 \cdot I_x \cdot E} - \frac{M \cdot l^2}{16 \cdot I_x \cdot E \cdot 1,18} \cdot 10 < \frac{l}{200}, \text{ см}$$

где: 1,18 – коэффициент приведения моментов от расчётной нагрузки к моментам от нормативной нагрузки (0,223 кН / 0,189 кН).

$$f_z = \frac{0,08 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,18 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,00358 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,18} \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,08 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,18 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,00358 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,18} \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

4.1.14 [ВВ] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от положительного давления ветра:

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,08 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,18 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,00358 \cdot 40^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,18} \cdot 10 = 0 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,08 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,18 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,00358 \cdot 40^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,18} \cdot 10 = 0 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

4.1.15 [BB] Расчет прогиба профиля от отрицательной горизонтальной нагрузки:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,255 \cdot 0,4 = 0,01142 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,448 \cdot 0,4 = 0,02007 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,386 \cdot 0,4 = 0,01729 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,386 \cdot 0,4 = 0,01729 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,448 \cdot 0,4 = 0,02007 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,255 \cdot 0,4 = 0,01142 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,271 \cdot 0,4 = 0,01214 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,428 \cdot 0,4 = 0,01917 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,389 \cdot 0,4 = 0,01743 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,389 \cdot 0,4 = 0,01743 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,428 \cdot 0,4 = 0,01917 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,271 \cdot 0,4 = 0,01214 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_y = \frac{N_y \cdot l^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot l_y \cdot E} - \frac{M \cdot l^2}{16 \cdot l_y \cdot E \cdot 1,399} \cdot 10 < \frac{l}{200}, \text{ см}$$

где: 1,399 – коэффициент приведения моментов от расчётной нагрузки к моментам от нормативной нагрузки (1,016 кН / 0,726 кН).

$$f_{y1} = \frac{0,255 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01142 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,448 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,02007 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,07 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,386 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01729 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,06 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,386 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01729 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,06 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,448 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,02007 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,07 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

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

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

$$f_{y6} = \frac{0,255 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01142 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,271 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01214 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,05 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,428 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01917 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,07 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,389 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01743 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,06 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,389 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01743 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,06 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,428 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01917 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,07 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,271 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01214 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,05 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

4.1.16 [BB] Расчет прогиба профиля от положительной горизонтальной нагрузки:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,139 \cdot 0,4 = 0,00623 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,245 \cdot 0,4 = 0,01098 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,21 \cdot 0,4 = 0,00941 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,21 \cdot 0,4 = 0,00941 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,245 \cdot 0,4 = 0,01098 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,139 \cdot 0,4 = 0,00623 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,148 \cdot 0,4 = 0,00663 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,234 \cdot 0,4 = 0,01048 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,212 \cdot 0,4 = 0,0095 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,212 \cdot 0,4 = 0,0095 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,234 \cdot 0,4 = 0,01048 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,148 \cdot 0,4 = 0,00663 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{y1} = \frac{0,139 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00623 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,245 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01098 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

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

						Расчёт по несущей способности 80	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$f_{y3} = \frac{0,21 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00941 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,21 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00941 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,245 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01098 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,139 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00623 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,148 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00663 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,234 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01048 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,212 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0095 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,212 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0095 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,234 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01048 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,148 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00663 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

4.2 Расчёт при сочетании Вес + Ветер + Гололёд (далее [ВВГ]):

4.2.1 [ВВГ] Определяем изгибающий момент в пролёте от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,116 \cdot 0,4 = 0,00793 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,116 \cdot 0,4 = 0,00793 \text{ кН·м}$$

4.2.2 [ВВГ] Определяем изгибающий момент от отрицательного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,153 \cdot 0,4 = 0,01047 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,269 \cdot 0,4 = 0,0184 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,231 \cdot 0,4 = 0,0158 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,231 \cdot 0,4 = 0,0158 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,269 \cdot 0,4 = 0,0184 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,153 \cdot 0,4 = 0,01047 \text{ кН·м}$$

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		

$$\begin{aligned} M_{y1} &= 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,163 \cdot 0,4 = 0,01115 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y2} &= 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,257 \cdot 0,4 = 0,01758 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y3} &= 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,234 \cdot 0,4 = 0,01601 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y4} &= 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,234 \cdot 0,4 = 0,01601 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y5} &= 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,257 \cdot 0,4 = 0,01758 \text{ кН}\cdot\text{м} \\ M_{y6} &= 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,163 \cdot 0,4 = 0,01115 \text{ кН}\cdot\text{м} \end{aligned}$$

4.2.3 [ВВГ] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00793}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01047}{0,157} \cdot 1000 = 94,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00793}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0184}{0,157} \cdot 1000 = 145,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00793}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0158}{0,157} \cdot 1000 = 128,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00793}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0158}{0,157} \cdot 1000 = 128,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00793}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0184}{0,157} \cdot 1000 = 145,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00793}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01047}{0,157} \cdot 1000 = 94,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00793}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01115}{0,157} \cdot 1000 = 99,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00793}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01758}{0,157} \cdot 1000 = 140,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00793}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01601}{0,157} \cdot 1000 = 130,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00793}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01601}{0,157} \cdot 1000 = 130,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00793}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01758}{0,157} \cdot 1000 = 140,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00793}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01115}{0,157} \cdot 1000 = 99,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.4 [ВВГ] Определяем изгибающий момент от положительного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,084 \cdot 0,4 = 0,00575 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,147 \cdot 0,4 = 0,01005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,126 \cdot 0,4 = 0,00862 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,126 \cdot 0,4 = 0,00862 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,147 \cdot 0,4 = 0,01005 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,084 \cdot 0,4 = 0,00575 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,089 \cdot 0,4 = 0,00609 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,14 \cdot 0,4 = 0,00958 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,127 \cdot 0,4 = 0,00869 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,127 \cdot 0,4 = 0,00869 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,14 \cdot 0,4 = 0,00958 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,089 \cdot 0,4 = 0,00609 \text{ кН·м}$$

4.2.5 [ВВГ] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00793}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00575}{0,157} \cdot 1000 = 53,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00793}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01005}{0,157} \cdot 1000 = 81 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00793}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00862}{0,157} \cdot 1000 = 71,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00793}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00862}{0,157} \cdot 1000 = 71,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00793}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01005}{0,157} \cdot 1000 = 81 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00793}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00575}{0,157} \cdot 1000 = 53,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00793}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00609}{0,157} \cdot 1000 = 55,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00793}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00958}{0,157} \cdot 1000 = 78 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00793}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00869}{0,157} \cdot 1000 = 72,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00793}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00869}{0,157} \cdot 1000 = 72,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00793}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00958}{0,157} \cdot 1000 = 78 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00793}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00609}{0,157} \cdot 1000 = 55,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.6 [ВВГ] Определяем изгибающий момент на опоре 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		

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,116 \cdot 0,4 = 0,00733 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,116 \cdot 0,4 = 0,00733 \text{ кН·м}$$

4.2.7 [ВВГ] Определяем изгибающий момент от отрицательного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,153 \cdot 0,4 = 0,00967 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,269 \cdot 0,4 = 0,017 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,231 \cdot 0,4 = 0,0146 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,231 \cdot 0,4 = 0,0146 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,269 \cdot 0,4 = 0,017 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,153 \cdot 0,4 = 0,00967 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,163 \cdot 0,4 = 0,0103 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,257 \cdot 0,4 = 0,01624 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,234 \cdot 0,4 = 0,01479 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,234 \cdot 0,4 = 0,01479 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,257 \cdot 0,4 = 0,01624 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,163 \cdot 0,4 = 0,0103 \text{ кН·м}$$

4.2.8 [ВВГ] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00967}{0,157} \cdot 1000 = 87,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,017}{0,157} \cdot 1000 = 134,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0146}{0,157} \cdot 1000 = 119 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0146}{0,157} \cdot 1000 = 119 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,017}{0,157} \cdot 1000 = 134,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00967}{0,157} \cdot 1000 = 87,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0103}{0,157} \cdot 1000 = 91,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01624}{0,157} \cdot 1000 = 129,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_3 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01479}{0,157} \cdot 1000 = 120,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01479}{0,157} \cdot 1000 = 120,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01624}{0,157} \cdot 1000 = 129,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0103}{0,157} \cdot 1000 = 91,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.9 [ВВГ] Определяем изгибающий момент от положительного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,084 \cdot 0,4 = 0,00531 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,147 \cdot 0,4 = 0,00929 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,126 \cdot 0,4 = 0,00796 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,126 \cdot 0,4 = 0,00796 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,147 \cdot 0,4 = 0,00929 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,084 \cdot 0,4 = 0,00531 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,089 \cdot 0,4 = 0,00562 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,14 \cdot 0,4 = 0,00885 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,127 \cdot 0,4 = 0,00803 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,127 \cdot 0,4 = 0,00803 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,14 \cdot 0,4 = 0,00885 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,089 \cdot 0,4 = 0,00562 \text{ кН·м}$$

4.2.10 [ВВГ] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00531}{0,492} \cdot 1000 = 36,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00929}{0,492} \cdot 1000 = 44,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00796}{0,492} \cdot 1000 = 42,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00796}{0,492} \cdot 1000 = 42,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00929}{0,492} \cdot 1000 = 44,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00531}{0,492} \cdot 1000 = 36,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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		

$$\sigma_1 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00562}{0,492} \cdot 1000 = 37,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00885}{0,492} \cdot 1000 = 44 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00803}{0,492} \cdot 1000 = 42,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00803}{0,492} \cdot 1000 = 42,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00885}{0,492} \cdot 1000 = 44 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00733}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00562}{0,492} \cdot 1000 = 37,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.11 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от отрицательного давления ветра:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,116 \cdot 0,4 = 0,0052 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,116 \cdot 0,4 = 0,0052 \text{ кН·м}$$

Определение прогиба:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,116 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,322 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,0052 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,322} \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,116 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,322 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,0052 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,322} \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

4.2.12 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от положительного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,116 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,322 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,0052 \cdot 40^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,322} \cdot 10 = 0 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,116 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,322 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,0052 \cdot 40^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,322} \cdot 10 = 0 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

4.2.13 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от отрицательной горизонтальной нагрузки:

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

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

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,153 \cdot 0,4 = 0,00685 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,269 \cdot 0,4 = 0,01205 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,231 \cdot 0,4 = 0,01035 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,231 \cdot 0,4 = 0,01035 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,269 \cdot 0,4 = 0,01205 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,153 \cdot 0,4 = 0,00685 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,163 \cdot 0,4 = 0,0073 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,257 \cdot 0,4 = 0,01151 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,234 \cdot 0,4 = 0,01048 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,234 \cdot 0,4 = 0,01048 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,257 \cdot 0,4 = 0,01151 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,163 \cdot 0,4 = 0,0073 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{y1} = \frac{0,153 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00685 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,269 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01205 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,231 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01035 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,231 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01035 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,269 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01205 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,153 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00685 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,163 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0073 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,257 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01151 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,234 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01048 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,234 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01048 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

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

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

$$f_{y5} = \frac{0,257 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01151 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,163 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0073 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

4.2.14 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от положительной горизонтальной нагрузки:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,084 \cdot 0,4 = 0,00376 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,147 \cdot 0,4 = 0,00659 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,126 \cdot 0,4 = 0,00564 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,126 \cdot 0,4 = 0,00564 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,147 \cdot 0,4 = 0,00659 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,084 \cdot 0,4 = 0,00376 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,089 \cdot 0,4 = 0,00399 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,14 \cdot 0,4 = 0,00627 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,127 \cdot 0,4 = 0,00569 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,127 \cdot 0,4 = 0,00569 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,14 \cdot 0,4 = 0,00627 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,089 \cdot 0,4 = 0,00399 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{y1} = \frac{0,084 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00376 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,147 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00659 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,126 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00564 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,126 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00564 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,147 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00659 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,084 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00376 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,089 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00399 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

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

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

$$f_{y2} = \frac{0,14 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00627 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,127 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00569 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,127 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00569 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,14 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00627 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,089 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00399 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

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

5. Расчет соединения горизонтального профиля с вертикальным 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 совместное действие среза от вертикальной нагрузки и разрыва от горизонтальной нагрузки:

$$\sqrt{\left(\frac{N_z \cdot \gamma_m}{n_z \cdot N_{nrs}}\right)^2 + \left(\frac{N_y \cdot \gamma_m}{n_z \cdot N_{nrt}}\right)^2} \leq 1$$

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

N_{nrt} – расчётное усилие на растяжение, кН

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,255 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,078 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,448 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,131 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,386 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,113 \leq 1$$

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

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

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,386 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,113 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,448 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,131 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,255 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,078 \leq 1$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,271 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,082 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,428 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,125 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,389 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,114 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,389 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,114 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,428 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,125 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,08 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,271 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,082 \leq 1$$

5.1.2 [BB] Расчет на смятие от вертикальной нагрузки:

$$\frac{N_z}{n_z \cdot d \cdot t} \cdot 1000 \leq R_{gr}, \text{ МПа}$$

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

t – толщина стенки направляющей, мм

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

$$\frac{0,08}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 8,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

5.2.1 [BBГ] Расчет на совместное действие среза от вертикальной нагрузки и разрыва от горизонтальной 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	

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,153 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,061 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,269 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,088 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,231 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,078 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,231 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,078 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,269 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,088 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,153 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,061 \leq 1$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,163 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,063 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,257 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,085 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,234 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,079 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,234 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,079 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,257 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,085 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,116 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,163 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,063 \leq 1$$

5.2.2 [ВВГ] Расчет на смятие от вертикальной нагрузки:

$$\frac{0,116}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 12,1 \leq 295 \text{ МПа}$$

Вывод: Соединение горизонтального профиля с вертикальным профилем отвечает требованиям прочности.

Согласовано			

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

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

6. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:

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

6.1.1 [ВВ] Реакции от вертикальной нагрузки:

$$N_z = P_z / l_{xp} \cdot l_x + P_{2n} \cdot l_x \cdot \gamma_f, \text{ кН}$$

где: P_z – вертикальная нагрузка на горизонтальный профиль, кН

l_{xp} – шаг вертикального профиля по горизонтали, м

l_x – шаг кронштейнов по горизонтали, м

P_{2n} – вес одного погонного метра горизонтального профиля, кН/м

$$N_z = 0,08 / 0,65 \cdot 0,4 + 0,007 \cdot 0,4 \cdot 1,05 = 0,052 \text{ кН}$$

6.1.2 [ВВ] Расчётная нагрузка от давления ветра определяется по формуле (2):

$$w_p = w_0 \cdot k(z_e) \cdot (1 + \zeta(z)) \cdot c_p \cdot \gamma_f, \text{ кН/м}^2$$

$$w_p = 0,23 \cdot 0,71 \cdot (1 + 1,02) \cdot 2,2 \cdot 1,4 = 1,016 \text{ кН/м}^2$$

6.1.3 [ВВ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Для кронштейна между пролетом и консолью вертикального профиля:

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

Для кронштейна между пролетами вертикального профиля:

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 1,016 \cdot 0,4 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,157 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,276 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,238 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,238 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,276 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 1,016 \cdot 0,4 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,157 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 1,016 \cdot 0,4 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,167 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,264 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,24 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,24 \text{ кН}$$

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

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

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,264 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 1,016 \cdot 0,4 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,167 \text{ кН}$$

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

6.2.1 [ВВГ] Реакции от вертикальной нагрузки:

$$N_z = 0,116 / 0,65 \cdot 0,4 + 0,007 \cdot 0,4 \cdot 1,05 = 0,074 \text{ кН}$$

6.2.2 [ВВГ] Расчётная нагрузка от давления ветра:

$$q_{вр} = 0,6 \cdot w_p = 0,6 \cdot 1,016 = 0,61 \text{ кН/м}^2$$

где: w_p – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м² (см. пункт 4..13 [ВВ]).

6.2.3 [ВВГ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,61 \cdot 0,4 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,094 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,166 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,143 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,143 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,166 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,61 \cdot 0,4 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,094 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,61 \cdot 0,4 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,1 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,158 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,144 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,144 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,158 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,61 \cdot 0,4 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,1 \text{ кН}$$

7. Расчет кронштейна "КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли"

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

Кронштейн	A, см ²	I _x , см ⁴	W _x , см ³	W _y , см ³	W _п , см ³	E, МПа	R _y , МПа
КРУ-2р гор.	2,24	0,21	0,31	3,39	0,31	210000	225

Расчёт по несущей способности

93

Лист

Изм. Кол.уч. Лист №Док. Подпись Дата

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

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

7.1.1 [ВВ] Расчет консоли кронштейна:

Изгибающий момент в консоли кронштейна от вертикальной нагрузки:

$$M_x = N_{zk} \cdot e_y = 0,052 \cdot 0,25 = 0,013 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

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

$$\sigma = \frac{0,013}{0,31} \cdot 1000 = 41,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma = \frac{0,013}{0,31} \cdot 1000 = 41,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Изгибающий момент в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$M_{x1} = N_{zk1} \cdot e_y - N_{yk1} \cdot l_z = 0,052 \cdot 0,25 - 0,157 \cdot 0,02 = 0,00986 \text{ кН·м}$$

$$M_{x2} = N_{zk2} \cdot e_y - N_{yk2} \cdot l_z = 0,052 \cdot 0,25 - 0,276 \cdot 0,02 = 0,00748 \text{ кН·м}$$

$$M_{x3} = N_{zk3} \cdot e_y - N_{yk3} \cdot l_z = 0,052 \cdot 0,25 - 0,238 \cdot 0,02 = 0,00824 \text{ кН·м}$$

$$M_{x4} = N_{zk4} \cdot e_y - N_{yk4} \cdot l_z = 0,052 \cdot 0,25 - 0,238 \cdot 0,02 = 0,00824 \text{ кН·м}$$

$$M_{x5} = N_{zk5} \cdot e_y - N_{yk5} \cdot l_z = 0,052 \cdot 0,25 - 0,276 \cdot 0,02 = 0,00748 \text{ кН·м}$$

$$M_{x6} = N_{zk6} \cdot e_y - N_{yk6} \cdot l_z = 0,052 \cdot 0,25 - 0,157 \cdot 0,02 = 0,00986 \text{ кН·м}$$

Напряжения в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки определяют по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{0,00986}{0,31} \cdot 1000 = 31,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00748}{0,31} \cdot 1000 = 24,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00824}{0,31} \cdot 1000 = 26,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00824}{0,31} \cdot 1000 = 26,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00748}{0,31} \cdot 1000 = 24,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00986}{0,31} \cdot 1000 = 31,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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	

Изгибающий момент в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$M_{x1} = N_{zk1} \cdot e_y - N_{yk1} \cdot l_z = 0,052 \cdot 0,25 - 0,167 \cdot 0,02 = 0,00966 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x2} = N_{zk2} \cdot e_y - N_{yk2} \cdot l_z = 0,052 \cdot 0,25 - 0,264 \cdot 0,02 = 0,00772 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x3} = N_{zk3} \cdot e_y - N_{yk3} \cdot l_z = 0,052 \cdot 0,25 - 0,24 \cdot 0,02 = 0,0082 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x4} = N_{zk4} \cdot e_y - N_{yk4} \cdot l_z = 0,052 \cdot 0,25 - 0,24 \cdot 0,02 = 0,0082 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x5} = N_{zk5} \cdot e_y - N_{yk5} \cdot l_z = 0,052 \cdot 0,25 - 0,264 \cdot 0,02 = 0,00772 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x6} = N_{zk6} \cdot e_y - N_{yk6} \cdot l_z = 0,052 \cdot 0,25 - 0,167 \cdot 0,02 = 0,00966 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки определяют по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{0,00966}{0,31} \cdot 1000 = 31,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00772}{0,31} \cdot 1000 = 24,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0082}{0,31} \cdot 1000 = 26,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0082}{0,31} \cdot 1000 = 26,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00772}{0,31} \cdot 1000 = 24,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00966}{0,31} \cdot 1000 = 31,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.1.2 [ВВ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = N_{zk} \cdot e_y, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_z = 0,052 \cdot 0,25 = 0,013 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_z = 0,052 \cdot 0,25 = 0,013 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_n} \cdot 1000 + \frac{P}{A} < R_n \cdot \gamma_s, \text{ МПа}$$

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

$$\sigma = \frac{0,013}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,052}{2,24} = 42,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{0,013}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,052}{2,24} = 42,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.1.3 [ВВ] Расчет напряжения от вертикальной и горизонтальной нагрузки в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$M_x = N_{zk} \cdot e_y - N_y \cdot e_z, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: e_z – наибольшее из двух расстояний:

расстояние по оси Z от шляпки анкера до оси горизонтальной нагрузки, м

расстояние по оси Z от консоли кронштейна до оси горизонтальной нагрузки, м

$$M_{z1} = 0,052 \cdot 0,25 - 0,167 \cdot 0,006 = 0,012 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,052 \cdot 0,25 - 0,264 \cdot 0,006 = 0,01142 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,052 \cdot 0,25 - 0,24 \cdot 0,006 = 0,01156 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,052 \cdot 0,25 - 0,24 \cdot 0,006 = 0,01156 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z5} = 0,052 \cdot 0,25 - 0,264 \cdot 0,006 = 0,01142 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z6} = 0,052 \cdot 0,25 - 0,167 \cdot 0,006 = 0,012 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_p} \cdot 1000 + \frac{P}{A} < R_n \cdot \gamma_s, \text{ МПа}$$

$$\sigma_1 = \frac{0,012}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,052}{2,24} = 38,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01142}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,052}{2,24} = 37,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01156}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,052}{2,24} = 37,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01156}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,052}{2,24} = 37,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01142}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,052}{2,24} = 37,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,012}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,052}{2,24} = 38,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.1.4 [ВВ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки на стыке пяты и консоли кронштейна:

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

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

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

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

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

$$M_z = 0,157 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_z = 0,167 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН·м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

Проверка по методу конечных элементов

7.1.5 [ВВ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

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

где: e_y – Вылет, см

$$f_z = \frac{0,052 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 0,21} = 0,061 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,052 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 0,21} = 0,061 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

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

7.2.1 [ВВГ] Расчет консоли кронштейна:

Изгибающий момент в консоли кронштейна от вертикальной нагрузки:

$$M_x = N_{zk} \cdot e_y = 0,074 \cdot 0,25 = 0,0185 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma = \frac{0,0185}{0,31} \cdot 1000 = 59,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma = \frac{0,0185}{0,31} \cdot 1000 = 59,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Изгибающий момент в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$M_{x1} = N_{zk1} \cdot e_y - N_{yk1} \cdot l_z = 0,074 \cdot 0,25 - 0,094 \cdot 0,02 = 0,01662 \text{ кН·м}$$

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

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

$$M_{x2} = N_{zk2} \cdot e_y - N_{yk2} \cdot l_z = 0,074 \cdot 0,25 - 0,166 \cdot 0,02 = 0,01518 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x3} = N_{zk3} \cdot e_y - N_{yk3} \cdot l_z = 0,074 \cdot 0,25 - 0,143 \cdot 0,02 = 0,01564 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x4} = N_{zk4} \cdot e_y - N_{yk4} \cdot l_z = 0,074 \cdot 0,25 - 0,143 \cdot 0,02 = 0,01564 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x5} = N_{zk5} \cdot e_y - N_{yk5} \cdot l_z = 0,074 \cdot 0,25 - 0,166 \cdot 0,02 = 0,01518 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x6} = N_{zk6} \cdot e_y - N_{yk6} \cdot l_z = 0,074 \cdot 0,25 - 0,094 \cdot 0,02 = 0,01662 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки определяют по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{0,01662}{0,31} \cdot 1000 = 53,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01518}{0,31} \cdot 1000 = 49 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01564}{0,31} \cdot 1000 = 50,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01564}{0,31} \cdot 1000 = 50,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01518}{0,31} \cdot 1000 = 49 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01662}{0,31} \cdot 1000 = 53,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Изгибающий момент в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$M_{x1} = N_{zk1} \cdot e_y - N_{yk1} \cdot l_z = 0,074 \cdot 0,25 - 0,1 \cdot 0,02 = 0,0165 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x2} = N_{zk2} \cdot e_y - N_{yk2} \cdot l_z = 0,074 \cdot 0,25 - 0,158 \cdot 0,02 = 0,01534 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x3} = N_{zk3} \cdot e_y - N_{yk3} \cdot l_z = 0,074 \cdot 0,25 - 0,144 \cdot 0,02 = 0,01562 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x4} = N_{zk4} \cdot e_y - N_{yk4} \cdot l_z = 0,074 \cdot 0,25 - 0,144 \cdot 0,02 = 0,01562 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x5} = N_{zk5} \cdot e_y - N_{yk5} \cdot l_z = 0,074 \cdot 0,25 - 0,158 \cdot 0,02 = 0,01534 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x6} = N_{zk6} \cdot e_y - N_{yk6} \cdot l_z = 0,074 \cdot 0,25 - 0,1 \cdot 0,02 = 0,0165 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки определяют по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{0,0165}{0,31} \cdot 1000 = 53,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01534}{0,31} \cdot 1000 = 49,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01562}{0,31} \cdot 1000 = 50,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01562}{0,31} \cdot 1000 = 50,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01534}{0,31} \cdot 1000 = 49,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,0165}{0,31} \cdot 1000 = 53,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

7.2.2 [ВВГ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_z = 0,074 \cdot 0,25 = 0,0185 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_z = 0,074 \cdot 0,25 = 0,0185 \text{ кН·м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{0,0185}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,074}{2,24} = 60 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{0,0185}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,074}{2,24} = 60 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.2.3 [ВВГ] Расчет напряжения от вертикальной и горизонтальной нагрузки в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$M_{z1} = 0,074 \cdot 0,25 - 0,1 \cdot 0,006 = 0,0179 \text{ кН·м}$$

$$M_{z2} = 0,074 \cdot 0,25 - 0,158 \cdot 0,006 = 0,01755 \text{ кН·м}$$

$$M_{z3} = 0,074 \cdot 0,25 - 0,144 \cdot 0,006 = 0,01764 \text{ кН·м}$$

$$M_{z4} = 0,074 \cdot 0,25 - 0,144 \cdot 0,006 = 0,01764 \text{ кН·м}$$

$$M_{z5} = 0,074 \cdot 0,25 - 0,158 \cdot 0,006 = 0,01755 \text{ кН·м}$$

$$M_{z6} = 0,074 \cdot 0,25 - 0,1 \cdot 0,006 = 0,0179 \text{ кН·м}$$

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,0179}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,074}{2,24} = 58,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01755}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,074}{2,24} = 56,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01764}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,074}{2,24} = 57,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01764}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,074}{2,24} = 57,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01755}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,074}{2,24} = 56,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_6 = \frac{0,0179}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,074}{2,24} = 58,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.2.4 [ВВГ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки на стыке пяты и консоли кронштейна:

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_z = 0,094 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_z = 0,1 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

Проверка по методу конечных элементов

7.2.5 [ВВГ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,074 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 0,21} = 0,087 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,074 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 0,21} = 0,087 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Вывод: Кронштейн КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли отвечает требованиям прочности.

8. 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.

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

8.1.1 [ВВ] Расчет на срез от горизонтальной нагрузки:

$$N_s = \frac{N_y}{n_z} \cdot \gamma_m \leq N_{nrs}, \text{ кН}$$

где: N_y – горизонтальная нагрузка на соединение, кН

n_z – количество заклепок, шт

γ_m – коэффициент надёжности соединения

N_{nrs} – расчётное усилие на срез, кН

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{s1} = \frac{0,157}{2} \cdot 1,25 = 0,098 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{0,276}{2} \cdot 1,25 = 0,173 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{0,238}{2} \cdot 1,25 = 0,149 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{0,238}{2} \cdot 1,25 = 0,149 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{0,276}{2} \cdot 1,25 = 0,173 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s6} = \frac{0,157}{2} \cdot 1,25 = 0,098 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{s1} = \frac{0,167}{2} \cdot 1,25 = 0,104 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{0,264}{2} \cdot 1,25 = 0,165 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{0,24}{2} \cdot 1,25 = 0,15 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{0,24}{2} \cdot 1,25 = 0,15 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{0,264}{2} \cdot 1,25 = 0,165 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s6} = \frac{0,167}{2} \cdot 1,25 = 0,104 \leq 1,7 \text{ кН}$$

8.1.2 [BB] Расчет на смятие от горизонтальной нагрузки:

$$\frac{N_y}{n_z \cdot d \cdot t} \cdot 1000 \leq R_{gr}, \text{ МПа}$$

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

$$\frac{0,157}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,276}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 28,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,238}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 24,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

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

$$\frac{0,238}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 24,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,276}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 28,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,157}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{0,167}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 17,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,264}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 27,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,24}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 25 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,24}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 25 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,264}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 27,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,167}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 17,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

8.2.1 [ВВГ] Расчет на срез от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$Ns1 = \frac{0,094}{2} \cdot 1,25 = 0,059 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns2 = \frac{0,166}{2} \cdot 1,25 = 0,104 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns3 = \frac{0,143}{2} \cdot 1,25 = 0,089 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns4 = \frac{0,143}{2} \cdot 1,25 = 0,089 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns5 = \frac{0,166}{2} \cdot 1,25 = 0,104 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns6 = \frac{0,094}{2} \cdot 1,25 = 0,059 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Ns1 = \frac{0,1}{2} \cdot 1,25 = 0,062 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns2 = \frac{0,158}{2} \cdot 1,25 = 0,099 \leq 1,7 \text{ кН}$$

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

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

$$N_{s3} = \frac{0,144}{2} \cdot 1,25 = 0,09 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{0,144}{2} \cdot 1,25 = 0,09 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{0,158}{2} \cdot 1,25 = 0,099 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s6} = \frac{0,1}{2} \cdot 1,25 = 0,062 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$\frac{0,094}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 9,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,166}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 17,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,143}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 14,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,143}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 14,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,166}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 17,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,094}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 9,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{0,1}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 10,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,158}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,144}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 15 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,144}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 15 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,158}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,1}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 10,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

Вывод: Соединение кронштейна с профилем отвечает требованиям прочности.

9. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания

Крепление в ячеистые блоки на один анкер в ближайшее к консоли кронштейна отверстие. .

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

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_a = \frac{M_x + N_y \cdot e_b}{b_z}$$

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

e_b – плечо ветровой нагрузки по оси Z, м

$$N_{a1} = \frac{0,013 + 0,157 \cdot 0,06}{0,045} = 0,5 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,013 + 0,276 \cdot 0,06}{0,045} = 0,66 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,013 + 0,238 \cdot 0,06}{0,045} = 0,61 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,013 + 0,238 \cdot 0,06}{0,045} = 0,61 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a5} = \frac{0,013 + 0,276 \cdot 0,06}{0,045} = 0,66 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a6} = \frac{0,013 + 0,157 \cdot 0,06}{0,045} = 0,5 \text{ 0 кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{a1} = \frac{0,013 + 0,167 \cdot 0,06}{0,045} = 0,51 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,013 + 0,264 \cdot 0,06}{0,045} = 0,64 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,013 + 0,24 \cdot 0,06}{0,045} = 0,61 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,013 + 0,24 \cdot 0,06}{0,045} = 0,61 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a5} = \frac{0,013 + 0,264 \cdot 0,06}{0,045} = 0,64 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a6} = \frac{0,013 + 0,167 \cdot 0,06}{0,045} = 0,51 \text{ 0 кН}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{a1} = \frac{0,0185 + 0,094 \cdot 0,06}{0,045} = 0,54 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,0185 + 0,166 \cdot 0,06}{0,045} = 0,63 \text{ 0 кН}$$

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

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

$$Na3 = \frac{0,0185 + 0,143 \cdot 0,06}{0,045} = 0,6 \text{ кН}$$

$$Na4 = \frac{0,0185 + 0,143 \cdot 0,06}{0,045} = 0,6 \text{ кН}$$

$$Na5 = \frac{0,0185 + 0,166 \cdot 0,06}{0,045} = 0,63 \text{ кН}$$

$$Na6 = \frac{0,0185 + 0,094 \cdot 0,06}{0,045} = 0,54 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Na1 = \frac{0,0185 + 0,1 \cdot 0,06}{0,045} = 0,54 \text{ кН}$$

$$Na2 = \frac{0,0185 + 0,158 \cdot 0,06}{0,045} = 0,62 \text{ кН}$$

$$Na3 = \frac{0,0185 + 0,144 \cdot 0,06}{0,045} = 0,6 \text{ кН}$$

$$Na4 = \frac{0,0185 + 0,144 \cdot 0,06}{0,045} = 0,6 \text{ кН}$$

$$Na5 = \frac{0,0185 + 0,158 \cdot 0,06}{0,045} = 0,62 \text{ кН}$$

$$Na6 = \frac{0,0185 + 0,1 \cdot 0,06}{0,045} = 0,54 \text{ кН}$$

Вывод: Допустимое усилие анкера на вырыв при креплении кронштейна КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли в ячеистые блоки на один анкер в ближайшее к консоли кронштейна отверстие должно быть не менее 0,66 кН.

Согласовано			

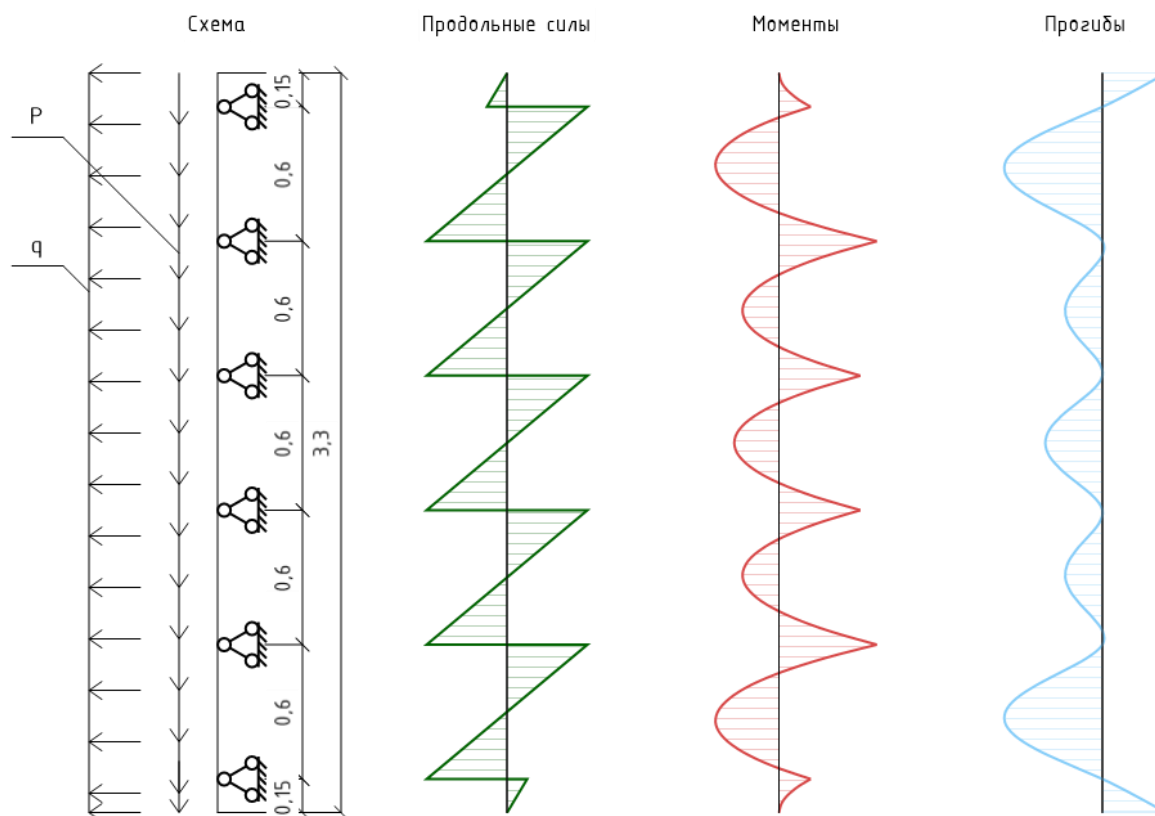
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №	

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

Расчет прочности монтажной схемы №3

1. Исходные данные:

1. Район строительства:
2. Ветровой район: I – 0,23 кН Тип местности: B
3. Ветровая зона: Рядовая
4. Высота применения: 13 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: ZO-1,2
10. Шаг вертикального профиля по горизонтали: 0,55 м
11. Схема вертикального профиля: пятипролетная балка ZO-1,2_6КРЧ-2p[↔1к] 0,15|0,6+0,6+0,6+0,6+0,6|0,15
12. Вылет: 0,25 м
13. Схема горизонтального профиля: 6ГО-40х40х1,2(∞ х0,7)
14. Несущие кронштейны:
-КРЧ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли с креплением на один анкер в ближайшее к консоли кронштейна отверстие в ячеистые блоки..



2. Расчет вертикального профиля "ZO-1,2"

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

Расчёт по несущей способности

106

Лист

Изм. Кол.уч Лист №Док. Подпись Дата

Согласовано	

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Профиль	Вес, кг/м	Редуцируемое сечение	A, см ²	Ix, см ⁴	Wx, см ³	E, МПа	Ry, МПа
ZO-1,2	0,74	Широкая полка	0,68	0,552	0,438	210000	225
		Узкая полка	0,9	0,64	0,508		

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

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

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

$$Pz \text{ м.п.} = 0,167 \cdot 1,2 \cdot 0,55 + 0,007 \cdot 1,05 = 0,118 \text{ кН/м}$$

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.

$$Nza = Pz \text{ м.п.} \cdot lza = 0,118 \cdot 0,15 = 0,018 \text{ кН}$$

$$Nzl = Pz \text{ м.п.} \cdot lzl = 0,118 \cdot 0,6 = 0,071 \text{ кН}$$

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):

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

$$w_p \text{ м.п.} = 0,23 \cdot 0,71 \cdot (1 + 1,02) \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,55 \cdot 1,25 = 0,381 \text{ кН/м}$$

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

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,381 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,105 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,105 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,079 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,105 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,105 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

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

						Расчёт по несущей способности 107	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$M_{\alpha 2} = 0,5 \cdot 0,381 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{\alpha 1} = 0,502 \cdot 0,381 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 11} = 0,097 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 12} = 0,097 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 13} = 0,081 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 14} = 0,097 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 15} = 0,097 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 2} = 0,502 \cdot 0,381 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{\alpha 1} = \frac{0,004}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 9,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,013}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 30,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,013}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 30,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} = \frac{0,011}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 26,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{14} = \frac{0,013}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 30,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{15} = \frac{0,013}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 30,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\alpha 2} = \frac{0,004}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 9,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{\alpha 1} = \frac{0,004}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 9,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,013}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 30,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,013}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 30,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} = \frac{0,011}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 26,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{14} = \frac{0,013}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 30,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано					
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №			
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата

Расчёт по несущей способности

108

Лист

$$\sigma_{15} = \frac{0,013}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 30,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,004}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 9,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,004}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 8,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,014}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 28,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,014}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 28,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,011}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 22,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,014}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 28,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,014}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 28,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,004}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 8,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,004}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 8,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,014}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 28,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,014}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 28,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,011}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 22,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,014}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 28,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,014}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 28,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,004}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 8,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.7 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра равна 0,381 кН/м (см. пункт 2.13 [ВВ]).

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

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

Мх_{а1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,078 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,033 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,046 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,033 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x15} = 0,078 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Мх_{а2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

Мх_{а1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,062 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,036 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,044 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,036 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x15} = 0,062 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Мх_{а2} – отсутствует

2.1.9 [ВВ] Нормальные напряжения в пролёте во внутреннем сечении направляющей (узкая полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 18,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,005}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 10,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} = \frac{0,006}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 12,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{14} = \frac{0,005}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 10,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{15} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 18,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 18,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,005}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 10,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 12,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,005}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 10,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 18,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.10 [ВВ] Нормальные напряжения в пролёте во внешнем сечении направляющей (широкая полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,011}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 26,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 12,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 14,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 12,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,011}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 26,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,011}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 26,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 12,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 14,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 12,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,011}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 26,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

2..111 [BB] Нормативная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра определяется по формуле:

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

$$w_H = \frac{0,381}{1,4} = 0,272 \text{ кН/м}$$

2.1.12 [BB] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

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

где: l – длина пролета, см

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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100 + 0,011 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100 + 0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,011 \cdot 100 + 0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

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

где: k – коэффициент, полученный методом конечных элементов

l – длина пролета, см

$$f_a = 0,83992 \cdot \frac{0,272 \cdot 15^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_l = 0,005 \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

2.1.13 [BB] Нормативная погонная нагрузка от положительного давления ветра численно равна отрицательной: 0,272 кН/м (см. пункт 2..111 [BB]).

2.1.14 [BB] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

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

						Расчёт по несущей способности 112	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100 + 0,011 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100 + 0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,011 \cdot 100 + 0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{a1} = 0,83992 \cdot \frac{0,272 \cdot 15^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_{l1} = 0,005 \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = 0,00192 \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = 0,00295 \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = 0,00192 \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = 0,005 \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{a2} = 0,83992 \cdot \frac{0,272 \cdot 15^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

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

2.2.1 [ВВГ] Расчётная погонная нагрузка от веса облицовки и профиля равна 0,118 кН/м (см. пункт 2.11 [ВВ]).

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

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

$$i \text{ м.п.} = 2 \cdot 5 \cdot 1,06 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot 1,8 \cdot 0,55 / 1000 = 0,056 \text{ кН/м}$$

2.2.3 [ВВГ] Суммарная вертикальная расчётная погонная нагрузка:

$$q_{zp} \text{ м.п.} = P_{zp} \text{ м.п.} + i_{p} \text{ м.п.} = 0,118 + 0,056 = 0,173 \text{ кН/м}$$

2.2.4 [ВВГ] Продольные усилия в профиле:

$$N_{za} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{za} = 0,173 \cdot 0,15 = 0,026 \text{ кН}$$

$$N_{zl} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{zl} = 0,173 \cdot 0,6 = 0,104 \text{ кН}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

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

$$q_{вр м.п.} = 0,6 \cdot w_{р м.п.} = 0,6 \cdot 0,381 = 0,229 \text{ кН/м}$$

где: $w_{р м.п.}$ – 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

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,229 \cdot 0,15^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,105 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,105 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,079 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,007 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,105 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,105 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,229 \cdot 0,15^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa1} = 0,502 \cdot 0,229 \cdot 0,15^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,097 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,097 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,081 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,007 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,097 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,097 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,502 \cdot 0,229 \cdot 0,15^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,003}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 7,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,008}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 19,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,008}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 19,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,007}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 17,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,008}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 19,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,008}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 19,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,003}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 7,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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		

$$\sigma_{a1} = \frac{0,003}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 7,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,008}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 19,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,008}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 19,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,007}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 17,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,008}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 19,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,008}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 19,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,003}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 7,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,003}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 6,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 18,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 18,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,007}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 14,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 18,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 18,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,003}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 6,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,003}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 6,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 18,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 18,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,007}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 14,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

						Расчёт по несущей способности 115	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma_{l4} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 18,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 18,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,003}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 6,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{вр \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,381 = 0,229 \text{ кН/м}$$

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_{x1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,078 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,033 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,046 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{x14} = 0,033 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{x15} = 0,078 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

M_{x2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

M_{x1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,062 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,036 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,044 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{x14} = 0,036 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{x15} = 0,062 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

M_{x2} – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,005}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 11 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,003}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 7,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,004}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 7,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{15} = \frac{0,005}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 11 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,005}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 11 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,003}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 7,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,004}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 7,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,005}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 11 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 0,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,006}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 15,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,003}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 8,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,004}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 10,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 8,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,006}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 15,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 0,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 0,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

						Расчёт по несущей способности 117	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma_{l1} = \frac{0,006}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 15,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,003}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 8,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,004}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 10,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 8,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,006}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 15,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 0,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{\text{ун м.п.}} = 0,6 \cdot \text{wn м.п.} = 0,6 \cdot 0,272 = 0,163 \text{ кН/м}$$

где: wn 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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,009 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,009 \cdot 100 + 0,007 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,009 \cdot 100 + 0,009 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,007 \cdot 100 + 0,009 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,009 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,83992 \cdot \frac{0,163 \cdot 15^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_l = 0,005 \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

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

$$q_{\text{ун м.п.}} = 0,6 \cdot \text{wn м.п.} = 0,6 \cdot 0,272 = 0,163 \text{ кН/м}$$

где: wn 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

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

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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,009 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,009 \cdot 100 + 0,007 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,009 \cdot 100 + 0,009 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,007 \cdot 100 + 0,009 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,009 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,83992 \cdot \frac{0,163 \cdot 15^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_l = 0,005 \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Вывод: Направляющая Z0-1,2 отвечает требованиям прочности.

3. Расчет реакций, передающихся от вертикального профиля на горизонтальный профиль:

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

3.1.1 [ВВ] Расчет вертикальной нагрузки:

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

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

L_z – длина вертикального профиля, м;

пк – количество несущих кронштейнов.

$$N_z = P_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 6 = 0,118 \cdot 3,3 / 6 = 0,065 \text{ кН}$$

3.1.2 [ВВ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Для горизонтального профиля между пролетом и консолью вертикального профиля:

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

Для горизонтального профиля 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

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,381 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,147 \text{ кН}$$

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

Расчёт по несущей способности						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	
					119	

$$N_{y2} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,381 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,259 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,381 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,223 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,381 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,223 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,381 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,259 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,381 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,147 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,381 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,156 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,381 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,247 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,381 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,225 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,381 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,225 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,381 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,247 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,381 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,156 \text{ кН}$$

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

3.2.1 [ВВГ] Расчет вертикальной нагрузки:

$$N_z = q_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 6 = 0,173 \cdot 3,3 / 6 = 0,095 \text{ кН}$$

3.2.2 [ВВГ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,229 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,089 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,229 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,156 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,229 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,134 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,229 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,134 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,229 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,156 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,229 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,089 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,229 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,094 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,229 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,149 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,229 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,135 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,229 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,135 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = \text{вр м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,229 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,149 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = \text{вр м.п.} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,229 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,094 \text{ кН}$$

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

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

4. Расчет горизонтального профиля "ГО-40х40х1,2"

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

Профиль	Вес, кг/м	Редуцируемое сечение	A, см ²	I _x , см ⁴	I _y , см ⁴	W _x , см ³	W _y , см ³	E, МПа	R _y , МПа
ГО-40х40х1,2	0,75	Гор. полка	0,716	1,235	0,272	0,468	0,157	210000	225
		Верт.полка (как стенка)	0,807	0,634	1,372	0,282	0,492		
		Верхнее	0,716	1,235	0,272	0,468	0,157		
		Нижнее	0,807	0,634	1,372	0,282	0,492		

4..1 Расчёт при сочетании Вес + Ветер (далее [ВВ]):

4.1.1 [ВВ] Определяем изгибающий момент в пролёте от вертикальной нагрузки:

$$M_x = k \cdot N_z \cdot l, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: k – коэффициент по таблицам справочника проектировщика

l – длина пролёта горизонтального профиля, м

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,065 \cdot 0,7 = 0,00778 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,065 \cdot 0,7 = 0,00778 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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 пролётах, 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.

В нашем случае положительное и отрицательное давление ветра равны.

4.1.2 [ВВ] Определяем изгибающий момент от положительного и отрицательного давления ветра:

$$M_y = k \cdot N_y \cdot l, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: k – коэффициент по таблицам справочника проектировщика

l – длина пролёта горизонтального профиля, м

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,0176 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,259 \cdot 0,7 = 0,031 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,223 \cdot 0,7 = 0,02669 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,223 \cdot 0,7 = 0,02669 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,259 \cdot 0,7 = 0,031 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,0176 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01867 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,247 \cdot 0,7 = 0,02957 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,225 \cdot 0,7 = 0,02693 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,225 \cdot 0,7 = 0,02693 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,247 \cdot 0,7 = 0,02957 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01867 \text{ кН·м}$$

4.1.3 [BB] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} \cdot 1000 + \frac{M_y}{W_y} \cdot 1000 < R_y \cdot \gamma_c, \text{ МПа}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00778}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0176}{0,157} \cdot 1000 = 139,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00778}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,031}{0,157} \cdot 1000 = 225 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00778}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02669}{0,157} \cdot 1000 = 197,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00778}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02669}{0,157} \cdot 1000 = 197,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00778}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,031}{0,157} \cdot 1000 = 225 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00778}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0176}{0,157} \cdot 1000 = 139,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00778}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01867}{0,157} \cdot 1000 = 146,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00778}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02957}{0,157} \cdot 1000 = 215,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00778}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02693}{0,157} \cdot 1000 = 199,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00778}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02693}{0,157} \cdot 1000 = 199,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00778}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02957}{0,157} \cdot 1000 = 215,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_6 = \frac{0,00778}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01867}{0,157} \cdot 1000 = 146,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.4 [ВВ] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00778}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,0176}{0,157} \cdot 1000 = 128,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00778}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,031}{0,157} \cdot 1000 = 214,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00778}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,02669}{0,157} \cdot 1000 = 186,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00778}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,02669}{0,157} \cdot 1000 = 186,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00778}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,031}{0,157} \cdot 1000 = 214,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00778}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,0176}{0,157} \cdot 1000 = 128,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00778}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01867}{0,157} \cdot 1000 = 135,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00778}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,02957}{0,157} \cdot 1000 = 205 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00778}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,02693}{0,157} \cdot 1000 = 188,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00778}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,02693}{0,157} \cdot 1000 = 188,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00778}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,02957}{0,157} \cdot 1000 = 205 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00778}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01867}{0,157} \cdot 1000 = 135,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.5 [ВВ] Определяем изгибающий момент на опоре от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,065 \cdot 0,7 = 0,00719 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,065 \cdot 0,7 = 0,00719 \text{ кН·м}$$

4.1.6 [ВВ] Определяем изгибающий момент от положительного и отрицательного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

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

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

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,01626 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,259 \cdot 0,7 = 0,02865 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,223 \cdot 0,7 = 0,02466 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,223 \cdot 0,7 = 0,02466 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,259 \cdot 0,7 = 0,02865 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,01626 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01725 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,247 \cdot 0,7 = 0,02732 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,225 \cdot 0,7 = 0,02488 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,225 \cdot 0,7 = 0,02488 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,247 \cdot 0,7 = 0,02732 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01725 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.1.7 [ВВ] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01626}{0,157} \cdot 1000 = 129,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02865}{0,157} \cdot 1000 = 208 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02466}{0,157} \cdot 1000 = 182,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02466}{0,157} \cdot 1000 = 182,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02865}{0,157} \cdot 1000 = 208 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01626}{0,157} \cdot 1000 = 129,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01725}{0,157} \cdot 1000 = 135,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02732}{0,157} \cdot 1000 = 199,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02488}{0,157} \cdot 1000 = 184 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02488}{0,157} \cdot 1000 = 184 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02732}{0,157} \cdot 1000 = 199,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_6 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01725}{0,157} \cdot 1000 = 135,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.8 [ВВ] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01626}{0,492} \cdot 1000 = 58,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02865}{0,492} \cdot 1000 = 83,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02466}{0,492} \cdot 1000 = 75,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02466}{0,492} \cdot 1000 = 75,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02865}{0,492} \cdot 1000 = 83,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01626}{0,492} \cdot 1000 = 58,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01725}{0,492} \cdot 1000 = 60,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02732}{0,492} \cdot 1000 = 81 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02488}{0,492} \cdot 1000 = 76,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02488}{0,492} \cdot 1000 = 76,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02732}{0,492} \cdot 1000 = 81 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00719}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01725}{0,492} \cdot 1000 = 60,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.9 [ВВ] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от отрицательного давления ветра:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,065 \cdot 0,7 = 0,0051 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,065 \cdot 0,7 = 0,0051 \text{ кН·м}$$

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

						Расчёт по несущей способности 125	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

Определение прогиба:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = f_z = \frac{N_z \cdot l^3 \cdot 10}{1,189 \cdot 48 \cdot I_x \cdot E} - \frac{M \cdot l^2}{16 \cdot I_x \cdot E \cdot 1,189} \cdot 10 \leq \frac{l}{200}, \text{ см}$$

где: 1,189 – коэффициент приведения моментов от расчётной нагрузки к моментам от нормативной нагрузки (0,214 кН / 0,18 кН).

$$f_z = \frac{0,065 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,189 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,0051 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,189} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,065 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,189 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,0051 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,189} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

4.1.10 [BB] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от положительного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,065 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,189 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,0051 \cdot 70^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,189} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,065 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,189 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,0051 \cdot 70^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,189} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

4.1.11 [BB] Расчет прогиба профиля от отрицательной горизонтальной нагрузки:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,01152 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,259 \cdot 0,7 = 0,02031 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,223 \cdot 0,7 = 0,01748 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,223 \cdot 0,7 = 0,01748 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,259 \cdot 0,7 = 0,02031 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,01152 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01223 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,247 \cdot 0,7 = 0,01936 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,225 \cdot 0,7 = 0,01764 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,225 \cdot 0,7 = 0,01764 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,247 \cdot 0,7 = 0,01936 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01223 \text{ кН·м}$$

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_y = \frac{N_y \cdot l^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot I_y \cdot E} - \frac{M \cdot l^2}{16 \cdot I_y \cdot E \cdot 1,399} \cdot 10 \leq \frac{l}{200}, \text{ см}$$

где: 1,399 – коэффициент приведения моментов от расчётной нагрузки к моментам от нормативной нагрузки (0,554 кН / 0,396 кН).

$$f_{y1} = \frac{0,147 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01152 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,259 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,02031 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,23 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,223 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01748 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,2 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,223 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01748 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,2 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,259 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,02031 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,23 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,147 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01152 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,156 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01223 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,14 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,247 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01936 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,22 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,225 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01764 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,2 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,225 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01764 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,2 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,247 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01936 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,22 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,156 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01223 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,14 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

4.1.12 [BB] Расчет прогиба профиля от положительной горизонтальной нагрузки:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,01152 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,259 \cdot 0,7 = 0,02031 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,223 \cdot 0,7 = 0,01748 \text{ кН·м}$$

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

Расчёт по несущей способности						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	
					127	

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,223 \cdot 0,7 = 0,01748 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,259 \cdot 0,7 = 0,02031 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,147 \cdot 0,7 = 0,01152 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01223 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,247 \cdot 0,7 = 0,01936 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,225 \cdot 0,7 = 0,01764 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,225 \cdot 0,7 = 0,01764 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,247 \cdot 0,7 = 0,01936 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01223 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{y1} = \frac{0,147 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01152 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,259 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,02031 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,23 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,223 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01748 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,2 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,223 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01748 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,2 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,259 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,02031 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,23 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,147 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01152 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,156 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01223 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,14 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,247 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01936 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,22 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,225 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01764 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,2 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,225 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01764 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,2 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,247 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01936 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,22 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,156 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01223 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,14 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

4..2 Расчёт при сочетании Вес + Ветер + Гололёд (далее [ВВГ]):

4.2.1 [ВВГ] Определяем изгибающий момент в пролёте от вертикальной нагрузки:

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,095 \cdot 0,7 = 0,01137 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,095 \cdot 0,7 = 0,01137 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.2.2 [ВВГ] Определяем изгибающий момент от положительного и отрицательного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,01065 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01867 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,134 \cdot 0,7 = 0,01604 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,134 \cdot 0,7 = 0,01604 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01867 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,01065 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,094 \cdot 0,7 = 0,01125 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,149 \cdot 0,7 = 0,01784 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,135 \cdot 0,7 = 0,01616 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,135 \cdot 0,7 = 0,01616 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,149 \cdot 0,7 = 0,01784 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,094 \cdot 0,7 = 0,01125 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.2.3 [ВВГ] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,01137}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01065}{0,157} \cdot 1000 = 108,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01137}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01867}{0,157} \cdot 1000 = 159,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01137}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01604}{0,157} \cdot 1000 = 142,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01137}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01604}{0,157} \cdot 1000 = 142,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01137}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01867}{0,157} \cdot 1000 = 159,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01137}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01065}{0,157} \cdot 1000 = 108,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,01137}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01125}{0,157} \cdot 1000 = 112 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_2 = \frac{0,01137}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01784}{0,157} \cdot 1000 = 153,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01137}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01616}{0,157} \cdot 1000 = 143,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01137}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01616}{0,157} \cdot 1000 = 143,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01137}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01784}{0,157} \cdot 1000 = 153,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01137}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01125}{0,157} \cdot 1000 = 112 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.4 [ВВГ] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,01137}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01065}{0,157} \cdot 1000 = 92,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01137}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01867}{0,157} \cdot 1000 = 143,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01137}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01604}{0,157} \cdot 1000 = 126,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01137}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01604}{0,157} \cdot 1000 = 126,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01137}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01867}{0,157} \cdot 1000 = 143,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01137}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01065}{0,157} \cdot 1000 = 92,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,01137}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01125}{0,157} \cdot 1000 = 96 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01137}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01784}{0,157} \cdot 1000 = 137,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01137}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01616}{0,157} \cdot 1000 = 127,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01137}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01616}{0,157} \cdot 1000 = 127,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01137}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01784}{0,157} \cdot 1000 = 137,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01137}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01125}{0,157} \cdot 1000 = 96 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.5 [ВВГ] Определяем изгибающий момент на опоре 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		

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,095 \cdot 0,7 = 0,01051 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,095 \cdot 0,7 = 0,01051 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.2.6 [ВВГ] Определяем изгибающий момент от положительного и отрицательного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,00984 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01725 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,134 \cdot 0,7 = 0,01482 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,134 \cdot 0,7 = 0,01482 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01725 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,00984 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,094 \cdot 0,7 = 0,0104 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,149 \cdot 0,7 = 0,01648 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,135 \cdot 0,7 = 0,01493 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,135 \cdot 0,7 = 0,01493 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,149 \cdot 0,7 = 0,01648 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,094 \cdot 0,7 = 0,0104 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.2.7 [ВВГ] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00984}{0,157} \cdot 1000 = 99,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01725}{0,157} \cdot 1000 = 147,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01482}{0,157} \cdot 1000 = 131,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01482}{0,157} \cdot 1000 = 131,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01725}{0,157} \cdot 1000 = 147,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00984}{0,157} \cdot 1000 = 99,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0104}{0,157} \cdot 1000 = 103,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_2 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01648}{0,157} \cdot 1000 = 142,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01493}{0,157} \cdot 1000 = 132,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01493}{0,157} \cdot 1000 = 132,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01648}{0,157} \cdot 1000 = 142,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0104}{0,157} \cdot 1000 = 103,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.8 [ВВГ] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00984}{0,492} \cdot 1000 = 57,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01725}{0,492} \cdot 1000 = 72,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01482}{0,492} \cdot 1000 = 67,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01482}{0,492} \cdot 1000 = 67,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01725}{0,492} \cdot 1000 = 72,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00984}{0,492} \cdot 1000 = 57,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0104}{0,492} \cdot 1000 = 58,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01648}{0,492} \cdot 1000 = 70,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01493}{0,492} \cdot 1000 = 67,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01493}{0,492} \cdot 1000 = 67,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01648}{0,492} \cdot 1000 = 70,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01051}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0104}{0,492} \cdot 1000 = 58,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.9 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от отрицательного давления ветра:

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,095 \cdot 0,7 = 0,00745 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,095 \cdot 0,7 = 0,00745 \text{ кН·м}$$

Определение прогиба:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,095 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,335 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,00745 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,335} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,095 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,335 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,00745 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,335} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

4.2.10 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от положительного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,095 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,335 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,00745 \cdot 70^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,335} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,095 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,335 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,00745 \cdot 70^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,335} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

4.2.11 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от отрицательной горизонтальной нагрузки:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,00698 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01223 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,134 \cdot 0,7 = 0,01051 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,134 \cdot 0,7 = 0,01051 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01223 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,00698 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,094 \cdot 0,7 = 0,00737 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,149 \cdot 0,7 = 0,01168 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,135 \cdot 0,7 = 0,01058 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,135 \cdot 0,7 = 0,01058 \text{ кН·м}$$

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

Расчёт по несущей способности						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	
					133	

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,149 \cdot 0,7 = 0,01168 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,094 \cdot 0,7 = 0,00737 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{y1} = \frac{0,089 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00698 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,156 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01223 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,14 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,134 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01051 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,134 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01051 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,156 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01223 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,14 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,089 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00698 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,094 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00737 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,149 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01168 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,135 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01058 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,135 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01058 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,149 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01168 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,094 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00737 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

4.2.12 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от положительной горизонтальной нагрузки:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,00698 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01223 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,134 \cdot 0,7 = 0,01051 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,134 \cdot 0,7 = 0,01051 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,156 \cdot 0,7 = 0,01223 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,089 \cdot 0,7 = 0,00698 \text{ кН·м}$$

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

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

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,094 \cdot 0,7 = 0,00737 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,149 \cdot 0,7 = 0,01168 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,135 \cdot 0,7 = 0,01058 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,135 \cdot 0,7 = 0,01058 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,149 \cdot 0,7 = 0,01168 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,094 \cdot 0,7 = 0,00737 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{y1} = \frac{0,089 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00698 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,156 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01223 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,14 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,134 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01051 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,134 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01051 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,156 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01223 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,14 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,089 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00698 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,094 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00737 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,149 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01168 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,135 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01058 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,135 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01058 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,12 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,149 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01168 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,13 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,094 \cdot 70^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00737 \cdot 70^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{70}{200} = 0,35 \text{ см}$$

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

5. Расчет соединения горизонтального профиля с вертикальным профилем

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

Допустимое усилие на срез: 1,7 кН.

Допустимое усилие на разрыв: 2,2 кН.

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

Расчёт по несущей способности						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	
135						

Количество соединений в креплении: 2 шт.

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

5.1.1 [ВВ] Расчет на совместное действие среза от вертикальной нагрузки и разрыва от горизонтальной нагрузки:

$$\sqrt{\left(\frac{N_z \cdot \gamma_m}{n_z \cdot N_{nrs}}\right)^2 + \left(\frac{N_y \cdot \gamma_m}{n_z \cdot N_{nrt}}\right)^2} \leq 1$$

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

N_{nrt} – расчётное усилие на растяжение, кН

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,147 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,048 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,259 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,077 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,223 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,068 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,223 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,068 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,259 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,077 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,147 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,048 \leq 1$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,156 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,051 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,247 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,074 \leq 1$$

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

						Расчёт по несущей способности 136	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,225 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,068 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,225 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,068 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,247 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,074 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,156 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,051 \leq 1$$

5.1.2 [BB] Расчет на смятие от вертикальной нагрузки:

$$\frac{N_z}{n_z \cdot d \cdot t} \cdot 1000 \leq R_{gr}, \text{ МПа}$$

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

t – толщина стенки направляющей, мм

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

$$\frac{0,065}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 6,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

5.2.1 [BBГ] Расчет на совместное действие среза от вертикальной нагрузки и разрыва от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,089 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,043 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,156 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,056 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,134 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,052 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,134 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,052 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,156 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,056 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,089 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,043 \leq 1$$

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

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		
						137	

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,094 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,044 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,149 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,055 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,135 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,052 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,135 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,052 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,149 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,055 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,094 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,044 \leq 1$$

5.2.2 [ВВГ] Расчет на смятие от вертикальной нагрузки:

$$\frac{0,095}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 9,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

Вывод: Соединение горизонтального профиля с вертикальным профилем отвечает требованиям прочности.

6. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:

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

6.1.1 [ВВ] Реакции от вертикальной нагрузки:

$$N_z = P_z / l_{xn} \cdot l_x + P_{zn} \cdot l_x \cdot \gamma_f, \text{ кН}$$

где: P_z – вертикальная нагрузка на горизонтальный профиль, кН

l_{xn} – шаг вертикального профиля по горизонтали, м

l_x – шаг кронштейнов по горизонтали, м

P_{zn} – вес одного погонного метра горизонтального профиля, кН/м

$$N_z = 0,065 / 0,55 \cdot 0,7 + 0,007 \cdot 0,7 \cdot 1,05 = 0,088 \text{ кН}$$

6.1.2 [ВВ] Расчётная нагрузка от давления ветра определяется по формуле (2):

$$w_p = w_0 \cdot k(z_e) \cdot (1 + \zeta(z)) \cdot c_p \cdot \gamma_f, \text{ кН/м}^2$$

$$w_p = 0,23 \cdot 0,71 \cdot (1 + 1,02) \cdot 1,2 \cdot 1,4 = 0,554 \text{ кН/м}^2$$

6.1.3 [ВВ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

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

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

Для кронштейна между пролетом и консолью вертикального профиля:

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

Для кронштейна между пролетами вертикального профиля:

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,554 \cdot 0,7 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,15 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,263 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,227 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,227 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,263 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,554 \cdot 0,7 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,15 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,554 \cdot 0,7 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,159 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,252 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,229 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,229 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,554 \cdot 0,7 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,252 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,554 \cdot 0,7 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,159 \text{ кН}$$

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

6.2.1 [ВВГ] Реакции от вертикальной нагрузки:

$$N_z = 0,095 / 0,55 \cdot 0,7 + 0,007 \cdot 0,7 \cdot 1,05 = 0,126 \text{ кН}$$

6.2.2 [ВВГ] Расчетная нагрузка от давления ветра:

$$q_{вр} = 0,6 \cdot w_p = 0,6 \cdot 0,554 = 0,333 \text{ кН/м}^2$$

где: w_p – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м² (см. пункт 6.12 [ВВ]).

6.2.3 [ВВГ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,333 \cdot 0,7 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,09 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,158 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,136 \text{ кН}$$

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

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

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,136 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,158 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,333 \cdot 0,7 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,09 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,333 \cdot 0,7 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,096 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,151 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,137 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,137 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,333 \cdot 0,7 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,151 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,333 \cdot 0,7 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,096 \text{ кН}$$

7. Расчет кронштейна "КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли"

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

Кронштейн	A, см ²	I _x , см ⁴	W _x , см ³	W _y , см ³	W _p , см ³	E, МПа	R _y , МПа
КРУ-2р гор.	2,24	0,21	0,31	3,39	0,31	210000	225

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

7.1.1 [ВВ] Расчет консоли кронштейна:

Изгибающий момент в консоли кронштейна от вертикальной нагрузки:

$$M_x = N_{zk} \cdot e_y = 0,088 \cdot 0,25 = 0,022 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

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

$$\sigma = \frac{0,022}{0,31} \cdot 1000 = 71 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma = \frac{0,022}{0,31} \cdot 1000 = 71 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по справочнику проектировщика

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

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		
						140	

Изгибающий момент в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$M_{x1} = N_{zk1} \cdot e_y - N_{yk1} \cdot l_z = 0,088 \cdot 0,25 - 0,15 \cdot 0,02 = 0,019 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x2} = N_{zk2} \cdot e_y - N_{yk2} \cdot l_z = 0,088 \cdot 0,25 - 0,263 \cdot 0,02 = 0,01674 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x3} = N_{zk3} \cdot e_y - N_{yk3} \cdot l_z = 0,088 \cdot 0,25 - 0,227 \cdot 0,02 = 0,01746 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x4} = N_{zk4} \cdot e_y - N_{yk4} \cdot l_z = 0,088 \cdot 0,25 - 0,227 \cdot 0,02 = 0,01746 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x5} = N_{zk5} \cdot e_y - N_{yk5} \cdot l_z = 0,088 \cdot 0,25 - 0,263 \cdot 0,02 = 0,01674 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x6} = N_{zk6} \cdot e_y - N_{yk6} \cdot l_z = 0,088 \cdot 0,25 - 0,15 \cdot 0,02 = 0,019 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки определяют по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{0,019}{0,31} \cdot 1000 = 61,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01674}{0,31} \cdot 1000 = 54 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01746}{0,31} \cdot 1000 = 56,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01746}{0,31} \cdot 1000 = 56,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01674}{0,31} \cdot 1000 = 54 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,019}{0,31} \cdot 1000 = 61,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Изгибающий момент в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$M_{x1} = N_{zk1} \cdot e_y - N_{yk1} \cdot l_z = 0,088 \cdot 0,25 - 0,159 \cdot 0,02 = 0,01882 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x2} = N_{zk2} \cdot e_y - N_{yk2} \cdot l_z = 0,088 \cdot 0,25 - 0,252 \cdot 0,02 = 0,01696 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x3} = N_{zk3} \cdot e_y - N_{yk3} \cdot l_z = 0,088 \cdot 0,25 - 0,229 \cdot 0,02 = 0,01742 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x4} = N_{zk4} \cdot e_y - N_{yk4} \cdot l_z = 0,088 \cdot 0,25 - 0,229 \cdot 0,02 = 0,01742 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x5} = N_{zk5} \cdot e_y - N_{yk5} \cdot l_z = 0,088 \cdot 0,25 - 0,252 \cdot 0,02 = 0,01696 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x6} = N_{zk6} \cdot e_y - N_{yk6} \cdot l_z = 0,088 \cdot 0,25 - 0,159 \cdot 0,02 = 0,01882 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки определяют по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{0,01882}{0,31} \cdot 1000 = 60,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01696}{0,31} \cdot 1000 = 54,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01742}{0,31} \cdot 1000 = 56,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01742}{0,31} \cdot 1000 = 56,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_5 = \frac{0,01696}{0,31} \cdot 1000 = 54,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,01882}{0,31} \cdot 1000 = 60,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.1.2 [ВВ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = N_{zk} \cdot e_y, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_z = 0,088 \cdot 0,25 = 0,022 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_z = 0,088 \cdot 0,25 = 0,022 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_n} \cdot 1000 + \frac{P}{A} < R_n \cdot \gamma_s, \text{ МПа}$$

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

$$\sigma = \frac{0,022}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,088}{2,24} = 71,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{0,022}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,088}{2,24} = 71,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.1.3 [ВВ] Расчет напряжения от вертикальной и горизонтальной нагрузки в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$M_x = N_{zk} \cdot e_y - N_y \cdot e_z, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: e_z – наибольшее из двух расстояний:

расстояние по оси Z от шляпки анкера до оси горизонтальной нагрузки, м

расстояние по оси Z от консоли кронштейна до оси горизонтальной нагрузки, м

$$M_{z1} = 0,088 \cdot 0,25 - 0,159 \cdot 0,006 = 0,02105 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,088 \cdot 0,25 - 0,252 \cdot 0,006 = 0,02049 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,088 \cdot 0,25 - 0,229 \cdot 0,006 = 0,02063 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,088 \cdot 0,25 - 0,229 \cdot 0,006 = 0,02063 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Согласовано			

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

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

$$Mz5 = 0,088 \cdot 0,25 - 0,252 \cdot 0,006 = 0,02049 \text{ кН·м}$$

$$Mz6 = 0,088 \cdot 0,25 - 0,159 \cdot 0,006 = 0,02105 \text{ кН·м}$$

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{Mx}{Wp} \cdot 1000 + \frac{P}{A} < Rn \cdot \gamma_s, \text{ МПа}$$

$$\sigma_1 = \frac{0,02105}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,088}{2,24} = 68,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,02049}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,088}{2,24} = 66,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,02063}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,088}{2,24} = 66,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,02063}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,088}{2,24} = 66,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,02049}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,088}{2,24} = 66,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,02105}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,088}{2,24} = 68,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.1.4 [ВВ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки на стыке пяты и консоли кронштейна:

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$Mz = N_{yk} \cdot ex_3, \text{ кН·м}$$

где: ex_3 – расстояние от оси ветровой нагрузки до полки кронштейна, м

$$Mz = 0,15 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mz = 0,159 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН·м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

Проверка по методу конечных элементов

7.1.5 [ВВ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f = \frac{N_{zk} \cdot ey^3 \cdot 10}{3 \cdot E \cdot I_x} < \frac{ey}{100}, \text{ см}$$

где: ey – Вылет, см

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

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

$$f_z = \frac{0,088 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 0,21} = 0,104 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,088 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 0,21} = 0,104 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

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

7.2.1 [ВВГ] Расчет консоли кронштейна:

Изгибающий момент в консоли кронштейна от вертикальной нагрузки:

$$M_x = N_{zk} \cdot e_y = 0,126 \cdot 0,25 = 0,0315 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma = \frac{0,0315}{0,31} \cdot 1000 = 101,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma = \frac{0,0315}{0,31} \cdot 1000 = 101,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Изгибающий момент в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$M_{x1} = N_{zk1} \cdot e_y - N_{yk1} \cdot l_z = 0,126 \cdot 0,25 - 0,09 \cdot 0,02 = 0,0297 \text{ кН·м}$$

$$M_{x2} = N_{zk2} \cdot e_y - N_{yk2} \cdot l_z = 0,126 \cdot 0,25 - 0,158 \cdot 0,02 = 0,02834 \text{ кН·м}$$

$$M_{x3} = N_{zk3} \cdot e_y - N_{yk3} \cdot l_z = 0,126 \cdot 0,25 - 0,136 \cdot 0,02 = 0,02878 \text{ кН·м}$$

$$M_{x4} = N_{zk4} \cdot e_y - N_{yk4} \cdot l_z = 0,126 \cdot 0,25 - 0,136 \cdot 0,02 = 0,02878 \text{ кН·м}$$

$$M_{x5} = N_{zk5} \cdot e_y - N_{yk5} \cdot l_z = 0,126 \cdot 0,25 - 0,158 \cdot 0,02 = 0,02834 \text{ кН·м}$$

$$M_{x6} = N_{zk6} \cdot e_y - N_{yk6} \cdot l_z = 0,126 \cdot 0,25 - 0,09 \cdot 0,02 = 0,0297 \text{ кН·м}$$

Напряжения в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки определяют по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{0,0297}{0,31} \cdot 1000 = 95,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,02834}{0,31} \cdot 1000 = 91,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,02878}{0,31} \cdot 1000 = 92,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,02878}{0,31} \cdot 1000 = 92,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,02834}{0,31} \cdot 1000 = 91,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_6 = \frac{0,0297}{0,31} \cdot 1000 = 95,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Изгибающий момент в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$M_{x1} = N_{zk1} \cdot e_y - N_{yk1} \cdot l_z = 0,126 \cdot 0,25 - 0,096 \cdot 0,02 = 0,02958 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x2} = N_{zk2} \cdot e_y - N_{yk2} \cdot l_z = 0,126 \cdot 0,25 - 0,151 \cdot 0,02 = 0,02848 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x3} = N_{zk3} \cdot e_y - N_{yk3} \cdot l_z = 0,126 \cdot 0,25 - 0,137 \cdot 0,02 = 0,02876 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x4} = N_{zk4} \cdot e_y - N_{yk4} \cdot l_z = 0,126 \cdot 0,25 - 0,137 \cdot 0,02 = 0,02876 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x5} = N_{zk5} \cdot e_y - N_{yk5} \cdot l_z = 0,126 \cdot 0,25 - 0,151 \cdot 0,02 = 0,02848 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x6} = N_{zk6} \cdot e_y - N_{yk6} \cdot l_z = 0,126 \cdot 0,25 - 0,096 \cdot 0,02 = 0,02958 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки определяют по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{0,02958}{0,31} \cdot 1000 = 95,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,02848}{0,31} \cdot 1000 = 91,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,02876}{0,31} \cdot 1000 = 92,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,02876}{0,31} \cdot 1000 = 92,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,02848}{0,31} \cdot 1000 = 91,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,02958}{0,31} \cdot 1000 = 95,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.2.2 [ВВГ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_z = 0,126 \cdot 0,25 = 0,0315 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_z = 0,126 \cdot 0,25 = 0,0315 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{0,0315}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,126}{2,24} = 102,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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	

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{0,0315}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,126}{2,24} = 102,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.2.3 [ВВГ] Расчет напряжения от вертикальной и горизонтальной нагрузки в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$Mz1 = 0,126 \cdot 0,25 - 0,096 \cdot 0,006 = 0,03092 \text{ кН·м}$$

$$Mz2 = 0,126 \cdot 0,25 - 0,151 \cdot 0,006 = 0,03059 \text{ кН·м}$$

$$Mz3 = 0,126 \cdot 0,25 - 0,137 \cdot 0,006 = 0,03068 \text{ кН·м}$$

$$Mz4 = 0,126 \cdot 0,25 - 0,137 \cdot 0,006 = 0,03068 \text{ кН·м}$$

$$Mz5 = 0,126 \cdot 0,25 - 0,151 \cdot 0,006 = 0,03059 \text{ кН·м}$$

$$Mz6 = 0,126 \cdot 0,25 - 0,096 \cdot 0,006 = 0,03092 \text{ кН·м}$$

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,03092}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,126}{2,24} = 100,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,03059}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,126}{2,24} = 99,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,03068}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,126}{2,24} = 99,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,03068}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,126}{2,24} = 99,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,03059}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,126}{2,24} = 99,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,03092}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,126}{2,24} = 100,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.2.4 [ВВГ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки на стыке пяты и консоли кронштейна:

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$Mz = 0,09 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mz = 0,096 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН·м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

Проверка по методу конечных элементов

7.2.5 [ВВГ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,126 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 0,21} = 0,149 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,126 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 0,21} = 0,149 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Вывод: Кронштейн КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли отвечает требованиям прочности.

8. Расчет соединения кронштейна с профилем

Тип крепления: Закlepка вытяжная диаметром 4мм A2/A2.

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.

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

8.1.1 [ВВ] Расчет на срез от горизонтальной нагрузки:

$$N_s = \frac{N_y}{n_z} \cdot \gamma_m \leq N_{nrs}, \text{ кН}$$

где: 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

$$N_{s1} = \frac{0,15}{2} \cdot 1,25 = 0,094 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{0,263}{2} \cdot 1,25 = 0,164 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{0,227}{2} \cdot 1,25 = 0,142 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{0,227}{2} \cdot 1,25 = 0,142 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{0,263}{2} \cdot 1,25 = 0,164 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s6} = \frac{0,15}{2} \cdot 1,25 = 0,094 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{s1} = \frac{0,159}{2} \cdot 1,25 = 0,099 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Согласовано					
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №			
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата

Расчёт по несущей способности

147

Лист

$$N_{s2} = \frac{0,252}{2} \cdot 1,25 = 0,158 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{0,229}{2} \cdot 1,25 = 0,143 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{0,229}{2} \cdot 1,25 = 0,143 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{0,252}{2} \cdot 1,25 = 0,158 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s6} = \frac{0,159}{2} \cdot 1,25 = 0,099 \leq 1,7 \text{ кН}$$

8.1.2 [ВВ] Расчет на смятие от горизонтальной нагрузки:

$$\frac{N_y}{n_z \cdot d \cdot t} \cdot 1000 \leq R_{gr}, \text{ МПа}$$

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

$$\frac{0,15}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 15,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,263}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 27,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,227}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 23,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,227}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 23,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,263}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 27,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,15}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 15,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{0,159}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,252}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 26,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,229}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 23,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,229}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 23,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,252}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 26,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

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

$$\frac{0,159}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,6 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

8.2.1 [ВВГ] Расчет на срез от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$Ns1 = \frac{0,09}{2} \cdot 1,25 = 0,056 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns2 = \frac{0,158}{2} \cdot 1,25 = 0,099 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns3 = \frac{0,136}{2} \cdot 1,25 = 0,085 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns4 = \frac{0,136}{2} \cdot 1,25 = 0,085 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns5 = \frac{0,158}{2} \cdot 1,25 = 0,099 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns6 = \frac{0,09}{2} \cdot 1,25 = 0,056 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Ns1 = \frac{0,096}{2} \cdot 1,25 = 0,06 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns2 = \frac{0,151}{2} \cdot 1,25 = 0,094 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns3 = \frac{0,137}{2} \cdot 1,25 = 0,086 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns4 = \frac{0,137}{2} \cdot 1,25 = 0,086 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns5 = \frac{0,151}{2} \cdot 1,25 = 0,094 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$Ns6 = \frac{0,096}{2} \cdot 1,25 = 0,06 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$\frac{0,09}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 9,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,158}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,136}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 14,2 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,136}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 14,2 \leq 295 \text{ МПа}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

$$\frac{0,158}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,09}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 9,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{0,096}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 10 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,151}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 15,7 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,137}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 14,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,137}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 14,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,151}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 15,7 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,096}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 10 \leq 295 \text{ МПа}$$

Вывод: Соединение кронштейна с профилем отвечает требованиям прочности.

9. Расчет прочности крепления кронштейна "КРЧ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания

Крепление в ячеистые блоки на один анкер в ближайшее к консоли кронштейна отверстие. .

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_a = \frac{M_x + N_y \cdot e_b}{b_z}$$

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

e_b – плечо ветровой нагрузки по оси Z, м

$$N_{a1} = \frac{0,022 + 0,15 \cdot 0,06}{0,045} = 0,69 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,022 + 0,263 \cdot 0,06}{0,045} = 0,84 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,022 + 0,227 \cdot 0,06}{0,045} = 0,79 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,022 + 0,227 \cdot 0,06}{0,045} = 0,79 \text{ 0 кН}$$

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

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

$$N_{a5} = \frac{0,022 + 0,263 \cdot 0,06}{0,045} = 0,84 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a6} = \frac{0,022 + 0,15 \cdot 0,06}{0,045} = 0,69 \text{ 0 кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{a1} = \frac{0,022 + 0,159 \cdot 0,06}{0,045} = 0,7 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,022 + 0,252 \cdot 0,06}{0,045} = 0,82 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,022 + 0,229 \cdot 0,06}{0,045} = 0,79 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,022 + 0,229 \cdot 0,06}{0,045} = 0,79 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a5} = \frac{0,022 + 0,252 \cdot 0,06}{0,045} = 0,82 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a6} = \frac{0,022 + 0,159 \cdot 0,06}{0,045} = 0,7 \text{ 0 кН}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{a1} = \frac{0,0315 + 0,09 \cdot 0,06}{0,045} = 0,82 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,0315 + 0,158 \cdot 0,06}{0,045} = 0,91 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,0315 + 0,136 \cdot 0,06}{0,045} = 0,88 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,0315 + 0,136 \cdot 0,06}{0,045} = 0,88 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a5} = \frac{0,0315 + 0,158 \cdot 0,06}{0,045} = 0,91 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a6} = \frac{0,0315 + 0,09 \cdot 0,06}{0,045} = 0,82 \text{ 0 кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{a1} = \frac{0,0315 + 0,096 \cdot 0,06}{0,045} = 0,83 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,0315 + 0,151 \cdot 0,06}{0,045} = 0,9 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,0315 + 0,137 \cdot 0,06}{0,045} = 0,88 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,0315 + 0,137 \cdot 0,06}{0,045} = 0,88 \text{ 0 кН}$$

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

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

$$Na5 = \frac{0,0315 + 0,151 \cdot 0,06}{0,045} = 0,9 \text{ кН}$$

$$Na6 = \frac{0,0315 + 0,096 \cdot 0,06}{0,045} = 0,83 \text{ кН}$$

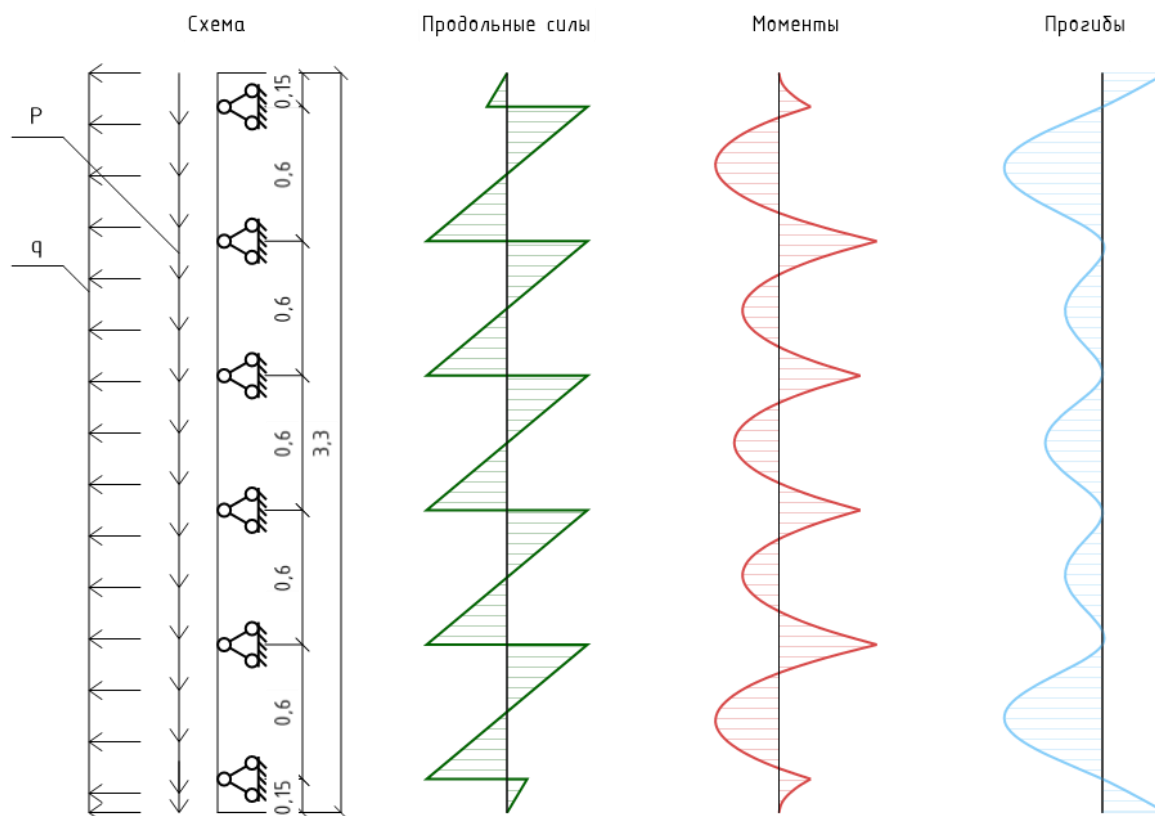
Вывод: Допустимое усилие анкера на вырыв при креплении кронштейна КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли в ячеистые блоки на один анкер в ближайшее к консоли кронштейна отверстие должно быть не менее 0,91 кН.

Согласовано							Расчёт по несущей способности	Лист
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №					152	
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата			

Расчет прочности монтажной схемы №4

1. Исходные данные:

1. Район строительства:
2. Ветровой район: I – 0,23 кН Тип местности: B
3. Ветровая зона: Узловая
4. Высота применения: 13 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: ZO-1,2
10. Шаг вертикального профиля по горизонтали: 0,55 м
11. Схема вертикального профиля: пятипролётная балка ZO-1,2_6КРУ-2p[↔1к] 0,15|0,6+0,6+0,6+0,6+0,6|0,15
12. Вылет: 0,25 м
13. Схема горизонтального профиля: 6ГО-40х40х1,2(∞х0,4)
14. Несущие кронштейны:
–КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли с креплением на один анкер в ближайшее к консоли кронштейна отверстие в ячеистые блоки..



2. Расчет вертикального профиля "ZO-1,2"

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №	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
ZO-1,2	0,74	Широкая полка	0,68	0,552	0,438	210000	225
		Узкая полка	0,9	0,64	0,508		

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

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

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

$$Pz \text{ м.п.} = 0,167 \cdot 1,2 \cdot 0,55 + 0,007 \cdot 1,05 = 0,118 \text{ кН/м}$$

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.

$$Nza = Pz \text{ м.п.} \cdot lza = 0,118 \cdot 0,15 = 0,018 \text{ кН}$$

$$Nzl = Pz \text{ м.п.} \cdot lzl = 0,118 \cdot 0,6 = 0,071 \text{ кН}$$

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):

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

$$w_p \text{ м.п.} = 0,23 \cdot 0,71 \cdot (1 + 1,02) \cdot 2,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,55 \cdot 1,25 = 0,698 \text{ кН/м}$$

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

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,698 \cdot 0,15^2 = 0,008 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,105 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,026 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,105 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,026 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,079 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,02 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,105 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,026 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,105 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,026 \text{ кН·м}$$

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

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

$$M_{\alpha 2} = 0,5 \cdot 0,698 \cdot 0,15^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{\alpha 1} = 0,502 \cdot 0,698 \cdot 0,15^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x11} = 0,097 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,024 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,097 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,024 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,081 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,02 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,097 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,024 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x15} = 0,097 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,024 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 2} = 0,502 \cdot 0,698 \cdot 0,15^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{\alpha 1} = \frac{0,008}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 18,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,024}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 55,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,024}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 55,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,02}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 46,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,024}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 55,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,024}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 55,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\alpha 2} = \frac{0,008}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 18,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{\alpha 1} = \frac{0,008}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 18,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,024}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 55,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,024}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 55,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,02}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 46,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,024}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 55,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Согласовано			

Взам. Инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

$$\sigma_{15} = \frac{0,024}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 55,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,008}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 18,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$\text{вр м.п.} = 0,23 \cdot 0,71 \cdot (1 + 1,02) \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,55 \cdot 1,25 = 0,381 \text{ кН/м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,381 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,105 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,105 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,079 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,105 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,105 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,014 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,381 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa1} = 0,502 \cdot 0,381 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,097 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,097 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,081 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,097 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,097 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,013 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,502 \cdot 0,381 \cdot 0,15^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

2.18 [ВВ] Нормальные напряжения на опоре во внутреннем сечении направляющей (узкая полка):

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,004}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 8,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,013}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 26,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,013}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 26,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,011}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 22,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,013}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 26,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,013}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 26,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{a2} = \frac{0,004}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 8,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,004}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 8,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,013}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 26,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,013}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 26,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,011}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 22,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,013}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 26,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,013}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 26,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,004}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 8,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.9 [BB] Расчётная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра равна 0,698 кН/м (см. пункт 2.13 [BB]).

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

Проверка по справочнику проектировщика

M_{x1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,078 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,02 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,033 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,046 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,012 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,033 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x15} = 0,078 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,02 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

M_{x2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

M_{x1} – отсутствует

$$M_{x11} = 0,062 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,016 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,036 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,044 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,036 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x15} = 0,062 \cdot 0,698 \cdot 0,6^2 = 0,016 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

M_{x2} – отсутствует

2.1.11 [BB] Нормальные напряжения в пролёте во внутреннем сечении направляющей (узкая полка):

Проверка по справочнику проектировщика

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

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

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,016}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 32,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 18,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,011}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 22,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 18,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,016}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 32,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,016}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 32,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 18,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,011}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 22,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 18,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,016}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,9} \cdot 10 = 32,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,9} \cdot 10 = 0,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

2.1.12 [ВВ] Расчётная погонная нагрузка от положительного давления ветра равна 0,381 кН/м (см. пункт 2.16 [ВВ]).

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

Проверка по справочнику проектировщика

M_{xa1} – отсутствует

$$M_{xl1} = 0,078 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xl2} = 0,033 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xl3} = 0,046 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xl4} = 0,033 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{xl5} = 0,078 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,011 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

M_{xa2} – отсутствует

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

Мхa1 – отсутствует

$$M_{x11} = 0,062 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x12} = 0,036 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x13} = 0,044 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x14} = 0,036 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x15} = 0,062 \cdot 0,381 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Мхa2 – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,009}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 21,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 12,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 14,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 12,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,009}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 21,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,009}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 21,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 12,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,006}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 14,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 12,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,009}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,071}{0,68} \cdot 10 = 21,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,018}{0,68} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

						Расчёт по несущей способности	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	159	

2..115 [BB] Нормативная погонная нагрузка от отрицательного давления ветра определяется по формуле:

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

$$w_n = \frac{0,698}{1,4} = 0,499 \text{ кН/м}$$

2.1.16 [BB] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

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

где: l – длина пролета, см

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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,499 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,026 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,499 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,026 \cdot 100 + 0,02 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,499 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,026 \cdot 100 + 0,026 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,499 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,02 \cdot 100 + 0,026 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,499 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,026 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

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

где: k – коэффициент, полученный методом конечных элементов

l – длина пролета, см

$$f_{a1} = 0,83992 \cdot \frac{0,499 \cdot 15^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_{l1} = 0,005 \cdot \frac{0,499 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = 0,00192 \cdot \frac{0,499 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = 0,00295 \cdot \frac{0,499 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = 0,00192 \cdot \frac{0,499 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

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

						Расчёт по несущей способности 160	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$f_{l5} = 0,005 \cdot \frac{0,499 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{a2} = 0,83992 \cdot \frac{0,499 \cdot 15^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

2..117 [ВВ] Нормативная погонная нагрузка от положительного давления ветра определяется по формуле:

$$w_H = \frac{0,381}{1,4} = 0,272 \text{ кН/м}$$

2.1.18 [ВВ] Расчет прогиба профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100 + 0,011 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100 + 0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,011 \cdot 100 + 0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,014 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{a1} = 0,83992 \cdot \frac{0,272 \cdot 15^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_{l1} = 0,005 \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = 0,00192 \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = 0,00295 \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = 0,00192 \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = 0,005 \cdot \frac{0,272 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{a2} = 0,83992 \cdot \frac{0,272 \cdot 15^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

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

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

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

2.2.1 [ВВГ] Расчётная погонная нагрузка от веса облицовки и профиля равна 0,118 кН/м (см. пункт 2.11 [ВВ]).

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

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

$$i \text{ м.п.} = 2 \cdot 5 \cdot 1,06 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot 1,8 \cdot 0,55 / 1000 = 0,056 \text{ кН/м}$$

2.2.3 [ВВГ] Суммарная вертикальная расчётная погонная нагрузка:

$$q_{zp} \text{ м.п.} = P_{zp} \text{ м.п.} + i_{p} \text{ м.п.} = 0,118 + 0,056 = 0,173 \text{ кН/м}$$

2.2.4 [ВВГ] Продольные усилия в профиле:

$$N_{za} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{za} = 0,173 \cdot 0,15 = 0,026 \text{ кН}$$

$$N_{zl} = q_z \text{ м.п.} \cdot l_{zl} = 0,173 \cdot 0,6 = 0,104 \text{ кН}$$

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

$$q_{wp} \text{ м.п.} = 0,6 \cdot w_p \text{ м.п.} = 0,6 \cdot 0,698 = 0,419 \text{ кН/м}$$

где: $w_p \text{ м.п.}$ – 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

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,419 \cdot 0,15^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,105 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,016 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,105 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,016 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,079 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,012 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,105 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,016 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,105 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,016 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,419 \cdot 0,15^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{xa1} = 0,502 \cdot 0,419 \cdot 0,15^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,097 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,097 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,081 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,012 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,097 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,097 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,015 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,502 \cdot 0,419 \cdot 0,15^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 11,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{l1} = \frac{0,015}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 35,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,015}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 35,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,012}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 28,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,015}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 35,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,015}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 35,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 11,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 11,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,015}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 35,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,015}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 35,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,012}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 28,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,015}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 35,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,015}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 35,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 11,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{вр \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot w_{р \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot 0,381 = 0,229 \text{ кН/м}$$

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{xa1} = 0,5 \cdot 0,229 \cdot 0,15^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl1} = 0,105 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,105 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,079 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,007 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,105 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,105 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{xa2} = 0,5 \cdot 0,229 \cdot 0,15^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

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	
163						

$$M_{\alpha 1} = 0,502 \cdot 0,229 \cdot 0,15^2 = 0,003 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 11} = 0,097 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 12} = 0,097 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 13} = 0,081 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,007 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 14} = 0,097 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 15} = 0,097 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\alpha 2} = 0,502 \cdot 0,229 \cdot 0,15^2 = 0,003 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{\alpha 1} = \frac{0,003}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 6,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,008}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,008}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} = \frac{0,007}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 14,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{14} = \frac{0,008}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{15} = \frac{0,008}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\alpha 2} = \frac{0,003}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 6,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{\alpha 1} = \frac{0,003}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 6,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,008}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,008}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} = \frac{0,007}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 14,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{14} = \frac{0,008}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{15} = \frac{0,008}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 16,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\alpha 2} = \frac{0,003}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 6,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

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

$$\text{кур м.п.} = 0,6 \cdot \text{вр м.п.} = 0,6 \cdot 0,698 = 0,419 \text{ кН/м}$$

где: вр 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

Мхa1 – отсутствует

$$M_{x11} = 0,078 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,012 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,033 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,046 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,007 \text{ кН·м}$$

$$M_{x14} = 0,033 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{x15} = 0,078 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,012 \text{ кН·м}$$

Мхa2 – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

Мхa1 – отсутствует

$$M_{x11} = 0,062 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

$$M_{x12} = 0,036 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{x13} = 0,044 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,007 \text{ кН·м}$$

$$M_{x14} = 0,036 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{x15} = 0,062 \cdot 0,419 \cdot 0,6^2 = 0,009 \text{ кН·м}$$

Мхa2 – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{11} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 18,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{12} = \frac{0,005}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 11 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{13} = \frac{0,007}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 14,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{14} = \frac{0,005}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 11 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{15} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 18,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{l1} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 18,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,005}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 11 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,007}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 14,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,005}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 11 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,009}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,9} \cdot 10 = 18,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,508} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,9} \cdot 10 = 0,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{вр \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot w_{р \text{ м.п.}} = 0,6 \cdot 0,381 = 0,229 \text{ кН/м}$$

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_{xa1} – отсутствует

$$M_{xl1} = 0,078 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,033 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,046 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,033 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,078 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,006 \text{ кН·м}$$

M_{xa2} – отсутствует

Проверка по методу конечных элементов

M_{xa1} – отсутствует

$$M_{xl1} = 0,062 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl2} = 0,036 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl3} = 0,044 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,004 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl4} = 0,036 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,003 \text{ кН·м}$$

$$M_{xl5} = 0,062 \cdot 0,229 \cdot 0,6^2 = 0,005 \text{ кН·м}$$

M_{xa2} – отсутствует

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 0,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 12,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_{l2} = \frac{0,003}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 8,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,004}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 10,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 8,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 12,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 0,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_{a1} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 0,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 12,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l2} = \frac{0,003}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 8,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l3} = \frac{0,004}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 10,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l4} = \frac{0,003}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 8,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{l5} = \frac{0,005}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,104}{0,68} \cdot 10 = 12,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a2} = \frac{0}{0,438} \cdot 1000 + \frac{0,026}{0,68} \cdot 10 = 0,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

$$q_{\text{н м.п.}} = 0,6 \cdot w_{\text{н м.п.}} = 0,6 \cdot 0,499 = 0,299 \text{ кН/м}$$

где: $w_{\text{н м.п.}}$ – 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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,299 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,016 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,299 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,016 \cdot 100 + 0,012 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,299 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,016 \cdot 100 + 0,016 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,299 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,012 \cdot 100 + 0,016 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

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

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

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,299 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,016 \cdot 100}{16 \cdot 0,64 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,83992 \cdot \frac{0,299 \cdot 15^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_l = 0,005 \cdot \frac{0,299 \cdot 60^4}{0,64 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

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

$$q_{\text{ун м.п.}} = 0,6 \cdot w_{\text{н м.п.}} = 0,6 \cdot 0,272 = 0,163 \text{ кН/м}$$

где: $w_{\text{н м.п.}}$ – 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

$$f_{l1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,009 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,009 \cdot 100 + 0,007 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,009 \cdot 100 + 0,009 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l4} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,007 \cdot 100 + 0,009 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

$$f_{l5} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} - \frac{0,009 \cdot 100}{16 \cdot 0,552 \cdot 210000 \cdot 1,4} \cdot 60^2 \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_a = 0,83992 \cdot \frac{0,163 \cdot 15^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{15}{100} = 0,15 \text{ см}$$

$$f_l = 0,005 \cdot \frac{0,163 \cdot 60^4}{0,552 \cdot 210000 \cdot 10} = 0,01 \leq \frac{60}{200} = 0,3 \text{ см}$$

Вывод: Направляющая ZО-1,2 отвечает требованиям прочности.

3. Расчет реакций, передающихся от вертикального профиля на горизонтальный профиль:

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

3.1.1 [ВВ] Расчет вертикальной нагрузки:

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

где: $P_z \text{ м.п.}$ – вертикальная нагрузка на вертикальный профиль, кН/м

L_z – длина вертикального профиля, м;

Расчёт по несущей способности

168

Лист

Изм. Кол.уч. Лист №Док. Подпись Дата

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

пк – количество несущих кронштейнов.

$$N_z = P_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 6 = 0,118 \cdot 3,3 / 6 = 0,065 \text{ кН}$$

3.1.2 [ВВ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Для горизонтального профиля между пролетом и консолью вертикального профиля:

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

Для горизонтального профиля 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

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,698 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,27 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,698 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,474 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,698 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,408 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,698 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,408 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,698 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,474 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,698 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,27 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,698 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,286 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,698 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,453 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,698 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,412 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,698 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,412 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,698 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,453 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,698 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,286 \text{ кН}$$

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

3.2.1 [ВВГ] Расчет вертикальной нагрузки:

$$N_z = q_z \text{ м.п.} \cdot L_z / 6 = 0,173 \cdot 3,3 / 6 = 0,095 \text{ кН}$$

3.2.2 [ВВГ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \text{ м.п.} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,419 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,162 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,419 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,285 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \text{ м.п.} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,419 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,245 \text{ кН}$$

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

Расчёт по несущей способности						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	
					169	

$$N_{y4} = w_{р \text{ м.п.}} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,419 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,245 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_{р \text{ м.п.}} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,419 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,285 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_{р \text{ м.п.}} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,419 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,162 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_{р \text{ м.п.}} \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,419 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,172 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_{р \text{ м.п.}} \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,419 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,272 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_{р \text{ м.п.}} \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,419 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,247 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_{р \text{ м.п.}} \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,419 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,247 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_{р \text{ м.п.}} \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,419 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,272 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_{р \text{ м.п.}} \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,419 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,172 \text{ кН}$$

4. Расчет горизонтального профиля "ГО-40х40х1,2"

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

Профиль	Вес, кг/м	Редуцируемое сечение	A, см ²	I _x , см ⁴	I _y , см ⁴	W _x , см ³	W _y , см ³	E, МПа	R _y , МПа
ГО-40х40х1,2	0,75	Гор. полка	0,716	1,235	0,272	0,468	0,157	210000	225
		Верт.полка (как стенка)	0,807	0,634	1,372	0,282	0,492		
		Верхнее	0,716	1,235	0,272	0,468	0,157		
		Нижнее	0,807	0,634	1,372	0,282	0,492		

4.1 Расчёт при сочетании Вес + Ветер (далее [ВВ]):

4.1.1 [ВВ] Определяем изгибающий момент в пролёте от вертикальной нагрузки:

$$M_x = k \cdot N_z \cdot l, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: k – коэффициент по таблицам справочника проектировщика

l – длина пролёта горизонтального профиля, м

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,065 \cdot 0,4 = 0,00445 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,065 \cdot 0,4 = 0,00445 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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 пролётах, где сжимается внутренняя сторона сечения, так и изгиб на опорах, где

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

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

сжимается внешняя часть сечения. Кроме того, наихудшим случаем может быть как отрицательное давление ветра, так и положительное.

4.1.2 [BB] Расчётное положительное давление ветра определяют по формуле (2):

4.1.3 [BB] Расчётная нагрузка от давления ветра определяется по формуле (2):

$$w_p = w_0 \cdot k(z_e) \cdot (1 + \zeta(z)) \cdot c_p \cdot \gamma_f, \text{ кН/м}^2$$

$$w_p = 0,23 \cdot 0,71 \cdot (1 + 1,02) \cdot 2,2 \cdot 1,4 = 1,016 \text{ кН/м}^2$$

4.1.4 [BB] Определяем изгибающий момент от отрицательного давления ветра:

$$M_y = k \cdot N_y \cdot l, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: k – коэффициент по таблицам справочника проектировщика

l – длина пролёта горизонтального профиля, м

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,27 \cdot 0,4 = 0,01847 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,474 \cdot 0,4 = 0,03242 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,408 \cdot 0,4 = 0,02791 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,408 \cdot 0,4 = 0,02791 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,474 \cdot 0,4 = 0,03242 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,27 \cdot 0,4 = 0,01847 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,286 \cdot 0,4 = 0,01956 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,453 \cdot 0,4 = 0,03099 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,412 \cdot 0,4 = 0,02818 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,412 \cdot 0,4 = 0,02818 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,453 \cdot 0,4 = 0,03099 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,286 \cdot 0,4 = 0,01956 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.1.5 [BB] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} \cdot 1000 + \frac{M_y}{W_y} \cdot 1000 < R_y \cdot \gamma_s, \text{ МПа}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00445}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01847}{0,157} \cdot 1000 = 133,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00445}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,03242}{0,157} \cdot 1000 = 222,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00445}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02791}{0,157} \cdot 1000 = 193,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

Расчёт по несущей способности						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	
					171	

$$\sigma_4 = \frac{0,00445}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02791}{0,157} \cdot 1000 = 193,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00445}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,03242}{0,157} \cdot 1000 = 222,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00445}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01847}{0,157} \cdot 1000 = 133,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00445}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01956}{0,157} \cdot 1000 = 140,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00445}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,03099}{0,157} \cdot 1000 = 213,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00445}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02818}{0,157} \cdot 1000 = 195,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00445}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02818}{0,157} \cdot 1000 = 195,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00445}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,03099}{0,157} \cdot 1000 = 213,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00445}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01956}{0,157} \cdot 1000 = 140,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.6 [ВВ] Определяем изгибающий момент от положительного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,147 \cdot 0,4 = 0,01005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,259 \cdot 0,4 = 0,01772 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,223 \cdot 0,4 = 0,01525 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,223 \cdot 0,4 = 0,01525 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,259 \cdot 0,4 = 0,01772 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,147 \cdot 0,4 = 0,01005 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,156 \cdot 0,4 = 0,01067 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,247 \cdot 0,4 = 0,01689 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,225 \cdot 0,4 = 0,01539 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,225 \cdot 0,4 = 0,01539 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,247 \cdot 0,4 = 0,01689 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,156 \cdot 0,4 = 0,01067 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.1.7 [ВВ] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00445}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01005}{0,157} \cdot 1000 = 73,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

$$\sigma_2 = \frac{0,00445}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01772}{0,157} \cdot 1000 = 122,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00445}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01525}{0,157} \cdot 1000 = 106,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00445}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01525}{0,157} \cdot 1000 = 106,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00445}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01772}{0,157} \cdot 1000 = 122,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00445}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01005}{0,157} \cdot 1000 = 73,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00445}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01067}{0,157} \cdot 1000 = 77,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00445}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01689}{0,157} \cdot 1000 = 117,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00445}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01539}{0,157} \cdot 1000 = 107,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00445}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01539}{0,157} \cdot 1000 = 107,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00445}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01689}{0,157} \cdot 1000 = 117,1 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00445}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01067}{0,157} \cdot 1000 = 77,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.8 [ВВ] Определяем изгибающий момент на опоре от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,065 \cdot 0,4 = 0,00411 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,065 \cdot 0,4 = 0,00411 \text{ кН·м}$$

4.1.9 [ВВ] Определяем изгибающий момент от отрицательного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,27 \cdot 0,4 = 0,01706 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,474 \cdot 0,4 = 0,02996 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,408 \cdot 0,4 = 0,02579 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,408 \cdot 0,4 = 0,02579 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,474 \cdot 0,4 = 0,02996 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,27 \cdot 0,4 = 0,01706 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,286 \cdot 0,4 = 0,01808 \text{ кН·м}$$

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

Расчёт по несущей способности						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	
					173	

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,453 \cdot 0,4 = 0,02863 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,412 \cdot 0,4 = 0,02604 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,412 \cdot 0,4 = 0,02604 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,453 \cdot 0,4 = 0,02863 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,286 \cdot 0,4 = 0,01808 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.1.10 [BB] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01706}{0,157} \cdot 1000 = 123,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02996}{0,157} \cdot 1000 = 205,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02579}{0,157} \cdot 1000 = 178,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02579}{0,157} \cdot 1000 = 178,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02996}{0,157} \cdot 1000 = 205,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01706}{0,157} \cdot 1000 = 123,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01808}{0,157} \cdot 1000 = 129,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02863}{0,157} \cdot 1000 = 196,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02604}{0,157} \cdot 1000 = 180,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02604}{0,157} \cdot 1000 = 180,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,02863}{0,157} \cdot 1000 = 196,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01808}{0,157} \cdot 1000 = 129,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.11 [BB] Определяем изгибающий момент от положительного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,147 \cdot 0,4 = 0,00929 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,259 \cdot 0,4 = 0,01637 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,223 \cdot 0,4 = 0,01409 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,223 \cdot 0,4 = 0,01409 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,259 \cdot 0,4 = 0,01637 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

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

						Расчёт по несущей способности 174	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,147 \cdot 0,4 = 0,00929 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,156 \cdot 0,4 = 0,00986 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,247 \cdot 0,4 = 0,01561 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,225 \cdot 0,4 = 0,01422 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,225 \cdot 0,4 = 0,01422 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,247 \cdot 0,4 = 0,01561 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,156 \cdot 0,4 = 0,00986 \text{ кН·м}$$

4.1.12 [ВВ] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00929}{0,492} \cdot 1000 = 33,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01637}{0,492} \cdot 1000 = 47,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01409}{0,492} \cdot 1000 = 43,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01409}{0,492} \cdot 1000 = 43,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01637}{0,492} \cdot 1000 = 47,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00929}{0,492} \cdot 1000 = 33,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00986}{0,492} \cdot 1000 = 34,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01561}{0,492} \cdot 1000 = 46,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01422}{0,492} \cdot 1000 = 43,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01422}{0,492} \cdot 1000 = 43,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01561}{0,492} \cdot 1000 = 46,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00411}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00986}{0,492} \cdot 1000 = 34,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.1.13 [ВВ] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от отрицательного давления ветра:

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

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

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,065 \cdot 0,4 = 0,00291 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,065 \cdot 0,4 = 0,00291 \text{ кН·м}$$

Определение прогиба:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = f_z = \frac{N_z \cdot l^3 \cdot 10}{1,189 \cdot 48 \cdot I_x \cdot E} - \frac{M \cdot l^2}{16 \cdot I_x \cdot E \cdot 1,189} \cdot 10 < \frac{l}{200}, \text{ см}$$

где: 1,189 – коэффициент приведения моментов от расчётной нагрузки к моментам от нормативной нагрузки (0,214 кН / 0,18 кН).

$$f_z = \frac{0,065 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,189 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,00291 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,189} \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,065 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,189 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,00291 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,189} \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

4.1.14 [ВВ] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от положительного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,065 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,189 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,00291 \cdot 40^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,189} \cdot 10 = 0 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,065 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,189 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,00291 \cdot 40^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,189} \cdot 10 = 0 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

4.1.15 [ВВ] Расчет прогиба профиля от отрицательной горизонтальной нагрузки:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,27 \cdot 0,4 = 0,0121 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,474 \cdot 0,4 = 0,02124 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,408 \cdot 0,4 = 0,01828 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,408 \cdot 0,4 = 0,01828 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,474 \cdot 0,4 = 0,02124 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,27 \cdot 0,4 = 0,0121 \text{ кН·м}$$

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

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,286 \cdot 0,4 = 0,01281 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,453 \cdot 0,4 = 0,02029 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,412 \cdot 0,4 = 0,01846 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,412 \cdot 0,4 = 0,01846 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,453 \cdot 0,4 = 0,02029 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,286 \cdot 0,4 = 0,01281 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_y = \frac{N_y \cdot l^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot l_y \cdot E} - \frac{M \cdot l^2}{16 \cdot l_y \cdot E \cdot 1,399} \cdot 10 < \frac{l}{200}, \text{ см}$$

где: 1,399 – коэффициент приведения моментов от расчётной нагрузки к моментам от нормативной нагрузки (1,016 кН / 0,726 кН).

$$f_{y1} = \frac{0,27 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0121 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,474 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,02124 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,408 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01828 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,07 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,408 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01828 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,07 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,474 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,02124 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,27 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0121 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,286 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01281 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,05 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,453 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,02029 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,412 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01846 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,07 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,412 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01846 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,07 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,453 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,02029 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,08 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,286 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01281 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,05 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

4.1.16 [BB] Расчет прогиба профиля от положительной горизонтальной нагрузки:

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

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

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,147 \cdot 0,4 = 0,00659 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,259 \cdot 0,4 = 0,0116 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,223 \cdot 0,4 = 0,00999 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,223 \cdot 0,4 = 0,00999 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,259 \cdot 0,4 = 0,0116 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,147 \cdot 0,4 = 0,00659 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,156 \cdot 0,4 = 0,00699 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,247 \cdot 0,4 = 0,01107 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,225 \cdot 0,4 = 0,01008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,225 \cdot 0,4 = 0,01008 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,247 \cdot 0,4 = 0,01107 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,156 \cdot 0,4 = 0,00699 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{y1} = \frac{0,147 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00659 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,259 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0116 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,223 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00999 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,223 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00999 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,259 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,0116 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,147 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00659 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,156 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00699 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,247 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01107 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,225 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01008 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,225 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01008 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

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

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

$$f_{y5} = \frac{0,247 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01107 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,156 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00699 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

4..2 Расчёт при сочетании Вес + Ветер + Гололёд (далее [ВВГ]):

4.2.1 [ВВГ] Определяем изгибающий момент в пролёте от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,095 \cdot 0,4 = 0,0065 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,171 \cdot N_z \cdot l = 0,171 \cdot 0,095 \cdot 0,4 = 0,0065 \text{ кН·м}$$

4.2.2 [ВВГ] Определяем изгибающий момент от отрицательного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,162 \cdot 0,4 = 0,01108 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,285 \cdot 0,4 = 0,01949 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,245 \cdot 0,4 = 0,01676 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,245 \cdot 0,4 = 0,01676 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,285 \cdot 0,4 = 0,01949 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,162 \cdot 0,4 = 0,01108 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,172 \cdot 0,4 = 0,01176 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,272 \cdot 0,4 = 0,0186 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,247 \cdot 0,4 = 0,01689 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,247 \cdot 0,4 = 0,01689 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,272 \cdot 0,4 = 0,0186 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,172 \cdot 0,4 = 0,01176 \text{ кН·м}$$

4.2.3 [ВВГ] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,0065}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01108}{0,157} \cdot 1000 = 93,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0065}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01949}{0,157} \cdot 1000 = 147,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0065}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01676}{0,157} \cdot 1000 = 129,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0065}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01676}{0,157} \cdot 1000 = 129,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

						Расчёт по несущей способности 179	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma_5 = \frac{0,0065}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01949}{0,157} \cdot 1000 = 147,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,0065}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01108}{0,157} \cdot 1000 = 93,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,0065}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01176}{0,157} \cdot 1000 = 98 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0065}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0186}{0,157} \cdot 1000 = 141,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0065}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01689}{0,157} \cdot 1000 = 130,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0065}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01689}{0,157} \cdot 1000 = 130,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,0065}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,0186}{0,157} \cdot 1000 = 141,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,0065}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01176}{0,157} \cdot 1000 = 98 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.4 [ВВГ] Определяем изгибающий момент от положительного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,089 \cdot 0,4 = 0,00609 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,156 \cdot 0,4 = 0,01067 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,134 \cdot 0,4 = 0,00917 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,134 \cdot 0,4 = 0,00917 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,156 \cdot 0,4 = 0,01067 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,089 \cdot 0,4 = 0,00609 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,171 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,171 \cdot 0,094 \cdot 0,4 = 0,00643 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,171 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,171 \cdot 0,149 \cdot 0,4 = 0,01019 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,171 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,171 \cdot 0,135 \cdot 0,4 = 0,00923 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,171 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,171 \cdot 0,135 \cdot 0,4 = 0,00923 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,171 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,171 \cdot 0,149 \cdot 0,4 = 0,01019 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,171 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,171 \cdot 0,094 \cdot 0,4 = 0,00643 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.2.5 [ВВГ] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,0065}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00609}{0,157} \cdot 1000 = 52,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0065}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01067}{0,157} \cdot 1000 = 81,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

						Расчёт по несущей способности 180	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma_3 = \frac{0,0065}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00917}{0,157} \cdot 1000 = 72,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0065}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00917}{0,157} \cdot 1000 = 72,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,0065}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01067}{0,157} \cdot 1000 = 81,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,0065}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00609}{0,157} \cdot 1000 = 52,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,0065}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00643}{0,157} \cdot 1000 = 54,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0065}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01019}{0,157} \cdot 1000 = 78,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0065}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00923}{0,157} \cdot 1000 = 72,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0065}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00923}{0,157} \cdot 1000 = 72,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,0065}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,01019}{0,157} \cdot 1000 = 78,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,0065}{0,468} \cdot 1000 + \frac{0,00643}{0,157} \cdot 1000 = 54,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.6 [ВВГ] Определяем изгибающий момент на опоре от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,095 \cdot 0,4 = 0,006 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,158 \cdot N_z \cdot l = 0,158 \cdot 0,095 \cdot 0,4 = 0,006 \text{ кН·м}$$

4.2.7 [ВВГ] Определяем изгибающий момент от отрицательного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,162 \cdot 0,4 = 0,01024 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,285 \cdot 0,4 = 0,01801 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,245 \cdot 0,4 = 0,01548 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,245 \cdot 0,4 = 0,01548 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,285 \cdot 0,4 = 0,01801 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,162 \cdot 0,4 = 0,01024 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,172 \cdot 0,4 = 0,01087 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,272 \cdot 0,4 = 0,01719 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,247 \cdot 0,4 = 0,01561 \text{ кН·м}$$

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

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

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,247 \cdot 0,4 = 0,01561 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,272 \cdot 0,4 = 0,01719 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,172 \cdot 0,4 = 0,01087 \text{ кН·м}$$

4.2.8 [ВВГ] Нормальные напряжения во внутреннем сечении направляющей при отрицательном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01024}{0,157} \cdot 1000 = 86,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01801}{0,157} \cdot 1000 = 136 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01548}{0,157} \cdot 1000 = 119,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01548}{0,157} \cdot 1000 = 119,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01801}{0,157} \cdot 1000 = 136 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01024}{0,157} \cdot 1000 = 86,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01087}{0,157} \cdot 1000 = 90,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01719}{0,157} \cdot 1000 = 130,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01561}{0,157} \cdot 1000 = 120,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01561}{0,157} \cdot 1000 = 120,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01719}{0,157} \cdot 1000 = 130,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,01087}{0,157} \cdot 1000 = 90,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.9 [ВВГ] Определяем изгибающий момент от положительного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,089 \cdot 0,4 = 0,00562 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,156 \cdot 0,4 = 0,00986 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,134 \cdot 0,4 = 0,00847 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,134 \cdot 0,4 = 0,00847 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,156 \cdot 0,4 = 0,00986 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,089 \cdot 0,4 = 0,00562 \text{ кН·м}$$

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

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

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,158 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,158 \cdot 0,094 \cdot 0,4 = 0,00594 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y2} = 0,158 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,158 \cdot 0,149 \cdot 0,4 = 0,00942 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,158 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,158 \cdot 0,135 \cdot 0,4 = 0,00853 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,158 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,158 \cdot 0,135 \cdot 0,4 = 0,00853 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,158 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,158 \cdot 0,149 \cdot 0,4 = 0,00942 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,158 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,158 \cdot 0,094 \cdot 0,4 = 0,00594 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

4.2.10 [ВВГ] Нормальные напряжения во внешнем сечении направляющей при положительном давлении ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sigma_1 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00562}{0,492} \cdot 1000 = 32,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00986}{0,492} \cdot 1000 = 41,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00847}{0,492} \cdot 1000 = 38,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00847}{0,492} \cdot 1000 = 38,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00986}{0,492} \cdot 1000 = 41,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00562}{0,492} \cdot 1000 = 32,7 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sigma_1 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00594}{0,492} \cdot 1000 = 33,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00942}{0,492} \cdot 1000 = 40,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00853}{0,492} \cdot 1000 = 38,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00853}{0,492} \cdot 1000 = 38,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00942}{0,492} \cdot 1000 = 40,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,006}{0,282} \cdot 1000 + \frac{0,00594}{0,492} \cdot 1000 = 33,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

4.2.11 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от отрицательного давления ветра:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

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

						Расчёт по несущей способности 183	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,095 \cdot 0,4 = 0,00426 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_x = 0,112 \cdot N_z \cdot l = 0,112 \cdot 0,095 \cdot 0,4 = 0,00426 \text{ кН·м}$$

Определение прогиба:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,095 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,335 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,00426 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,335} \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,095 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,335 \cdot 48 \cdot 0,634 \cdot 210000} - \frac{0,00426 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,634 \cdot 210000 \cdot 1,335} \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

4.2.12 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от вертикальной нагрузки при потере устойчивости от положительного давления ветра:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,095 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,335 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,00426 \cdot 40^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,335} \cdot 10 = 0 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_z = \frac{0,095 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,335 \cdot 48 \cdot 1,235 \cdot 210000} - \frac{0,00426 \cdot 40^2}{16 \cdot 1,235 \cdot 210000 \cdot 1,335} \cdot 10 = 0 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

4.2.13 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от отрицательной горизонтальной нагрузки:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,162 \cdot 0,4 = 0,00726 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,285 \cdot 0,4 = 0,01277 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,245 \cdot 0,4 = 0,01098 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,245 \cdot 0,4 = 0,01098 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,285 \cdot 0,4 = 0,01277 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,162 \cdot 0,4 = 0,00726 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,172 \cdot 0,4 = 0,00771 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,272 \cdot 0,4 = 0,01219 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,247 \cdot 0,4 = 0,01107 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,247 \cdot 0,4 = 0,01107 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,272 \cdot 0,4 = 0,01219 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,172 \cdot 0,4 = 0,00771 \text{ кН·м}$$

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{y1} = \frac{0,162 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00726 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,285 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01277 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,05 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,245 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01098 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,245 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01098 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,285 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01277 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,05 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,162 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00726 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,172 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00771 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,272 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01219 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,05 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,247 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01107 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,247 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01107 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,04 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,272 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,01219 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,05 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,172 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,402 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00771 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,402} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

4.2.14 [ВВГ] Расчет прогиба профиля от положительной горизонтальной нагрузки:

Для определения прогиба в последнем пролёте определим изгибающий момент в предпоследнем пролёте горизонтального профиля:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,089 \cdot 0,4 = 0,00399 \text{ кН·м}$$

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,156 \cdot 0,4 = 0,00699 \text{ кН·м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,134 \cdot 0,4 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,134 \cdot 0,4 = 0,006 \text{ кН·м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,156 \cdot 0,4 = 0,00699 \text{ кН·м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,089 \cdot 0,4 = 0,00399 \text{ кН·м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_{y1} = 0,112 \cdot N_{y1} \cdot l_1 = 0,112 \cdot 0,094 \cdot 0,4 = 0,00421 \text{ кН·м}$$

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

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

$$M_{y2} = 0,112 \cdot N_{y2} \cdot l_2 = 0,112 \cdot 0,149 \cdot 0,4 = 0,00668 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y3} = 0,112 \cdot N_{y3} \cdot l_3 = 0,112 \cdot 0,135 \cdot 0,4 = 0,00605 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y4} = 0,112 \cdot N_{y4} \cdot l_4 = 0,112 \cdot 0,135 \cdot 0,4 = 0,00605 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y5} = 0,112 \cdot N_{y5} \cdot l_5 = 0,112 \cdot 0,149 \cdot 0,4 = 0,00668 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{y6} = 0,112 \cdot N_{y6} \cdot l_6 = 0,112 \cdot 0,094 \cdot 0,4 = 0,00421 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_{y1} = \frac{0,089 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00399 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,156 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00699 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,134 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,006 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,134 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,006 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,156 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00699 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,03 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,089 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00399 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,01 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$f_{y1} = \frac{0,094 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00421 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y2} = \frac{0,149 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00668 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y3} = \frac{0,135 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00605 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y4} = \frac{0,135 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00605 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y5} = \frac{0,149 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00668 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

$$f_{y6} = \frac{0,094 \cdot 40^3 \cdot 10}{1,399 \cdot 48 \cdot 0,272 \cdot 210000} - \frac{0,00421 \cdot 40^2}{16 \cdot 0,272 \cdot 210000 \cdot 1,399} \cdot 10 = 0,02 \leq \frac{40}{200} = 0,2 \text{ см}$$

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

5. Расчет соединения горизонтального профиля с вертикальным 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.

Расчёт по несущей способности

186

Лист

Изм. Кол.уч Лист №Док. Подпись Дата

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

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

5.1.1 [ВВ] Расчет на совместное действие среза от вертикальной нагрузки и разрыва от горизонтальной нагрузки:

$$\sqrt{\left(\frac{N_z \cdot \gamma_m}{n_z \cdot N_{nrs}}\right)^2 + \left(\frac{N_y \cdot \gamma_m}{n_z \cdot N_{nrt}}\right)^2} \leq 1$$

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

N_{nrt} – расчётное усилие на растяжение, кН

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,27 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,081 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,474 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,137 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,408 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,118 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,408 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,118 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,474 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,137 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,27 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,081 \leq 1$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,286 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,085 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,453 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,131 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,412 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,12 \leq 1$$

Согласовано			

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

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

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,412 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,12 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,453 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,131 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,065 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,286 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,085 \leq 1$$

5.1.2 [BB] Расчет на смятие от вертикальной нагрузки:

$$\frac{N_z}{n_z \cdot d \cdot t} \cdot 1000 \leq R_{gr}, \text{ МПа}$$

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

t – толщина стенки направляющей, мм

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

$$\frac{0,065}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 6,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

5.2.1 [BBГ] Расчет на совместное действие среза от вертикальной нагрузки и разрыва от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,162 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,058 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,285 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,088 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,245 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,078 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,245 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,078 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,285 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,088 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,162 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,058 \leq 1$$

Проверка по методу конечных элементов

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

						Расчёт по несущей способности 188	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,172 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,06 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,272 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,085 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,247 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,078 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,247 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,078 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,272 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,085 \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,095 \cdot 1,25}{2 \cdot 1,7}\right)^2 + \left(\frac{0,172 \cdot 1,25}{2 \cdot 2,2}\right)^2} = 0,06 \leq 1$$

5.2.2 [ВВГ] Расчет на смятие от вертикальной нагрузки:

$$\frac{0,095}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 9,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

Вывод: Соединение горизонтального профиля с вертикальным профилем отвечает требованиям прочности.

6. Расчет реакций, передающихся на кронштейны:

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

6.1.1 [ВВ] Реакции от вертикальной нагрузки:

$$N_z = P_z / l_{xn} \cdot l_x + P_{zn} \cdot l_x \cdot \gamma_f, \text{ кН}$$

где: P_z – вертикальная нагрузка на горизонтальный профиль, кН

l_{xn} – шаг вертикального профиля по горизонтали, м

l_x – шаг кронштейнов по горизонтали, м

P_{zn} – вес одного погонного метра горизонтального профиля, кН/м

$$N_z = 0,065 / 0,55 \cdot 0,4 + 0,007 \cdot 0,4 \cdot 1,05 = 0,05 \text{ кН}$$

6.1.2 [ВВ] Расчётная нагрузка от давления ветра определяется по формуле (2):

$$w_p = w_0 \cdot k(z_e) \cdot (1 + \zeta(z)) \cdot c_p \cdot \gamma_f, \text{ кН/м}^2$$

$$w_p = 0,23 \cdot 0,71 \cdot (1 + 1,02) \cdot 2,2 \cdot 1,4 = 1,016 \text{ кН/м}^2$$

6.1.3 [ВВ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Для кронштейна между пролетом и консолью вертикального профиля:

$$N_y = w_p \cdot l_x \cdot (\kappa \cdot l + a), \text{ кН}$$

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

Расчёт по несущей способности						Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	
					189	

Для кронштейна между пролетами вертикального профиля:

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

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 1,016 \cdot 0,4 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,157 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,276 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,238 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,238 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,276 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 1,016 \cdot 0,4 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,157 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 1,016 \cdot 0,4 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,167 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,264 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,24 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,24 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 1,016 \cdot 0,4 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,264 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 1,016 \cdot 0,4 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,167 \text{ кН}$$

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

6.2.1 [ВВГ] Реакции от вертикальной нагрузки:

$$N_z = 0,095 / 0,55 \cdot 0,4 + 0,007 \cdot 0,4 \cdot 1,05 = 0,072 \text{ кН}$$

6.2.2 [ВВГ] Расчётная нагрузка от давления ветра:

$$q_{вр} = 0,6 \cdot w_p = 0,6 \cdot 1,016 = 0,61 \text{ кН/м}^2$$

где: w_p – нагрузка от давления ветра при сочетании Вес+Ветер, кН/м² (см. пункт 4.13 [ВВ]).

6.2.3 [ВВГ] Реакции от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,61 \cdot 0,4 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,094 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,166 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,143 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 0,974 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,143 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 1,132 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,166 \text{ кН}$$

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

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

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,61 \cdot 0,4 \cdot (0,395 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,094 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{y1} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_1 + a_1) = 0,61 \cdot 0,4 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,1 \text{ кН}$$

$$N_{y2} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,158 \text{ кН}$$

$$N_{y3} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_2 + l_3}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,144 \text{ кН}$$

$$N_{y4} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_3 + l_4}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 0,983 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,144 \text{ кН}$$

$$N_{y5} = w_p \cdot l_x \cdot k \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} = 0,61 \cdot 0,4 \cdot 1,082 \cdot \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,158 \text{ кН}$$

$$N_{y6} = w_p \cdot l_x \cdot (k \cdot l_5 + a_2) = 0,61 \cdot 0,4 \cdot (0,434 \cdot 0,6 + 0,15) = 0,1 \text{ кН}$$

7. Расчет кронштейна "КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли"

Сплав: Углеродистая оцинкованная сталь

Кронштейн	A, см ²	I _x , см ⁴	W _x , см ³	W _y , см ³	W _p , см ³	E, МПа	R _y , МПа
КРУ-2р гор.	2,24	0,21	0,31	3,39	0,31	210000	225

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

7.1.1 [ВВ] Расчет консоли кронштейна:

Изгибающий момент в консоли кронштейна от вертикальной нагрузки:

$$M_x = N_{zk} \cdot e_y = 0,05 \cdot 0,25 = 0,0125 \text{ кН·м}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Напряжения в консоли кронштейна:

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

$$\sigma = \frac{0,0125}{0,31} \cdot 1000 = 40,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Напряжения в консоли кронштейна:

$$\sigma = \frac{0,0125}{0,31} \cdot 1000 = 40,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по справочнику проектировщика

Изгибающий момент в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$M_{x1} = N_{zk1} \cdot e_y - N_{yk1} \cdot l_z = 0,05 \cdot 0,25 - 0,157 \cdot 0,02 = 0,00936 \text{ кН·м}$$

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

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

$$M_{x2} = N_{zk2} \cdot e_y - N_{yk2} \cdot l_z = 0,05 \cdot 0,25 - 0,276 \cdot 0,02 = 0,00698 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x3} = N_{zk3} \cdot e_y - N_{yk3} \cdot l_z = 0,05 \cdot 0,25 - 0,238 \cdot 0,02 = 0,00774 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x4} = N_{zk4} \cdot e_y - N_{yk4} \cdot l_z = 0,05 \cdot 0,25 - 0,238 \cdot 0,02 = 0,00774 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x5} = N_{zk5} \cdot e_y - N_{yk5} \cdot l_z = 0,05 \cdot 0,25 - 0,276 \cdot 0,02 = 0,00698 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x6} = N_{zk6} \cdot e_y - N_{yk6} \cdot l_z = 0,05 \cdot 0,25 - 0,157 \cdot 0,02 = 0,00936 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки определяют по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{0,00936}{0,31} \cdot 1000 = 30,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00698}{0,31} \cdot 1000 = 22,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,00774}{0,31} \cdot 1000 = 25 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,00774}{0,31} \cdot 1000 = 25 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00698}{0,31} \cdot 1000 = 22,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00936}{0,31} \cdot 1000 = 30,2 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Изгибающий момент в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$M_{x1} = N_{zk1} \cdot e_y - N_{yk1} \cdot l_z = 0,05 \cdot 0,25 - 0,167 \cdot 0,02 = 0,00916 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x2} = N_{zk2} \cdot e_y - N_{yk2} \cdot l_z = 0,05 \cdot 0,25 - 0,264 \cdot 0,02 = 0,00722 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x3} = N_{zk3} \cdot e_y - N_{yk3} \cdot l_z = 0,05 \cdot 0,25 - 0,24 \cdot 0,02 = 0,0077 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x4} = N_{zk4} \cdot e_y - N_{yk4} \cdot l_z = 0,05 \cdot 0,25 - 0,24 \cdot 0,02 = 0,0077 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x5} = N_{zk5} \cdot e_y - N_{yk5} \cdot l_z = 0,05 \cdot 0,25 - 0,264 \cdot 0,02 = 0,00722 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x6} = N_{zk6} \cdot e_y - N_{yk6} \cdot l_z = 0,05 \cdot 0,25 - 0,167 \cdot 0,02 = 0,00916 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки определяют по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{0,00916}{0,31} \cdot 1000 = 29,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,00722}{0,31} \cdot 1000 = 23,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,0077}{0,31} \cdot 1000 = 24,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0077}{0,31} \cdot 1000 = 24,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,00722}{0,31} \cdot 1000 = 23,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,00916}{0,31} \cdot 1000 = 29,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

7.1.2 [ВВ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_x = N_{zk} \cdot e_y, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_z = 0,05 \cdot 0,25 = 0,0125 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_z = 0,05 \cdot 0,25 = 0,0125 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_n} \cdot 1000 + \frac{P}{A} < R_n \cdot \gamma_s, \text{ МПа}$$

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

$$\sigma = \frac{0,0125}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,05}{2,24} = 40,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{0,0125}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,05}{2,24} = 40,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.1.3 [ВВ] Расчет напряжения от вертикальной и горизонтальной нагрузки в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$M_x = N_{zk} \cdot e_y - N_y \cdot e_z, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где: e_z – наибольшее из двух расстояний:

расстояние по оси Z от шляпки анкера до оси горизонтальной нагрузки, м

расстояние по оси Z от консоли кронштейна до оси горизонтальной нагрузки, м

$$M_{z1} = 0,05 \cdot 0,25 - 0,167 \cdot 0,006 = 0,0115 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z2} = 0,05 \cdot 0,25 - 0,264 \cdot 0,006 = 0,01092 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z3} = 0,05 \cdot 0,25 - 0,24 \cdot 0,006 = 0,01106 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z4} = 0,05 \cdot 0,25 - 0,24 \cdot 0,006 = 0,01106 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z5} = 0,05 \cdot 0,25 - 0,264 \cdot 0,006 = 0,01092 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{z6} = 0,05 \cdot 0,25 - 0,167 \cdot 0,006 = 0,0115 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

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

						Расчёт по несущей способности 193	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\sigma = \frac{M_x}{W_p} \cdot 1000 + \frac{P}{A} < R_n \cdot \gamma_s, \text{ МПа}$$

$$\sigma_1 = \frac{0,0115}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,05}{2,24} = 37,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01092}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,05}{2,24} = 35,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01106}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,05}{2,24} = 35,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01106}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,05}{2,24} = 35,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01092}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,05}{2,24} = 35,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,0115}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,05}{2,24} = 37,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.1.4 [ВВ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки на стыке пяты и консоли кронштейна:

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

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

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

$$M_z = 0,157 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_z = 0,167 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

Проверка по методу конечных элементов

7.1.5 [ВВ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

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

где: e_y – Вылет, см

$$f_z = \frac{0,05 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 0,21} = 0,059 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Проверка по методу конечных элементов

Согласовано			

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

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

Изгибающий момент в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки:

$$M_{x1} = N_{zk1} \cdot e_y - N_{yk1} \cdot l_z = 0,072 \cdot 0,25 - 0,1 \cdot 0,02 = 0,016 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x2} = N_{zk2} \cdot e_y - N_{yk2} \cdot l_z = 0,072 \cdot 0,25 - 0,158 \cdot 0,02 = 0,01484 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x3} = N_{zk3} \cdot e_y - N_{yk3} \cdot l_z = 0,072 \cdot 0,25 - 0,144 \cdot 0,02 = 0,01512 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x4} = N_{zk4} \cdot e_y - N_{yk4} \cdot l_z = 0,072 \cdot 0,25 - 0,144 \cdot 0,02 = 0,01512 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x5} = N_{zk5} \cdot e_y - N_{yk5} \cdot l_z = 0,072 \cdot 0,25 - 0,158 \cdot 0,02 = 0,01484 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{x6} = N_{zk6} \cdot e_y - N_{yk6} \cdot l_z = 0,072 \cdot 0,25 - 0,1 \cdot 0,02 = 0,016 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в консоли кронштейна от сочетания вертикальной и горизонтальной нагрузки определяют по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{0,016}{0,31} \cdot 1000 = 51,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01484}{0,31} \cdot 1000 = 47,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01512}{0,31} \cdot 1000 = 48,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01512}{0,31} \cdot 1000 = 48,8 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01484}{0,31} \cdot 1000 = 47,9 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,016}{0,31} \cdot 1000 = 51,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.2.2 [ВВГ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

$$M_z = 0,072 \cdot 0,25 = 0,018 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$M_z = 0,072 \cdot 0,25 = 0,018 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Проверка по справочнику проектировщика

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{0,018}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,072}{2,24} = 58,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma = \frac{0,018}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,072}{2,24} = 58,4 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

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

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

7.2.3 [ВВГ] Расчет напряжения от вертикальной и горизонтальной нагрузки в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

Изгибающий момент в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$Mz1 = 0,072 \cdot 0,25 - 0,1 \cdot 0,006 = 0,0174 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz2 = 0,072 \cdot 0,25 - 0,158 \cdot 0,006 = 0,01705 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz3 = 0,072 \cdot 0,25 - 0,144 \cdot 0,006 = 0,01714 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz4 = 0,072 \cdot 0,25 - 0,144 \cdot 0,006 = 0,01714 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz5 = 0,072 \cdot 0,25 - 0,158 \cdot 0,006 = 0,01705 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$Mz6 = 0,072 \cdot 0,25 - 0,1 \cdot 0,006 = 0,0174 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Нормальные напряжения в пяте кронштейна по краю шляпки анкера:

$$\sigma_1 = \frac{0,0174}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,072}{2,24} = 56,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,01705}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,072}{2,24} = 55,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{0,01714}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,072}{2,24} = 55,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{0,01714}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,072}{2,24} = 55,6 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{0,01705}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,072}{2,24} = 55,3 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{0,0174}{0,31} \cdot 1000 + \frac{0,072}{2,24} = 56,5 \leq 225 \cdot 1, \text{ МПа}$$

7.2.4 [ВВГ] Расчет напряжения от вертикальной нагрузки на стыке пяты и консоли кронштейна:

Изгибающий момент на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

$$Mz = 0,094 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$Mz = 0,1 \cdot 0,02 = 0 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Напряжения на стыке пяты и консоли кронштейна:

Проверка по справочнику проектировщика

Проверка по методу конечных элементов

7.2.5 [ВВГ] Прогиб кронштейна от вертикальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$f_z = \frac{0,072 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 0,21} = 0,085 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

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

$$f_z = \frac{0,072 \cdot 25^3 \cdot 10}{3 \cdot 210000 \cdot 0,21} = 0,085 \leq \frac{25}{100} = 0,25 \text{ см}$$

Вывод: Кронштейн КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли отвечает требованиям прочности.

8. 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.

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

8.1.1 [ВВ] Расчет на срез от горизонтальной нагрузки:

$$N_s = \frac{N_y}{n_z} \cdot \gamma_m \leq N_{nrs}, \text{ кН}$$

где: 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

$$N_{s1} = \frac{0,157}{2} \cdot 1,25 = 0,098 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{0,276}{2} \cdot 1,25 = 0,173 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{0,238}{2} \cdot 1,25 = 0,149 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{0,238}{2} \cdot 1,25 = 0,149 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{0,276}{2} \cdot 1,25 = 0,173 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s6} = \frac{0,157}{2} \cdot 1,25 = 0,098 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{s1} = \frac{0,167}{2} \cdot 1,25 = 0,104 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{0,264}{2} \cdot 1,25 = 0,165 \leq 1,7 \text{ кН}$$

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

						Расчёт по несущей способности 198	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$N_{s3} = \frac{0,24}{2} \cdot 1,25 = 0,15 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{0,24}{2} \cdot 1,25 = 0,15 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{0,264}{2} \cdot 1,25 = 0,165 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s6} = \frac{0,167}{2} \cdot 1,25 = 0,104 \leq 1,7 \text{ кН}$$

8.1.2 [ВВ] Расчет на смятие от горизонтальной нагрузки:

$$\frac{N_y}{n_z \cdot d \cdot t} \cdot 1000 \leq R_{gr}, \text{ МПа}$$

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

$$\frac{0,157}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,276}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 28,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,238}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 24,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,238}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 24,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,276}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 28,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,157}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{0,167}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 17,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,264}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 27,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,24}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 25 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,24}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 25 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,264}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 27,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,167}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 17,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

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

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

8.2.1 [ВВГ] Расчет на срез от горизонтальной нагрузки:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{s1} = \frac{0,094}{2} \cdot 1,25 = 0,059 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{0,166}{2} \cdot 1,25 = 0,104 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{0,143}{2} \cdot 1,25 = 0,089 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{0,143}{2} \cdot 1,25 = 0,089 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{0,166}{2} \cdot 1,25 = 0,104 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s6} = \frac{0,094}{2} \cdot 1,25 = 0,059 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{s1} = \frac{0,1}{2} \cdot 1,25 = 0,062 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s2} = \frac{0,158}{2} \cdot 1,25 = 0,099 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s3} = \frac{0,144}{2} \cdot 1,25 = 0,09 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s4} = \frac{0,144}{2} \cdot 1,25 = 0,09 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s5} = \frac{0,158}{2} \cdot 1,25 = 0,099 \leq 1,7 \text{ кН}$$

$$N_{s6} = \frac{0,1}{2} \cdot 1,25 = 0,062 \leq 1,7 \text{ кН}$$

Проверка по справочнику проектировщика

$$\frac{0,094}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 9,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,166}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 17,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,143}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 14,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,143}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 14,9 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,166}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 17,3 \leq 295 \text{ МПа}$$

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

						Расчёт по несущей способности 200	Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		

$$\frac{0,094}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 9,8 \leq 295 \text{ МПа}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$\frac{0,1}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 10,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,158}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,144}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 15 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,144}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 15 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,158}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 16,5 \leq 295 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,1}{2 \cdot 4 \cdot 1,2} \cdot 1000 = 10,4 \leq 295 \text{ МПа}$$

Вывод: Соединение кронштейна с профилем отвечает требованиям прочности.

9. Расчет прочности крепления кронштейна "КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли" к конструкциям здания

Крепление в ячеистые блоки на один анкер в ближайшее к консоли кронштейна отверстие. .

9.1 [BB] Вырывающее усилие анкера при сочетании Вес + Ветер:

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_a = \frac{M_x + N_y \cdot e_b}{b_z}$$

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

e_b – плечо ветровой нагрузки по оси Z, м

$$N_{a1} = \frac{0,0125 + 0,157 \cdot 0,06}{0,045} = 0,49 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,0125 + 0,276 \cdot 0,06}{0,045} = 0,65 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,0125 + 0,238 \cdot 0,06}{0,045} = 0,6 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,0125 + 0,238 \cdot 0,06}{0,045} = 0,6 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a5} = \frac{0,0125 + 0,276 \cdot 0,06}{0,045} = 0,65 \text{ 0 кН}$$

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

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

$$N_{a6} = \frac{0,0125 + 0,157 \cdot 0,06}{0,045} = 0,49 \text{ 0 кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{a1} = \frac{0,0125 + 0,167 \cdot 0,06}{0,045} = 0,5 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,0125 + 0,264 \cdot 0,06}{0,045} = 0,63 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,0125 + 0,24 \cdot 0,06}{0,045} = 0,6 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,0125 + 0,24 \cdot 0,06}{0,045} = 0,6 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a5} = \frac{0,0125 + 0,264 \cdot 0,06}{0,045} = 0,63 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a6} = \frac{0,0125 + 0,167 \cdot 0,06}{0,045} = 0,5 \text{ 0 кН}$$

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

Проверка по справочнику проектировщика

$$N_{a1} = \frac{0,018 + 0,094 \cdot 0,06}{0,045} = 0,53 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,018 + 0,166 \cdot 0,06}{0,045} = 0,62 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,018 + 0,143 \cdot 0,06}{0,045} = 0,59 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,018 + 0,143 \cdot 0,06}{0,045} = 0,59 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a5} = \frac{0,018 + 0,166 \cdot 0,06}{0,045} = 0,62 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a6} = \frac{0,018 + 0,094 \cdot 0,06}{0,045} = 0,53 \text{ 0 кН}$$

Проверка по методу конечных элементов

$$N_{a1} = \frac{0,018 + 0,1 \cdot 0,06}{0,045} = 0,53 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a2} = \frac{0,018 + 0,158 \cdot 0,06}{0,045} = 0,61 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a3} = \frac{0,018 + 0,144 \cdot 0,06}{0,045} = 0,59 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a4} = \frac{0,018 + 0,144 \cdot 0,06}{0,045} = 0,59 \text{ 0 кН}$$

$$N_{a5} = \frac{0,018 + 0,158 \cdot 0,06}{0,045} = 0,61 \text{ 0 кН}$$

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

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

$$N_{a6} = \frac{0,018 + 0,1 \cdot 0,06}{0,045} = 0,53 \text{ 0 кН}$$

Вывод: Допустимое усилие анкера на вырыв при креплении кронштейна КРУ-2р с горизонтально ориентированной плоскостью консоли в ячеистые блоки на один анкер в ближайшее к консоли кронштейна отверстие должно быть не менее 0,65 кН.

Согласовано							Расчёт по несущей способности	Лист	
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. Инв. №							
Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата		203		