

Технический отчет

Расчет несущей конструкции здания FINHA T200

Рычков С.П.

Самара 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЁТА.....	3
1.1 Общее описание	3
1.2 Единицы измерения	5
1.3 Применяемые материалы и ссылочные данные.....	5
1.4 Статические нагрузки.....	6
1.5 Сейсмические нагрузки	9
1.6 Расчетные сочетания нагрузок	11
Основные сочетания.....	11
Особые сочетания.....	11
1.7 Задание нагрузок и закреплений	11
2. АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ЗДАНИЯ.....	11
2.1 Конечно-элементная модель	11
2.2 Основные сочетания нагрузок	13
2.2.1 Основной вариант здания, снеговой район VII.....	13
Рамы каркаса	13
Продольные балки	13
Стойки.....	13
2.2.2 Усиленный вариант здания, снеговой район VIII	15
Рамы каркаса	15
Продольные балки	15
Стойки.....	15
2.3 Особые сочетания.....	17
Рамы каркаса	17
Продольные балки	17
Стойки.....	17
2.4 Сводка запасов прочности здания FINHA T200, основной вариант - снеговой район VII.....	18
2.5 Сводка запасов прочности здания FINHA T200, усиленный вариант - снеговой район VIII.....	18
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	19
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	19

ВВЕДЕНИЕ

Данный расчет выполнен для подтверждения соответствия характеристик прочности и устойчивости здания FINNA T200 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 здания FINNA T200 приведен на рис. 1 - 3.

Каркас здания собирается из поперечных рам, с пролетом 10.5 м выполненных из деревянных балок, которые соединяются друг с другом четырьмя болтами через коннекторы, и продольных балок, рис. 4.

Продольные балки опираются на стойки, устанавливаемые с интервалом $4 \cdot 0.625$ м, т.е. в каждой пятой раме. Расстояние между осями стоек в плоскости рамы - 3.5 м.

Каркас устанавливается на балки ростверка. Балки ростверка также изготавливаются из дерева.

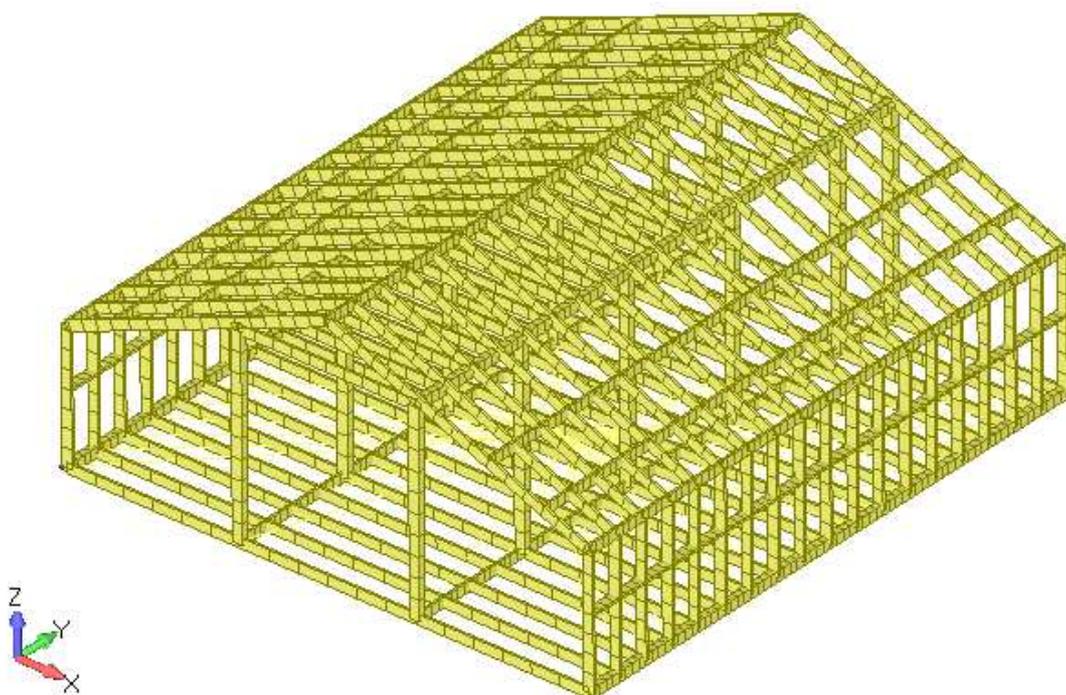


Рисунок 1. Общий вид каркаса здания FINHA T200, ширина рамы 10.5 м

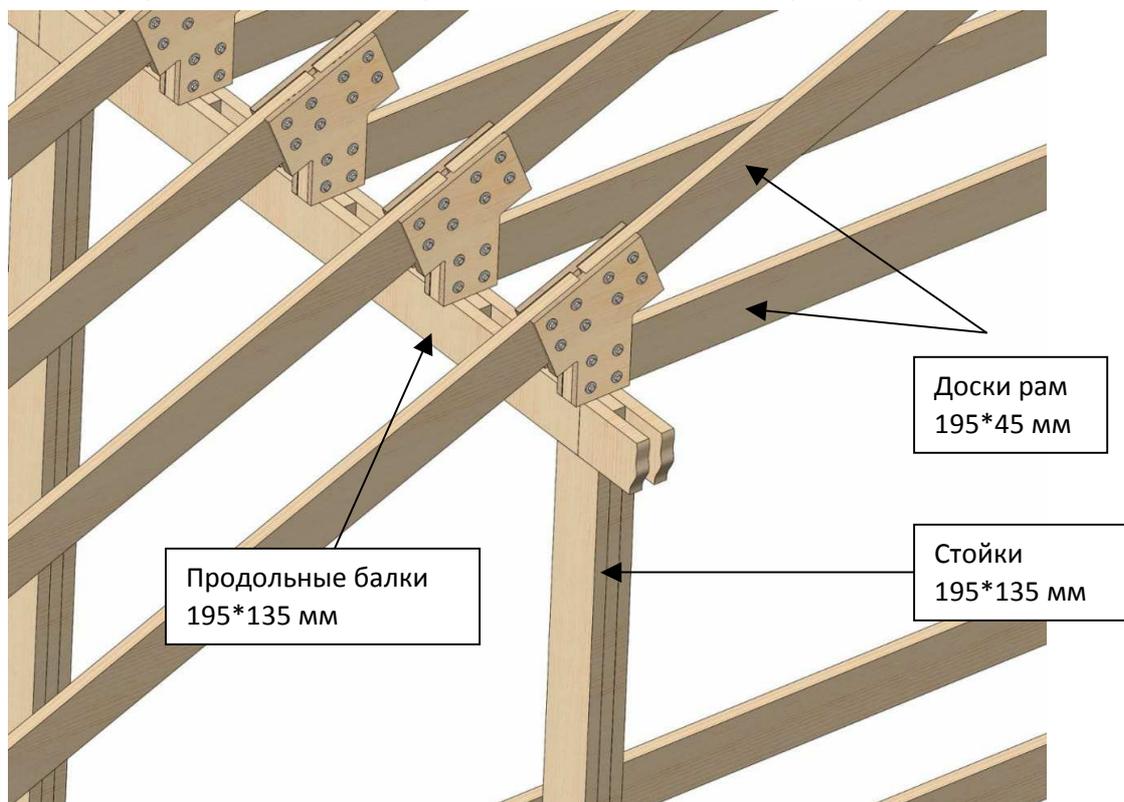


Рисунок 2. Схема опирания ригелей на продольную балку

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]

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

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

- $m_{\partialл} = 0.66$ - при совместном действии постоянной и кратковременной снеговой нагрузки;
- $m_{\partialл} = 0.92$ - 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:

- $R_p^A = 15 \cdot 0.66 \cdot 0.9 = 8.9$ 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 кровли (**load**), постоянное нагружение;

$$q = P_1 \cdot \gamma_f = 0.00017 \cdot 1.2 = 0.0002 \text{ МПа,}$$

Здесь $P_1 = 0.00017$ МПа – значение удельной нагрузки от кровли;

$$\gamma_f = 1.2 \text{ – коэффициент надежности по нагрузке.}$$

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

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

$$c_t = 1.0 \text{ – термический коэффициент;}$$

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;

$S_g = 3.5 \text{ кН/м}^2$ – нормативное значение веса снегового покрова на 1 м^2 для снегового района VII.

$S_g = 4.0 \text{ кН/м}^2$ – 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. 3-4

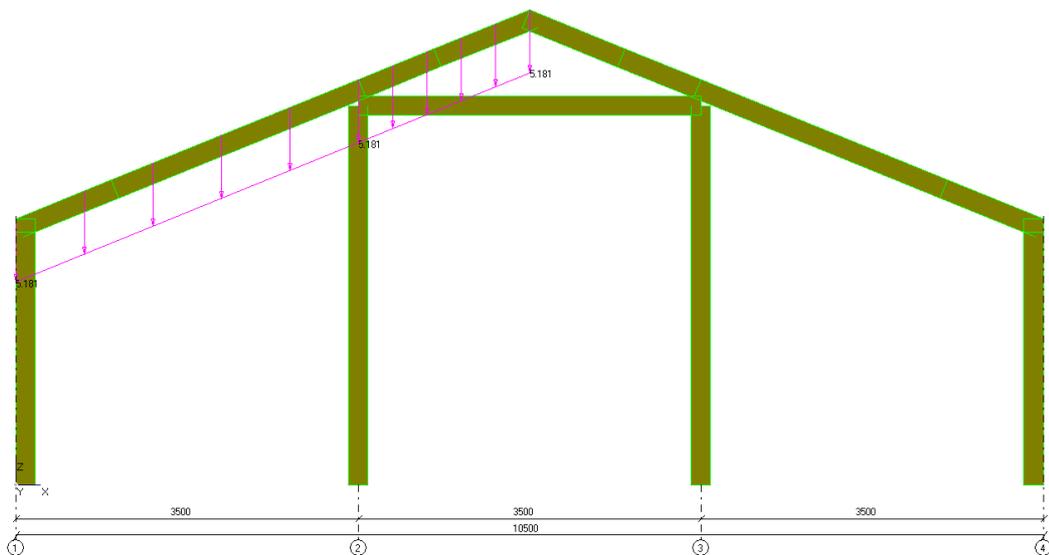


Рисунок 3. Расчетная снеговая нагрузка для региона VIII (**snow_left**), действующая по направлению оси Z, кН/м^2

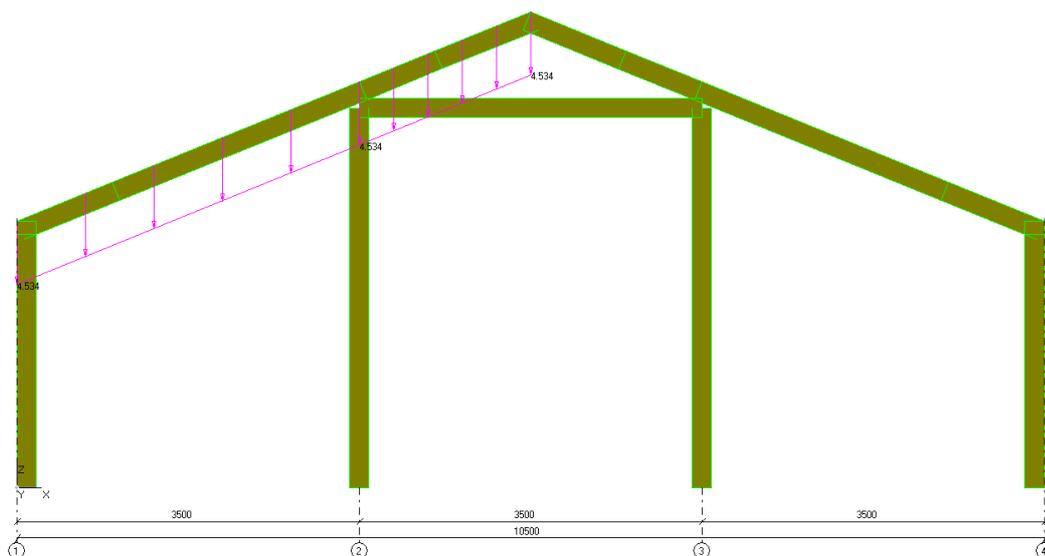


Рисунок 4. Расчетная снеговая нагрузка для региона VII (**snow_left**), действующая по направлению оси Z, кН/м²

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. 5.

Загрузка **wind_right** симметрично.

Распределение ветровой нагрузки в загрузке **wind_tor** показано на рис. 6.

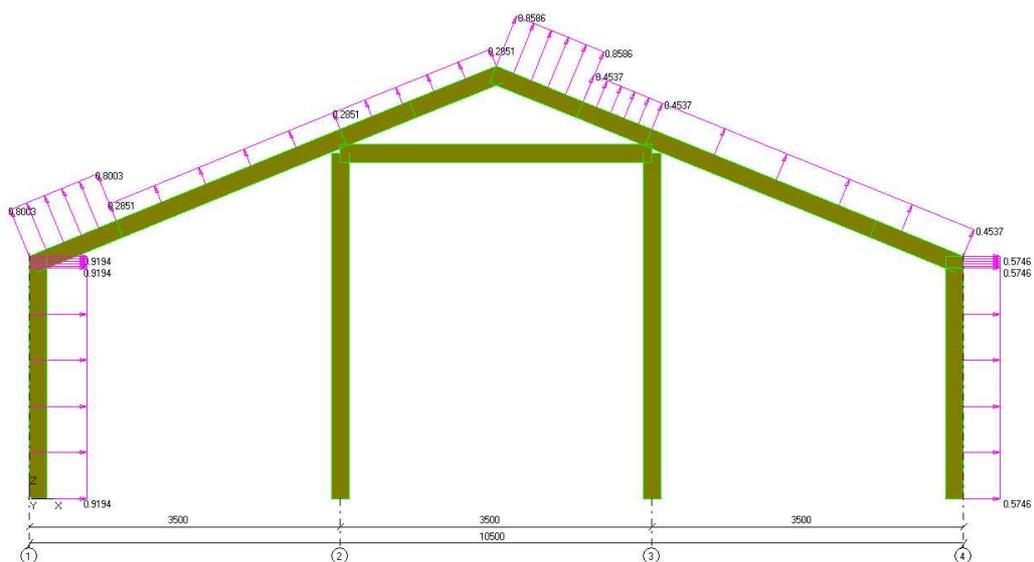


Рисунок 5. Расчетная ветровая нагрузка ветер слева, действующая по нормали к поверхности, кН/м^2

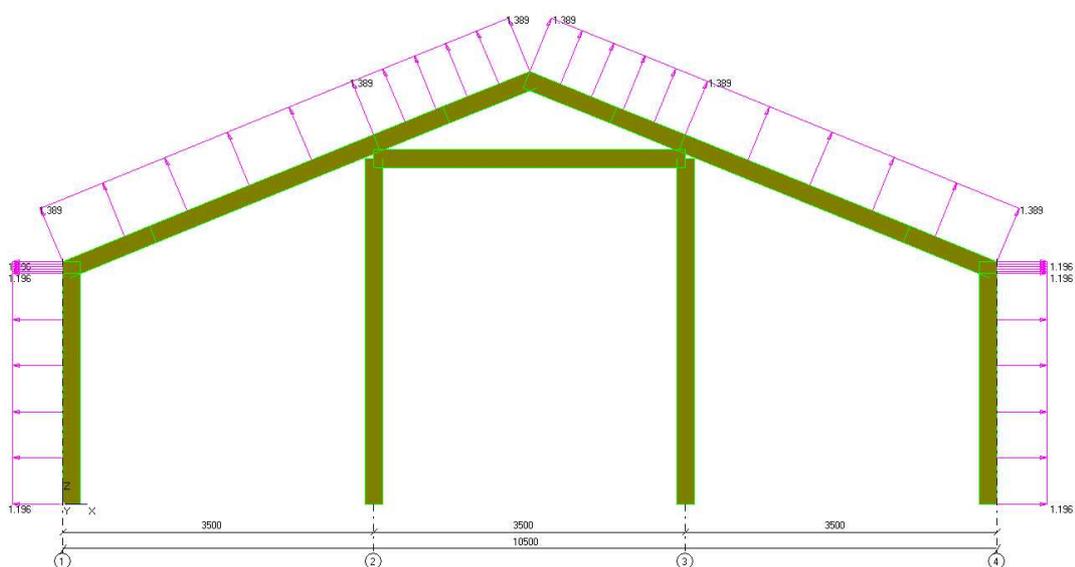


Рисунок 6. Расчетная ветровая нагрузка ветер в торец, действующая по нормали к поверхности, кН/м^2

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 [3].
- $A = 4 \text{ м/сек}^2$ - 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 7.

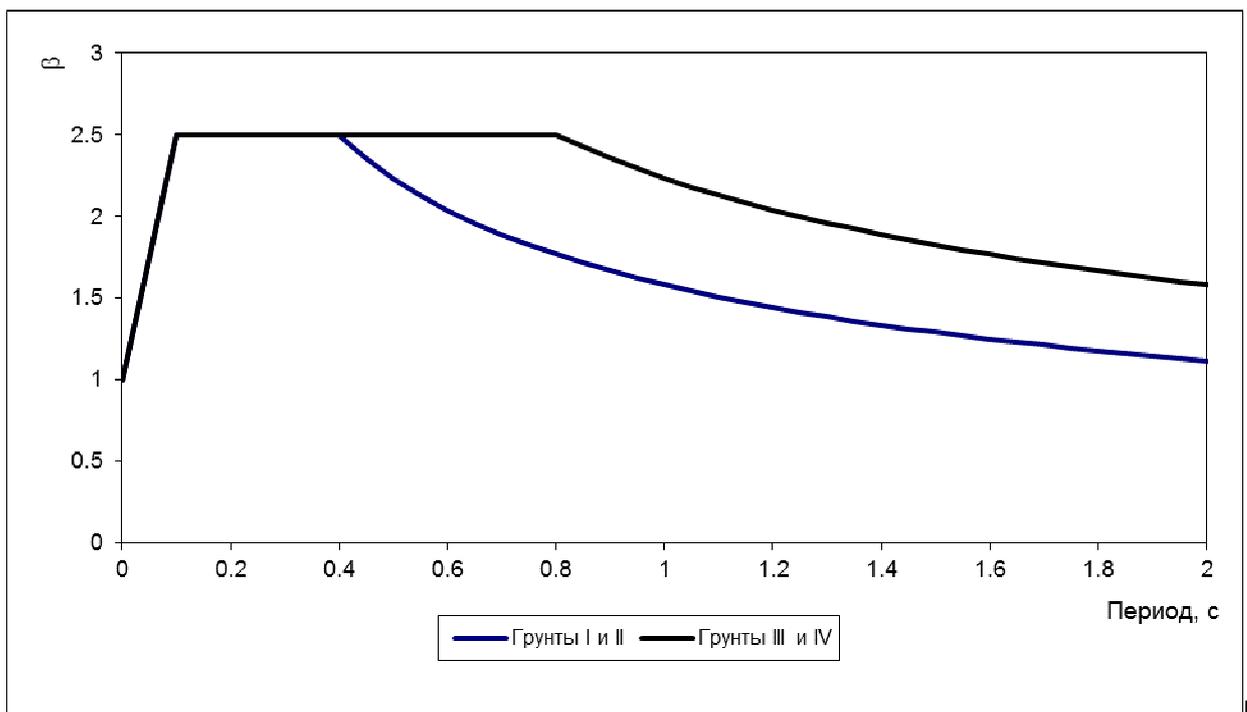


Рисунок 7. Спектрограмма коэффициентов динамичности

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. $\text{weight} + \text{load} + \text{snow_left} + \text{snow_right}$
2. $\text{weight} + \text{load} + \text{snow_left} + \text{snow_right} + 0.9 \cdot \text{wind_left}$
3. $\text{weight} + \text{load} + \text{snow_left} + \text{snow_right} + 0.9 \cdot \text{wind_tor}$

Особые сочетания

1. $\text{Quake X} + 0.9 \cdot \text{Weight} + 0.9 \cdot \text{load} + 0.5 \cdot \text{snow_left} + 0.5 \cdot \text{snow_right}$
2. $\text{Quake Y} + 0.9 \cdot \text{Weight} + 0.9 \cdot \text{load} + 0.5 \cdot \text{snow_left} + 0.5 \cdot \text{snow_right}$
3. $\text{Quake Z} + 0.9 \cdot \text{Weight} + 0.9 \cdot \text{load} + 0.5 \cdot \text{snow_left} + 0.5 \cdot \text{snow_right}$
4. $\text{Quake X} + 0.75 \cdot \text{Quake Z} + 0.9 \cdot \text{Weight} + 0.9 \cdot \text{load} + 0.5 \cdot \text{snow_left} + 0.5 \cdot \text{snow_right}$
5. $\text{Quake Y} + 0.75 \cdot \text{Quake Z} + 0.9 \cdot \text{Weight} + 0.9 \cdot \text{load} + 0.5 \cdot \text{snow_left} + 0.5 \cdot \text{snow_right}$

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.

Вес кровли, снеговые и ветровые нагрузки задаются в виде распределенных нагрузок, приложенных к ригелям и стойкам.

Сейсмические нагрузки задаются спектрограммой коэффициентов динамичности, см. рис. 7, амплитудой A и коэффициентами K_0, K_1, K_ψ .

Здание шарнирно закрепляется в точках опирания на сваи.

2. АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ЗДАНИЯ

2.1 Конечно-элементная модель

Анализ прочности здания FINHA T200 проводится для двух вариантов снеговых нагрузок и расстановки стоек:

1. **Основной вариант для снеговых районов от I до VII**, расстояние между стойками по оси здания 2.5 м (стойки на каждой пятой раме)
2. **Усиленный вариант для снегового района VIII**, расстояние между стойками по оси здания 1.875 м (стойки на каждой четвертой раме).

Расчетные схем зданий FINHA T200 показаны на рис. 8 и 9.

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

Коннекторы не моделируются и полагаются равнопрочными с досками рам. Вывод о том, что прочность коннекторов обеспечивается при обеспечении прочности рам получен на основании результатов работы [4].

Сечения элементов каркаса:

- Доски рам 195*45 мм;

- Стойки 195*135 мм;
- Распорки 195*45 мм;
- Продольный балки 195*135 мм

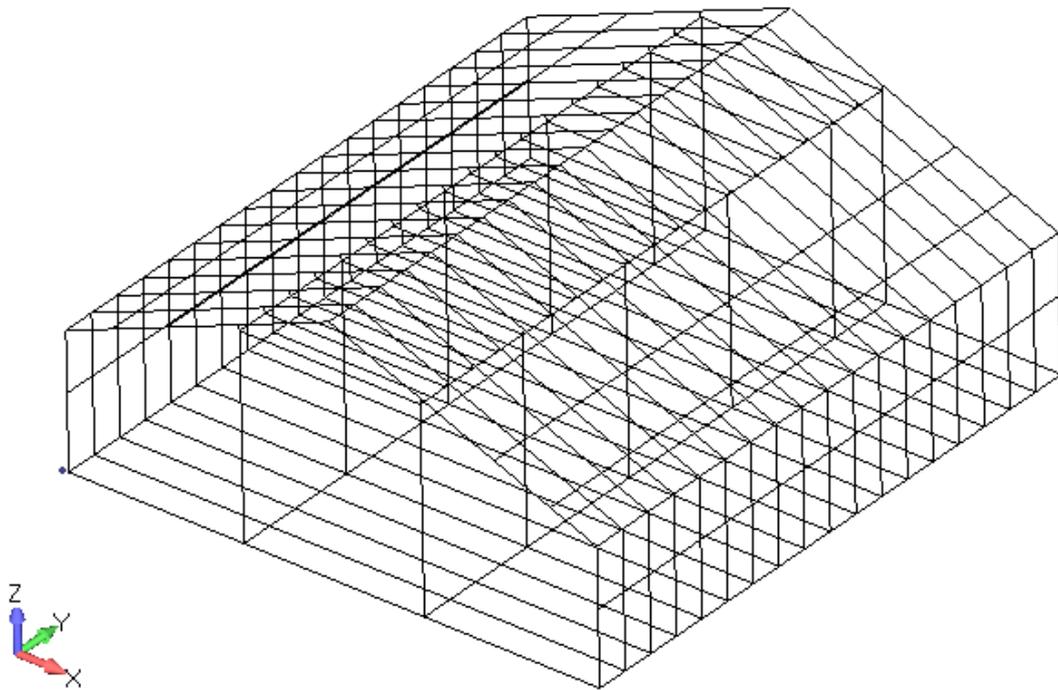


Рисунок 8. Конечно-элементная модель здания, стойки через 2.5 м

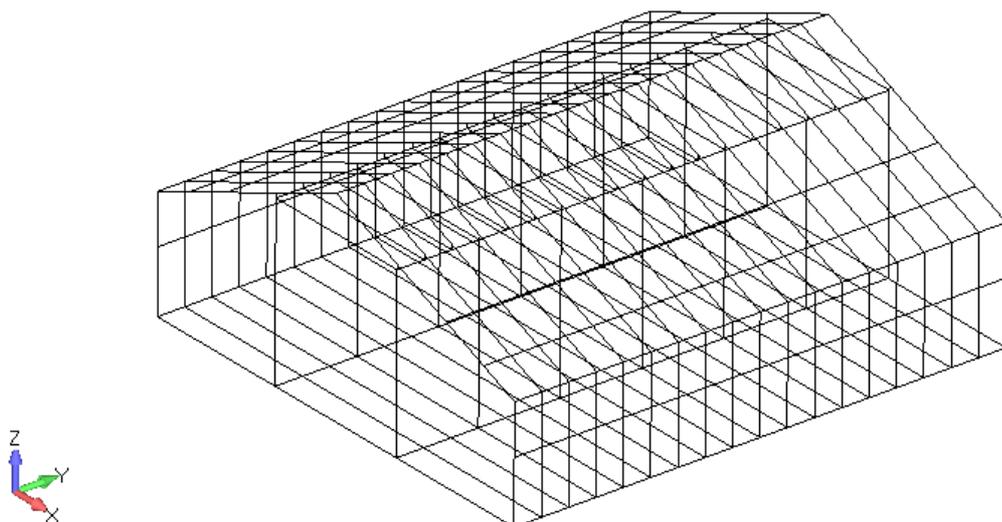


Рисунок 9. Конечно-элементная модель здания, стойки через 1.875 м

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

2.2.1 Основной вариант здания, снеговой район VII

Рамы каркаса

Наибольшие изгибные напряжения в элементах рам: $\sigma_{max} = 12.1$ МПа, рис. 10,

- Коэффициент запаса $\eta = R_p^A / \sigma_{max} = 14/12.1 = 1.16$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.86$

Продольные балки

Наибольшие напряжения в элементах продольных балок: $\sigma_{max} = 12.7$ МПа вызываются изгибом, рис. 11,

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{max} = 14/12.7 = 1.1$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.91$.

Стойки

Наибольшие напряжения в стойках: $\sigma_{max} = 4.3$ МПа, рис. 12

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{max} = 14/4.3 > 2.0$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta < 0.5$

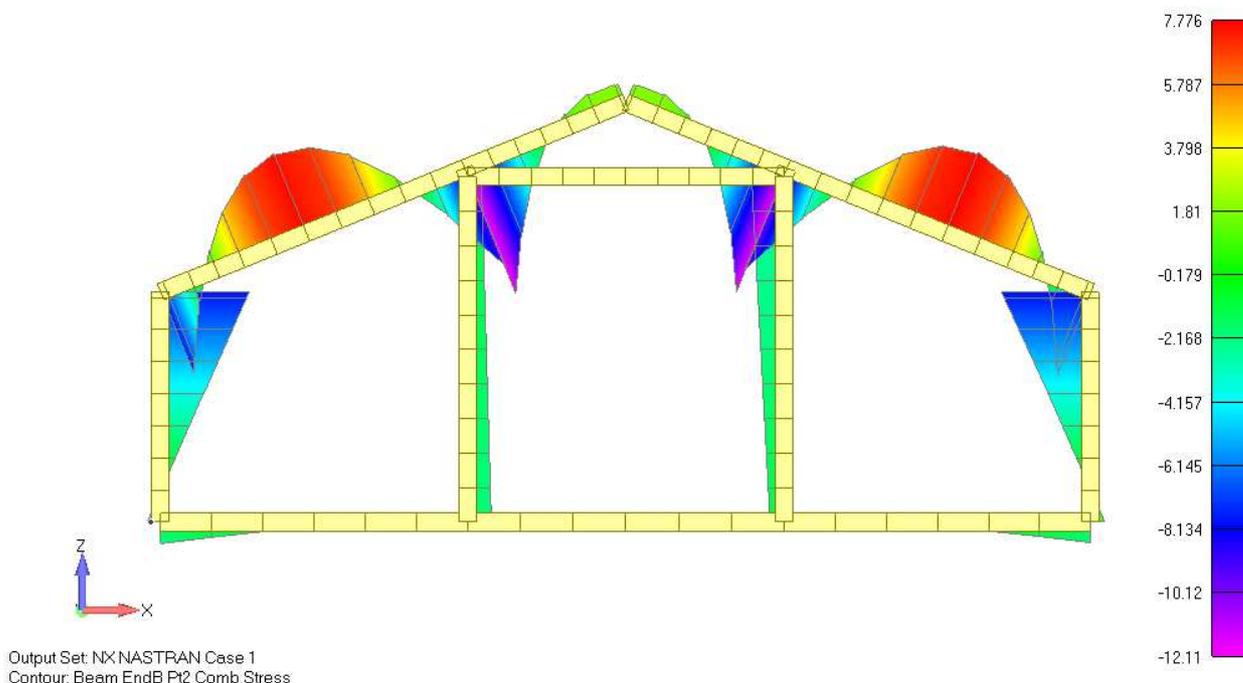


Рисунок 10. Основные сочетания. Снег VII регион. Напряжения в ригелях и стойках, МПа

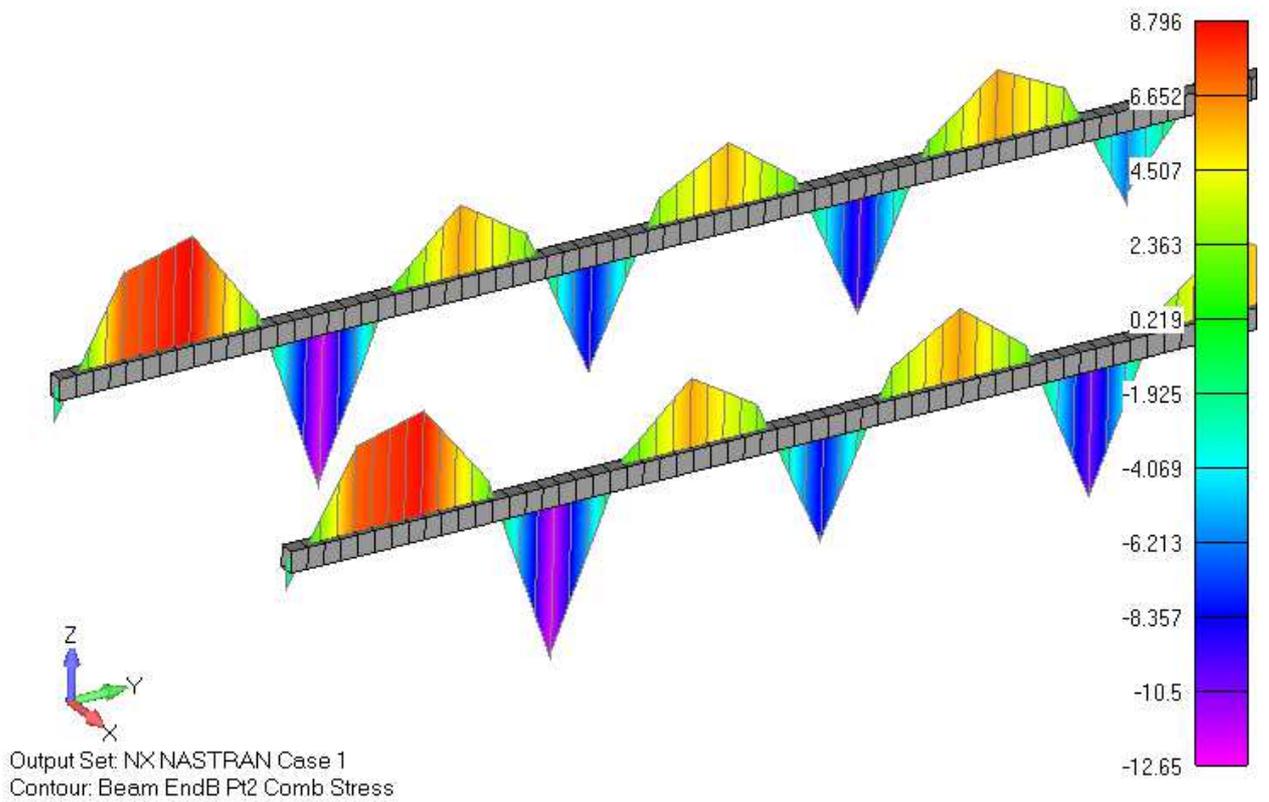


Рисунок 11. Основные сочетания. Снег VII регион. Напряжения в продольных балках, МПа

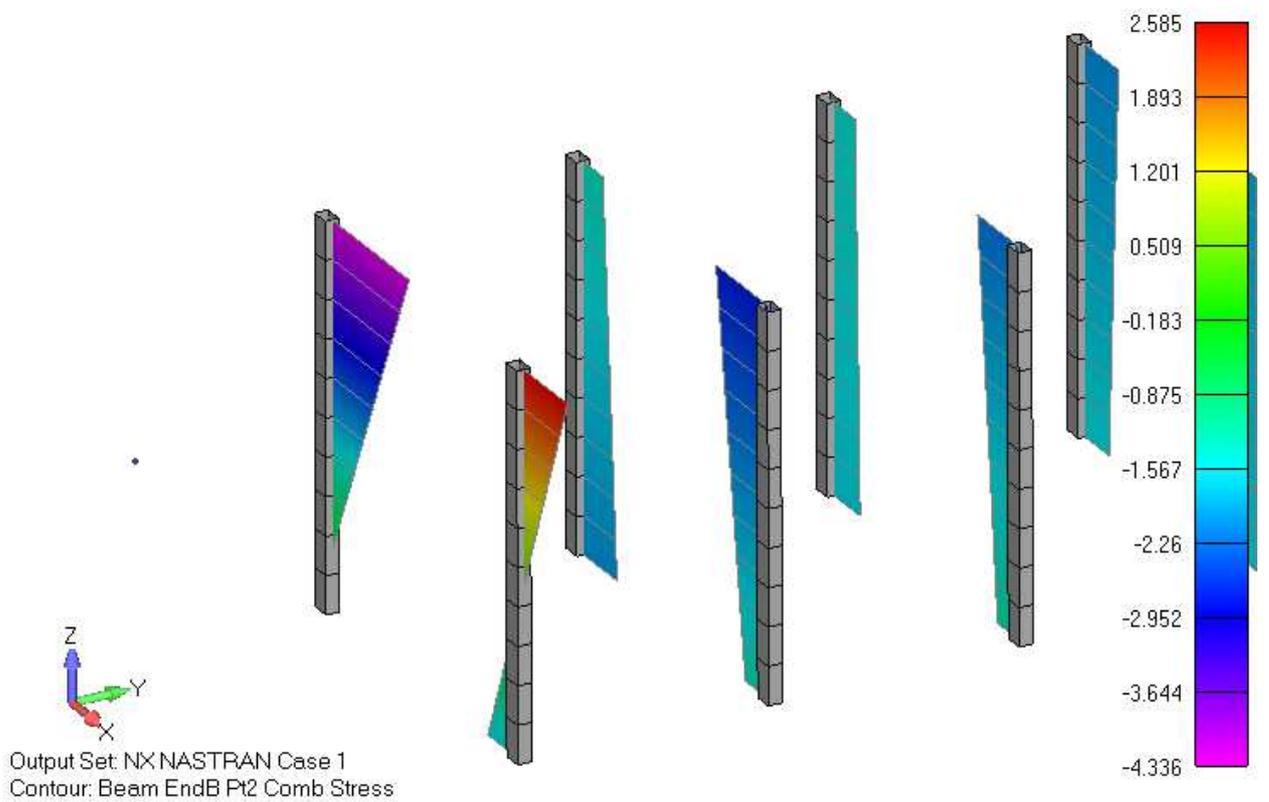


Рисунок 12. Основные сочетания. Снег VII регион. Максимальные напряжения в стойках, МПа

2.2.2 Усиленный вариант здания, снеговой район VIII

Рамы каркаса

Наибольшие изгибные напряжения в элементах рам: $\sigma_{\max} = 13.7$ МПа, рис. 13,

- Коэффициент запаса $\eta = R_p^A / \sigma_{\max} = 14/13.7 = 1.02$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.98$

Продольные балки

Наибольшие напряжения в элементах продольных балок: $\sigma_{\max} = 7.5$ МПа вызываются изгибом, рис. 14,

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{\max} = 14/7.5 = 1.87$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.54$.

Стойки

Наибольшие напряжения в стойках: $\sigma_{\max} = 2.6$ МПа, рис. 15

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{\max} = 14/2.6 > 2.0$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta < 0.5$

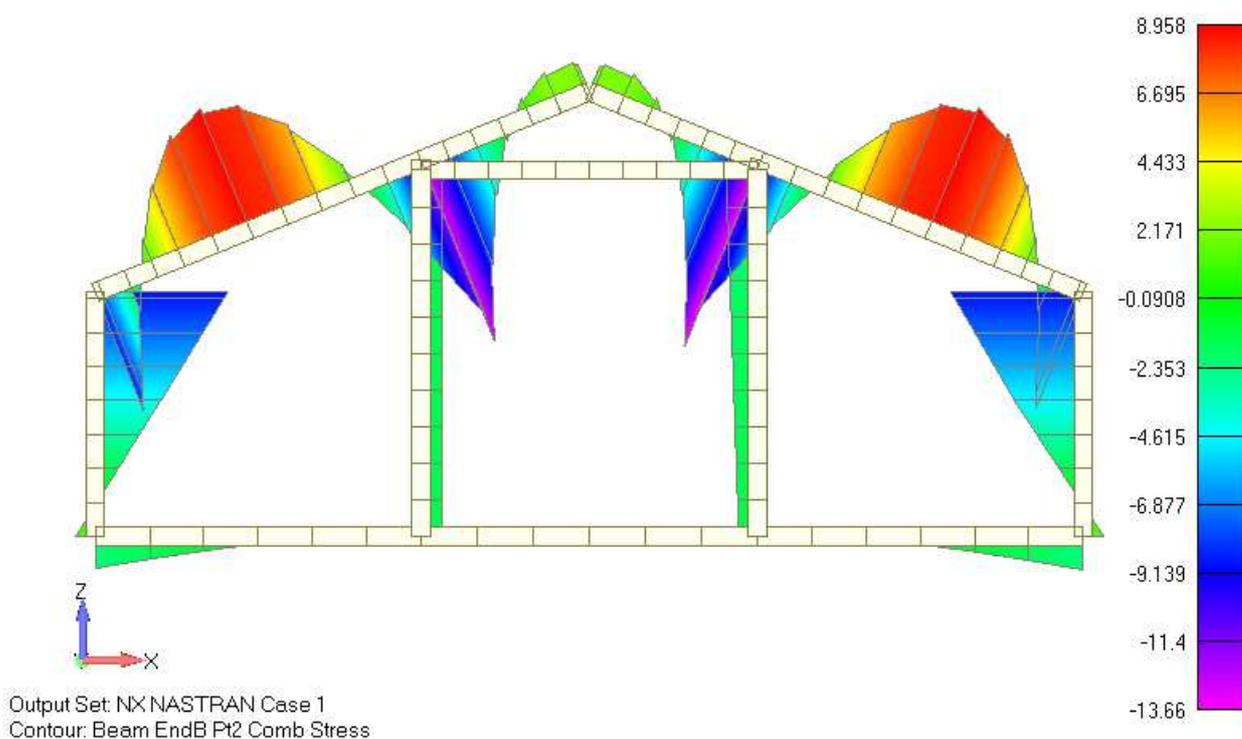


Рисунок 13. Основные сочетания. Снег VIII регион. Напряжения в ригелях и стойках, МПа

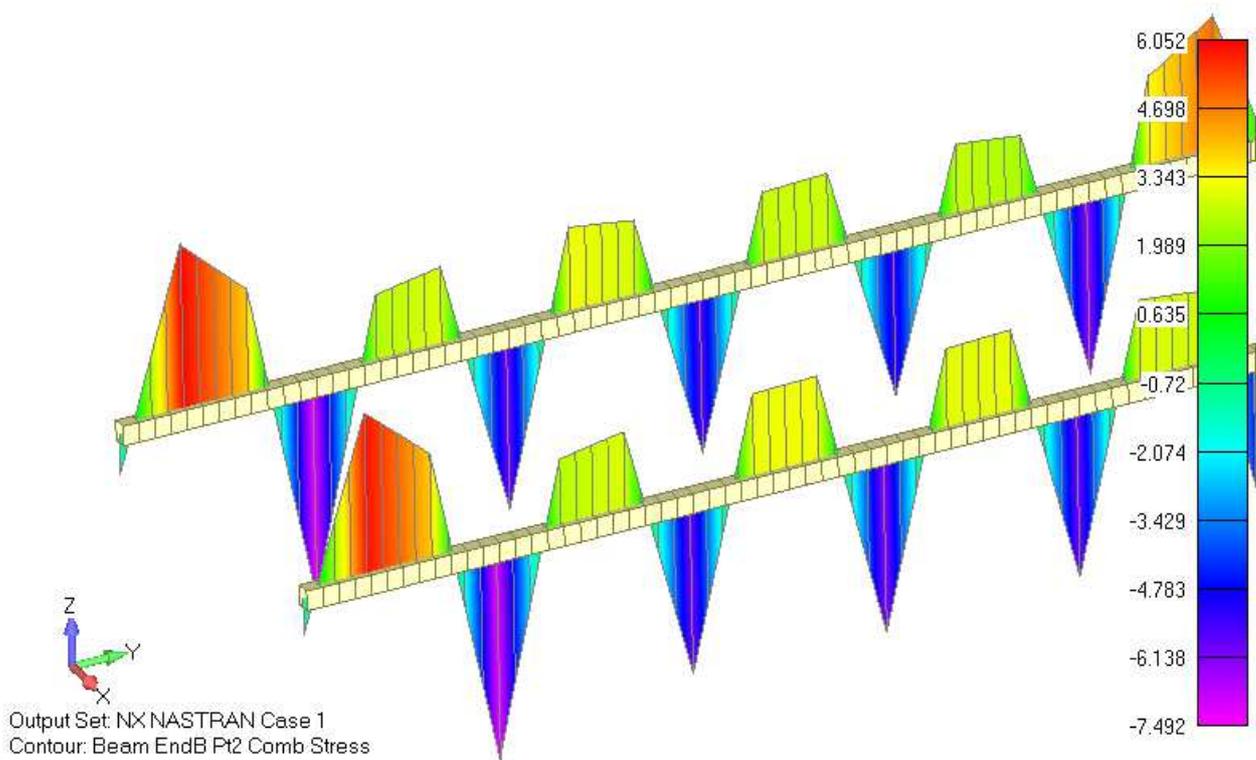


Рисунок 14. Основные сочетания. Снег VIII регион. Напряжения в продольных балках, МПа

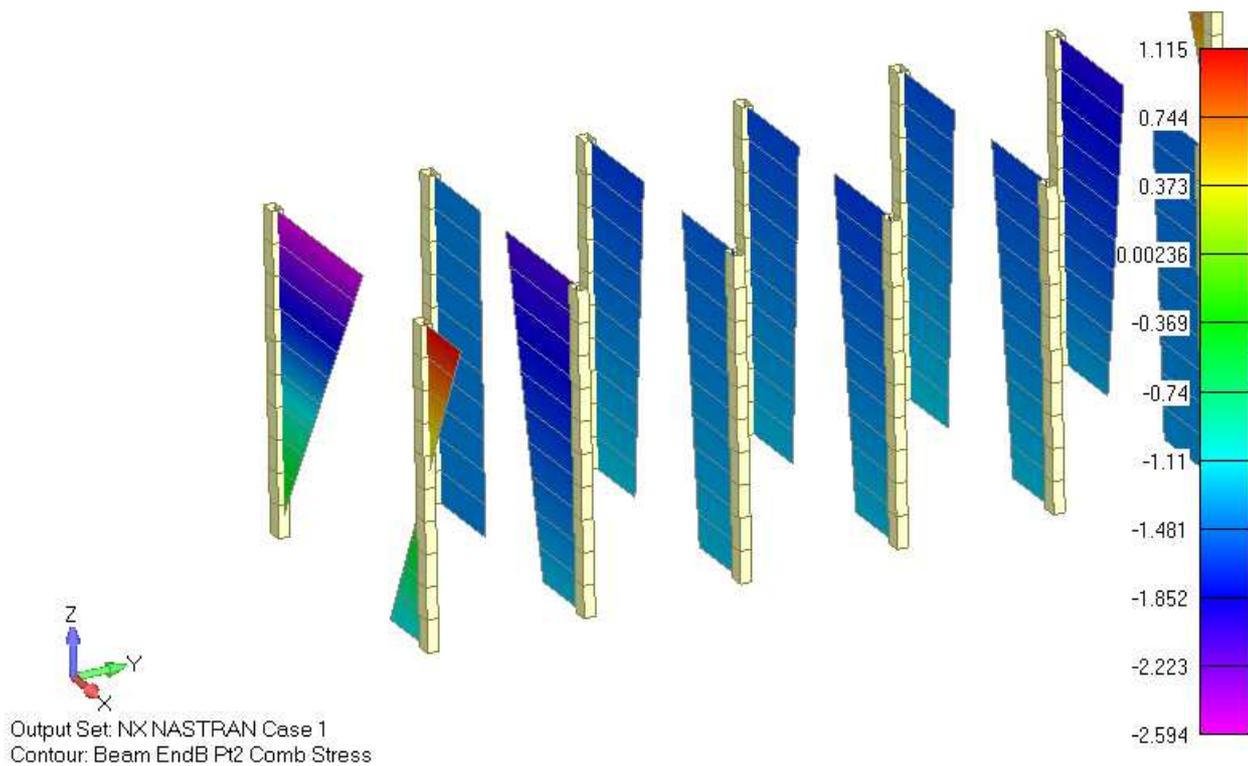


Рисунок 15. Основные сочетания. Снег VIII регион. Максимальные напряжения в стойках, МПа

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: $\sigma_{max} = 16.4$ МПа, рис. 16,

- Коэффициент запаса $\eta = R_p^A / \sigma_{max} = 20/16.4 = 1.22$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.82$

Продольные балки

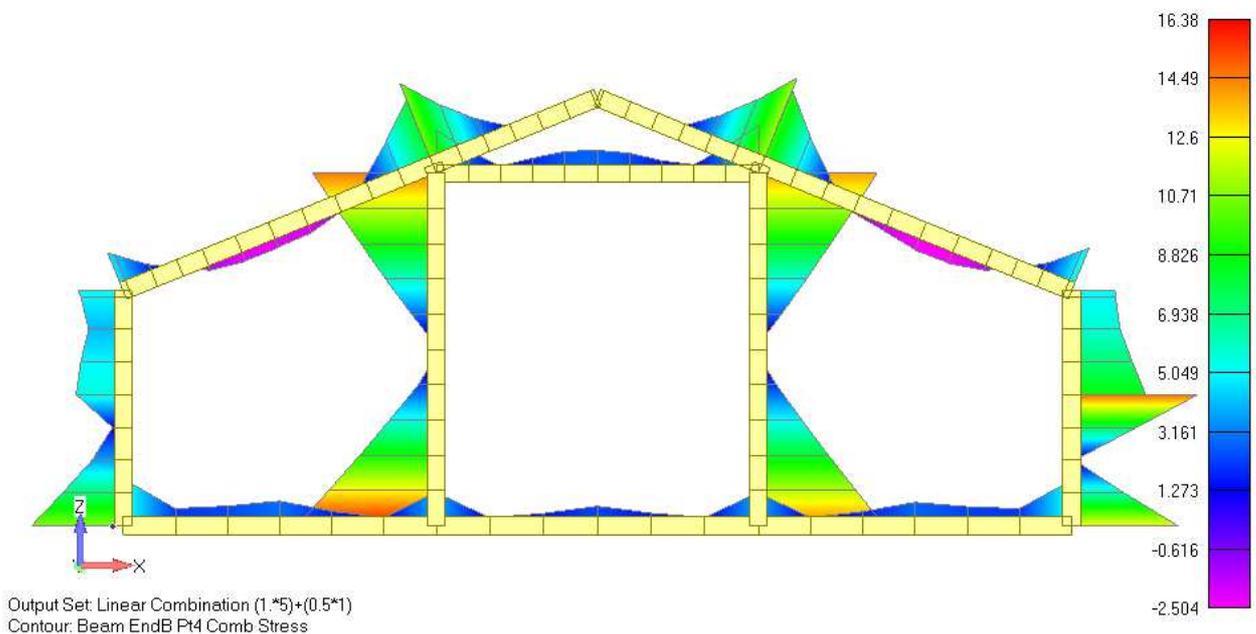
Наибольшие напряжения в элементах продольных балок: $\sigma_{max} = 13.9$ МПа вызываются изгибом, рис. 17,

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{max} = 20/13.9 = 1.447$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.7$.

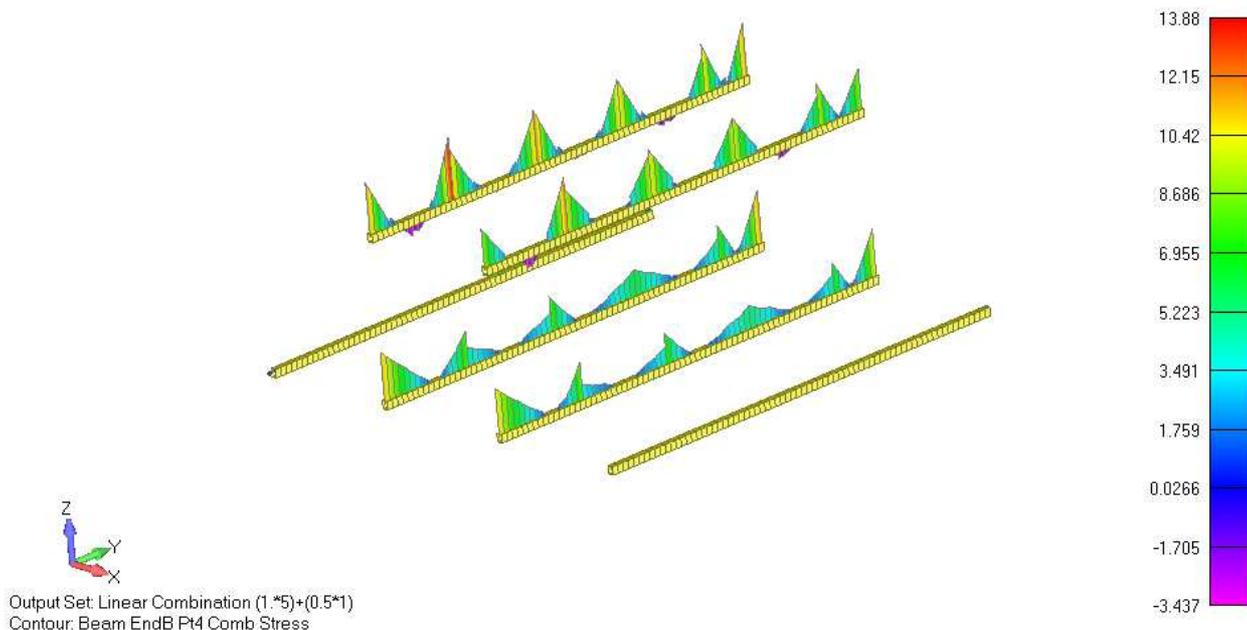
Стойки

Наибольшие напряжения в стойках: $\sigma_{max} = 16.4$ МПа, см. рис. 16

- Коэффициент запаса $R_{изг}^A / \sigma_{max} = 20/16.4 = 1.22$
- Коэффициент использования материала $f = 1/\eta = 0.82$



исунок 16. Особые сочетания. Максимальные напряжения в рамах, МПа.



2.4 Сводка запасов прочности здания FINHA T200, основной вариант - снеговой район VII

Таблица 2

№ п/п	Наименование	Минимальный запас прочности, η	Максимальный коэффициент использования
1	Рамы каркаса	1.16	0.86
2	Продольные балки	1.1	0.91
3	Стойки	1.22	0.82

2.5 Сводка запасов прочности здания FINHA T200, усиленный вариант - снеговой район VIII

Таблица 3

№ п/п	Наименование	Минимальный запас прочности, η	Максимальный коэффициент использования
1	Рамы каркаса	1.02	0.98
2	Продольные балки	1.87	0.54
3	Стойки	1.22	0.82

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет показал, что конструкция зданий FINHA T200 удовлетворяет требованиям строительных норм СП 64.13330.2017 "СНиП II-25-80. Деревянные конструкции":

- Для основного варианта, расчетное значение веса снегового покрова $S_g = 4.9 \text{ кН/м}^2 = 500 \text{ кг/м}^2$ - снеговой район VII.
- Для усиленного варианта 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.

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

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
4. Технический отчет. " Расчет несущей конструкции серии зданий FINHA-2"