ООО «Центр инженерных услуг «МОДЕЛЬЕР»

Утверждаю

Генеральный директор

С.С. Смольянин

Технический отчет

№127.03.004

Ограждения кровли Вол-Тех

Расчетные исследования трехмерного напряженно-деформированного состояния конструкции

Ответственный исполнитель

Инженер Калинина Е.С.

Подольск, 2016

1. Содержание

1. Введение....4
2. Исходная информация и постановка задач 5
3. Задачи расчетных исследований 8
4. Нагрузки и воздействия. Основные расчетные положения 9
4.1. Виды нагрузок на конструкцию и их расчетные сочетания 9
4.2. Гололедная нагрузка 9
4.3. Материал ограждений кровли и расчетные сопротивления 10
5. Расчет конструкции 11
5.1. Расчет ограждений кровли Вол-Тех с различной длиной между стоек 11
5.2. Расчет ограждений кровли Вол-Тех 1-900с различной длиной между стоек 12
5.2.1. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 1-900 с расстоянием между стойками 1200 мм 12
5.2.2. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 1-900 с расстоянием между стойками 1500 мм 12
5.2.3. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 1-900 с расстоянием между стойками 2000 мм 13
5.3. Расчет ограждений кровли Вол-Тех 2-900с различной длиной между стоек 14
5.3.1. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 2-900 с расстоянием между стойками 1200 мм 14
5.3.2. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 4-900 с расстоянием между стойками 1500 мм 14
5.3.3. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 4-900 с расстоянием между стойками 2000 мм 15
5.4. Расчет ограждений кровли Вол-Тех 3-600с различной длиной между стоек 16
5.4.1. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 3-600 с расстоянием между стойками 1200 мм 16
5.4.2. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 3-600 с расстоянием между стойками 1500 мм 17
5.4.3. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 3-600 с расстоянием между стойками 2000 мм 17
5.5. Расчет ограждений кровли Вол-Тех 4-900с различной длиной между стоек 19
5.5.1. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 4-900 с расстоянием между стойками 1200 мм 19

5.5.2. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 4-900 с расстоянием между стойками 1500 мм 19
5.5.3. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 4-900 с расстоянием между стойками 2000 мм 20
5.6. Расчет жесткости ограждений кровли Вол-Тех с различной длиной между стоек 21
5.6.1. Расчет жесткости стойки ограждений кровли Вол-Тех тип-1 высотой 600 мм 21
5.6.2. Расчет жесткости стойки ограждений кровли Вол-Тех тип-2 высотой 600 мм 22
5.6.3. Расчет жесткости стойки ограждений кровли Вол-Тех тип-3 высотой 600 мм 22
5.6.4. Расчет жесткости стойки ограждений кровли Вол-Тех тип-4 высотой 600 мм 23
5.6.5. Расчет жесткости прогона ограждений кровли Вол-Тех длиной 23
6. Расчет анкерных болтов 24
6.1. Расчет анкерных болтов ограждений Вол-Тех тип 1 и Вол-Тех тип2 24
6.1.1. Расчетные нагрузки 25
6.1.2. Определение усилий в болтах 26
6.1.1. Расчет анкерных болтов 27
6.2. Расчет анкерных болтов ограждений Вол-Тех тип 3 29
6.3. Расчет анкерных болтов ограждений Вол-Тех тип 4 32
7. Анализ результатов. Выводы 36
8. Список основных использованных источников 38

1. Введение

В данном документе представлены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния ***ограждений кровли Вол-Тех*** при действии эксплуатационных нагрузок в соответствии с ГОСТ 25772-83, ГОСТ 53254-2009, СП 20.13330.2011. Расчеты выполнены на основе трехмерного физически линейного конечноэлементного анализа с использованием программного комплекса OpenFOAM-v3.0.

Расчет проводится на соответствие конструкции требованиям по обеспечению работоспособности при воздействии внешних факторов.

Работа выполняется ООО «Центр инженерных услуг «МОДЕЛЬЕР».

В процессе работы ставятся и решаются следующие задачи:

- Нагружение ограждений расчетной нагрузкой;
- Анализ полученных результатов, сопоставление результатов расчета с допускаемыми величинами.

Используются следующие исходные данные:

- чертежи актуальных проектных вариантов ограждений кровли с необходимой деталировкой;

В документе приводятся:

- краткое описание конструкции и характеристик материалов металлических конструкций и узлов, расчетных нагрузок и их сочетаний, постановка задач расчетных исследований напряженно-деформированного состояния и прочности;
- результирующие параметры пространственного напряженно-деформированного состояния ограждений кровли (деформации) при расчетном приложении нагрузок, оценка статической прочности по нормативным критериям.

В заключении, на базе выполненных расчетных исследований делается вывод о соответствии состояния несущих конструкций ограждений кровли Вол-Тех нормативным критериям статической прочности при условии соблюдения принятых параметров проекта.

2. Исходная информация и постановка задач

Заказчиком представлены чертежи для проектирования и расчета конструкции ограждений кровли согласно ТУ 5262-001-92716048-2012 «Ограждения кровли Вол-Тех. Технические условия».

Из материалов предоставленных условий конструкция ограждений кровли Вол-Тех состоит из следующих элементов:

- стойки с кронштейном крепления к стене и (или) парапету;
- продольных прогонов;
- элементов соединения прогонов на поворотах кровли;

Жесткость и устойчивость конструкций обеспечивается жесткостью и устойчивостью стоек в сборе с прогонами, а также жесткостью узла крепления стоек к элементам здания.

В таблице 1 представлены виды ограждений кровли Вол-Тех.

Таблица 1

Обозначение	Изображение	Примечание
Вол-Тех-тип 1-600		Устанавливается на плоские крыши с парапетом и без, с внешней и внутренней стороны стены, не повреждая гидроизоляцию кровли.

Вол-Тех-тип 1-900		
Вол-Тех-тип 2-600		Устанавливается на плоские крыши с парапетом и без, с внешней и внутренней стороны стены, не повреждая гидроизоляцию кровли.
Вол-Тех-тип 2-900		

Вол-Тех-тип 3-600		Устанавливаются на плоские крыши. Имеет фронтальное крепление, которое позволяет выровнять ограждение по горизонту независимо от небольших перепадов или неровностях парапета.
Вол-Тех-тип 3-900		
Вол-Тех-тип 4-600		Устанавливаются на плоские или скатные крыши.

Вол-Тех-тип 4-900		

3. Задачи расчетных исследований

В соответствии с техническим заданием решаются следующие *задачи*:

- разработка расчетных моделей ограждений кровли;
- определение напряженно-деформированного состояния конструкции;
- оценка статической прочности конструкции по нормативным критериям.

4. Нагрузки и воздействия. Основные расчетные положения

4.1. Виды нагрузок на конструкцию и их расчетные сочетания

В соответствии с ГОСТ 53254-2009 «Техника пожарная. Лестницы пожарные наружные стационарные. Ограждения кровли» ограждения кровли должны выдерживать нагрузку величиной 0,54 кН приложенную горизонтально.

В соответствии с ГОСТ 25772-83 «Ограждения лестниц, балконов и крыш стальные» ограждения с расстоянием между стойками 1200 мм должны выдерживать нагрузки, предусмотренные в СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия».

Нормативная горизонтальная нагрузка на перила по СП: 300*1,2 = 360 Н;

В соответствии с СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» необходимо испытать:

- на гололедные нагрузки (на ветровые и снеговые воздействия не испытываем ввиду решетчатой конструкции ограждений);

Общие данные для расчета нагрузок

γn=1,0 - коэффициент надежности по ответственности для принятого класса конструкции К2 (уровень ответственности нормальный) по ГОСТ 27751-2014.

Расчетные гололедные нагрузки принимаются для IV региона.

γg=1,05 – коэффициент надежности по нагрузке от сил тяжести для металлических конструкций и оборудования.

G1=g* γg=10,301 – м/с^2, расчетное значение силы тяжести;

γf=1,5 - коэффициент запаса прочности [4, п.6.2.3].

4.2. Гололедная нагрузка

В соответствии с СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия»:

Таблица 12.1

Гололедные районы (принимаются по карте 4 приложения Ж)	I	II	III	IV	V
Толщина стенки гололеда *b*, мм	Не менее 3	5	10	15	Не менее 20

$i=\pi*b*k*\mu1*(d+b*k*\mu1)*\rho*g*10^{-3}$ – Па, нормативное значение гололедной нагрузки на круглые элементы ограждений кровли;

b=15 – мм, толщина стенки гололеда;

d=25 и 32 – мм, диаметр элемента ограждения кровли;

k=2 – коэффициент учитывающий изменение толщины стенки гололеда по высоте, для высоты установки ограждений кровли 100 м;

μ_1=1,0 – коэффициент учета изменения толщины стенки гололеда в зависимости от диаметра кругового сечения;

ρ=0,9 – г/см^3, плотность льда;

Для прогонов ограждений кровли (d=25мм):

i=$3{,}14 * 15 * 2 * 1 * (25 + 15 * 2 * 1) * 0{,}9 * 9{,}8 * 10^{-3}$=50,8 – Н/м, нормативное значение гололедной нагрузки на круглые ступени;

Для стоек ограждений кровли (d=32мм):

i=$3{,}14 * 15 * 2 * 1 * (32 + 15 * 2 * 1) * 0{,}9 * 9{,}8 * 10^{-3}$=57,3 – Н/м, нормативное значение гололедной нагрузки на круглые ступени;

γi=1,3 – коэффициент надежности по гололедной нагрузке;

4.3.Материал ограждений кровли и расчетные сопротивления

Группа конструкции 2 – сварные конструкции, либо их элементы, работающие при статической нагрузке при наличии растягивающих напряжений.

Материал элементов конструкций ограждений кровли Сталь 3сп3/пс5 – наименование стали С245 по ГОСТ 2777288.

R_{yn}=245 – МПа, нормативное сопротивление по текучести при толщинах проката 2…20 мм;

R_y=235 – МПа, расчетное сопротивление по текучести при коэффициенте надежности по материалу 1,05;

R_{un}=370 – МПа, нормативное временное сопротивление при толщинах проката 2…20 мм;

R_{wy}= R_y =235 – МПа, расчетное сопротивление стыковых сварных соединений при сварке с контролем качества шва;

R_{wy}=0,85* R_y =199,75 – МПа, расчетное сопротивление стыковых сварных соединений при сварке без контроля качества шва;

5. Расчет конструкции

5.1. Расчет ограждений кровли Вол-Тех с различной длиной между стоек

В данном случае расчетная нагрузка прикладывается к верхнему прогону в сборке состоящей из двух стоек, соединенных между собой прогонами длиной.

Рассматривается ограждения с 3 видами расстояния между стойками:

- Расстояние между стойками 1200 мм;
- Расстояние между стойками 1500 мм;
- Расстояние между стойками 2000 мм;

В соответствии с ГОСТ 53254-2009 расчетная нагрузка является постоянной и не зависит от расстояния между стойками. При увеличении расстояний между стойками увеличивается гололедная нагрузка на прогон и уменьшается жесткость прогона.

Нагрузки на модель, представленные на рис.1 (п.4.1 и п.4.2) справедливы для каждого типа ограждения кровли Вол-Тех.

Нагрузки на модель

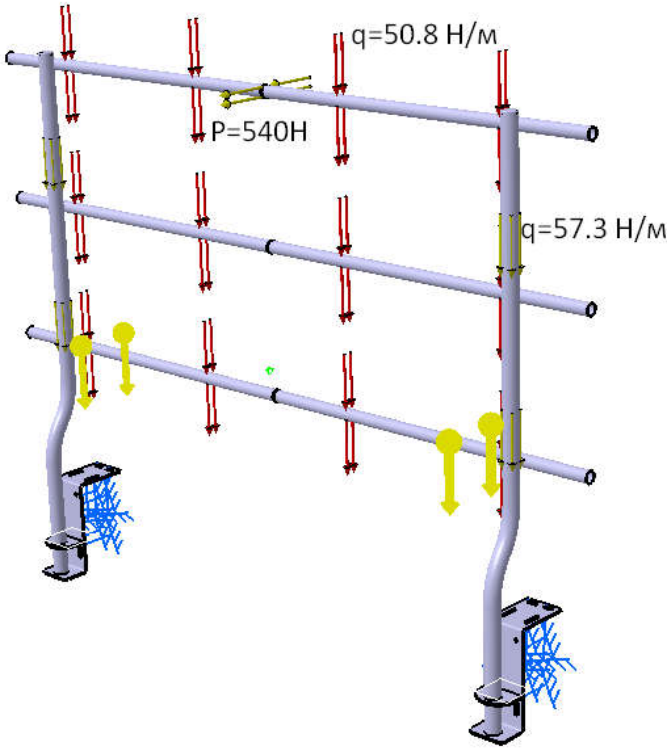

Рисунок 1. Расчетные нагрузки на модель

5.2. Расчет ограждений кровли Вол-Тех 1-900с различной длиной между стоек

5.2.1. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 1-900 с расстоянием между стойками 1200 мм

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

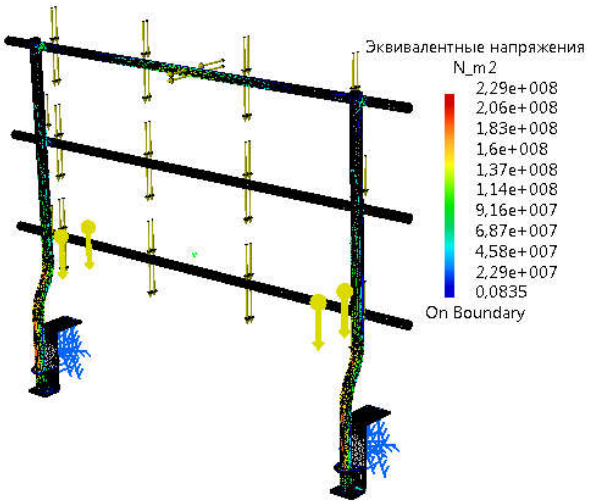

Рисунок 2. Эквивалентные напряжения, МПа

Максимальные основные напряжения в ограждении **Вол-Тех тип 1 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 1200 мм на уровне 130-180 МПа, в зонах концентрации до 229 МПа (рис. 2), что ниже расчетного сопротивления материала ограждений 235 МПа.

5.2.2. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 1-900 с расстоянием между стойками 1500 мм

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

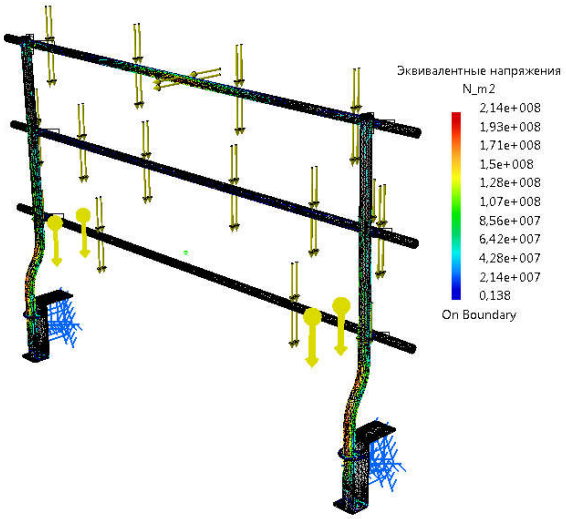

Рисунок 3. Эквивалентные напряжения, МПа

Максимальные основные напряжения в ограждении **Вол-Тех тип 1 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 1500 мм на уровне 120-170 МПа, в зонах концентрации до 214 МПа (рис. 3), что ниже расчетного сопротивления материала ограждений 235 МПа.

5.2.3. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 1-900 с расстоянием между стойками 2000 мм

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

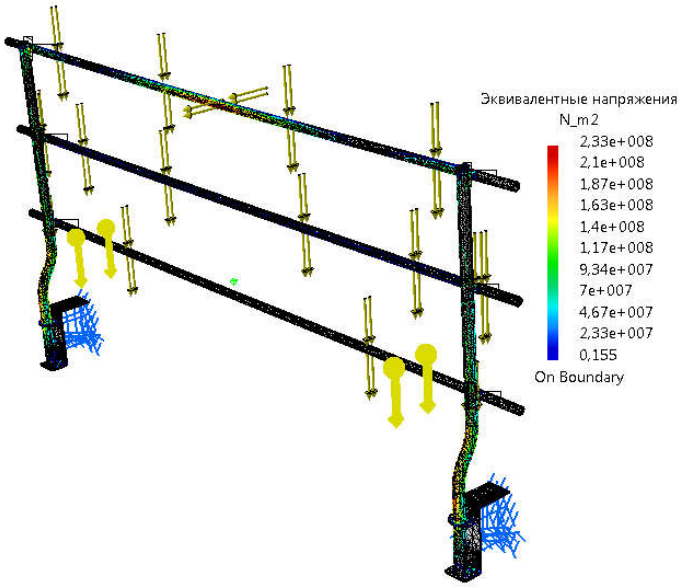

Рисунок 4. Эквивалентные напряжения, МПа

Максимальные основные напряжения в ограждении **Вол-Тех тип 1 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 2000 мм на уровне 150-200 МПа, в зонах концентрации до 233 МПа (рис. 4), что ниже расчетного сопротивления материала ограждений 235 МПа.

Выводы:

1. Ограждения кровли **Вол-Тех тип 1 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 1200/1500/2000 мм соответствуют требованиям прочности ГОСТ 53254-2009 «Техника пожарная. Лестницы пожарные наружные стационарные. Ограждения кровли».
2. Ограждения кровли **Вол-Тех тип 1 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 1200 мм соответствуют требованиям прочности ГОСТ 25772-83 «Ограждения лестниц, балконов и крыш стальные».

5.3. Расчет ограждений кровли Вол-Тех 2-900с различной длиной между стоек

5.3.1. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 2-900 с расстоянием между стойками 1200 мм

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

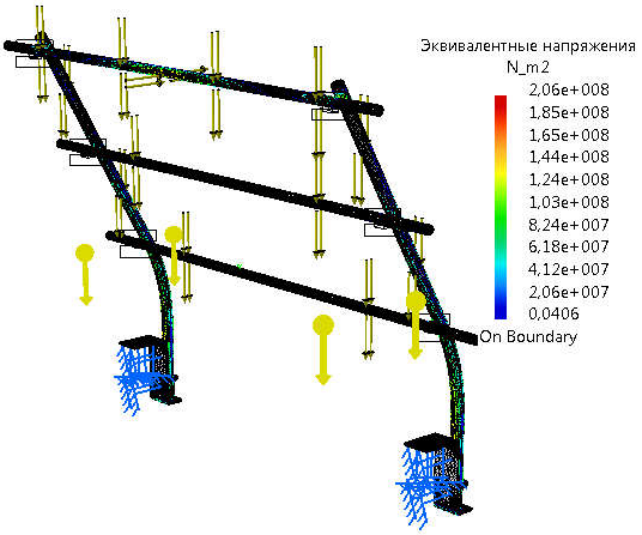

Рисунок 5. Эквивалентные напряжения, МПа

Максимальные основные напряжения в ограждении **Вол-Тех тип 2 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 1200 мм на уровне 120-170 МПа, в зонах концентрации до 206 МПа (рис. 5), что ниже расчетного сопротивления материала ограждений 235 МПа.

5.3.2. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 4-900 с расстоянием между стойками 1500 мм

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

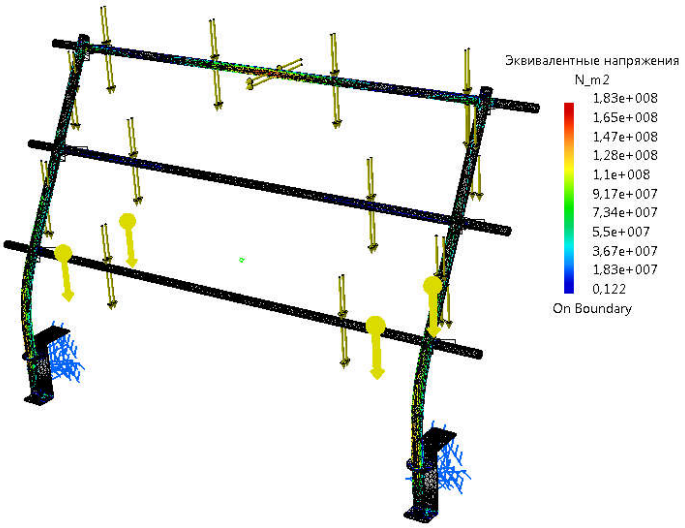

Рисунок 6. Эквивалентные напряжения, МПа

Максимальные основные напряжения в ограждении **Вол-Тех тип 4 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 1500 мм на уровне 120-170 МПа, в зонах концентрации до 183 МПа (рис. 6), что ниже расчетного сопротивления материала ограждений 235 МПа.

5.3.3. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 4-900 с расстоянием между стойками 2000 мм

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

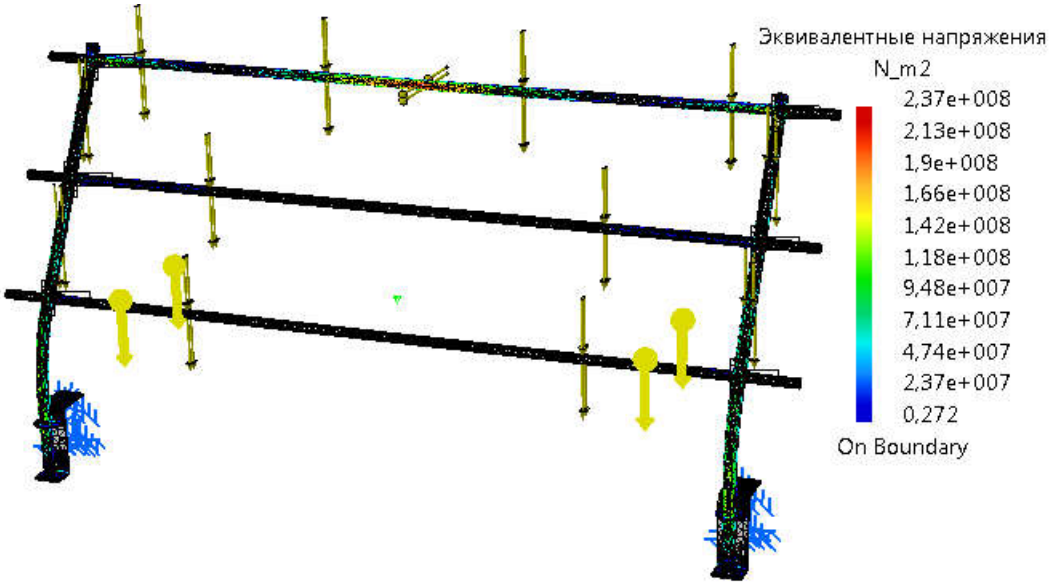

Рисунок 7. Эквивалентные напряжения, МПа

Максимальные основные напряжения в ограждении **Вол-Тех тип 2 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 2000 мм на уровне 120-180 МПа, в зонах концентрации до 237 МПа (рис. 7), что сопоставимо с расчетным сопротивления материала ограждений 235 МПа. Запас прочности 1,5 заложен ГОСТ 53254-2009 в испытательной нагрузке.

Выводы:

1. Ограждения кровли **Вол-Тех тип 2 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 1200/1500/2000 мм соответствуют требованиям прочности ГОСТ 53254-2009 «Техника пожарная. Лестницы пожарные наружные стационарные. Ограждения кровли».
2. Ограждения кровли **Вол-Тех тип 2 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 1200 мм соответствуют требованиям прочности ГОСТ 25772-83 «Ограждения лестниц, балконов и крыш стальные».

5.4. Расчет ограждений кровли Вол-Тех 3-600с различной длиной между стоек

Ввиду большой консоли ограждений кровли Вол-Тех тип 3 (крепление к вертикальной стене ниже уровня парапета) необходимо использовать ограждения максимальной высотой 600 мм от парапета.

5.4.1. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 3-600 с расстоянием между стойками 1200 мм

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

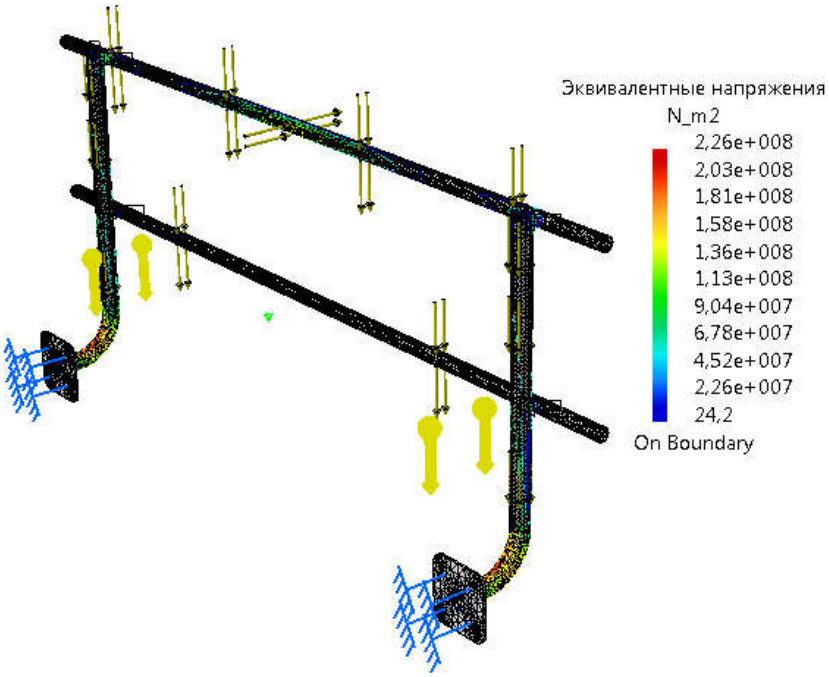

Рисунок 8. Эквивалентные напряжения, МПа

Максимальные основные напряжения в ограждении **Вол-Тех тип 3 высотой 600 мм** и расстоянием между стойками 1200 мм на уровне 120-170 МПа, в зонах концентрации до 226 МПа (рис. 8), что ниже расчетного сопротивления материала ограждений 235 МПа.

5.4.2. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 3-600 с расстоянием между стойками 1500 мм

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

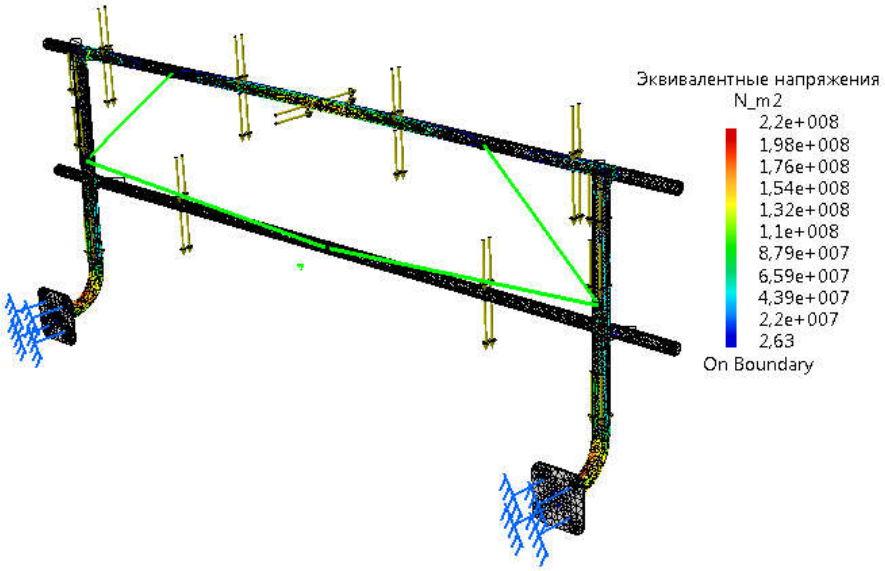

Рисунок 9. Эквивалентные напряжения, МПа

Максимальные основные напряжения в ограждении **Вол-Тех тип 3 высотой 600 мм** и расстоянием между стойками 1500 мм на уровне 100-150 МПа, в зонах концентрации до 220 МПа (рис. 9), что ниже расчетного сопротивления материала ограждений 235 МПа.

5.4.3. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 3-600 с расстоянием между стойками 2000 мм

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

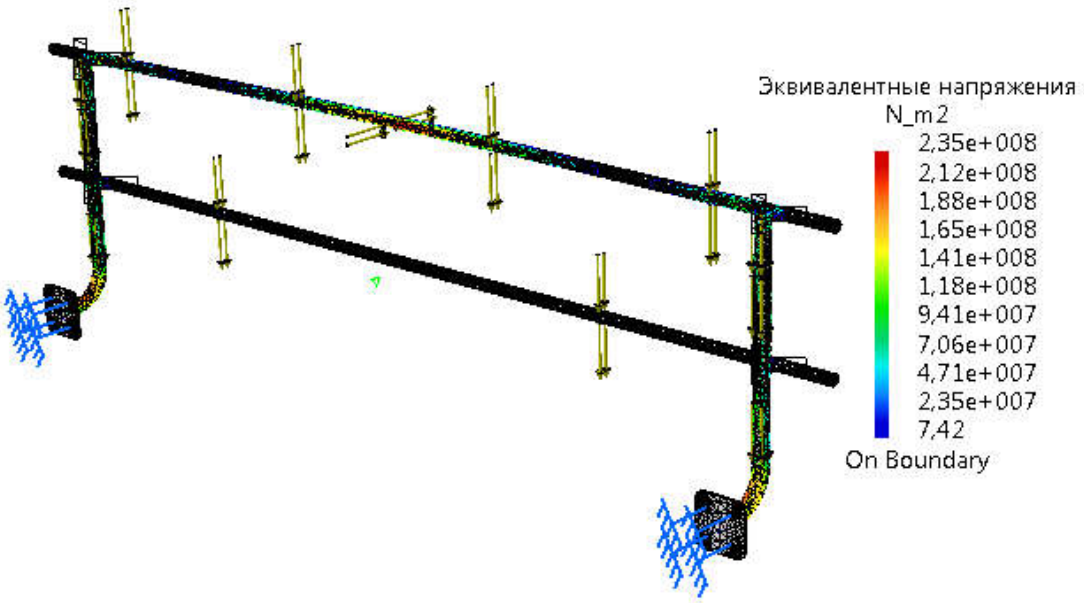

Рисунок 10. Эквивалентные напряжения, МПа

Максимальные основные напряжения в ограждении **Вол-Тех тип 4 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 2000 мм на уровне 120-180 МПа, в зонах концентрации до 235 МПа (рис. 10), что сопоставимо с расчетным сопротивления материала ограждений 235 МПа.

Выводы:

1. Ограждения кровли **Вол-Тех тип 3 высотой 600 м** и расстоянием между стойками 1200/1500/2000 мм соответствуют требованиям прочности ГОСТ 53254-2009 «Техника пожарная. Лестницы пожарные наружные стационарные. Ограждения кровли».
2. Ограждения кровли **Вол-Тех тип 3 высотой 600 м** и расстоянием между стойками 1200 мм соответствуют требованиям прочности ГОСТ 25772-83 «Ограждения лестниц, балконов и крыш стальные».

5.5. Расчет ограждений кровли Вол-Тех 4-900с различной длиной между стоек

5.5.1. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 4-900 с расстоянием между стойками 1200 мм

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

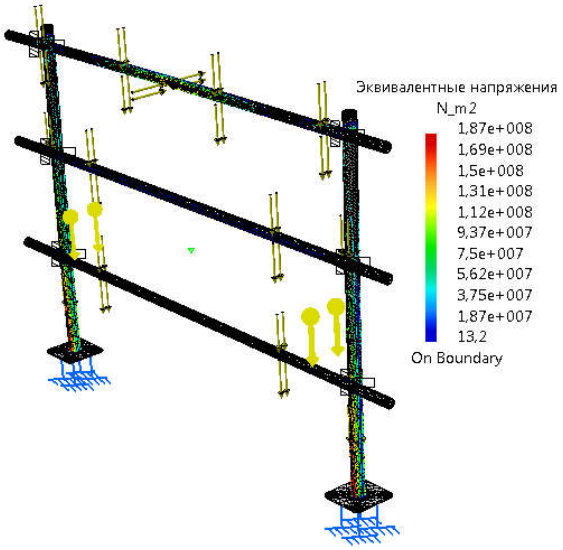

Рисунок 11. Эквивалентные напряжения, МПа

Максимальные основные напряжения в ограждении **Вол-Тех тип 4 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 1200 мм на уровне 120-170 МПа, в зонах концентрации до 187 МПа (рис. 11), что ниже расчетного сопротивления материала ограждений 235 МПа.

5.5.2. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 4-900 с расстоянием между стойками 1500 мм

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

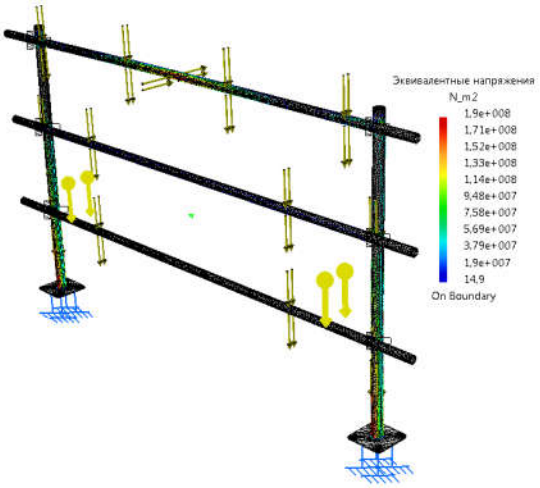

Рисунок 12. Эквивалентные напряжения, МПа

Максимальные основные напряжения в ограждении **Вол-Тех тип 4 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 1500 мм на уровне 120-170 МПа, в зонах концентрации до 190 МПа (рис. 12), что ниже расчетного сопротивления материала ограждений 235 МПа.

5.5.3. Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех тип 4-900 с расстоянием между стойками 2000 мм

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

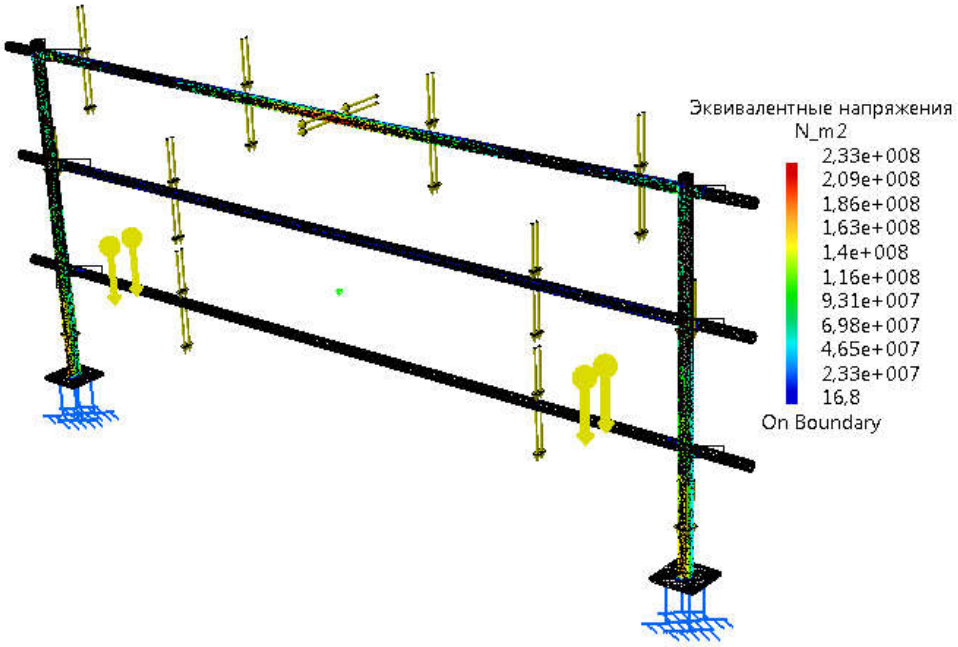

Рисунок 13. Эквивалентные напряжения, МПа

Максимальные основные напряжения в ограждении **Вол-Тех тип 4 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 2000 мм на уровне 120-180 МПа, в зонах концентрации до 233 МПа (рис. 13), что ниже расчетного сопротивления материала ограждений 235 МПа.

Выводы:

1. Ограждения кровли **Вол-Тех тип 4 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 1200/1500/2000 мм соответствуют требованиям прочности ГОСТ 53254-2009 «Техника пожарная. Лестницы пожарные наружные стационарные. Ограждения кровли».
2. Ограждения кровли **Вол-Тех тип 4 высотой 900 мм** и расстоянием между стойками 1200 мм соответствуют требованиям прочности ГОСТ 25772-83 «Ограждения лестниц, балконов и крыш стальные».

5.6. Расчет жесткости ограждений кровли Вол-Тех с различной длиной между стоек

По ГОСТ 53254-2009 прогиб не нормируется, по ГОСТ 25772-83 в соответствии с СП 20.13330.2011 "Нагрузки и воздействия" предельные прогибы составят:

Для стоек высотой 900 мм:

H/75 = 900/75 = 12 мм

Для прогонов 1200 мм:

L/150 = 8 мм

Для прогонов 1500 мм:

L/150 = 10 мм

Для прогонов 2000 мм:

L/150 = 13,3 мм

5.6.1. Расчет жесткости стойки ограждений кровли Вол-Тех тип-1 высотой 600 мм

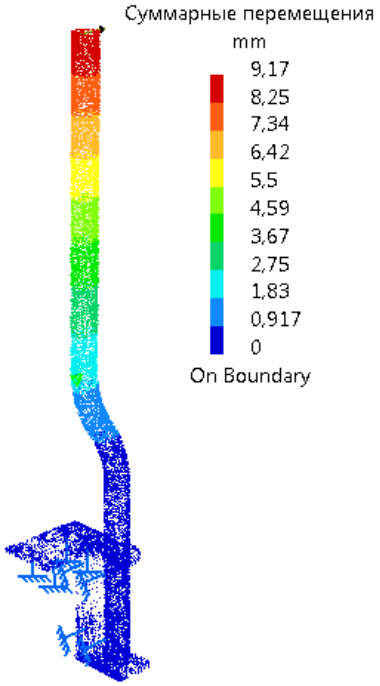

Рисунок 14. Суммарные перемещения, мм

Максимальное перемещение точек стойки ограждения **Вол-Тех тип-1 высотой 600 мм** составляет 9,17 мм в верхней части (рис.14). Жесткость стойки обеспечивается.

5.6.2. Расчет жесткости стойки ограждений кровли Вол-Тех тип-2 высотой 600 мм

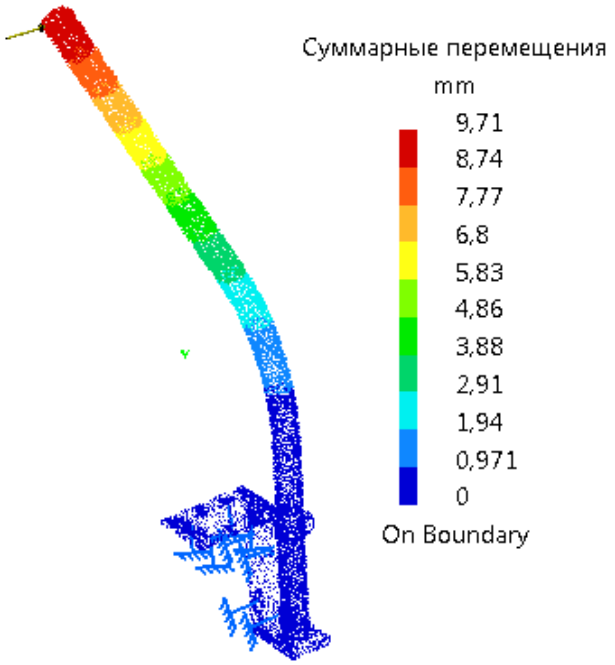

Рисунок 15. Суммарные перемещения, мм

Максимальное перемещение точек стойки ограждения **Вол-Тех тип-2 высотой 600 мм** составляет 9,71 мм в верхней части (рис.15). Жесткость стойки обеспечивается.

5.6.3. Расчет жесткости стойки ограждений кровли Вол-Тех тип-3 высотой 600 мм

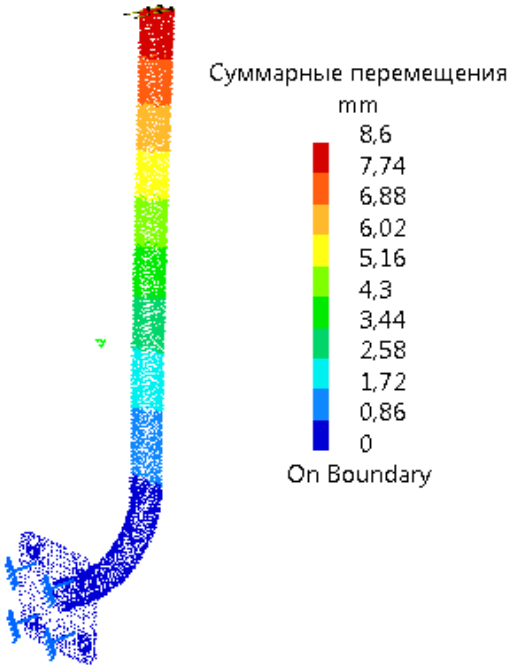

Рисунок 16. Суммарные перемещения, мм

Максимальное перемещение точек стойки ограждения **Вол-Тех тип-3 высотой 600 мм** составляет 8,6 мм в верхней части (рис.16). Жесткость стойки обеспечивается.

5.6.4. Расчет жесткости стойки ограждений кровли Вол-Тех тип-4 высотой 600 мм

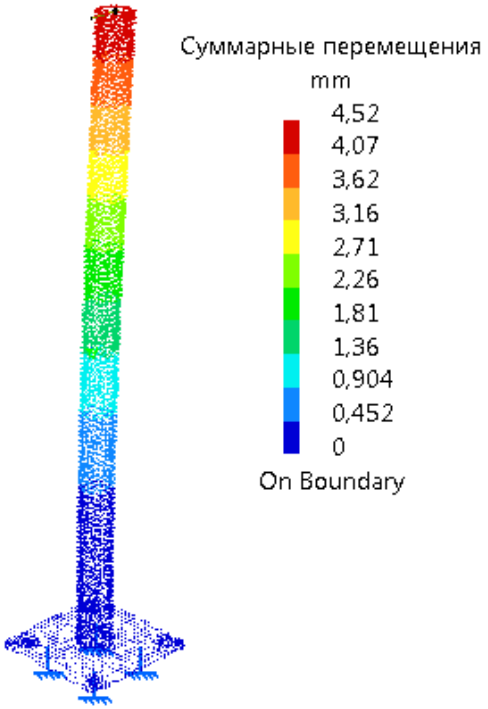

Рисунок 17. Суммарные перемещения, мм

Максимальное перемещение точек стойки ограждения **Вол-Тех тип-4 высотой 600 мм** составляет 8,6 мм в верхней части (рис.17). Жесткость стойки обеспечивается.

5.6.5. Расчет жесткости прогона ограждений кровли Вол-Тех длиной

Максимальное перемещение точек прогонов ограждений кровли **Вол-Тех** сведены в таблицу 2

Таблица 2

	Длина прогона	**Суммарные перемещения**
1	1200 мм	2,55 мм
2	1500 мм	4,96 мм
3	2000 мм	11,7 мм

Жесткость прогонов обеспечивается при расстоянии между стойками до 2 метров.

6. Расчет анкерных болтов

6.1. Расчет анкерных болтов ограждений Вол-Тех тип 1 и Вол-Тех тип2

Расчетная схема представлена на рисунке 18.

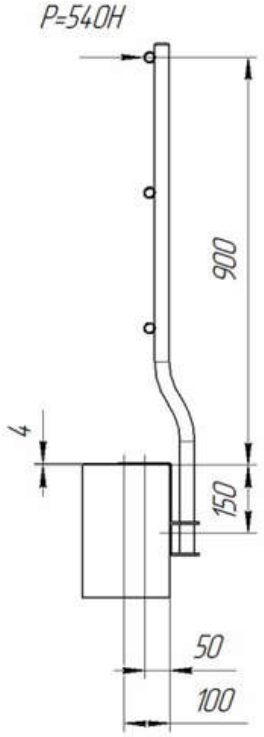

Рисунок 18. Расчетная схема ограждений Вол-Тех тип 1 и Вол-Тех тип 2

Расчет выполняется по испытательной нагрузке, которая в соответствии с ГОСТ 53254-2009 составляет 540Н на верхний прогон ограждения и прикладывается в его середине между стойками в горизонтальном направлении (рис. 19).

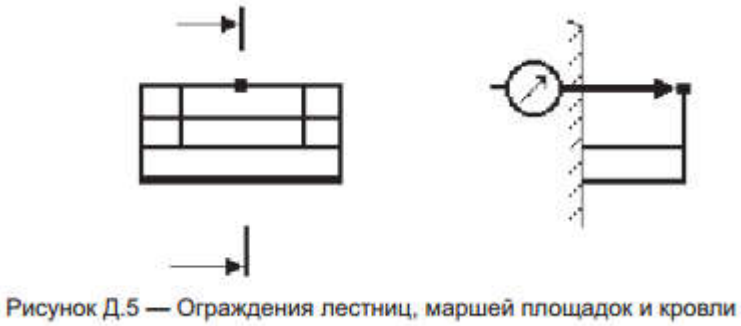

Рисунок 19. Схема нагружения ограждения кровли по ГОСТ 53254-2009

Планируется использовать анкерные болты для бетона с разжимной втулкой (рис.20).

Рисунок 20. Тип анкерного болта

6.1.1. Расчетные нагрузки

Предельная нагрузка по прочности стоек (для сопоставления с расчетной нагрузкой).

D=32 – мм, наружный диаметр трубы;

d0=28 – мм;

$J = \frac{\pi*(D^4-d0^4)}{64}$ – мм^4, момент инерции сечения;

$W = \frac{2*J}{D} = 1\ 331$ – мм^3, момент сопротивления изгибу;

$R_y = 225$ – МПа, нормативное сопротивление (по пределу текучести) стали труб;

L=900+130=1 030 – мм, плечо нагрузки относительно наиболее удаленного сечения (плоскости проушины);

$F_y = \frac{R_y*W}{L} = 290.81$ – Н, предельная нагрузка на стойку по условию появления пластических деформаций;

F=540 – Н, испытательная нагрузка на ограждение между стойками;

F1=F/2=270 – Н, испытательная нагрузка на одну стойку;

γf=1.1 – коэффициент надежности (запаса) по испытательной нагрузке;

$Fp = \gamma f * F1$ =297 – Н, расчетная горизонтальная нагрузка на одну стойку (близка к предельной нагрузке по условию появления пластических деформаций);

m=10.6 – кг, масса ограждения;

Go=103.96 – Н, сила тяжести ограждения;

γg=1.1 – коэффициент надежности по силе тяжести;

Gp= γg* Go/2=51,2 – Н, расчетная вертикальная нагрузка на стойку от сил тяжести ограждения;

L=900 – мм, плечо силы Fp относительно угловой точки фланца;

Xo=27 – мм, плечо силы Gp относительно угловой точки фланца;

6.1.2. Определение усилий в болтах

Для расчета нагрузок на болты данного ограждения было апробировано несколько приближенных подходов, основанных на допущении о недеформируемом фланце. Однако они не дают адекватного определения усилий в болтах, поскольку в данном случае фланец имеет уголковую конструкцию и достаточно сильно деформируется. В связи с этим нагрузки на болты определялись на основе анализа конечно-элементной модели фрагмента конструкции, представленной ниже.

Расчет производился на половине модели с наложением условий симметрии в плоскости сечения (рис. 21).

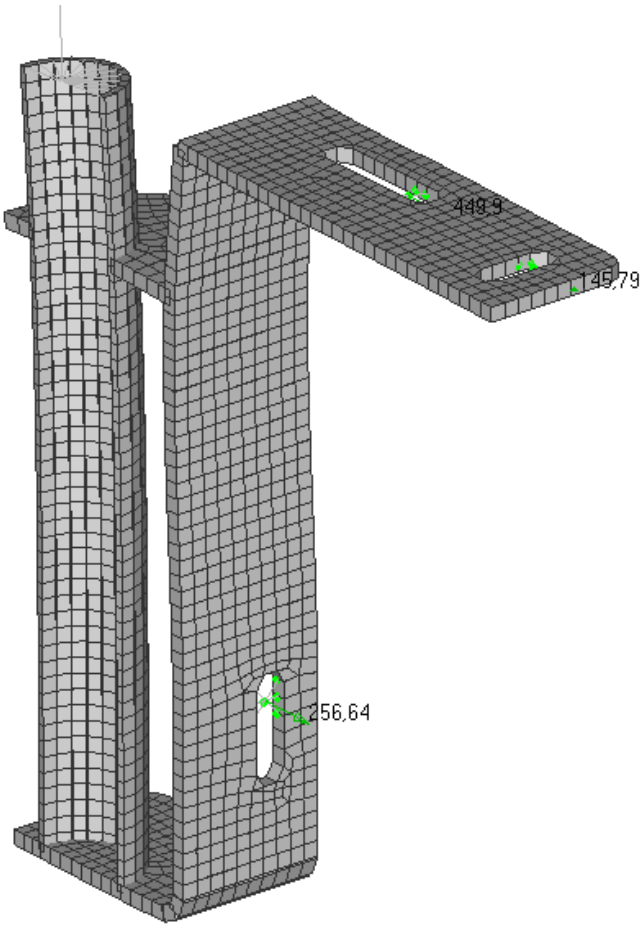

Рисунок 21. Расчетная модель и усилия в болтах

Результаты расчета

Нормальная нагрузка на болт вертикального листа фланца 257 Н, половина силы сдвига горизонтальной пластины фланца (450+146) = 596 Н (рис.21). Эквивалентные напряжения и перемещения в модели представлены на рис. 22.

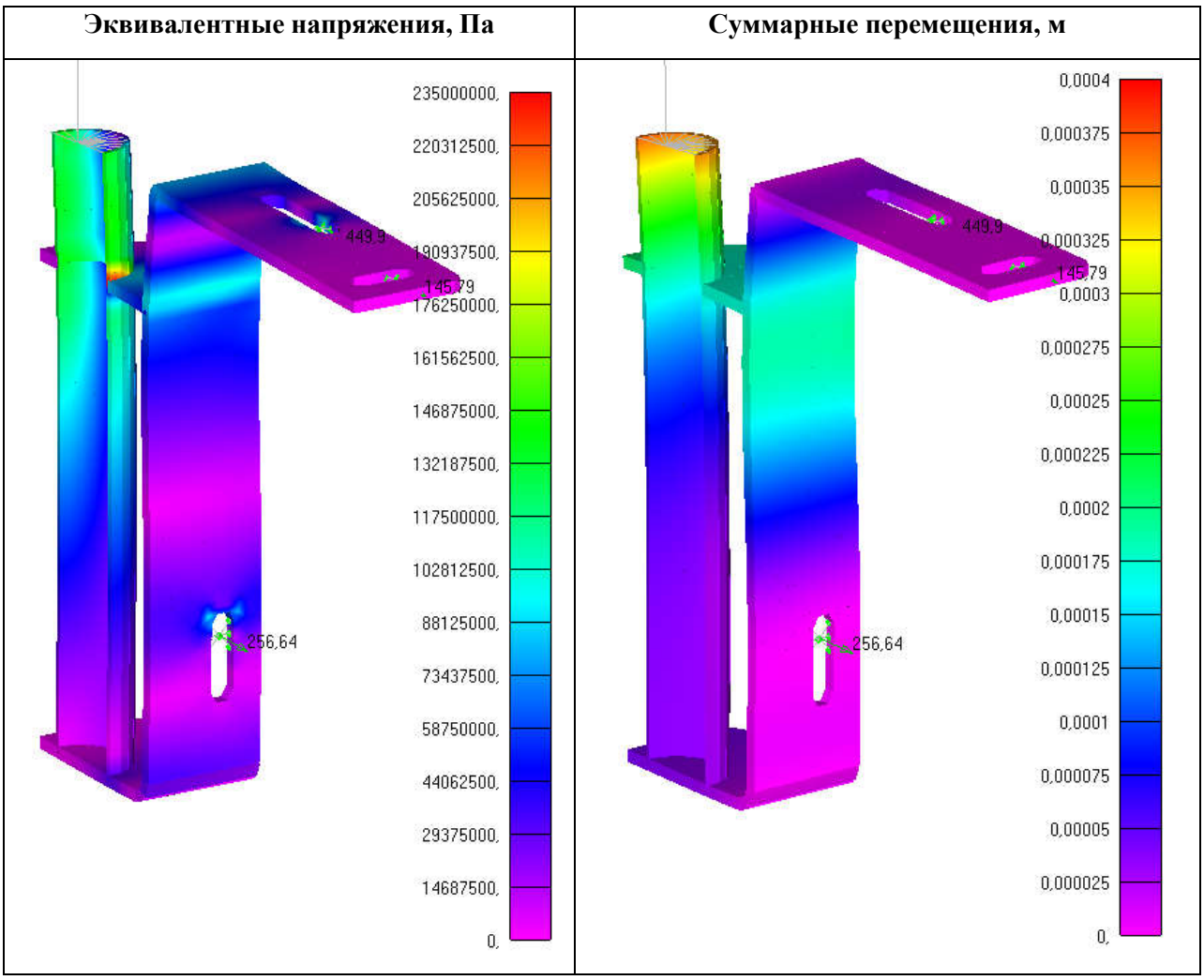

Рисунок 22. Эквивалентные напряжения и суммарные перемещения

Максимальные основные напряжения не превышают расчетного сопротивления материала 235 МПа. Максимальный прогиб в модели 0,4 мм.

6.1.1. Расчет анкерных болтов

Нагрузки на болты

N_v=257 – Н, нагрузка на болт вертикального листа фланца;

$Fvz = 0.75 \cdot Nv = 193$ – Н, требуемое усилие затяжки;

f=0.25 – коэффициент трения в стыке (сталь-бетон);

К=1,8 – коэффициент стабильности затяжки;

z=4 – число болтов на горизонтальном листе фланца;

$S1 = (450 + 146) \cdot 2 = 1192$ – Н, сдвигающее усилие в стыке горизонтального листа;

$Fgz = \dfrac{K \cdot S1}{f \cdot z} = 2146$ – Н, требуемое усилие затяжки болтов на горизонтальном листе фланца по условию отсутствия сдвига в стыке;

Суммарные результаты

F_z=max(Fvz, Fgz)= 2146 – Н, усилие предварительной затяжки болтов;

Fs1=Fz=2146 – Н, суммарное усилие в наиболее нагруженном болте горизонтального листа фланца;

Fs2= F_{z+} N_v=2403 – Н, суммарное усилие в наиболее нагруженном болте вертикального листа фланца;

Параметры болтов, предельная расчетная нагрузка и коэффициент надежности

Rba=145 – МПа, расчетное сопротивление металла болта растяжению (ВСт3сп2, ВСт3кп2, Ст20);

K0=1,05 – коэффициент учета характера нагрузки: 1,05 – статическая, 1,35 – динамическая;

d=10 – мм, наружный диаметр болта М10;

d1=8,376 – мм, внутренний диаметр болта;

$A1 = \frac{\pi * d1^2}{4} = 55.101$ – мм^2, площадь сечения болта по внутреннему диаметру;

$Pp = \frac{Rba * A1}{k0} = 7609$ – Н, предельная расчетная нагрузка на болт на растяжение;

$np = \frac{Rba}{Fs2} = 3.167$ – коэффициент надежности (запаса) по предельной нагрузке наиболее нагруженного болта > 1. **Прочность болтов обеспечивается**.

Длина анкерных болтов

$H = 8 * d = 80$ – мм, рекомендуемая минимальная глубина заделки анкерных конических (распорных) болтов для бетона класса В12,5 при диаметре болтов менее 16 мм.

Оценка усилия вырыва анкерного болта М10х80

Pmax=Nv=257 – Н, максимальная вырывающая нагрузка на болт;

nv=4 – коэффициент запаса по нагрузке на вырыв болта;

ktr=0.6 – коэффициент учета наличия трещин в бетоне;

$Fvtreb = \frac{nv \cdot P\max \cdot 10^{-3}}{ktr} = 1.713$ – кН, максимальное расчетное усилие вырыва анкерного болта при установке в бетон с трещинами.

Расчетная нагрузка на вырыв для анкерных болтов М10х80 по различным данным составляет 16,7…25кН для бетона класса прочности В20…25.

Отсутствие вырыва болта обеспечивается.

6.2.Расчет анкерных болтов ограждений Вол-Тех тип 3

Расчетная схема представлена на рисунке 23.

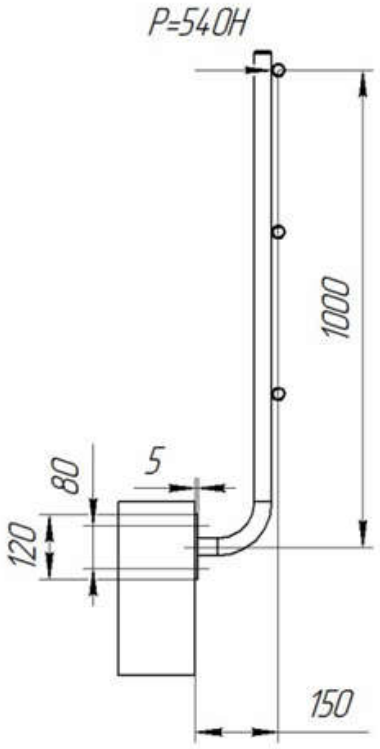

Рисунок 23. Расчетная схема ограждения Вол-Тех тип 3

Внешние нагрузки

F=540 – Н, испытательная нагрузка на ограждение между стойками;

F1=F/2=270 – Н, испытательная нагрузка на одну стойку;

γf=1.1 – коэффициент надежности (запаса) по испытательной нагрузке;

$Fp = \gamma f * F1$ =297 – Н, расчетная горизонтальная нагрузка на одну стойку;

m=9.2 – кг, масса ограждения;

Go=90,1 – Н, сила тяжести ограждения;

γg=1.1 – коэффициент надежности по силе тяжести;

Gp= γg* Go/2=49,555 – Н, расчетная вертикальная нагрузка на стойку от сил тяжести ограждения;

L=1000 – мм, плечо силы Fp относительно центра тяжести фланца;

h1=142-54=88 – мм, плечо силы Gp центра тяжести фланца;

$Mp = Fp * L + Gp * h1$=3,014*10^5 – Н*мм, расчетный момент на фланце;

Нагрузки на болты

<u>От сдвигающей силы Gp</u>

f=0.25 – коэффициент трения в стыке (сталь-бетон);

K=1,8 – коэффициент стабильности затяжки;

z=4 – число болтов на горизонтальном листе фланца;

$S1 = 618 * 2 = 1236$ – Н, сдвигающее усилие в стыке горизонтального листа;

$Fgz = \frac{K*Gp}{f*z} = 89.199$ – Н, требуемое усилие затяжки болтов по условию отсутствия сдвига в стыке;

<u>От силы Fp и момента M</u>

i=2 – число болтов в ряду;

b=80 – мм, расстояние между болтами в ряду;

y1=b/2=40 – мм, координата центра тяжести сечения болта от оси симметрии фланца;

Jz=i*2*y1^2=6400 – мм^2, момент инерции болтов;

$P = \frac{Fp}{z} + \frac{Mp*y1}{Jz}$=1958 – Н, расчетная нагрузка на наиболее нагруженный болт;

Fz=0.75P=1468 – Н, требуемое усилие предварительной затяжки болтов (0,75P – для статической нагрузки, 1,1P – для динамической нагрузки) больше, чем по усилию сдвига;

Fsum=P+Fz=3426 – Н, суммарное усилие в стержне болта;

Материал болтов и требуемый диаметр

Rba=145 – МПа, расчетное сопротивление металла болта растяжению (ВСт3сп2, ВСт3кп2, Ст20);

K0=1,05 – коэффициент учета характера нагрузки: 1,05 – статическая, 1,35 – динамическая;

$Ab = \frac{k0*Fsum}{Rba} = 24.809$ – мм^2, требуемая площадь сечения болта по резьбе;

$db = \sqrt{\frac{4*Ab}{\pi}} = 5.62$ – мм, требуемый внутренний диаметр болта;

Ближайший стандартный внутренний диаметр 6.647 для резьбы M8.

Болты М8

d=8 – мм, наружный диаметр болта;

d1=6.647 – мм, внутренний диаметр болта;

$A1 = \frac{\pi * d1^2}{4} = 34.701$ – мм^2, площадь сечения болта по внутреннему диаметру;

$Pp = \frac{Rba * A1}{k0} = 4792$ – Н, предельная расчетная нагрузка на наиболее нагруженный болт;

$np = \frac{Pp}{Fsum} = 1.399$ – коэффициент надежности (запаса) по предельной нагрузке на болт из условия прочности болта.

Прочность болтов обеспечивается

Оценка усилия вырывания анкерного болта из бетона

$H = 8 * d = 64$ – мм, рекомендуемая минимальная глубина заделки анкерных конических (распорных) болтов для бетона класса В12,5 при диаметре болтов менее 16 мм.

Оценка усилия вырыва анкерного болта М8х80

nv=4 – коэффициент запаса по нагрузке на вырыв болта;

ktr=0.6 – коэффициент учета наличия трещин в бетоне;

$Fv_{treb} = \frac{nv * P * 10^{-3}}{ktr} = 13{,}052$ – кН, расчетное усилие вырыва анкерного болта при установке в бетон с трещинами;

Расчетная нагрузка на вырыв для анкерных болтов М8х80 по различным данным составляет 10,2…17кН.

Имеется вероятность вырыва. Целесообразно увеличить диаметр болтов.

Болты М10

d=10 – мм, наружный диаметр болта;

d1=8,376 – мм, внутренний диаметр болта;

$A1 = \frac{\pi * d1^2}{4} = 55.101$ – мм^2, площадь сечения болта по внутреннему диаметру;

$Pp = \frac{Rba * A1}{k0} = 7609$ – Н, предельная расчетная нагрузка на болт на растяжение;

$np = \frac{Pp}{Fsum} = 2{,}221$ – коэффициент надежности (запаса) по предельной нагрузке на болт из условия прочности болта > 1,5…2,0 – максимальные значения коэффициентов надежности по нагрузкам.

Прочность болта обеспечивается

Глубина заделки анкерных болтов

$H = 8 * d = 80$ – мм, рекомендуемая минимальная глубина заделки анкерных конических (распорных) болтов для бетона класса В12,5 при диаметре болтов менее 16 мм.

Оценка усилия вырыва анкерного болта М10х80

nv=4 – коэффициент запаса по нагрузке на вырыв болта;

ktr=0.6 – коэффициент учета наличия трещин в бетоне;

$Fv_{treb} = \frac{nv*P*10^{-3}}{ktr} = 13{,}052$ – кН, расчетное усилие вырыва анкерного болта при установке в бетон с трещинами;

Расчетная нагрузка на вырыв для анкерных болтов М10х80 по различным данным составляет 16,7…25кН для бетона класса прочности В20…25.

Условие отсутствия вырывания для болтов М10х80 обеспечивается.

Вывод: работоспособность по прочности и отсутствию вырыва болтов крепления ограждения **Вол-Тех тип 3** обеспечиваются при использовании анкерных болтов М10х80.

6.3.Расчет анкерных болтов ограждений Вол-Тех тип 4

Расчетная схема представлена на рисунке 24.

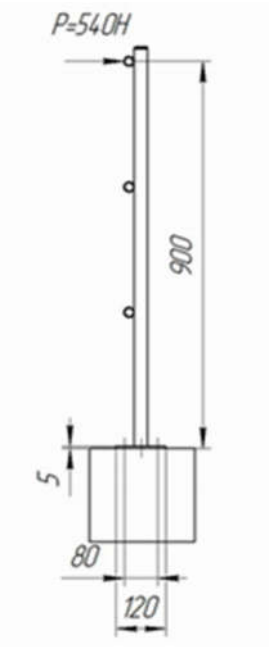

Рисунок 24. Расчетная схема ограждения Вол-Тех тип 4

Внешние нагрузки

F=540 – Н, испытательная нагрузка на ограждение между стойками;

F1=F/2=270 – Н, испытательная нагрузка на одну стойку;

γf=1.1 – коэффициент надежности (запаса) по испытательной нагрузке;

$Fp = \gamma f * F1$ =297 – Н, расчетная горизонтальная нагрузка на одну стойку;

m=9.2 – кг, масса ограждения;

Go=90,1 – Н, сила тяжести ограждения;

γg=1.1 – коэффициент надежности по силе тяжести;

Gp= γg* Go/2=49,555 – Н, расчетная вертикальная нагрузка на стойку от сил тяжести ограждения;

L=900 – мм, плечо силы Fp относительно центра тяжести фланца;

h1=0 – мм, плечо силы Gp центра тяжести фланца;

$Mp = Fp * L + Gp * h1$=2,673*10^5 – Н*мм, расчетный момент на фланце;

Нагрузки на болты

<u>От сдвигающей силы</u>

f=0.25 – коэффициент трения в стыке (сталь-бетон);

К=1,8 – коэффициент стабильности затяжки;

z=4 – число болтов на горизонтальном листе фланца;

$Fzq = \frac{K*Fp}{f*z} = 534.6$ – Н, требуемое усилие затяжки болтов по условию отсутствия сдвига в стыке;

<u>От силы Gp и момента М</u>

i=2 – число болтов в ряду;

b=80 – мм, расстояние между болтами в ряду;

y1=b/2=40 – мм, координата центра тяжести сечения болта от оси симметрии фланца;

Jz=i*2*$y1^2$=6400 – $мм^2$, момент инерции болтов;

P $= \frac{-Gp}{z} + \frac{Mp*y1}{Jz}$=1658 – Н, расчетная нагрузка на наиболее нагруженный болт;

Fz=0.75P=1244 – Н, требуемое усилие предварительной затяжки болтов (0,75P – для статической нагрузки, 1,1P – для динамической нагрузки) больше, чем по усилию сдвига;

Fsum=P+Fz=2902 – Н, суммарное усилие в стержне болта;

Материал болтов и требуемый диаметр

Rba=145 – МПа, расчетное сопротивление металла болта растяжению (ВСт3сп2, ВСт3кп2, Ст20);

K0=1,05 – коэффициент учета характера нагрузки: 1,05 – статическая, 1,35 – динамическая;

$Ab = \frac{k0*Fsum}{Rba} = 21.014$ – мм^2, требуемая площадь сечения болта по резьбе;

$db = \sqrt{\frac{4*Ab}{\pi}} = 5.173$ – мм, требуемый внутренний диаметр болта;

Ближайший стандартный внутренний диаметр 6.647 для резьбы М8.

Болты М8

d=8 – мм, наружный диаметр болта;

d1=6.647 – мм, внутренний диаметр болта;

$A1 = \frac{\pi*d1^2}{4} = 34.701$ – мм^2, площадь сечения болта по внутреннему диаметру;

$Pp = \frac{Rba*A1}{k0} = 4792$ – Н, предельная расчетная нагрузка на наиболее нагруженный болт;

$np = \frac{Pp}{Fsum} = 1.651$ – коэффициент надежности (запаса) по предельной нагрузке на болт из условия прочности болта.

Прочность болтов обеспечивается

Оценка усилия вырывания анкерного болта из бетона

$H = 8 * d = 64$ – мм, рекомендуемая минимальная глубина заделки анкерных конических (распорных) болтов для бетона класса В12,5 при диаметре болтов менее 16 мм.

Оценка усилия вырыва анкерного болта М8х80

nv=4 – коэффициент запаса по нагрузке на вырыв болта;

ktr=0.6 – коэффициент учета наличия трещин в бетоне;

$Fv_{treb} = \frac{nv*P*10^{-3}}{ktr} = 11.055$ – кН, расчетное усилие вырыва анкерного болта при установке в бетон с трещинами;

Расчетная нагрузка на вырыв для анкерных болтов М8х80 по различным данным составляет 10,2…17кН.

Имеется вероятность вырыва. С целью обеспечения необходимого запаса целесообразно увеличить диаметр болтов.

Болты М10

d=10 – мм, наружный диаметр болта;

d1=8,376 – мм, внутренний диаметр болта;

$A1 = \frac{\pi*d1^2}{4} = 55.101$ – мм^2, площадь сечения болта по внутреннему диаметру;

$Pp = \frac{Rba*A1}{k0} = 7609$ – Н, предельная расчетная нагрузка на болт на растяжение;

$np = \frac{Pp}{Fsum} = 2{,}622$ – коэффициент надежности (запаса) по предельной нагрузке на болт из условия прочности болта > 1,5…2,0 – максимальные значения коэффициентов надежности по нагрузкам.

Прочность болта обеспечивается

Глубина заделки анкерных болтов

$H = 8 * d = 80$ – мм, рекомендуемая минимальная глубина заделки анкерных конических (распорных) болтов для бетона класса В12,5 при диаметре болтов менее 16 мм.

Оценка усилия вырыва анкерного болта М10х80

nv=4 – коэффициент запаса по нагрузке на вырыв болта;

ktr=0.6 – коэффициент учета наличия трещин в бетоне;

$Fv_{treb} = \frac{nv*P*10^{-3}}{ktr} = 11{,}055$ – кН, расчетное усилие вырыва анкерного болта при установке в бетон с трещинами;

Расчетная нагрузка на вырыв для анкерных болтов М10х80 по различным данным составляет 16,7…25кН для бетона класса прочности В20…25.

Условие отсутствия вырывания для болтов М10х80 обеспечивается.

Вывод: работоспособность по прочности и отсутствию вырыва болтов крепления ограждения **Вол-Тех тип 4** обеспечиваются при использовании анкерных болтов М10х80.

7. Анализ результатов. Выводы

При анализе напряженно-деформированного **ограждений кровли Вол-Тех ТУ 5262-001-92716048-2012** на заданные нагрузки проводился расчет в трехмерной физически и геометрически линейной конечно-элементной постановке.

Пластических деформаций не возникает.

В соответствии с расчетом несущая способность конструкции ограждений кровли обеспечивается.

Результаты расчета ограждений кровли Вол-Тех представлены в табл. 3

Таблица 3

Наименование ограждения	Высота от парапета, мм	Расстояние между стойками, мм	ГОСТ 53254-2009	ГОСТ 25772-83	СП 20.13330.2011
Вол-Тех тип 1	600	1200	+	+	+
		1500	+		+
		2000	+		+
Вол-Тех тип 2		1200	+	+	+
		1500	+		+
		2000	+		+
Вол-Тех тип 3		1200	+	+	+
		1500	+		+
		2000	+		+
Вол-Тех тип 4		1200	+	+	+
		1500	+		+
		2000	+		+

Выполненными расчетными исследованиями установлено, что при соблюдении принятых параметров проекта (геометрия, свойства материалов и соединений и др.):

1) Состояние несущих металлических конструкций ограждений кровли удовлетворяет нормативным критериям несущей способности (деформативности, прочности и устойчивости);

2) Статическая прочность наиболее нагруженных узлов обеспечена с запасом, т.к. средние по характерным сечениям элементов расчетные упругие напряжения существенно ниже допускаемых;

3) Работоспособность по прочности и отсутствию вырывания болтов крепления ограждения **Вол-Тех** обеспечивается при использовании анкерных болтов М10х80.

В зависимости от температуры эксплуатации элементы ограждения кровли Вол-Тех должны изготавливаться в различных исполнениях:

1) при температурах свыше -45^{0}С следует использовать сталь С235 (Ст3кп2, Ст3пс2);

2) при минимальных температурах от -45 до -55^{0}С должна использоваться сталь С345 (низколегированная сталь 09Г2С), категории 4, расчетное сопротивление 320 МПа;

3) при температурах ниже -55^{0}С – низколегированная сталь 09Г2С категории 7 или 12 класса прочности С345, расчетное сопротивление 320 МПа.

8. Список основных использованных источников

1. ТУ 5262-002-92716048-2012 «Быстросборные металлические лестницы «Вол-Тех». Технические условия».
2. ГОСТ 27751-2014 «Надежных строительных конструкций и оснований».
3. СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия».
4. ГОСТ 53254-2009 «Техника пожарная. Лестницы пожарные наружные стационарные. Ограждения кровли».
5. СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции».
6. ГОСТ 25772-83 «Ограждения лестниц, балконов и крыш стальные»
7. ГОСТ 1759.4-87 Болты, винты и шпильки. Механические свойства и методы испытаний.
8. Пособие по проектированию анкерных болтов для крепления строительных конструкций и оборудования (к СНиП 2.09.03)
9. СП 43.13330.2012 Сооружения промышленных предприятий.
10. Иванов М.Н. Детали машин
11. Интернет-ресурс http://teoriastroiki.ru/spravochnik/krepeg/ankernyj_krepezh/ankernye_bolty/ankernyj_bolt/