

Технический отчет

Расчет несущей конструкции серии зданий FINHA-2

Рычков С.П.

Самара 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЁТА.....	4
1.1 Общее описание	4
1.2 Единицы измерения	7
1.3 Применяемые материалы и ссылочные данные.....	7
1.4 Статические нагрузки.....	8
1.5 Сейсмические нагрузки	12
1.6 Расчетные сочетания нагрузок	13
Основные сочетания.....	13
Особые сочетания.....	13
1.7 Задание нагрузок и креплений	14
2. АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ОДНОСКАТНОГО ЗДАНИЯ, ПРОЛЕТ 4 М.....	14
2.1 Конечно-элементная модель	14
2.2 Основные сочетания нагрузок	16
Рамы каркаса	16
Распорки	16
Стойки и ригели в стыке.....	16
Коннекторы	16
Прочность отверстий под болты по смятию.....	17
2.3 Особые сочетания.....	21
Рамы каркаса	21
Распорки	21
Стойки и ригели в стыке.....	21
Коннекторы	21
2.4 Сводка запасов прочности односкатного здания.....	24
3. АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ДВУСКАТНОГО ЗДАНИЯ, ПРОЛЕТ 5 М	25
3.1 Конечно-элементная модель	25
3.2 Основные сочетания нагрузок	26
Рамы каркаса	26
Распорки	26
Стойки и ригели в стыке.....	26
Коннекторы	27
Прочность отверстий под болты по смятию.....	27
3.3 Особые сочетания.....	31

Рамы каркаса	31
Распорки	31
Стойки и ригели в стыке.....	31
Коннекторы	31
3.4 Сводка запасов прочности и коэффициентов использования двускатного здания	33
4. АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ДВУСКАТНОГО ЗДАНИЯ, ПРОЛЕТ 6 М, УКЛОН 45 ГРАД.....	33
4.1 Конечно-элементная модель	33
4.2 Основные сочетания нагрузок	35
Рамы каркаса	35
Распорки	35
Стойки и ригели в стыке.....	35
Коннекторы	35
Прочность отверстий под болты по смятию.....	35
4.3 Особые сочетания	39
Рамы каркаса	39
Распорки	39
Стойки и ригели в стыке.....	39
Коннекторы	39
4.4 Сводка запасов прочности и коэффициентов использования двускатного здания с уклоном 45 град.	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	42
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	42

ВВЕДЕНИЕ

Данный расчет выполнен для подтверждения соответствия характеристик прочности и устойчивости серии зданий FINHA с коннекторами требованиям строительных норм СП 64.13330.2017 “СНиП II-25-80. Деревянные конструкции”. Расчет проводится для нагрузок, соответствующих экстремальным условиям эксплуатации:

- ❑ снеговой район VIII ;
- ❑ ветровой район VII, тип местности С;
- ❑ сейсмичность площадки строительства 9 баллов при категории грунта I или II;
- ❑ сейсмичность площадки строительства 8 баллов при категории грунт III или IV;

Цель работы:

- Создание нагрузок в соответствии с нормами СНиП;
- Построение конечно-элементных моделей проектируемых зданий;
- Выполнение расчетов устойчивости и напряженно-деформированного состояния на заданные нагрузки;
- Формирование расчетных сочетаний усилий в соответствии с нормами СНиП;
- Определение запасов прочности

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЁТА

1.1 Общее описание

Общий вид зданий FINHA различных схем приведен на рис. 1 - 3.

Каркас здания собирается из поперечных рам, выполненных из деревянных балок, которые соединяются друг с другом четырьмя болтами через коннекторы, и продольных балок, рис. 4. Каркас устанавливается на балки ростверка. Балки ростверка также изготавливаются из дерева.

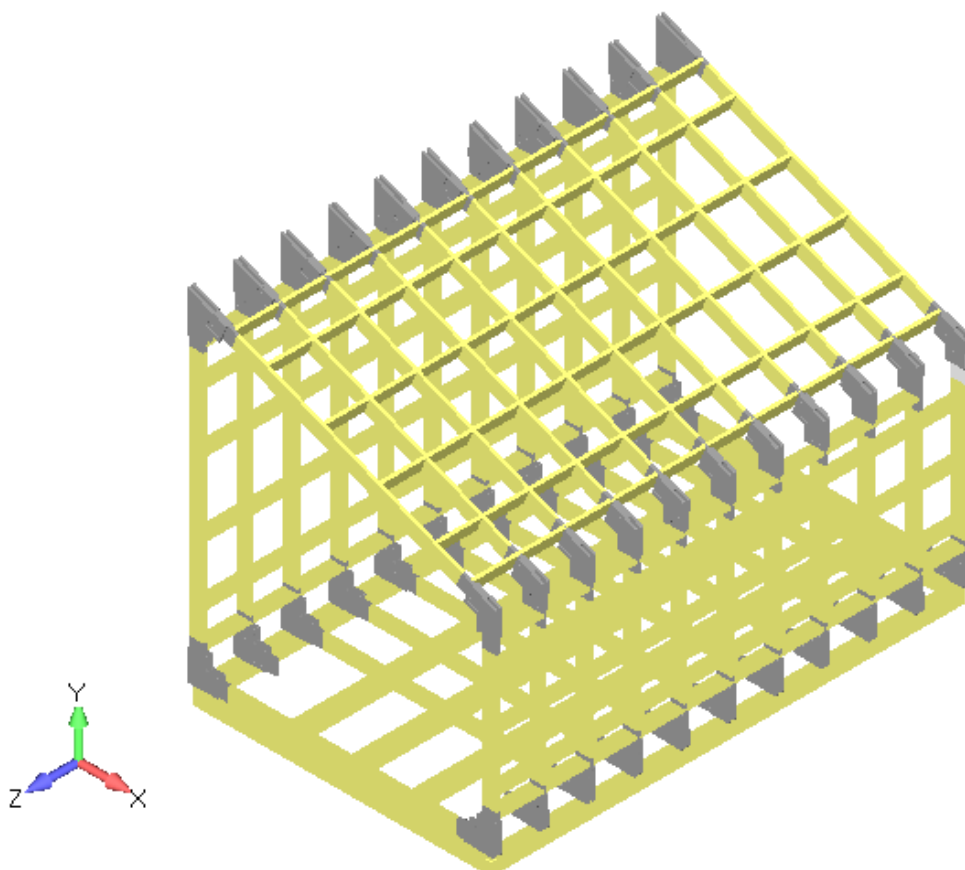


Рисунок 1. Общий вид каркаса односкатного здания FINHA, ширина рамы 4 м

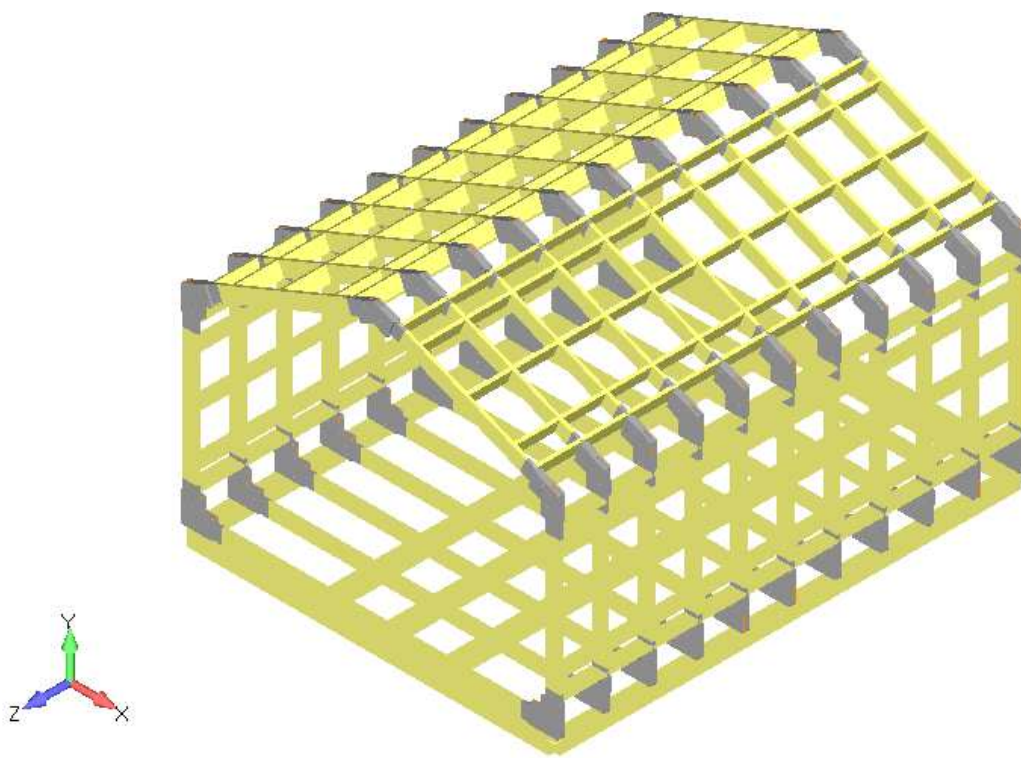


Рисунок 2. Общий вид каркаса двускатного здания FINHA, ширина рамы 5 м

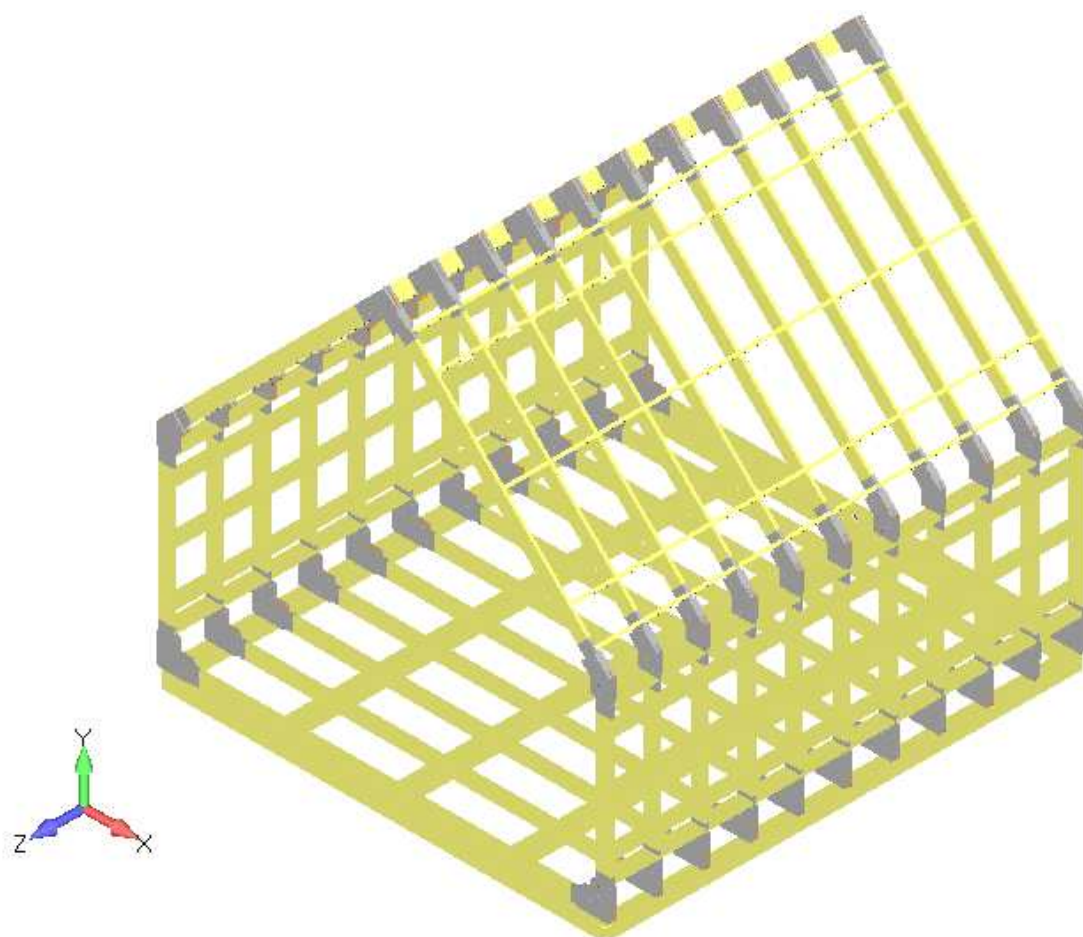


Рисунок 3. Общий вид каркаса двускатного здания FINHA, ширина рамы 6 м, уклон 45 град.

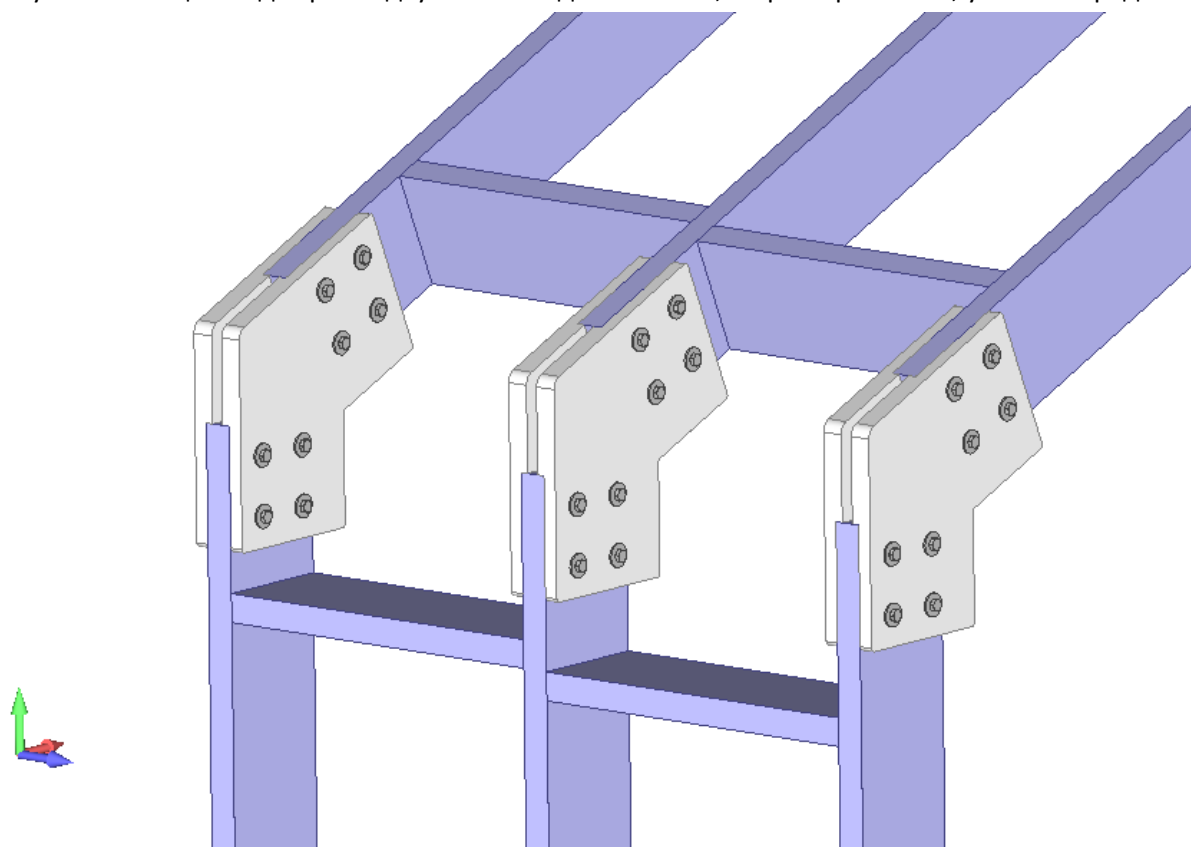


Рисунок 4. Фрагмент типового соединения балок

1.2 Единицы измерения

В данном расчете применяются следующие единицы измерения:

- Сила – Н;
- Длина – мм;
- Напряжение – МПа;

1.3 Применяемые материалы и ссылочные данные

Древесина, сорт 1, табл. 3 [1] :

- $R_u^A = R_{сж}^A = 24$ МПа;
- $R_p^A = 15$ МПа;

Расчетное сопротивление определяется по формуле 1 [1]

$$R^P = R^A \cdot m_{\partial л} \cdot \Pi m_i$$

Коэффициент длительной прочности $m_{\partial л}$ принимается по табл 4 [1]

- $m_{\partial л} = 0.66$ - при совместном действии постоянной и кратковременной снеговой нагрузки;
- $m_{\partial л} = 0.92$ - при совместном действии постоянной и сейсмической нагрузки.

Коэффициенты условий работы п.6.9 [1]:

- $m_b = 0.9$ по табл. 9;
- $m_t = 1.0$;
- $m_{сл} = 1.0$ по табл. 11;
- $m_{сс} = 1.0$ по табл. 13 ;

$$\Pi m_i = m_b \cdot m_t \cdot m \cdot m_{сс} = 0.9 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 0.9$$

Расчетные сопротивления при изгибе и сжатии:

- $R_{изг}^A = R_{сж}^A = 24 \cdot 0.66 \cdot 0.9 = 14$ МПа - при совместном действии постоянной и кратковременной нагрузки;
- $R_{изг}^A = R_{сж}^A = 24 \cdot 0.92 \cdot 0.9 = 20$ МПа - при совместном действии постоянной и сейсмической нагрузки.

Расчетные сопротивления при растяжении:

- $R_p^A = 15 \cdot 0.66 \cdot 0.9 = 12$ МПа - при совместном действии постоянной и кратковременной нагрузки
- $R_p^A = 15 \cdot 0.92 \cdot 0.9 = 12.4$ МПа - при совместном действии постоянной и сейсмической нагрузки

Расчетные сопротивления смятию:

- вдоль волокон $R_{см0}^A = R_{изг}^A = 14$ МПа;
- поперек волокон $R_{см90}^A = 4.5$ МПа.
- при нагружении под углом 45 град ., ф.6[1]:

$$R_{см45}^A = R_{см0}^A / (1 + (R_{см0}^A / R_{см90}^A - 1) \cdot \sin^3 45) = 8.0 \text{ МПа}$$

Фанера:

Расчетные сопротивления:

- $R^A = 14$ МПа - при совместном действии постоянной и кратковременной нагрузки;
- $R^A = 20$ МПа - при совместном действии постоянной и сейсмической нагрузки.

Расчетные сопротивления смятию:

- $R_{см}^A = R_{изг}^A = 14$ МПа;

Расчет выполняется для группы статических нагружений и группы сейсмических нагружений, на основе которых формируются расчетные сочетания усилий.

1.4 Статические нагрузки

1. Собственный вес здания (**weight**), постоянное нагружение.

Нагрузки от собственного веса задаются ускорением вдоль вертикальной оси

$$a = g \cdot \gamma_{Gf}.$$

где

$$g = 9810 \text{ мм/сек}^2, \gamma_{Gf} = 1.2 - \text{коэффициент надежности по нагрузке.}$$

2. Вес нагрузки на балки пола (**load**), временное нагружение;

Величина нагрузки принимается в соответствии с п. 8.2.2 и табл. 8.3 [2]:

$$q = P_1 \cdot \gamma_f = 0.0015 \cdot 1.3 = 0.00195 \text{ МПа,}$$

Здесь $P_1 = 0.0015$ МПа – нормативное значение равномерно распределенной нагрузки;

$$\gamma_f = 1.3 - \text{коэффициент надежности по нагрузке.}$$

3. Снеговые нагрузки Снег слева (**snow_left**) и Снег справа (**snow_right**), кратковременные нагружения;

Нормативное значение снеговой нагрузки, п.10 [2]

$$S_0 = c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g$$

Здесь

$c_e \cdot = 1.0$ – коэффициент сноса снега, принимается в соответствии с 10.6 [2];

$c_t \cdot = 1.0$ – термический коэффициент;

μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый в соответствии с 10.4 [2] ;

$\mu = 1.0$ – для угла наклона кровли до 30 град;

$\mu = 0.5$ – для угла наклона кровли 45 град;

$S_g = 4.0 \text{ кН/м}^2$ – нормативное значение веса снегового покрова на 1 м^2 для снегового района VIII.

Расчетное значение снеговой нагрузки:

$$S = S_0 \cdot \gamma_{sf},$$

$\gamma_{sf} = 1.4$ – коэффициент надежности по снеговой нагрузке

Снеговые загрузки показаны на рис. 5.-7

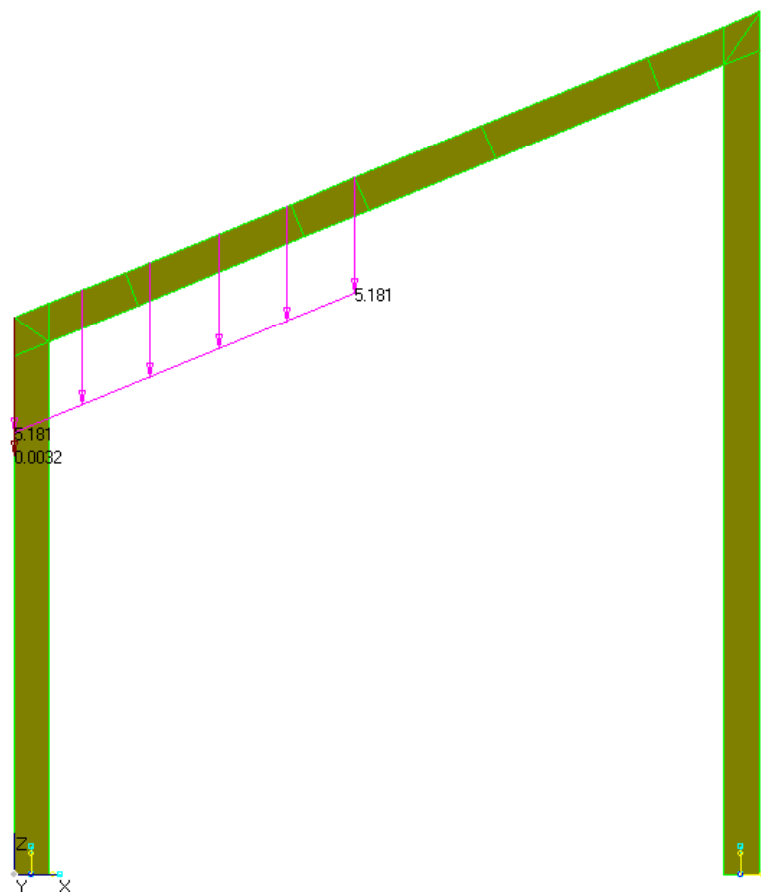


Рисунок 5. Односкатное здание. Расчетная снеговая нагрузка **snow_left**, действующая по направлению оси Z, кН/м^2

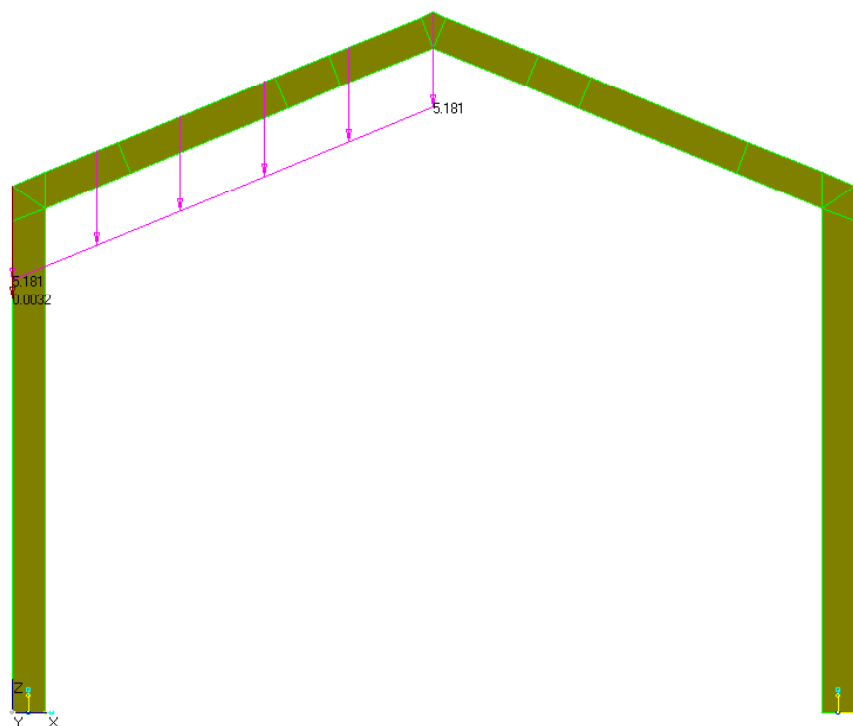


Рисунок 6. Двускатное здание. Расчетная снеговая нагрузка **snow_left**, действующая по направлению оси Z, кН/м^2

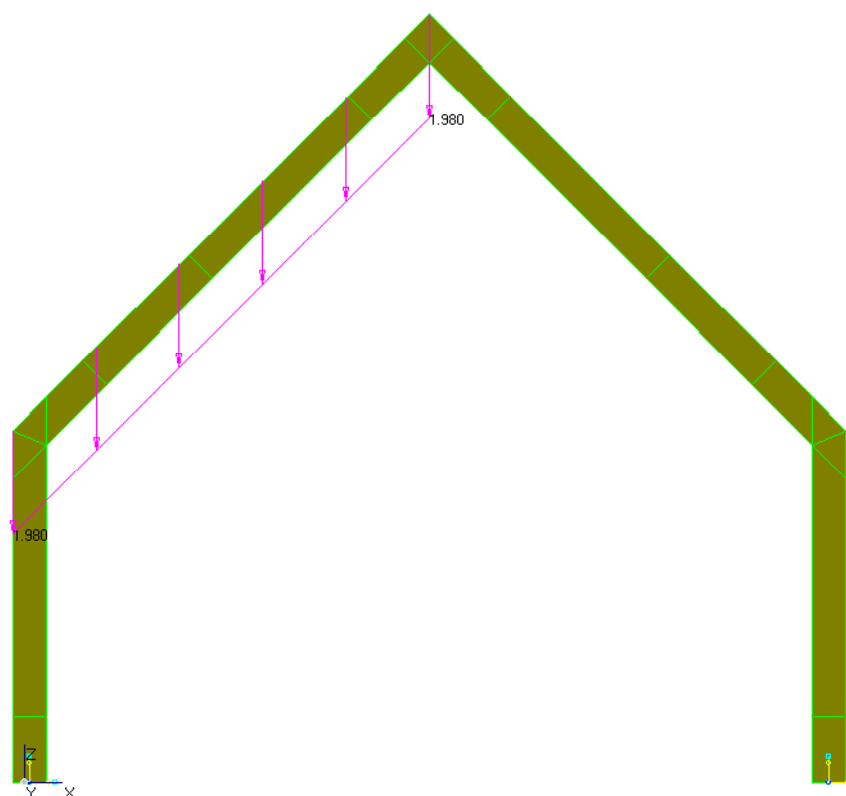


Рисунок 7. Двускатное здание с углом наклона кровли 45 град. Расчетная снеговая нагрузка **snow_left**, действующая по направлению оси Z, кН/м^2

4. Ветровые нагрузки, кратковременные загрузки:

Нормативное значение ветрового давления принимается по п.11.1.4 [2] для ветрового района VII:

$$w_0 = 0.85 \text{ кН/м}^2;$$

$\gamma_{Wf} = 1.4$ – коэффициент надежности по ветровой нагрузке.

Расчет проводится на три загрузки:

- ❑ ветер слева **wind_left**;
- ❑ ветер справа **wind_right**;
- ❑ ветер в торец **wind_tor**;

Распределение ветровой нагрузки в загрузке **wind_left** показано на рис. 4.

Загрузка **wind_right** симметрично.

Распределение ветровой нагрузки в загрузке **wind_tor** показано на рис. 5.

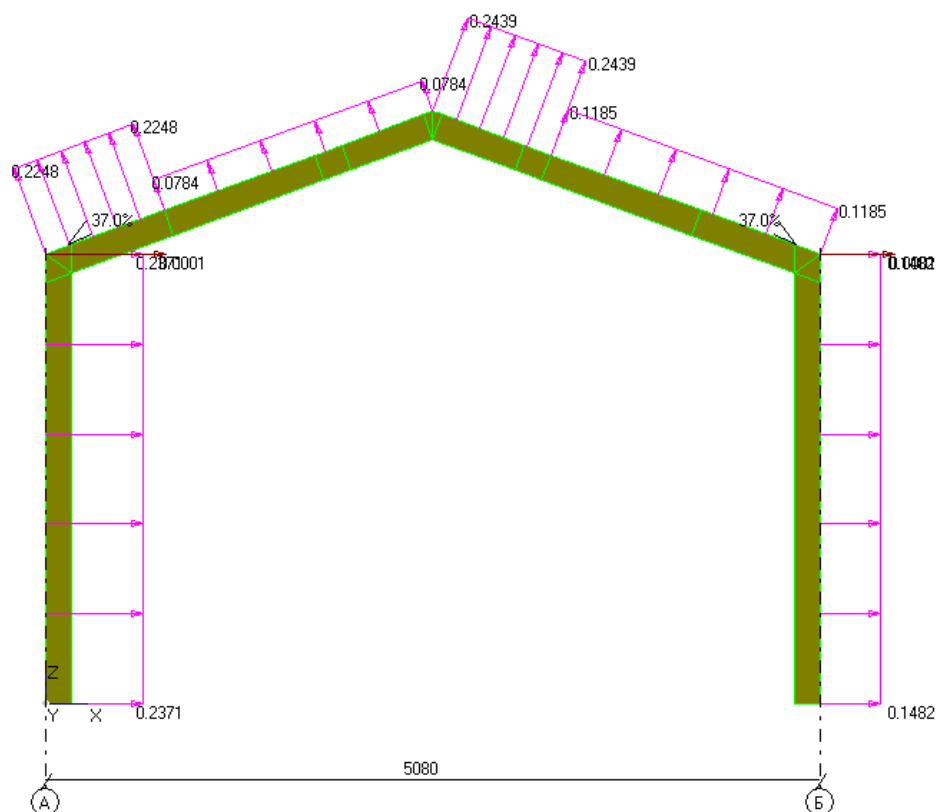


Рисунок 8. Расчетная ветровая нагрузка ветер слева, действующая по нормали к поверхности, кН/м^2

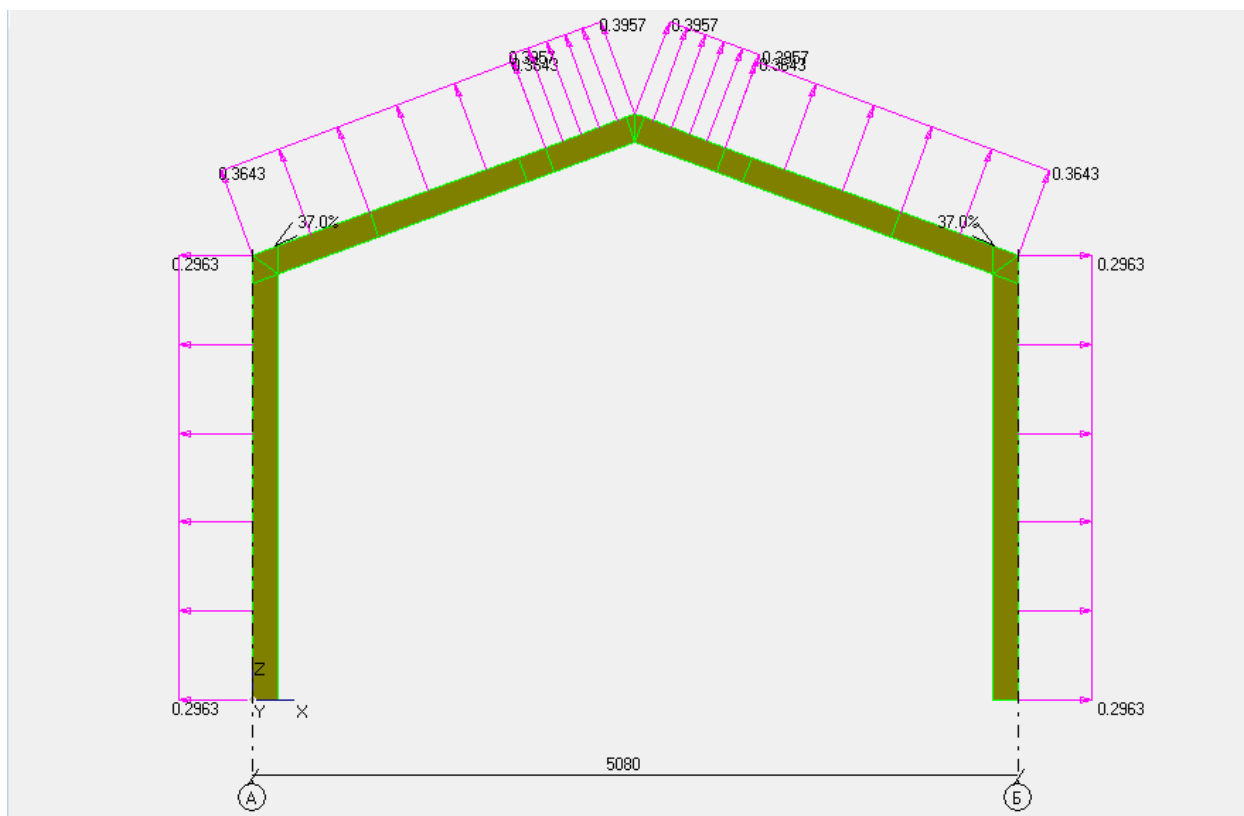


Рисунок 9. Расчетная ветровая нагрузка ветер в торец, действующая по нормали к поверхности, кН/м^2

1.5 Сейсмические нагрузки

- Горизонтальное воздействие в направлении поперечной оси (**Quake X**)
- Горизонтальное воздействие в направлении продольной оси (**Quake Y**)
- Вертикальное воздействие (**Quake Z**)

Параметры сейсмической нагрузки принимаются при расчетной сейсмичности района 9 баллов, категория грунта II.

Расчетная сейсмическая нагрузка по направлению обобщенной координаты с номером j , приложенная к узлу k расчетной модели и соответствующая i -й форме собственных колебаний зданий или сооружений, определяется по формуле:

$$S_{ik}^j = K_0 \cdot K_1 \cdot S_{0ik}^j$$

- $K_0 = 0.8$ - коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность, принимаемый по таблице 3 [3];
- $K_1 = 0.15$ - коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, принимаемый по таблице 4 [3];

S_{0ik}^j - значение сейсмической нагрузки для i -й формы собственных колебаний здания или сооружения, определяемое в предположении упругого деформирования конструкций по формуле:

$$S_{0ik}^j = m_k^j \cdot A \cdot K_\psi \cdot \beta_i \cdot \eta_{ik}^j.$$

Здесь

m_k^j - масса здания или момент инерции соответствующей массы здания, отнесенные к узлу k по обобщенной координате j ;

- $K_\psi = 1.3$ - коэффициент, учитывающий способность здания к рассеиванию энергии колебаний при горизонтальном воздействии, принимаемый по таблице 5.
- $A = 4 \text{ м/сек}^2$ - значение ускорения в уровне основания при расчетной сейсмичности района 9 баллов, категория грунта II;

η_{ik}^j - коэффициент, зависящий от формы деформации здания при его собственных колебаниях по i -й форме;

β_i - коэффициент динамичности, соответствующий периоду колебаний по i -й собственной форме, принимаемый в соответствии с п. 5.6 [3], для грунта категории III (принимается в запас), рисунок 6.

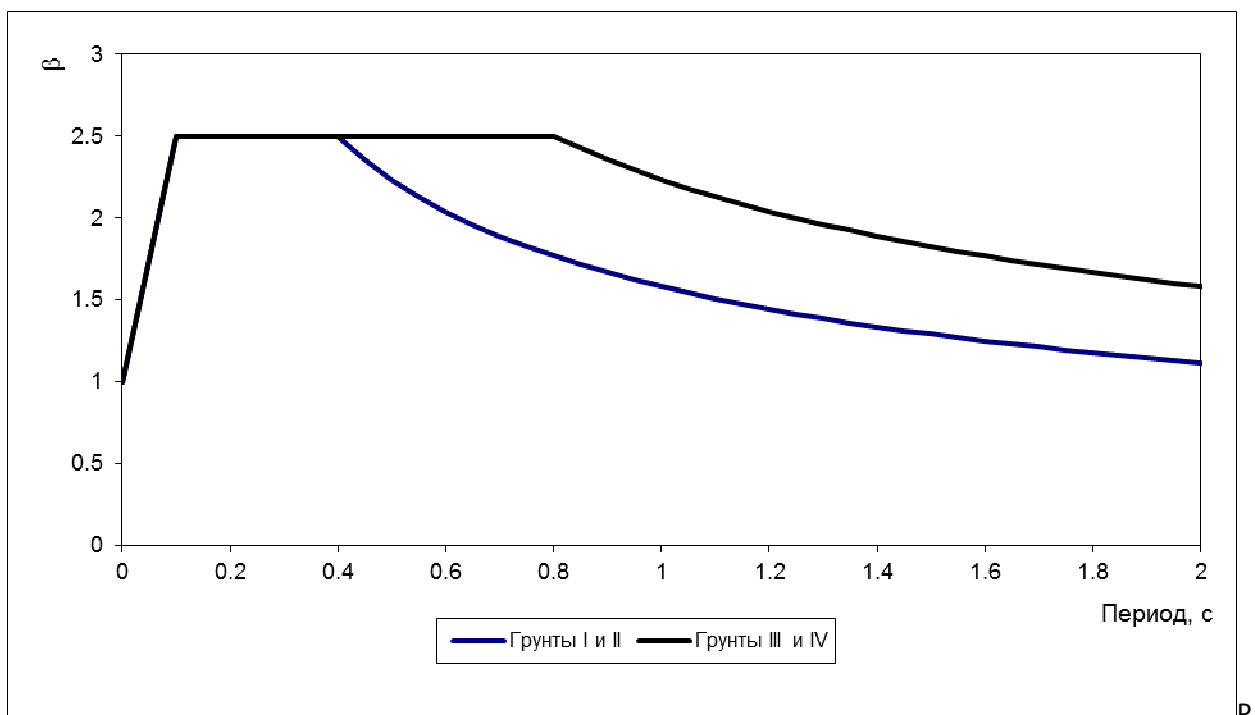


Рисунок 10. Спектрограмма коэффициентов динамичности

1.6 Расчетные сочетания нагрузок

Коэффициенты в сочетаниях нагрузок принимаются в соответствии с п. 6.2, 6.3, 6.4 [2] и п. 5.1 [3]

Основные сочетания

1. weight + load + snow_left + snow_right
2. weight + load + snow_left + snow_right + 0.9*wind_left
3. weight + load + snow_left + snow_right + 0.9*wind_tor

Особые сочетания

1. Quake X + 0.9*Weight + 0.8*load + 0.5*snow_left + 0.5*snow_right
2. Quake Y + 0.9*Weight + 0.8*load + 0.5*snow_left + 0.5*snow_right

3. Quake Z + 0.9*Weight + 0.8*load + 0.5*snow_left + 0.5*snow_right
4. Quake X + 0.75*Quake Z + 0.9*Weight+ 0.8*load + 0.5*snow_left + 0.5*snow_right
5. Quake Y + 0.75*Quake Z + 0.9*Weight + 0.8*load + 0.5*snow_left + 0.5*snow_right

1.7 Задание нагрузок и закреплений

Статические нагрузки от веса (**Weight**) задаются в виде ускорения $g = -9810 \cdot 1.2 = -11770$ мм/сек², (с учетом $\gamma_{Gf} = 1.2$) по оси координат Z.

Снеговые и ветровые нагрузки задаются в виде распределенных нагрузок, приложенных к ригелям и стойкам.

Сейсмические нагрузки задаются спектрограммой коэффициентов динамичности, см. рис. 6, амплитудой A и коэффициентами K_0, K_1, K_ψ .

Здания шарнирно закрепляется в точках опирания на сваи.

2. АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ОДНОСКАТНОГО ЗДАНИЯ, ПРОЛЕТ 4 М

2.1 Конечно-элементная модель

Расчетные схемы здания FINHA показана на рис. 11-13.

Рамы и продольные балки моделируются элементами типа *Beam* соответствующего сечения. Узлы стыка балок и распорок полагаются моментными.

Коннекторы моделируются двумерными элементами типа *Plate*. Доски в местах стыка моделируются объемными элементами типа *Solid*.

Болты, стягивающие коннекторы со стойками и ригелями, моделируются одномерными элементами типа *Beam*.

Между коннекторами и досками задаются условия контакта с трением. Коэффициент трения принимается $f=0.5$

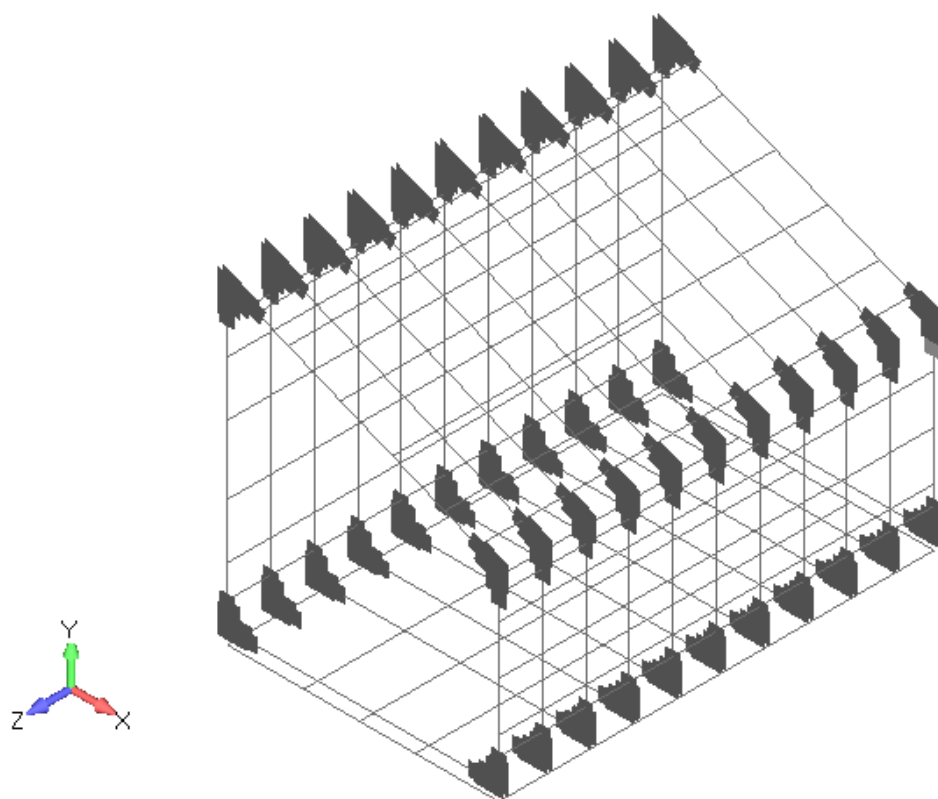


Рисунок 11. Конечно-элементная модель односкатного здания

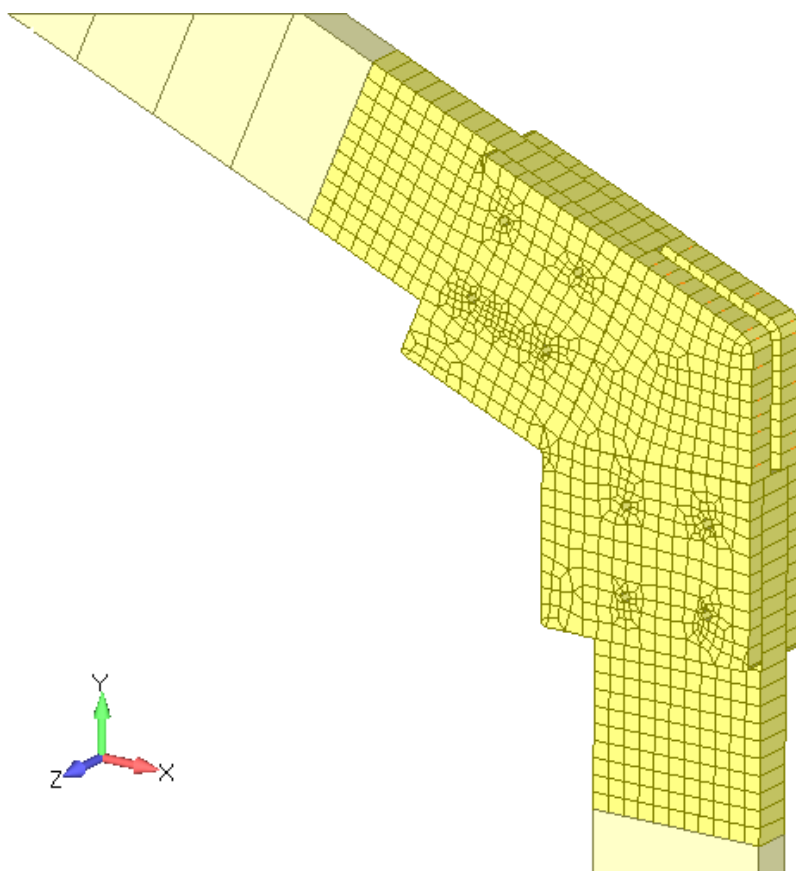


Рисунок 12. Конечно-элементная модель стыка досок ригеля коннекторами, угол 112.5 град.

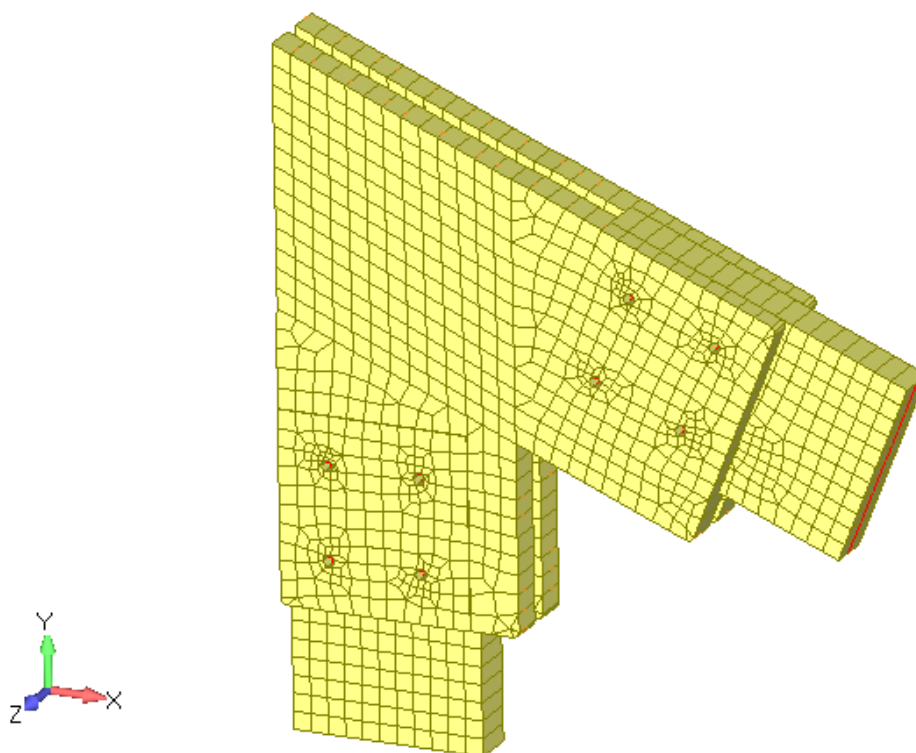


Рисунок 13. Конечно-элементная модель стыка стойки с ригелем односкатного здания коннекторами

2.2 Основные сочетания нагрузок

Расчетные сопротивления при изгибе и сжатии:

- $R_{изг}^A = R_{сж}^A = 14$ МПа - при совместном действии постоянной и кратковременной нагрузки

Рамы каркаса

Наибольшие изгибные напряжения в элементах рам: $\sigma_{max} = 10.8$ МПа, рис. 15,

- Коэффициент запаса $\eta = R_p^A / \sigma_{max} = 14/10.8 = 1.3$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.77$

Распорки

Наибольшие изгибные напряжения в распорках: $\sigma_{max} = 3.7$ МПа, рис. 16,

- Коэффициент запаса $\eta = R_p^A / \sigma_{max} = 14/3.7 > 2.0$

Стойки и ригели в стыке

Наибольшие напряжения в элементах стоек и ригелей в области стыка: $\sigma_{max} = 10$ МПа вызываются изгибом, рис. 17,

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{max} = 14/12 = 1.17$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.86$.

Коннекторы

Наибольшие напряжения в коннекторах: $\sigma_{max} = 12$ МПа, рис. 17, 18

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{max} = 14/12 = 1.17$
- Коэффициент использования материала $f=1/\eta = 0.86$

Прочность отверстий под болты по смятию

На рис. 19 показаны поперечные усилия в болтах (Н), действующие на стенку коннектора толщиной $t=22.5$ мм при нагружении собственным весом и снеговыми нагрузками для VIII региона.

На доску со стороны болта действует сумма этих усилий.

Максимальное результирующее усилие на коннектор равно $P_{срез}=2294$ Н.

Усилие со стороны болта на второй коннектор $P_{срез}=1970$ Н

Предельное усилие смятия $[P_{см}] = R_{см} \cdot F_{см}$,

где $R_{см}$ - допускаемое напряжение смятия;

$F_{см}$ - площадь смятия;

Прочность коннектора по смятию.

Для фанеры (березовой) $R_{см} = 12$ МПа (СНиП Деревянные конструкции. 2017 г. Табл. 3):

Диаметр болтов $D=14$ мм;

Площадь смятия $F_{см} = t \cdot D = 22.5 \cdot 14 = 315$ мм²

Следовательно $[P_{см}] = 12 \cdot 315 = 3780$ Н.

Коэффициент запаса $\eta = [P_{см}] / P_{срез} = 3780 / 2294 = 1.66$

Прочность доски по смятию.

Предельные напряжения смятия под углом 45 град $R_{см45} = 8.0$ МПа;

Максимальное усилие смятия $P_{срез} = P_{1срез} + P_{2срез} = 4264$ Н

Площадь смятия $F_{см} = t \cdot D = 45 \cdot 14 = 630$ мм²

Следовательно $[P_{см}] = 8 \cdot 630 = 5040$ Н

Коэффициент запаса $\eta = [P_{см}] / P_{срез} = 5040 / 4264 = 1.18$

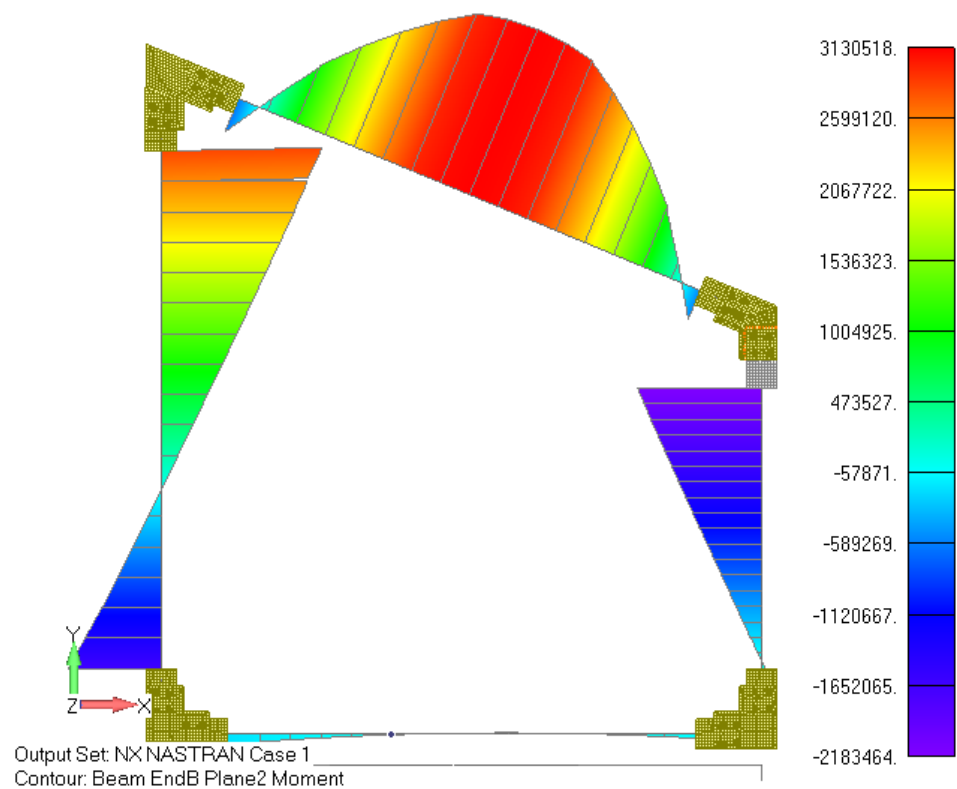


Рисунок 14. Основные сочетания. Изгибающие моменты в стойках и ригелях, Н*мм.

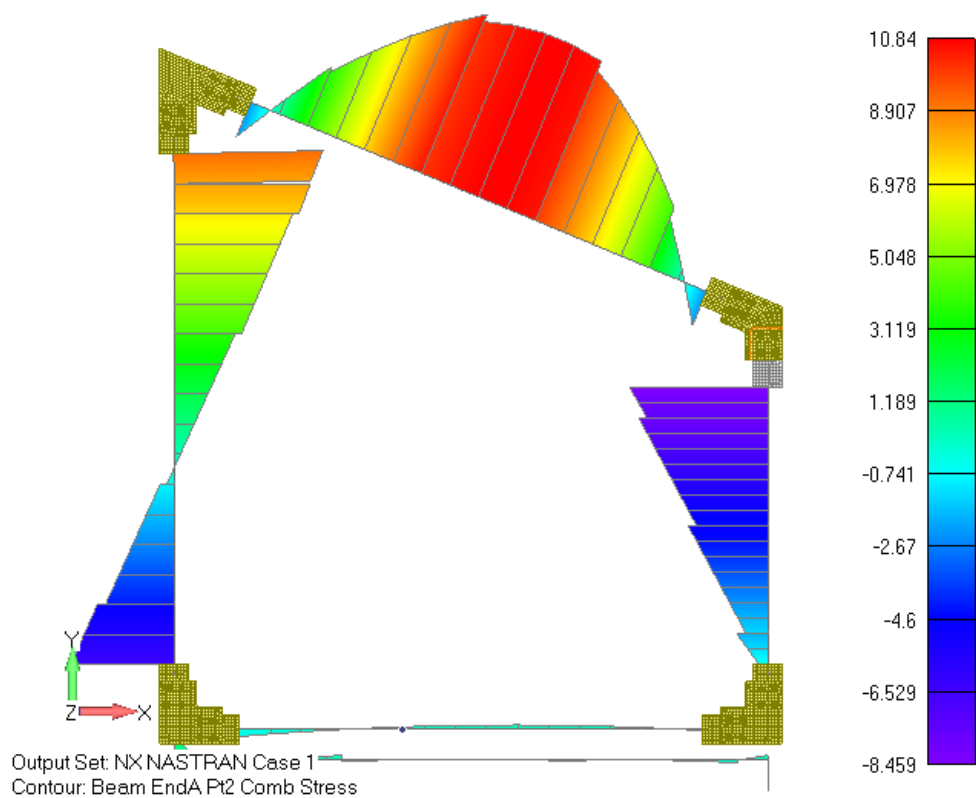


Рисунок 15. Основные сочетания. Максимальные напряжения от изгиба в рамах, МПа

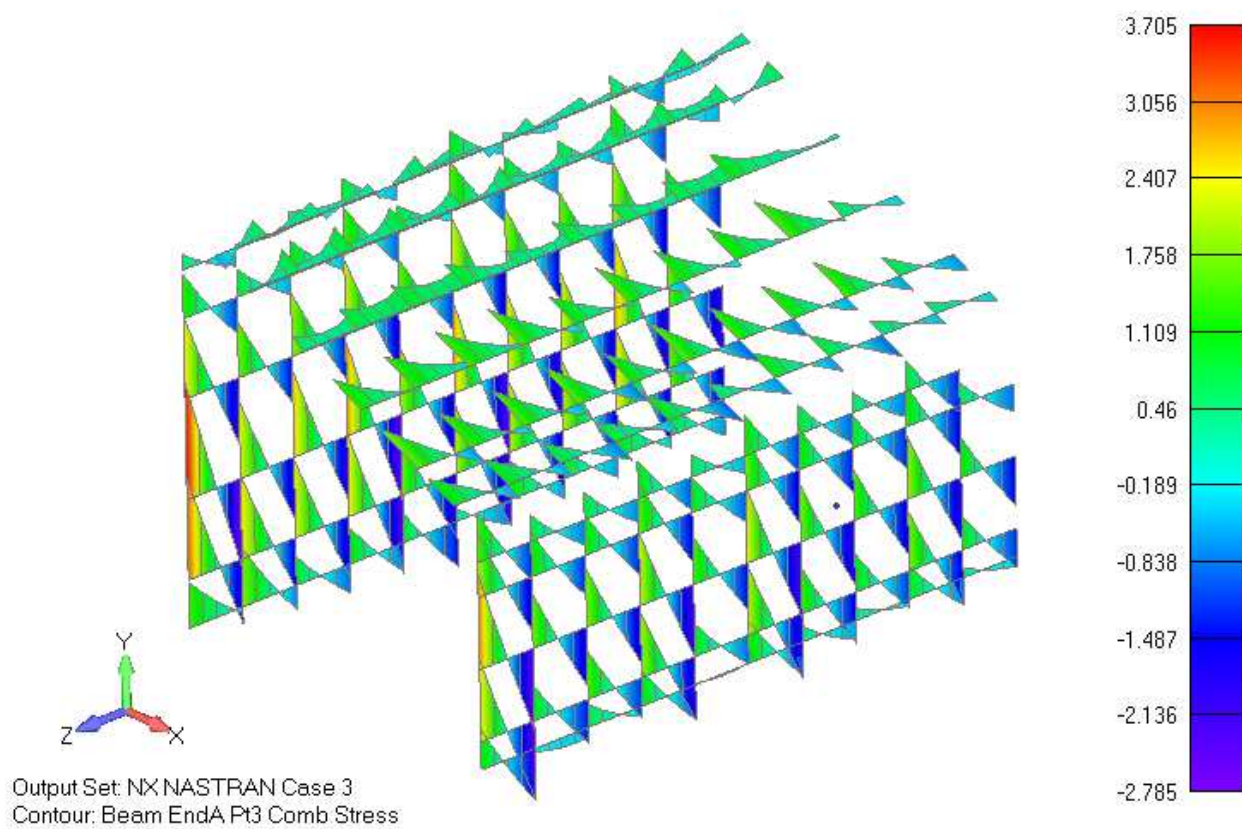


Рисунок 16. Основные сочетания. Максимальные напряжения в распорках, МПа

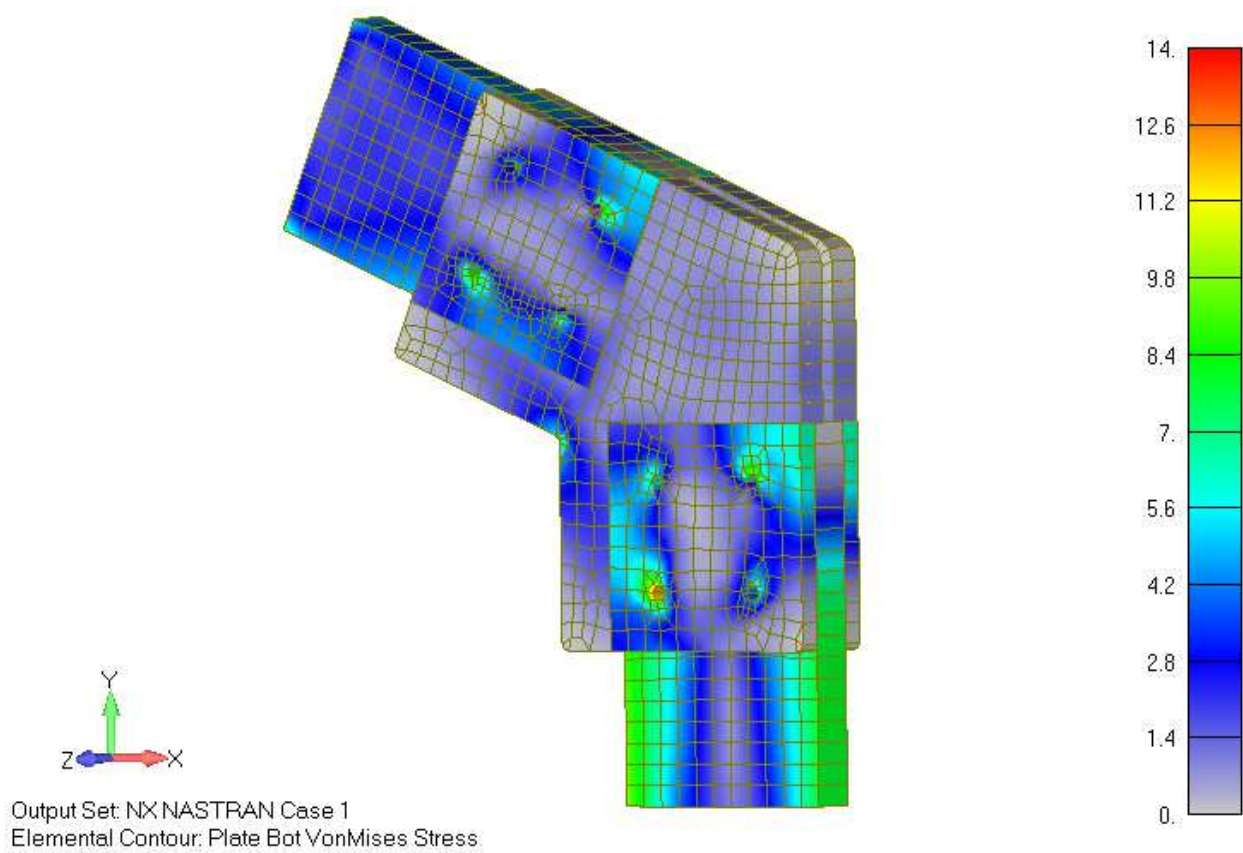


Рисунок 17. Основные сочетания. Максимальные напряжения в соединении стоек и ригелей коннекторами, МПа.

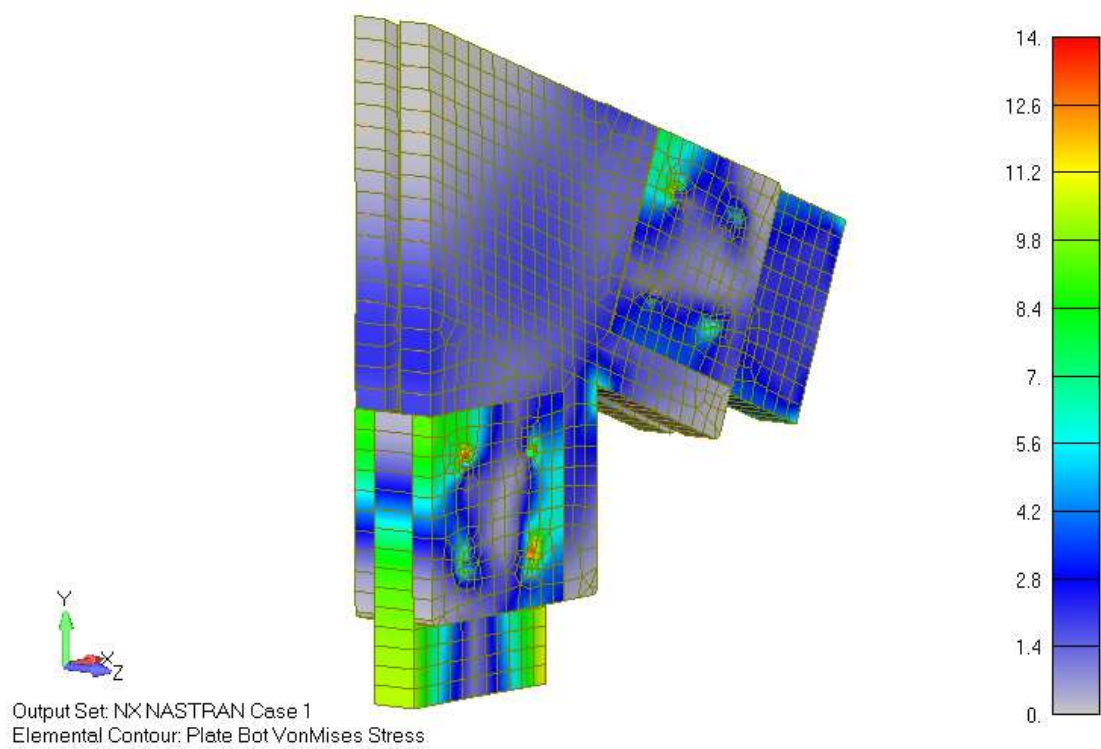


Рисунок 18. Основные сочетания. Максимальные напряжения в соединении стоек и ригелей коннекторами, МПа.

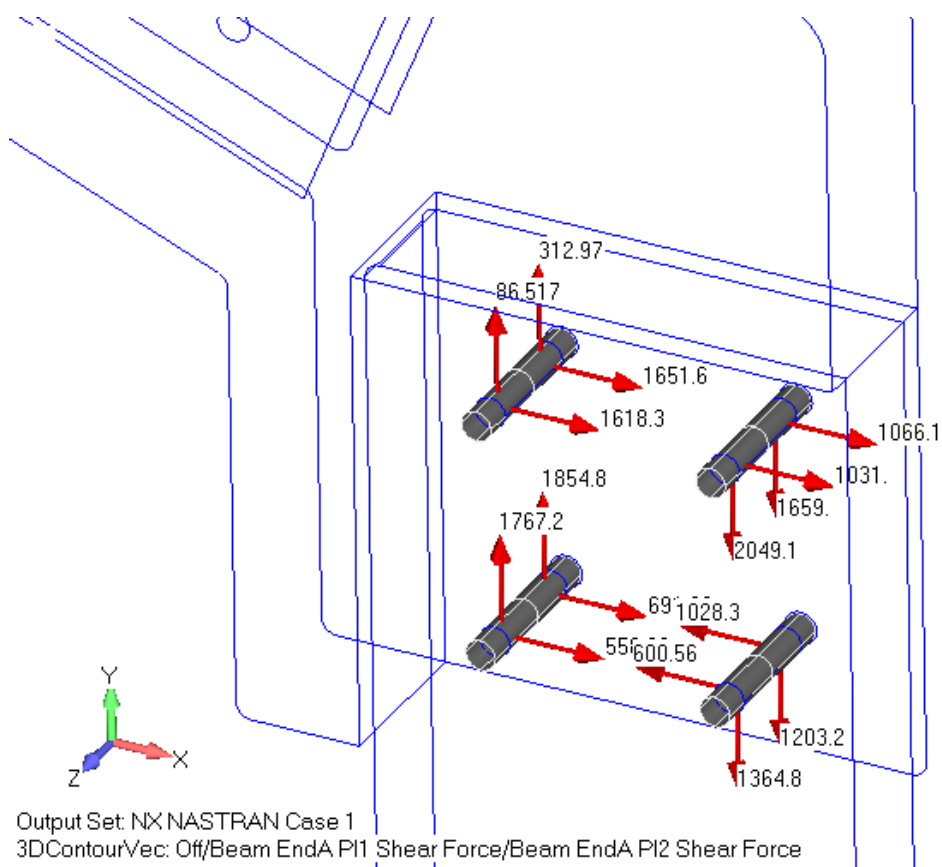


Рисунок 19. Основные сочетания. Максимальные усилия в болтах, скрепляющих доски с коннекторами, Н

2.3 Особые сочетания

Расчетные сопротивления при изгибе и сжатии:

- $R_{изг}^A = R_{сж}^A = 20$ МПа - при совместном действии постоянной и кратковременной нагрузки

Рамы каркаса

Наибольшие изгибные напряжения в элементах рам: $\sigma_{max} = 10.8$ МПа, рис. 20,

- Коэффициент запаса $\eta = R_p^A / \sigma_{max} = 20/10.4 = 1.92$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.52$

Распорки

Наибольшие изгибные напряжения в распорках: $\sigma_{max} = 3.7$ МПа, рис. 22,

- Коэффициент запаса $\eta = R_p^A / \sigma_{max} = 20/13 = 1.54$

Стойки и ригели в стыке

Наибольшие напряжения в элементах стоек и ригелей в области стыка: $\sigma_{max} = 10$ МПа вызываются изгибом, рис. 23,

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{max} = 20/14 = 1.42$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.7$.

Коннекторы

Наибольшие напряжения в коннекторах: $\sigma_{max} = 12$ МПа, рис. 23, 24

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{max} = 20/14 = 1.42$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.7$

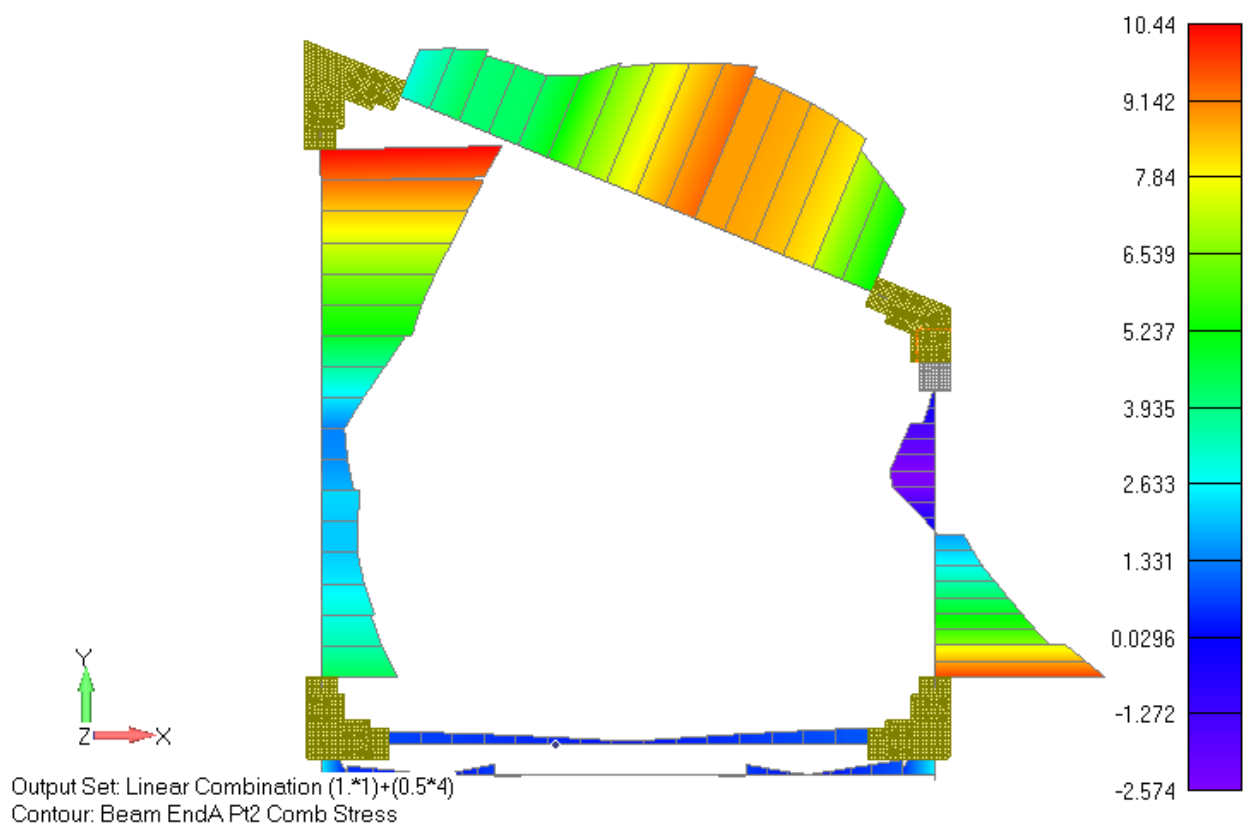


Рисунок 20. Особые сочетания. Максимальные напряжения в рамах, МПа.

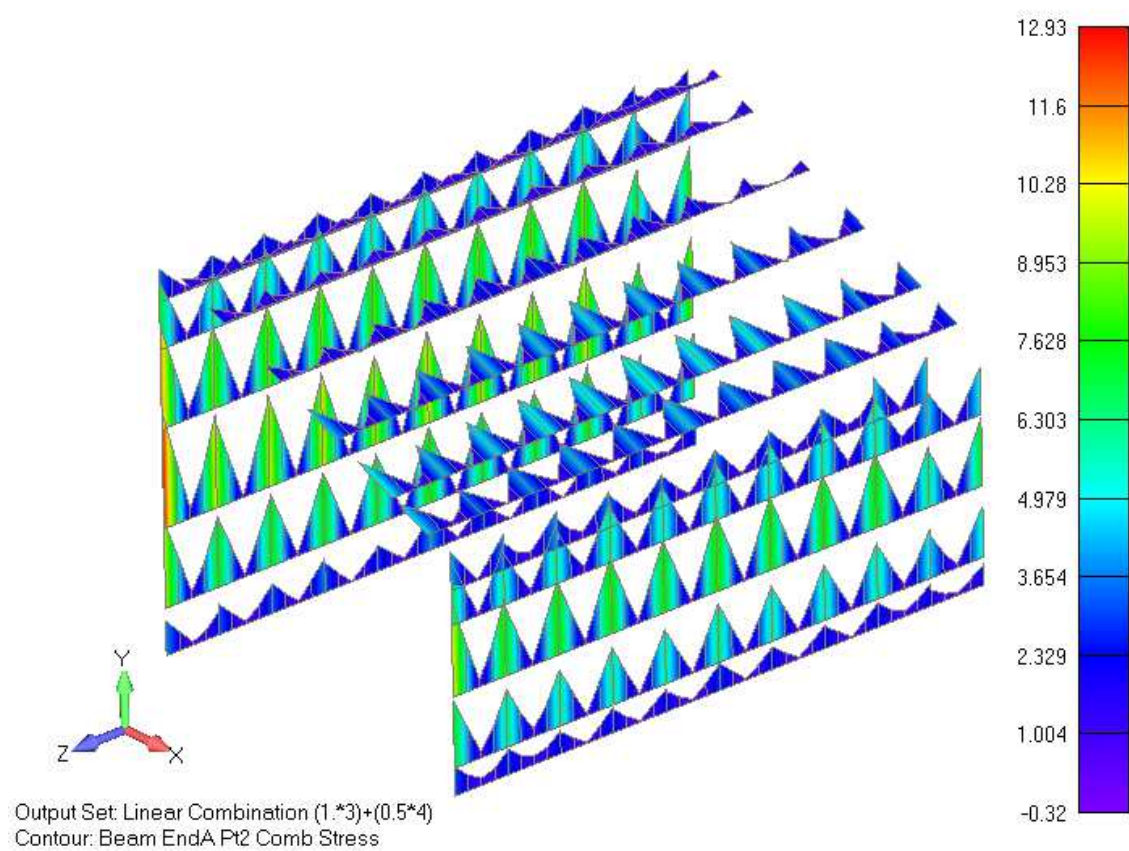


Рисунок 21. Особые сочетания. Максимальные напряжения в распорках, МПа.

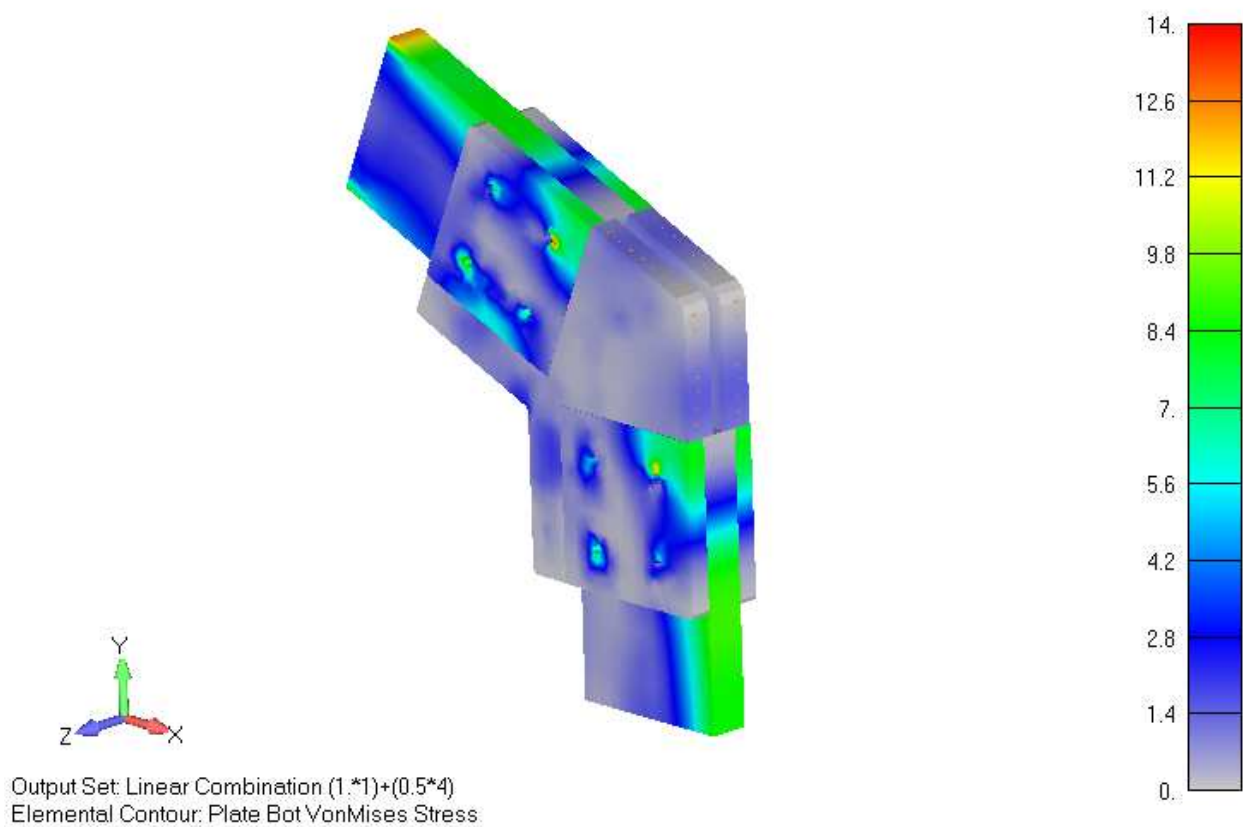


Рисунок 22. Особые сочетания. Максимальные напряжения в соединении стоек и ригелей коннекторами, МПа

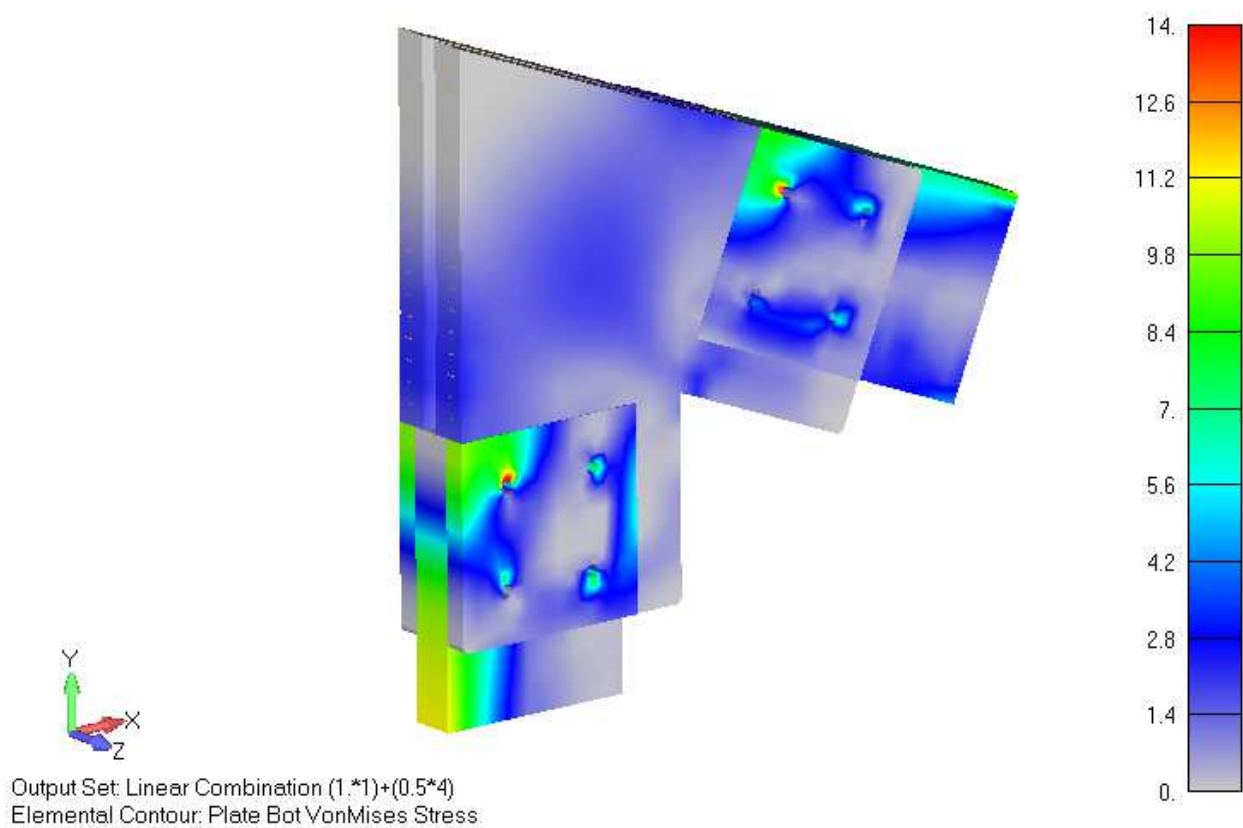


Рисунок 23. Особые сочетания. Максимальные напряжения в соединении стоек и ригелей коннекторами, МПа

2.4 Сводка запасов прочности односкатного здания

Таблица 2

№ п/п	Наименование	Минимальный запас прочности, η	Максимальный коэффициент использования
1	Рамы каркаса	1.3	0.77
2	Распорки	>2.0	<0.5
3	Стойки и ригели в стыке	1.17	0.86
4	Коннекторы	1.17	0.86
5	Прочность доски (отверстий) по смятию	1.18	0.85

3. АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ДВУСКАТНОГО ЗДАНИЯ, ПРОЛЕТ 5 М

3.1 Конечно-элементная модель

Расчетная схема здания показана на рис. 24-25.

Рамы и продольные балки моделируются элементами типа *Beam* соответствующего сечения. Узлы стыка балок и распорок полагаются моментными.

Коннекторы и доски в местах стыка моделируются объемными элементами типа *Solid*. Болты, стягивающие коннекторы со стойками и ригелями, моделируются одномерными элементами типа *Bush* или *Beam*.

Между коннекторами и досками задаются условия контакта с трением. Коэффициент трения принимается $f=0.5$.

Элементы, моделирующие болты, ослаблены в поперечном направлении, поэтому изгибающие моменты в соединении передаются в основном контактными усилиями и частично трением.

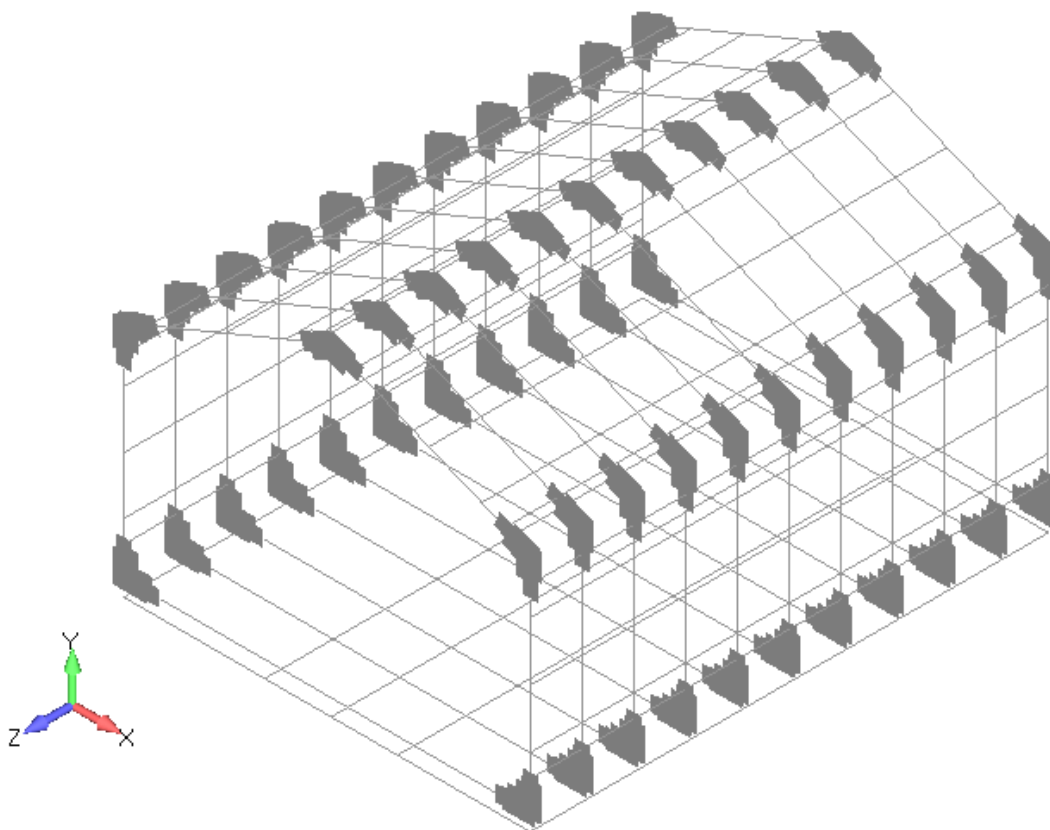


Рисунок 24. Конечно-элементная модель двускатного здания

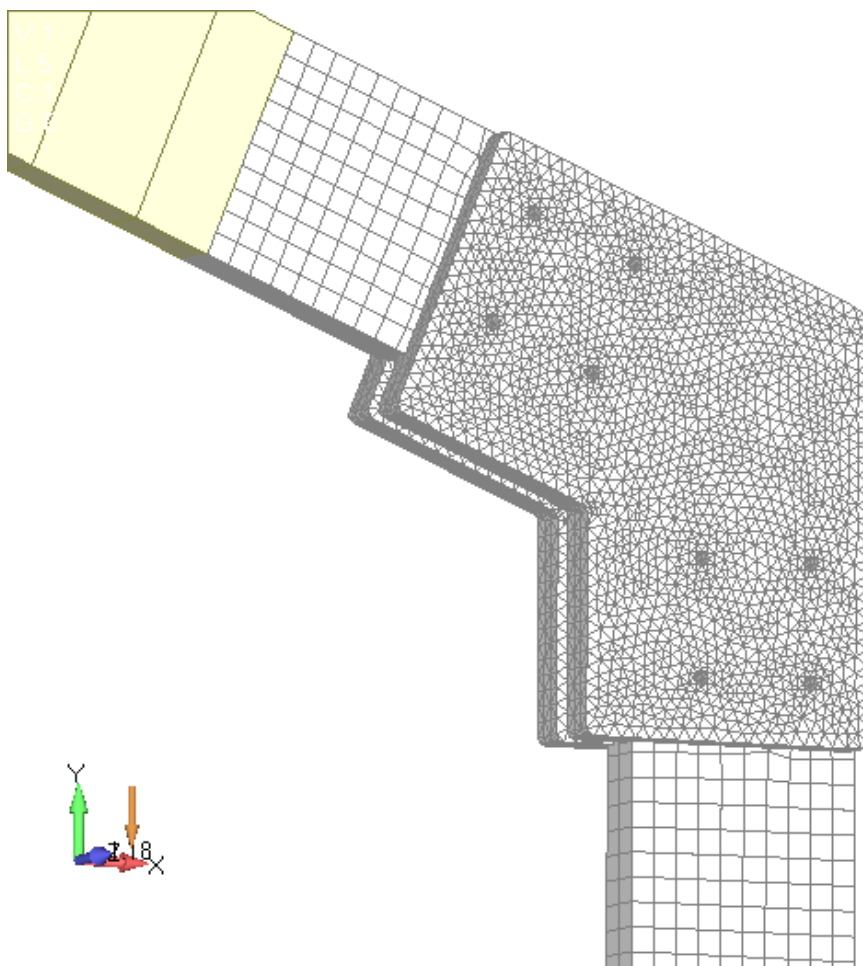


Рисунок 25. Конечно-элементная модель стыка досок ригеля коннекторами

3.2 Основные сочетания нагрузок

Расчетные сопротивления при изгибе и сжатии:

- $R_{изг}^A = R_{сж}^A = 14$ МПа - при совместном действии постоянной и кратковременной нагрузки

Рамы каркаса

Наибольшие изгибные напряжения в элементах рам: $\sigma_{max} = 8.2$ МПа, рис. 26,

- Коэффициент запаса $\eta = R_p^A / \sigma_{max} = 14/8.2 = 1.7$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.59$

Распорки

Наибольшие изгибные напряжения в распорках: $\sigma_{max} = 1.7$ МПа, рис. 27,

- Коэффициент запаса $\eta = R_p^A / \sigma_{max} = 14/1.7 > 2.0$

Стойки и ригели в стыке

Наибольшие напряжения в элементах стоек и ригелей в области стыка: $\sigma_{max} = 14$ МПа вызываются изгибом, рис. 28,

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{max} = 14/14 = 1.0$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 1.0$.

Коннекторы

Наибольшие напряжения в коннекторах: $\sigma_{\max} = 13$ МПа, рис. 29, 30

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{\max} = 14/13 = 1.08$
- Коэффициент использования материала $f=1/\eta = 0.93$

Прочность отверстий под болты по смятию

На рис. 31 показаны поперечные усилия в болтах (Н), действующие на стенку коннектора толщиной $t=22.5$ мм при нагружении собственным весом и снеговыми нагрузками для VIII региона. При этом большая часть нагрузки передается через контактные усилия между доской и коннектором.

На доску со стороны болта действует сумма этих усилий.

Максимальное результирующее усилие на коннектор равно $P_{1\text{срез}}=210$ Н.

Усилие со стороны болта на второй коннектор $P_{2\text{срез}}=210$ Н

Предельное усилие смятия $[P_{\text{см}}] = R_{\text{см}} \cdot F_{\text{см}}$,

где $R_{\text{см}}$ - допускаемое напряжение смятия;

$F_{\text{см}}$ - площадь смятия;

Прочность коннектора по смятию.

Для фанеры (березовой) $R_{\text{см}} = 12$ МПа (СНИП Деревянные конструкции. 2017 г. Табл. 3):

Диаметр болтов $D=14$ мм;

Площадь смятия $F_{\text{см}} = t \cdot D = 22.5 \cdot 14 = 315 \text{ мм}^2$

Следовательно $[P_{\text{см}}] = 12 \cdot 315 = 3780$ Н.

Коэффициент запаса $\eta = [P_{\text{см}}] / P_{\text{срез}} = 3780/210 > 10$

Прочность доски по смятию.

Предельные напряжения смятия под углом 45 град $R_{\text{см}45} = 8.0$ МПа;

Максимальное усилие смятия $P_{\text{срез}} = P_{1\text{срез}} + P_{2\text{срез}} = 4264$ Н

Площадь смятия $F_{\text{см}} = t \cdot D = 45 \cdot 14 = 630 \text{ мм}^2$

Следовательно $[P_{\text{см}}] = 8 \cdot 630 = 5040$ Н

Коэффициент запаса $\eta = [P_{\text{см}}] / P_{\text{срез}} = 5040/4264 > 10$

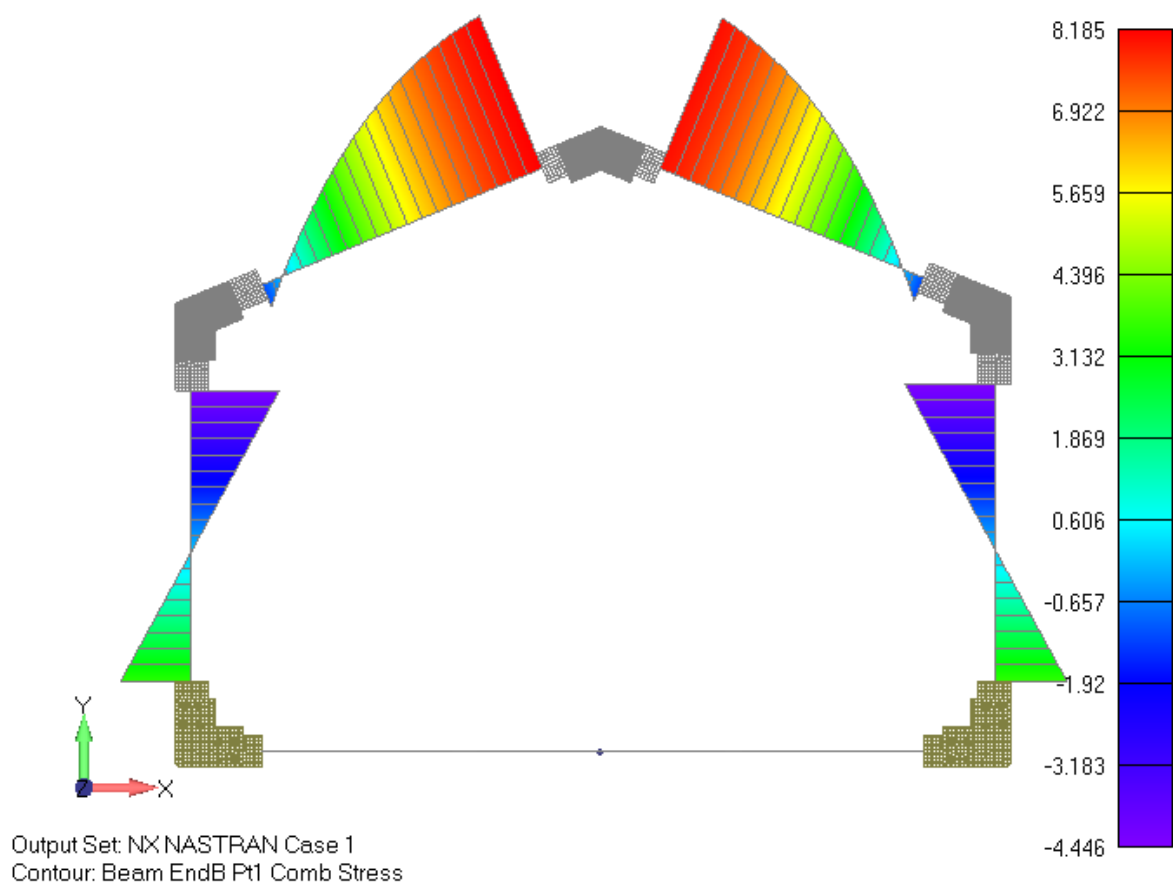


Рисунок 26. Основные сочетания. Максимальные напряжения от изгиба в рамах, МПа

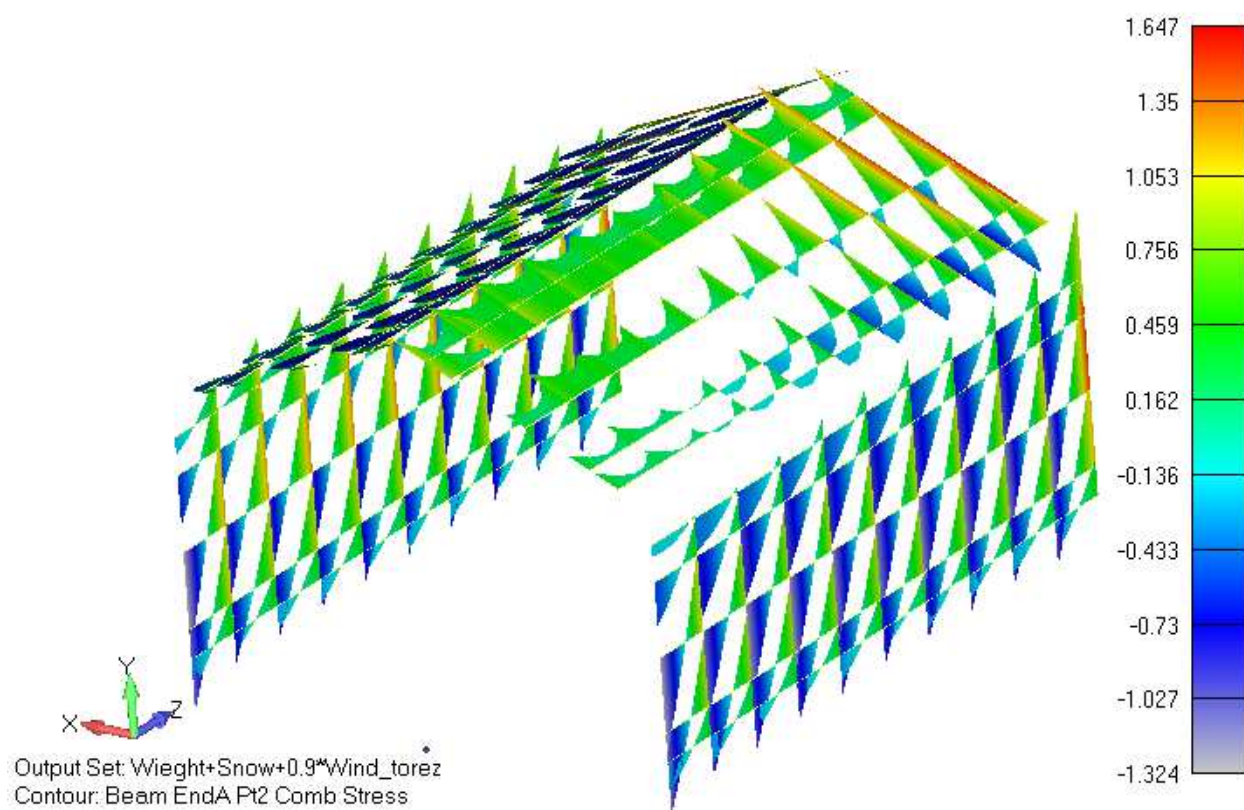


Рисунок 27. Основные сочетания. Максимальные напряжения в распорках, МПа

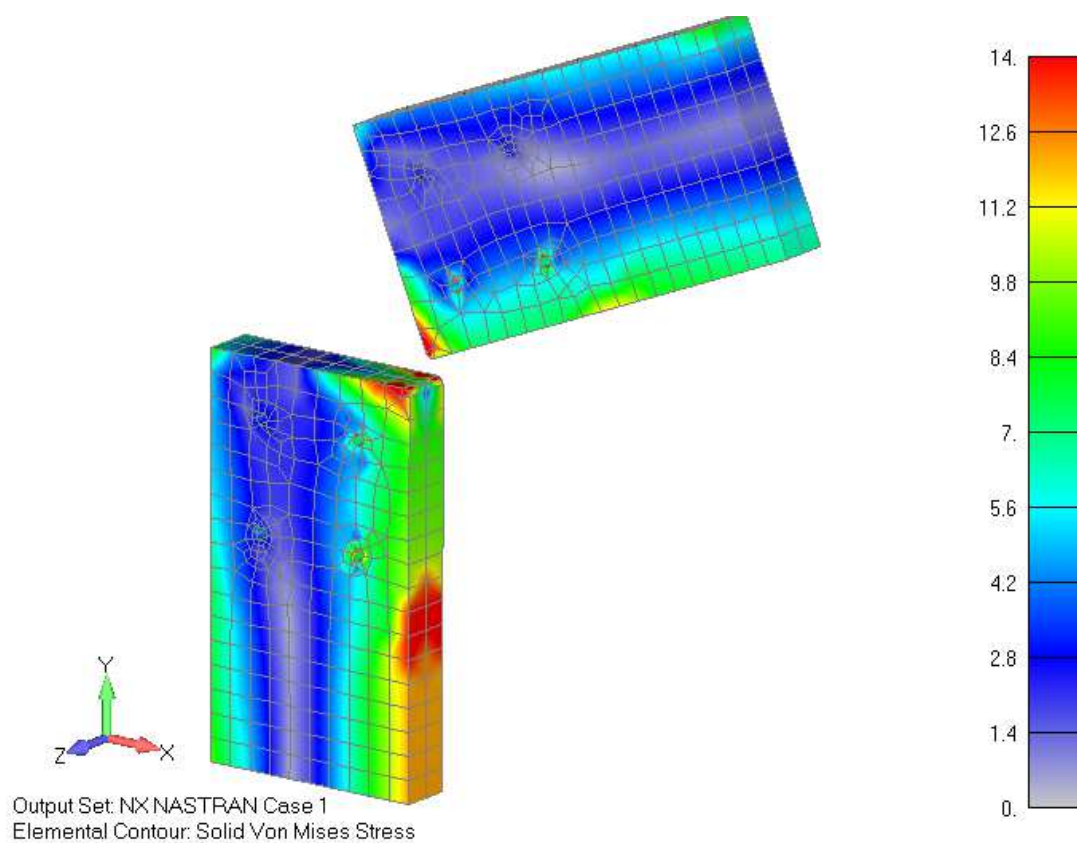


Рисунок 28. Основные сочетания. Максимальные напряжения в досках стоек и ригелей, МПа.

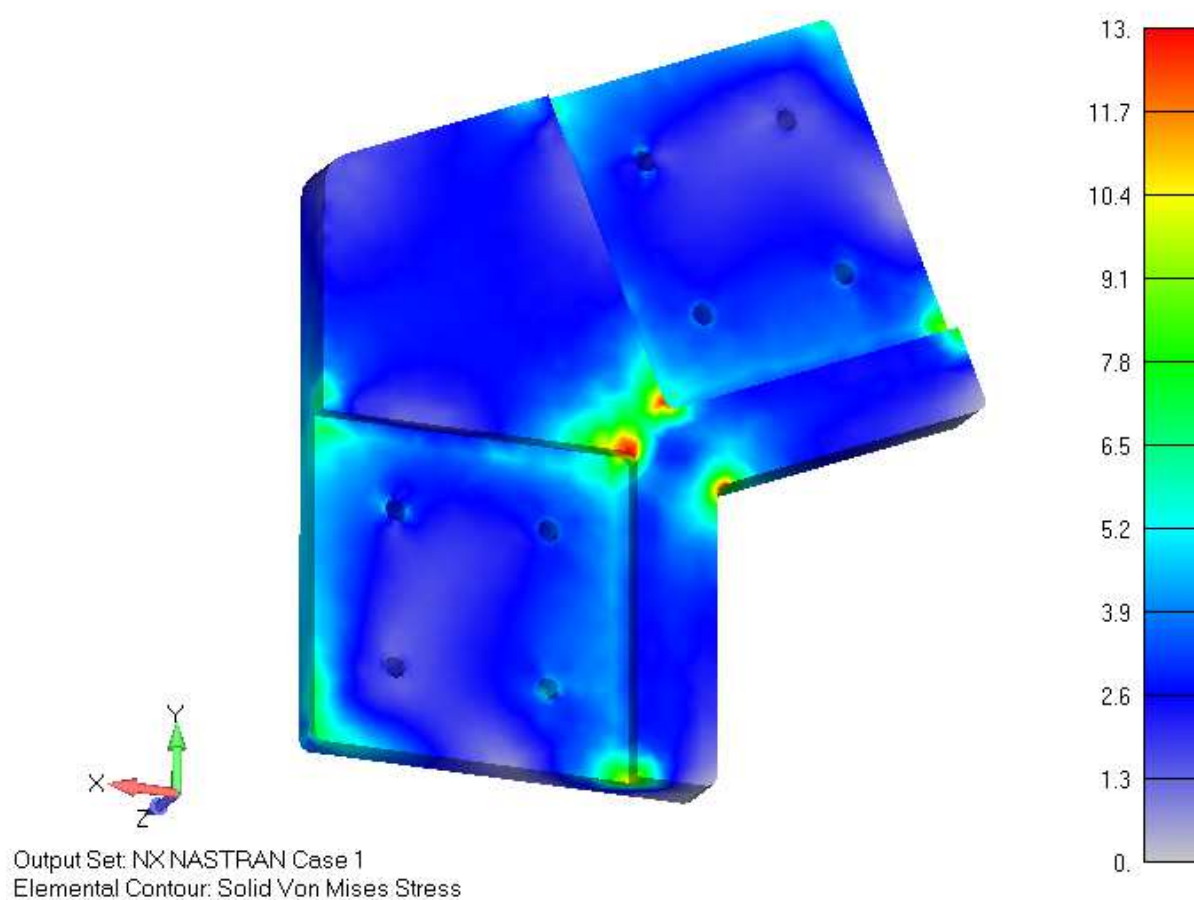


Рисунок 29. Основные сочетания. Максимальные напряжения в коннекторе соединения стойки и ригеля, МПа.

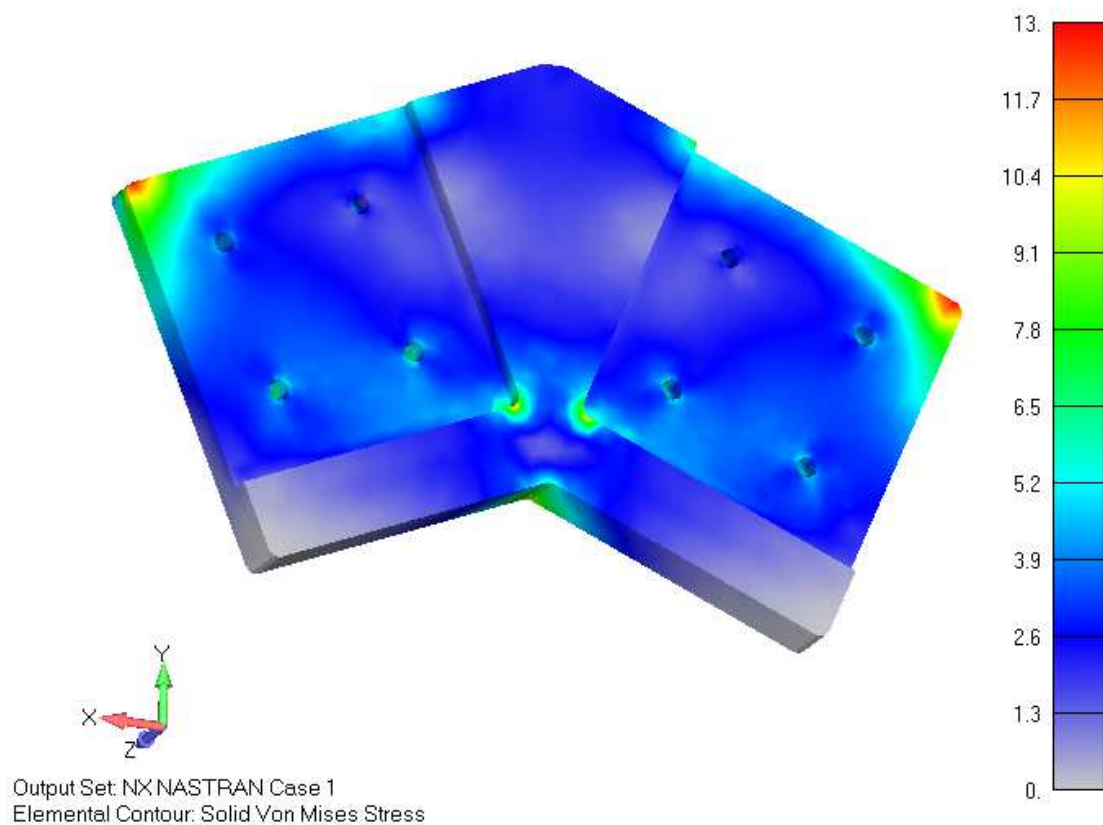


Рисунок 30. Основные сочетания. Максимальные напряжения в коннекторе соединения и ригелей, МПа

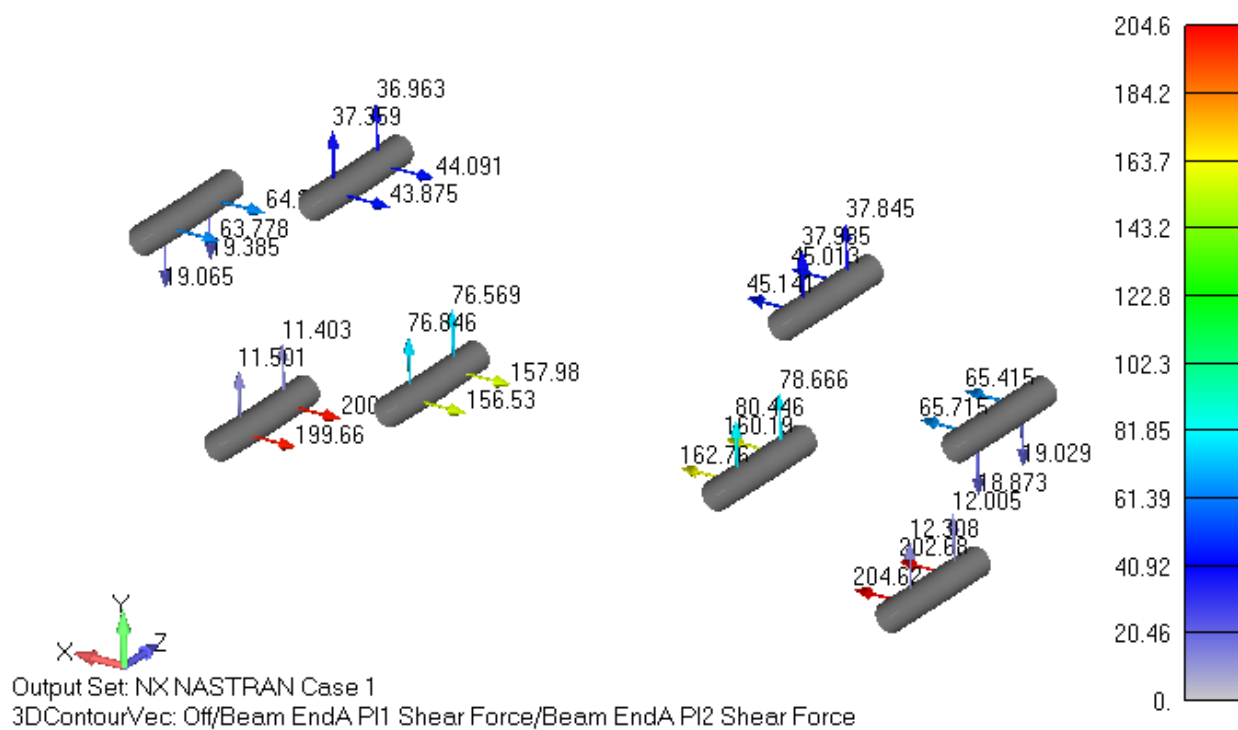


Рисунок 31. Основные сочетания. Максимальные усилия в болтах, Н

3.3 Особые сочетания

Расчетные сопротивления при изгибе и сжатии:

- $R_{изг}^A = R_{сж}^A = 20$ МПа - при совместном действии постоянной и кратковременной нагрузки

Рамы каркаса

Наибольшие изгибные напряжения в элементах рам: $\sigma_{\max} = 15.5$ МПа, рис. 32,

- Коэффициент запаса $\eta = R_p^A / \sigma_{\max} = 20/15.5 = 1.29$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.78$

Распорки

Наибольшие изгибные напряжения в распорках: $\sigma_{\max} = 11.6$ МПа, рис. 33,

- Коэффициент запаса $\eta = R_p^A / \sigma_{\max} = 20/11.6 = 1.72$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.58$

Стойки и ригели в стыке

Наибольшие напряжения в элементах стоек и ригелей в области стыка: $\sigma_{\max} = 15$ МПа вызываются изгибом, рис. 34,

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{\max} = 20/15 = 1.33$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.75$

Коннекторы

Наибольшие напряжения в коннекторах: $\sigma_{\max} = 15$ МПа, рис. 34

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{\max} = 20/15 = 1.33$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.75$

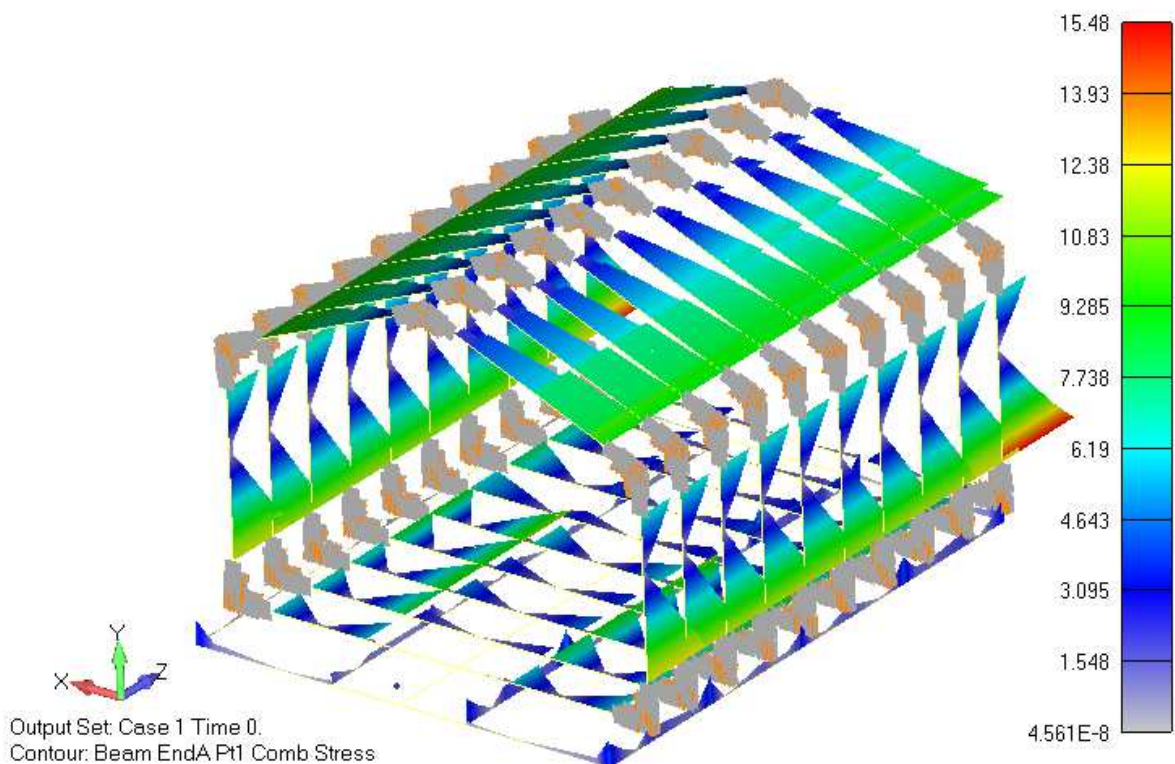


Рисунок 32. Особые сочетания. Максимальные напряжения в рамах, МПа.

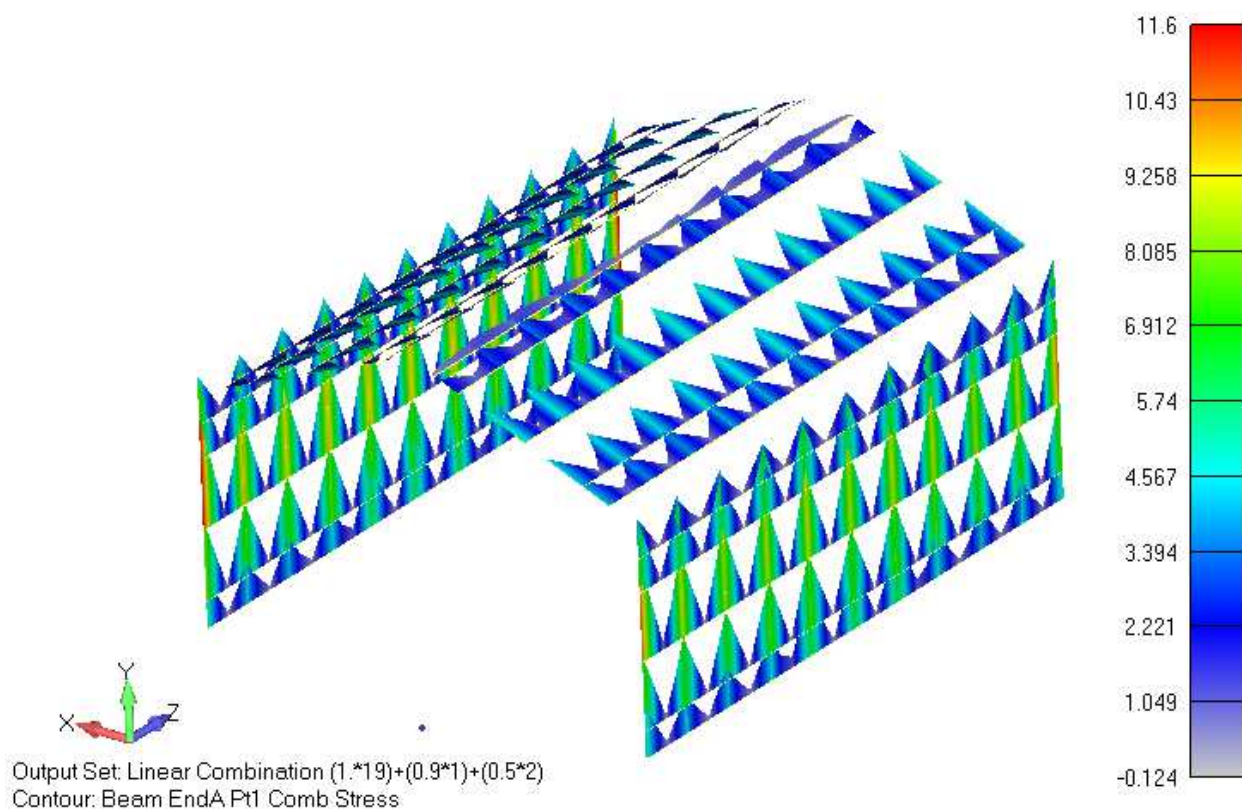


Рисунок 33. Особые сочетания. Максимальные напряжения в распорках, МПа.

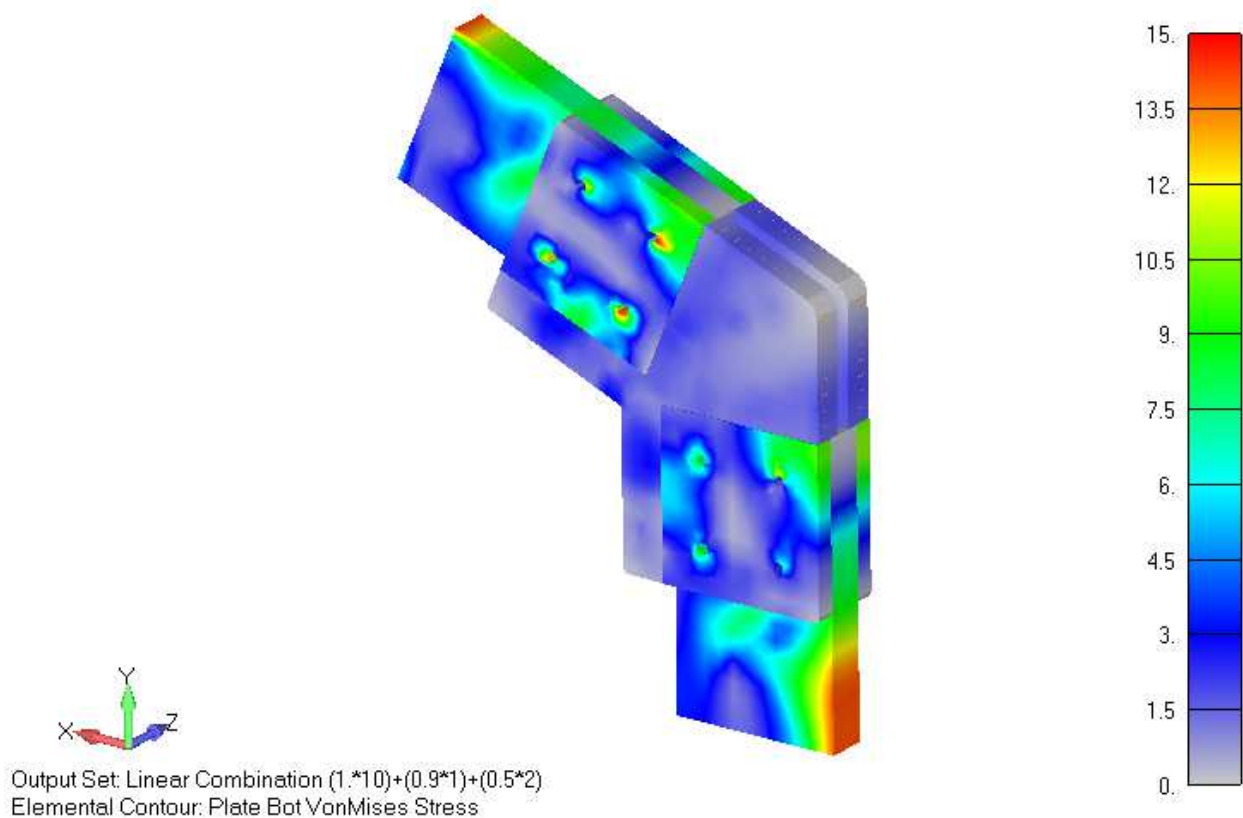


Рисунок 34. Особые сочетания. Максимальные напряжения в соединении стоек и ригелей коннекторами, МПа

3.4 Сводка запасов прочности и коэффициентов использования двускатного здания

Таблица 3

№ п/п	Наименование	Минимальный запас прочности, η	Максимальный коэффициент использования
1	Рамы каркаса	1.29	0.78
2	Распорки	1.72	0.58
3	Стойки и ригели в стыке	1.0	1.0
4	Коннекторы	1.08	0.93
5	Прочность доски (отверстий) по смятию	>2	<0.5

4. АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ДВУСКАТНОГО ЗДАНИЯ, ПРОЛЕТ 6 М, УКЛОН 45 ГРАД

4.1 Конечно-элементная модель

Расчетная схемы здания показана на рис. 24-25.

Рамы и продольные балки моделируются элементами типа *Beam* соответствующего сечения. Узлы стыка балок и распорок полагаются моментными.

Коннекторы и доски в местах стыка моделируются объемными элементами типа *Solid*. Болты, стягивающие коннекторы со стойками и ригелями, моделируются одномерными элементами типа *Bush* или *Beam*.

Между коннекторами и досками задаются условия контакта с трением. Коэффициент трения принимается $f=0.5$.

Элементы, моделирующие болты, ослаблены в поперечном направлении, поэтому изгибающие моменты в соединении передаются в основном контактными усилиями и частично трением.

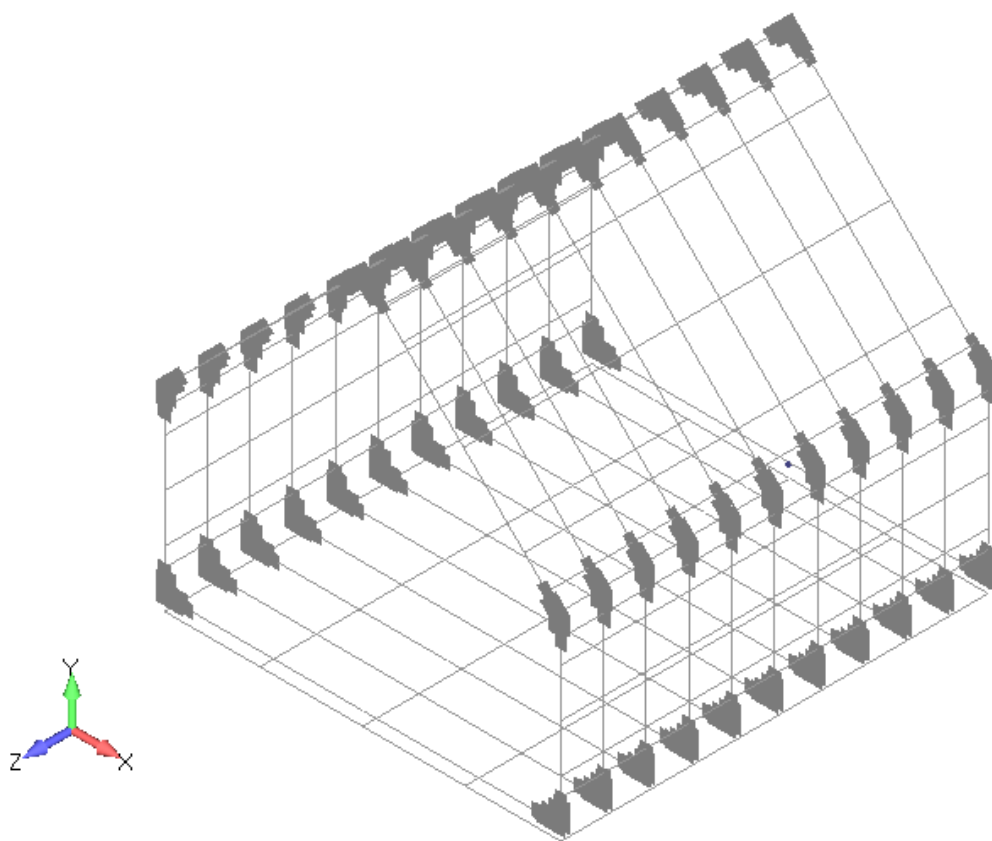


Рисунок 35. Конечно-элементная модель двускатного здания с углом наклона кровли 45 град.

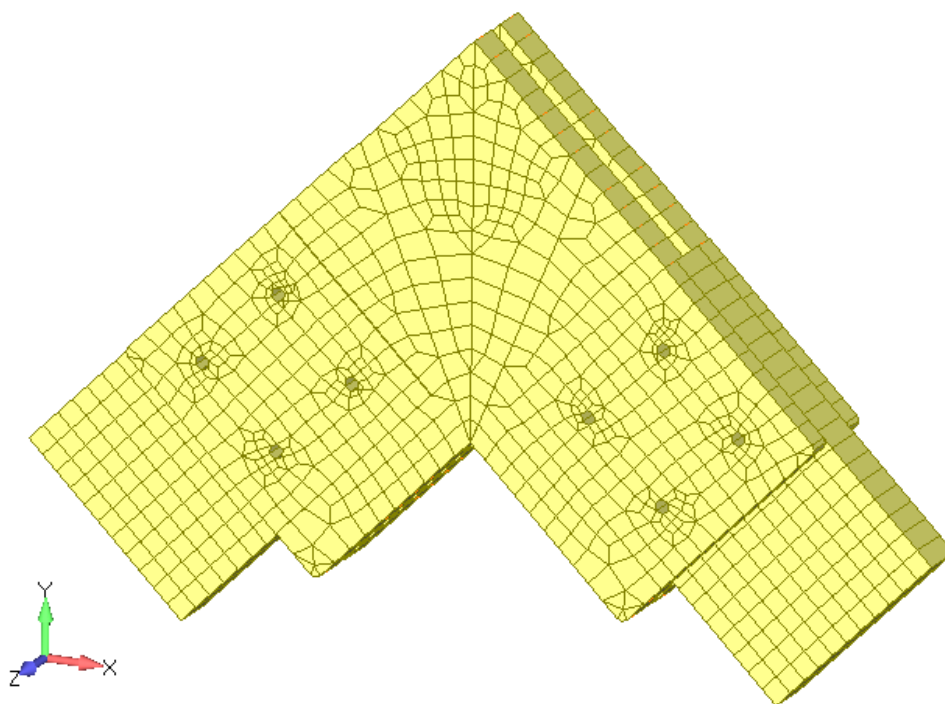


Рисунок 36. Конечно-элементная модель стыка досок ригеля коннекторами, угол 90 град.

4.2 Основные сочетания нагрузок

Расчетные сопротивления при изгибе и сжатии:

- $R_{изг}^A = R_{сж}^A = 14$ МПа - при совместном действии постоянной и кратковременной нагрузки

Рамы каркаса

Наибольшие изгибные напряжения в элементах рам: $\sigma_{max} = 8.4$ МПа, рис. 37,

- Коэффициент запаса $\eta = R_p^A / \sigma_{max} = 14/8.4 = 1.67$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.6$

Распорки

Наибольшие изгибные напряжения в распорках: $\sigma_{max} = 1.7$ МПа, рис. 38,

- Коэффициент запаса $\eta = R_p^A / \sigma_{max} = 14/1.7 > 2.0$

Стойки и ригели в стыке

Наибольшие напряжения в элементах стоек и ригелей в области стыка: $\sigma_{max} = 9.6$ МПа вызываются изгибом, рис. 39,

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{max} = 14/9.6 = 1.46$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.69$

Коннекторы

Наибольшие напряжения в коннекторах: $\sigma_{max} = 9.6$ МПа, рис. 40

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{max} = 14/9.6 = 1.46$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.69$

Прочность отверстий под болты по смятию

На рис. 41 показаны поперечные усилия в болтах (Н), действующие на стенку коннектора толщиной $t=22.5$ мм при нагружении собственным весом и снеговыми нагрузками для VIII региона.

На доску со стороны болта действует сумма этих усилий.

Максимальное результирующее усилие на коннектор равно $P_{срез}=2300$ Н.

Усилие со стороны болта на второй коннектор $P_{срез}=2300$ Н

Предельное усилие смятия $[P_{см}] = R_{см} \cdot F_{см}$,

где $R_{см}$ - допускаемое напряжение смятия;

$F_{см}$ - площадь смятия;

Прочность коннектора по смятию.

Для фанеры (березовой) $R_{см} = 12$ МПа (СНИП Деревянные конструкции. 2017 г. Табл. 3):

Диаметр болтов $D=14$ мм;

$F_{см} = t \cdot D = 22.5 \cdot 14 = 315$ мм²

Следовательно $[P_{см}] = 12 \cdot 315 = 3780$ Н.

Коэффициент запаса $\eta = [R_{см}] / R_{срез} = 3811 / 2300 = 1.66$

Прочность доски по смятию.

Предельные напряжения смятия под углом 45 град $R_{см45} = 8.0$ МПа;

Максимальное усилие смятия $R_{срез} = R_{1срез} + R_{2срез} = 4600$ Н

$F_{см} = t \cdot D = 45 \cdot 14 = 630$ мм²

Следовательно $[R_{см}] = 8 \cdot 630 = 5040$ Н

Коэффициент запаса $\eta = [R_{см}] / R_{срез} = 5040 / 4600 = 1.1$

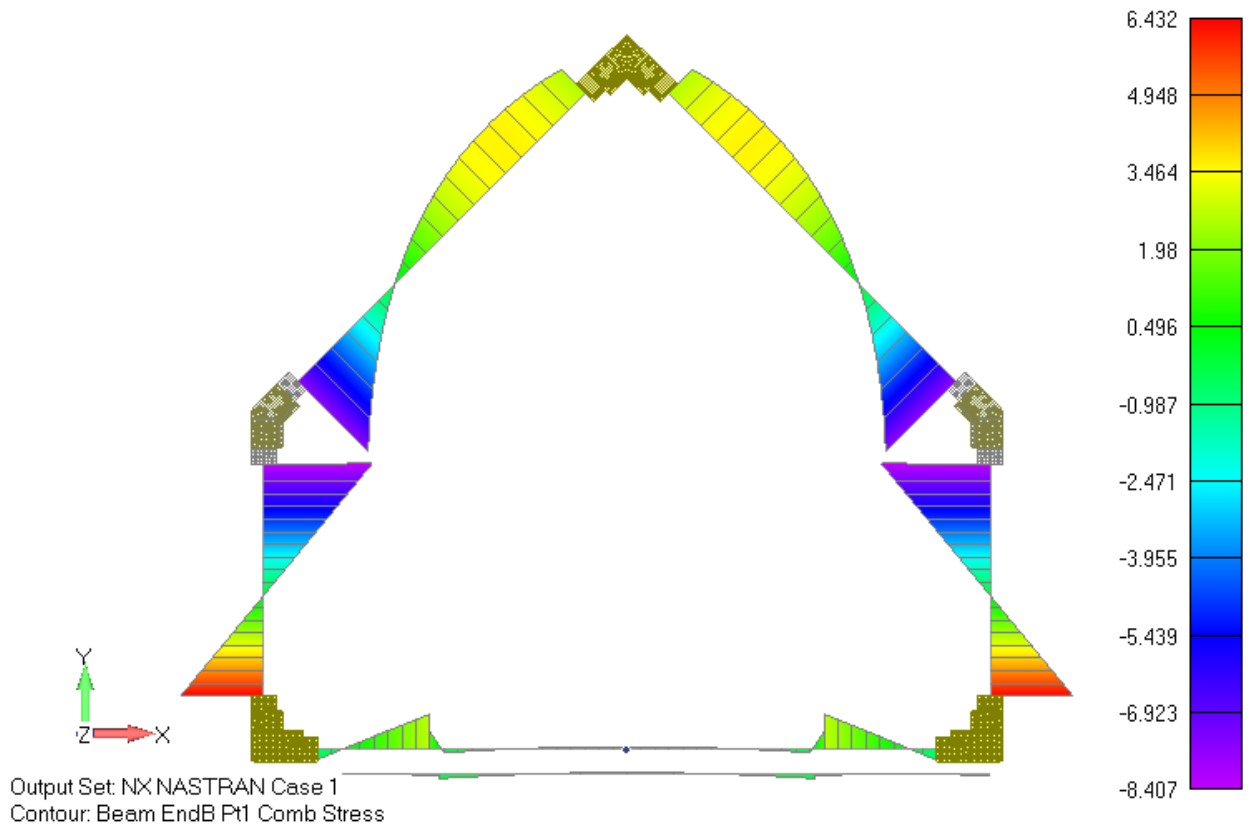


Рисунок 37. Основные сочетания. Максимальные напряжения от изгиба в рамах, МПа

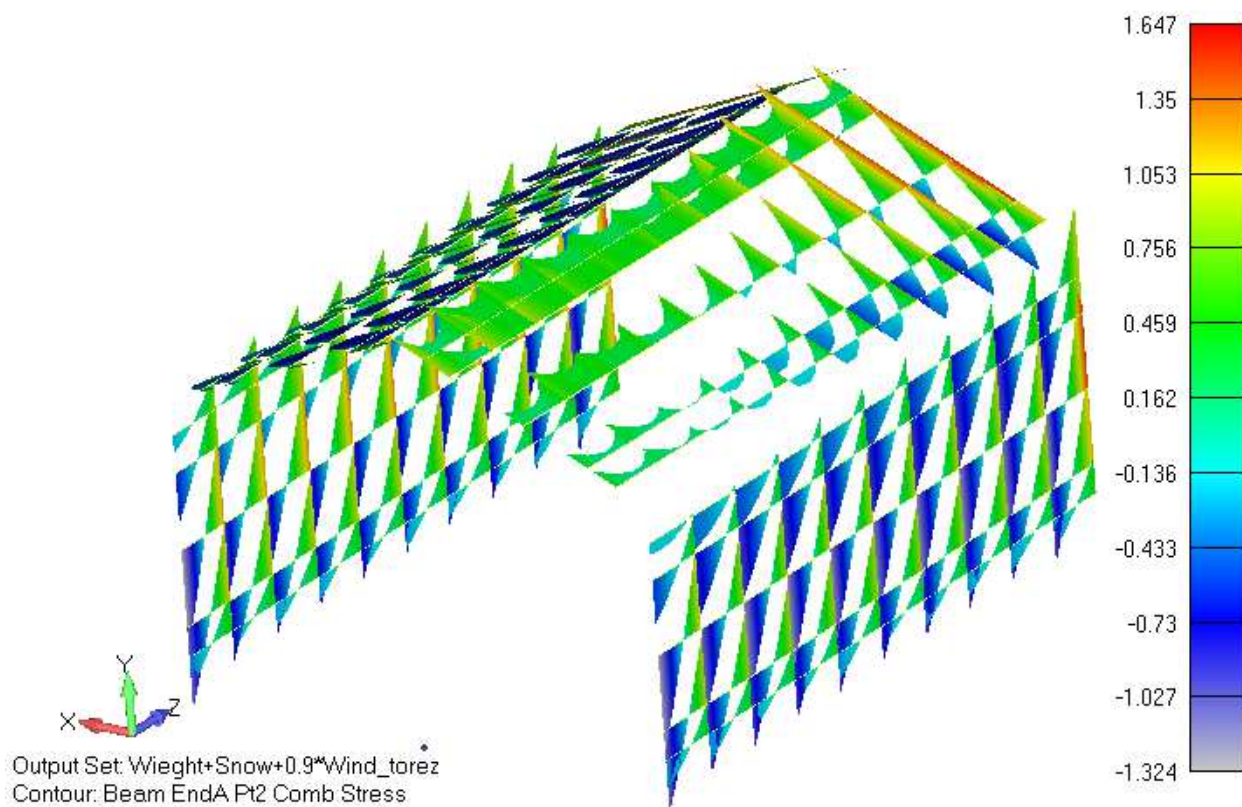


Рисунок 38. Основные сочетания. Максимальные напряжения в распорках, МПа

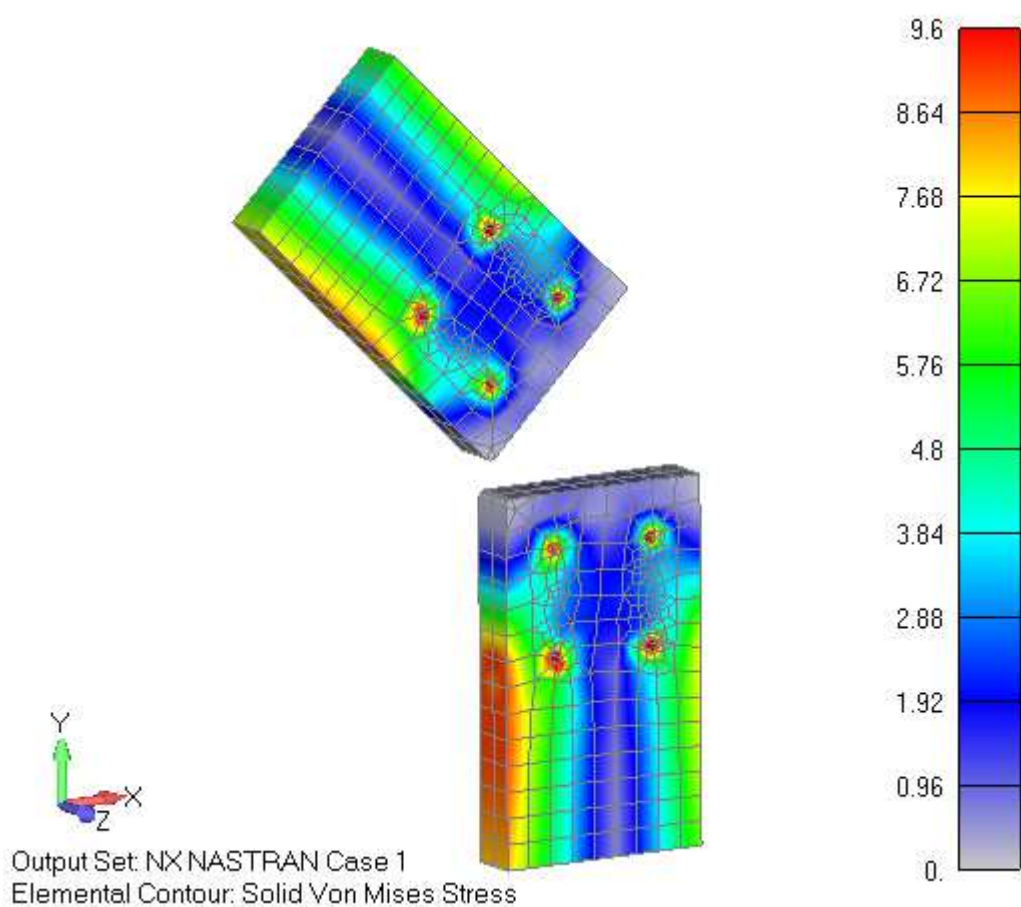


Рисунок 39. Основные сочетания. Максимальные напряжения в досках стоек и ригелей, МПа.

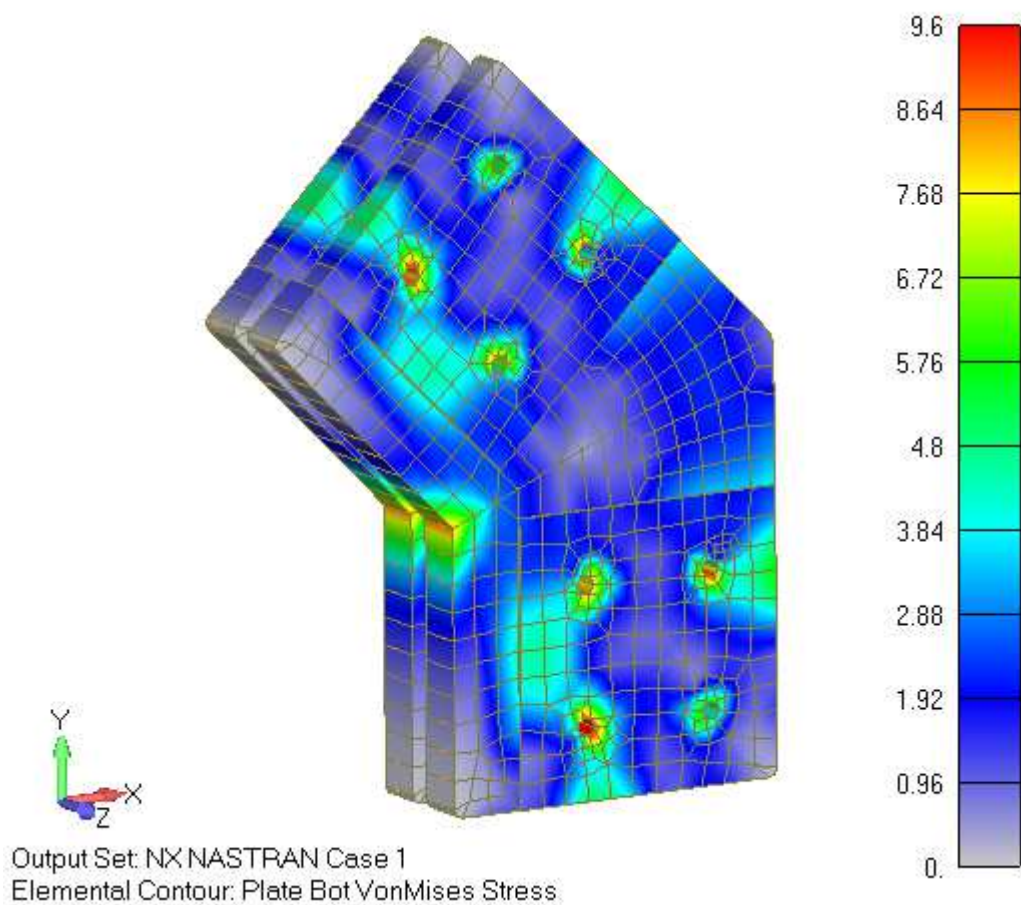


Рисунок 40. Основные сочетания. Максимальные напряжения в коннекторе соединения стойки и ригеля, МПа.

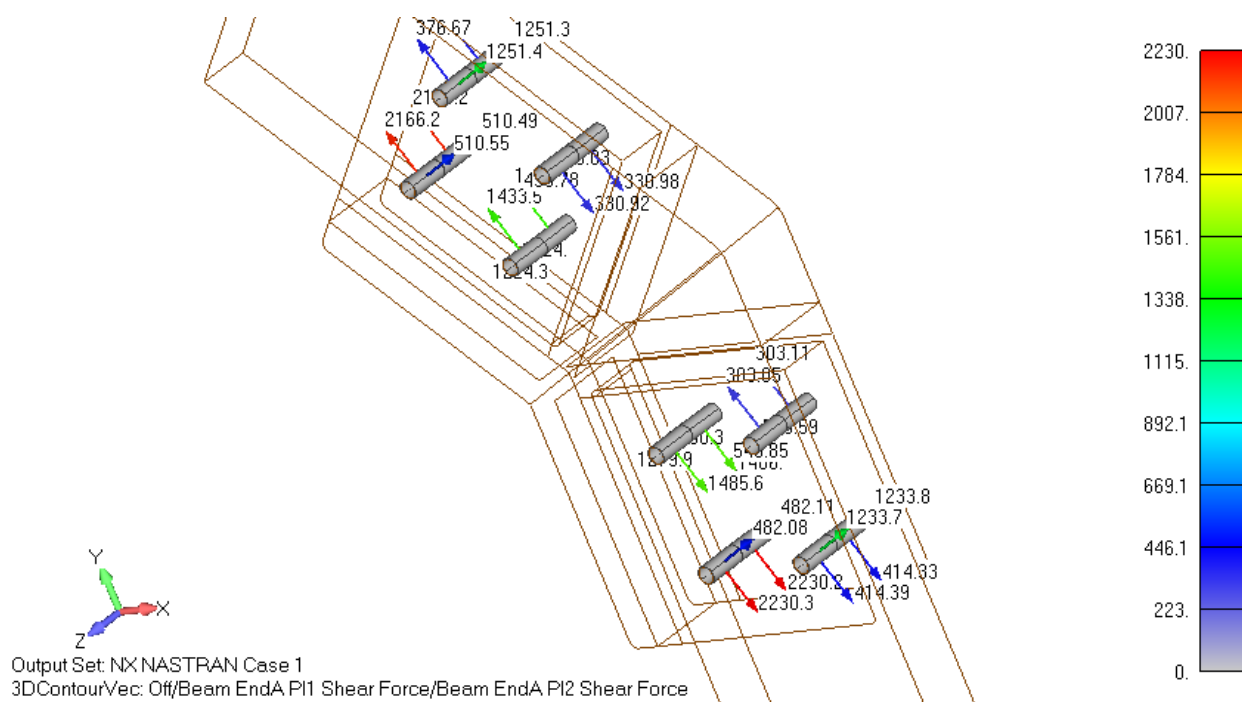


Рисунок 41. Основные сочетания. Максимальные усилия в болтах, Н

4.3 Особые сочетания

Расчетные сопротивления при изгибе и сжатии:

- $R_{изг}^A = R_{сж}^A = 20$ МПа - при совместном действии постоянной и кратковременной нагрузки

Рамы каркаса

Наибольшие изгибные напряжения в элементах рам: $\sigma_{max} = 19$ МПа, рис. 42,

- Коэффициент запаса $\eta = R_p^A / \sigma_{max} = 20/19 = 1.05$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.95$

Распорки

Наибольшие изгибные напряжения в распорках: $\sigma_{max} = 17.5$ МПа, рис. 43,

- Коэффициент запаса $\eta = R_p^A / \sigma_{max} = 20/17.5 = 1.14$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.88$

Стойки и ригели в стыке

Наибольшие напряжения в элементах стоек и ригелей в области стыка: $\sigma_{max} = 17.1$ МПа вызываются изгибом, рис. 44,

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{max} = 20/17.1 = 1.17$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.86$

Коннекторы

Наибольшие напряжения в коннекторах: $\sigma_{max} = 13$ МПа, рис. 45

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{max} = 20/13 = 1.54$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.65$

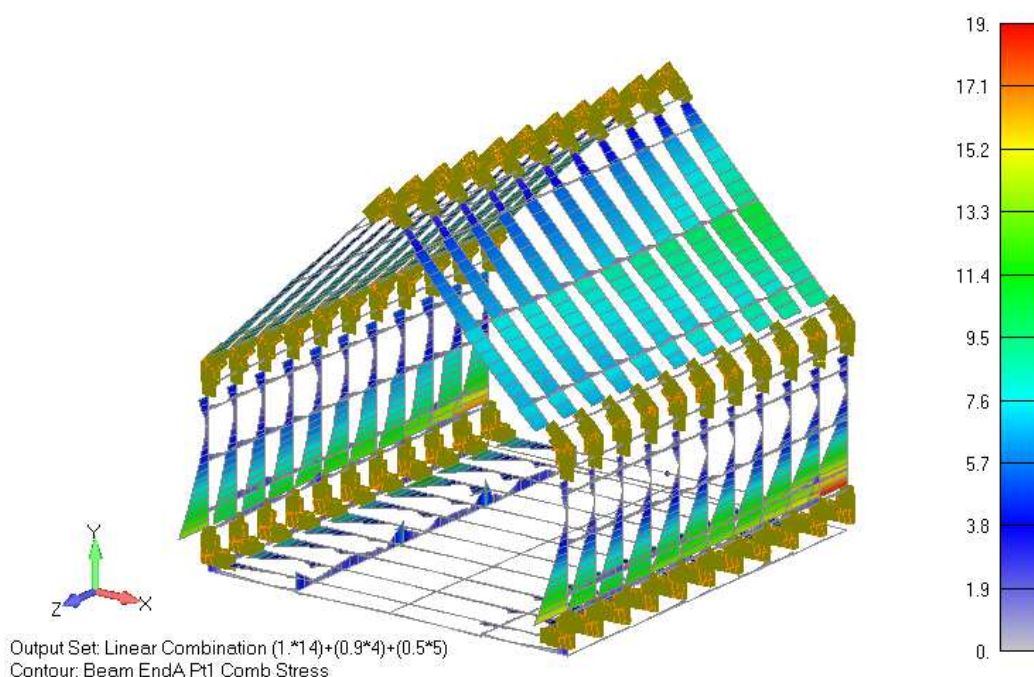


Рисунок 42. Особые сочетания. Максимальные напряжения в рамах, МПа.

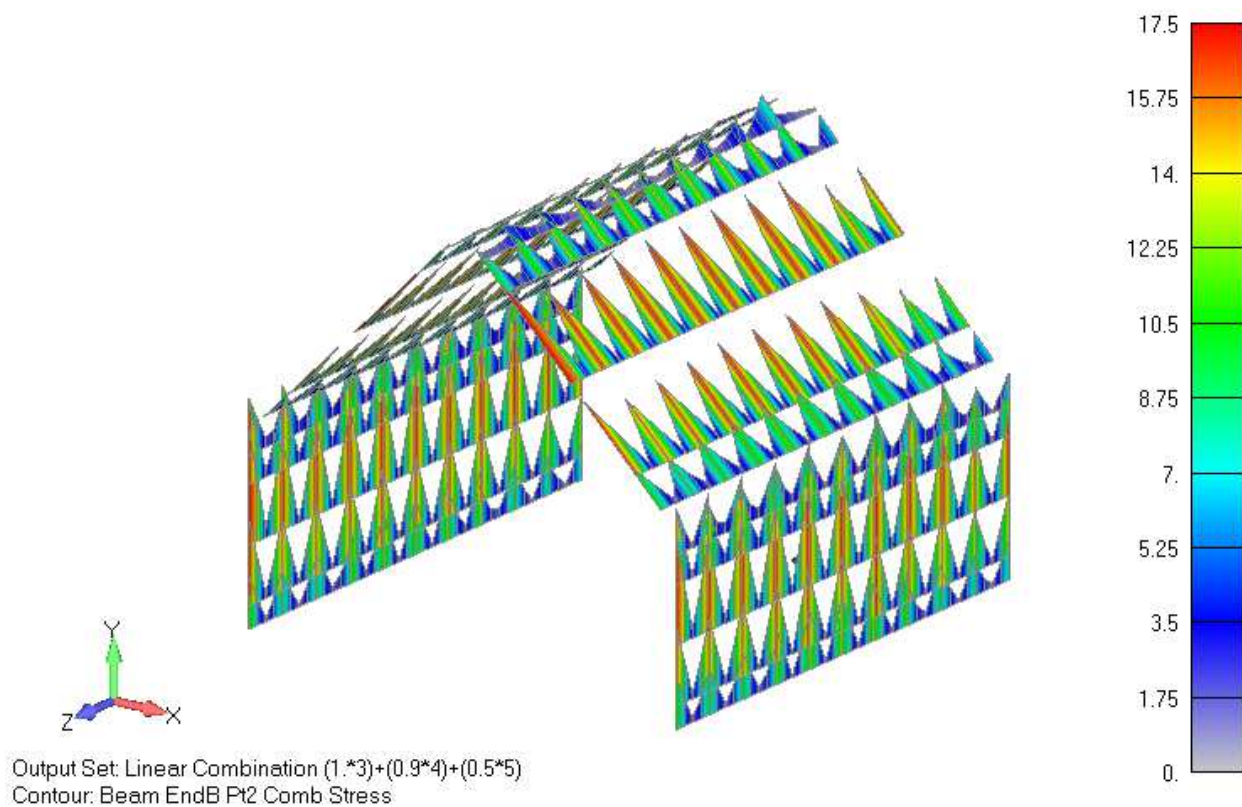


Рисунок 43. Особые сочетания. Максимальные напряжения в распорках, МПа.

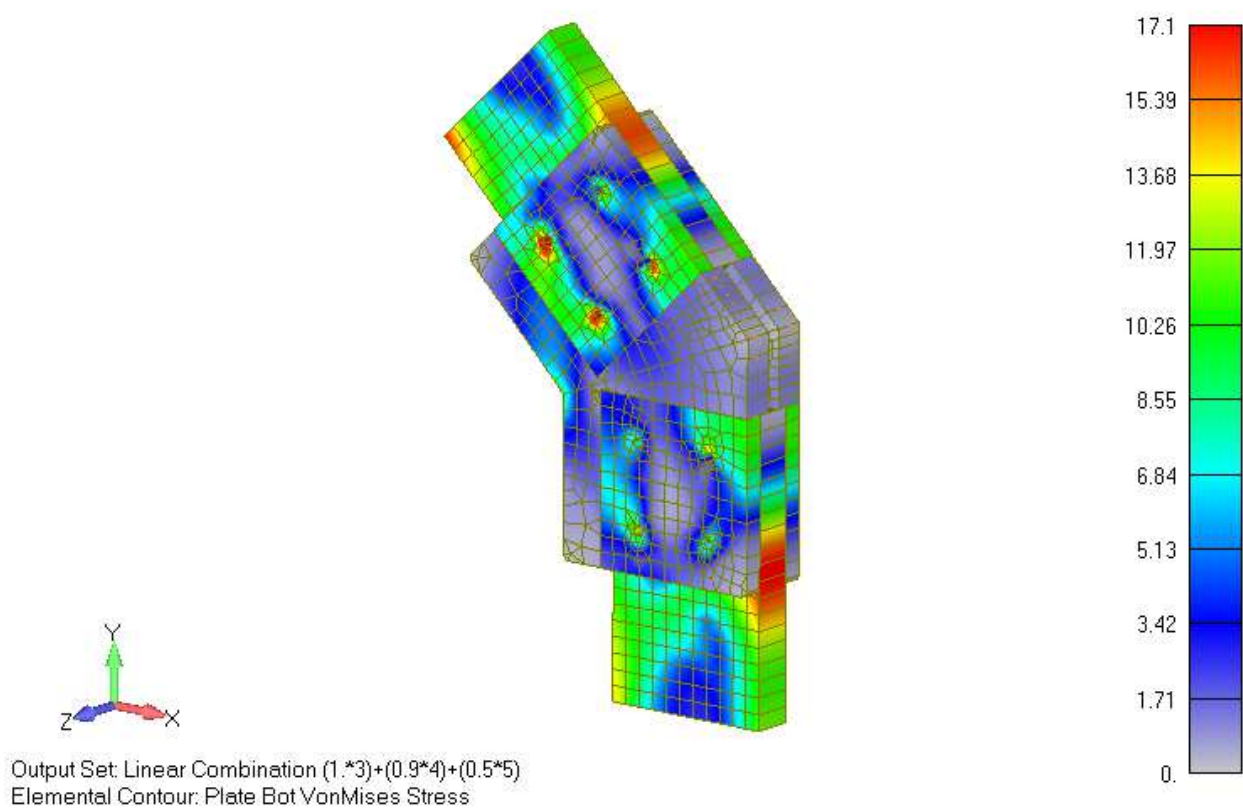


Рисунок 44. Особые сочетания. Максимальные напряжения в соединении стоек и ригелей коннекторами, МПа

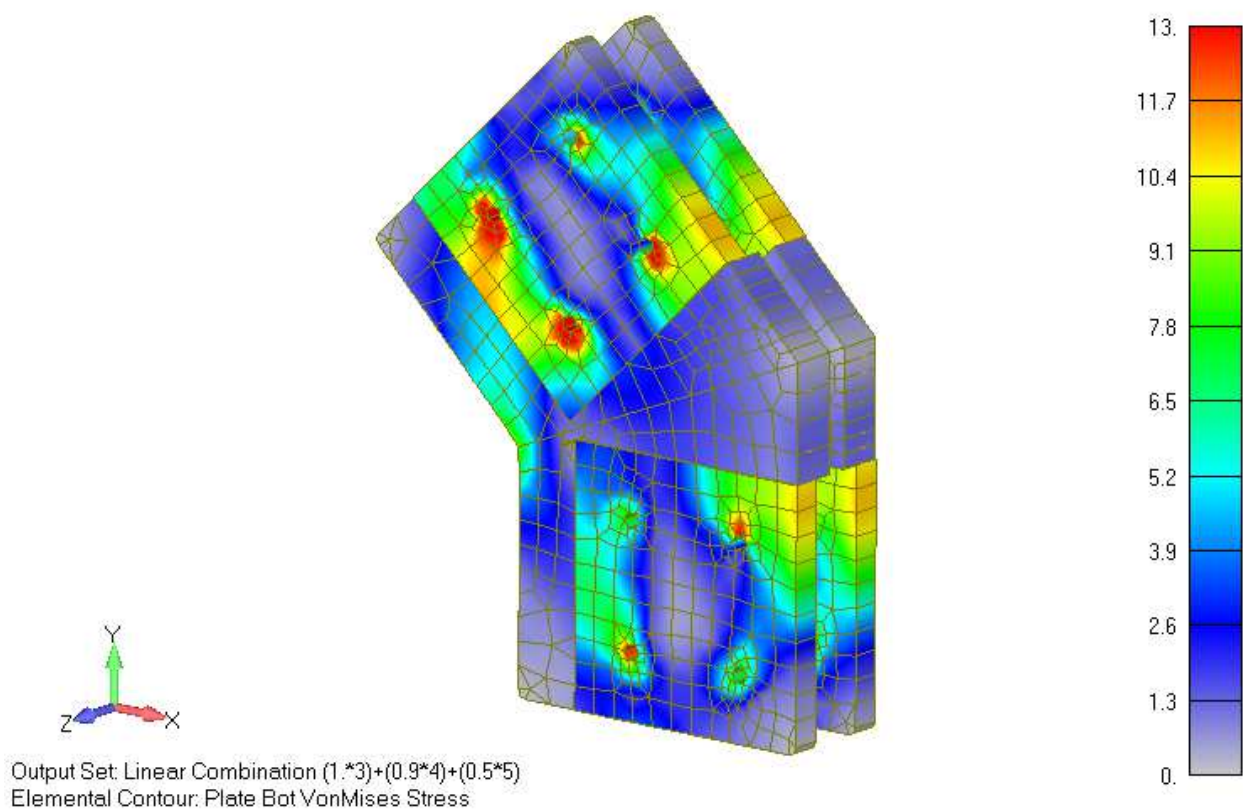


Рисунок 45. Особые сочетания. Максимальные напряжения в коннекторах, МПа

4.4 Сводка запасов прочности и коэффициентов использования двускатного здания с уклоном 45 град.

Таблица 4

№ п/п	Наименование	Минимальный запас прочности, η	Максимальный коэффициент использования
1	Рамы каркаса	1.05	0.95
2	Распорки	1.14	0.88
3	Стойки и ригели в стыке	1.17	0.86
4	Коннекторы	1.46	0.69
5	Прочность доски (отверстий) по смятию	1.1	0.91

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет на экстремальные условия эксплуатации показал, что конструкция зданий FINHA с соединениями стоек и ригелей коннекторами, удовлетворяет требованиям строительных норм СП 64.13330.2017 “СНиП II-25-80. Деревянные конструкции”.

Требуемый запас прочности обеспечен, $\eta \geq 1$.

Наибольшее влияние на напряженное состояние каркаса оказывают снеговые нагрузки и сейсмические нагрузки.

При расчете принята максимально возможная снеговая нагрузка - расчетное значение веса снегового покрова $S_g = 5.6 \text{ кН/м}^2 = 570 \text{ кг/м}^2$, снеговой район VIII.

Максимальная расчетная сейсмичность района при расчете принята равной 9 баллов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СП 64.13330.2017 СНиП II-25-80. Деревянные конструкции
2. СП 20.13330.2016 СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия
3. СП 14.13330.2014 СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах