

# Технический отчет

Расчет несущей конструкции здания FINHA S 40

Рычков С.П.

Самара 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	2
ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. Исходные данные для расчёта .....	3
<b>1.1    Общее описание .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2    Единицы измерения .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3    Применяемые материалы и ссылочные данные .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4    Условия нагружения .....</b>	<b>6</b>
Статические нагрузки .....	6
Сейсмические нагрузки .....	9
<b>1.5    Расчетные сочетания нагрузок .....</b>	<b>10</b>
Основные сочетания .....	10
Особые сочетания .....	10
2. Расчёт усилий в элементах конструкции .....	10
<b>2.1    Конечно-элементная модель .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2    Нагрузки и закрепления .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3    Результаты расчета .....</b>	<b>13</b>
3. Анализ прочности .....	17
<b>3.1    Основные сочетания .....</b>	<b>17</b>
Рамы каркаса .....	17
Рамы фахверка .....	17
Продольные балки .....	18
Балки ростверка .....	18
<b>3.2    Особые сочетания .....</b>	<b>18</b>
Рамы каркаса .....	18
Рамы фахверка .....	18
Продольные балки .....	18
Балки ростверка .....	18
4. Анализ устойчивости .....	19
5. Сводка запасов прочности и коэффициентов использования материала .....	19
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	19
Список использованных источников .....	20

## **ВВЕДЕНИЕ**

Данный расчет выполнен для подтверждения соответствия характеристик прочности и устойчивости здания FINHA S 40 требованиям строительных норм СП 64.13330.2017 “СНиП II-25-80. Деревянные конструкции”. Расчет проводится на загрузки, соответствующие 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 загрузений в соответствии с нормами СНиП;
- Построение конечно-элементных моделей проектируемых зданий;
- Выполнение расчетов устойчивости и напряженно-деформированного состояния на заданные загрузки;
- Формирование расчетных сочетаний усилий в соответствии с нормами СНиП;
- Определение запасов по прочности

## **1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЁТА**

### **1.1 Общее описание**

Общий вид здания FINHA S 40 приведен на рис. 1, 2.

Каркас здания собирается из поперечных рам, выполненным из деревянных балок, которые соединяются друг с другом продольными балками. Каркас устанавливается на балки ростверка. Балки ростверка также изготавливаются из дерева.

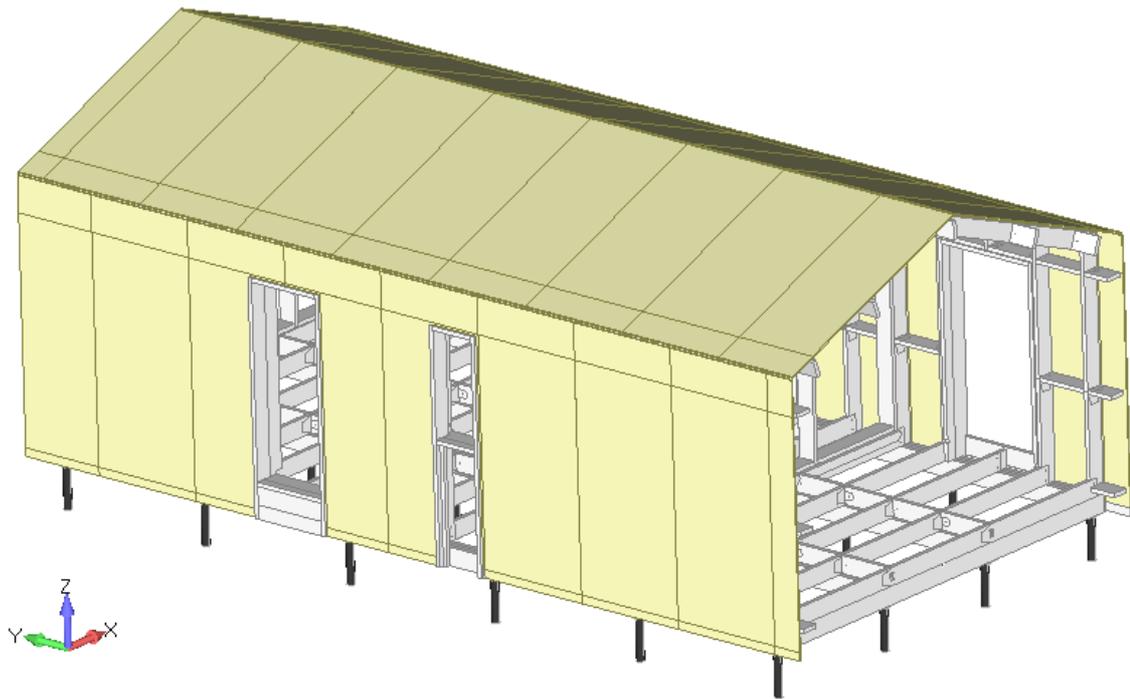


Рисунок 1. Общий вид здания FINHA S 40

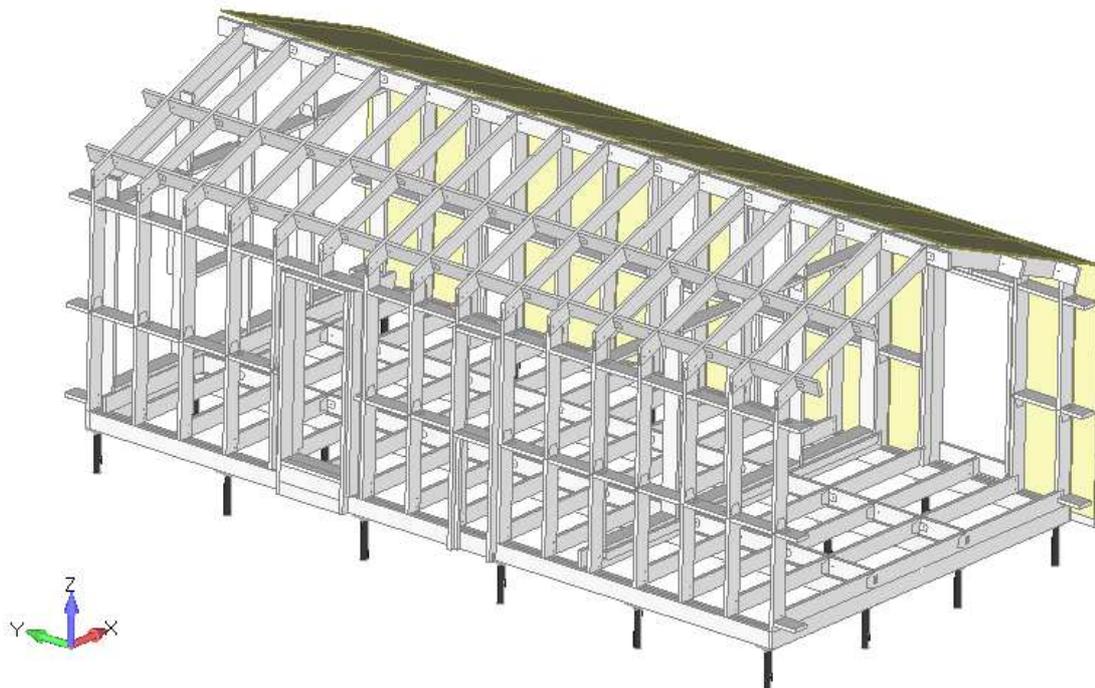


Рисунок 2. Каркас здания FINHA S 40

Таблица 1. Весовые данные установки здания FINHA S 40

№	Наименование	Вес, кгс
1	Каркас	4380
2	Обшивка	1220
3	Утеплитель, остекление, окна, двери	1000
	ИТОГО	6600

## 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]

$$R^p = R^A \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i$$

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

- $m_{дл} = 0.66$  - при совместном действии постоянной и кратковременной снеговой нагрузки;
- $m_{дл} = 0.92$  - 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;
- $m_{сс} = 0.85$  по табл. 13 (в запас);

$$\Pi m_i = m_b \cdot m_t \cdot m \cdot m_{сс} = 0.9 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 0.85 = 0.765$$

Расчетные сопротивления при изгибе и сжатии:

- $R_{изг}^A = R_{сж}^A = 24 \cdot 0.66 \cdot 0.765 = 12.1$  МПа - при совместном действии постоянной и кратковременной нагрузки;
- $R_{изг}^A = R_{сж}^A = 24 \cdot 0.92 \cdot 0.765 = 16.9$  МПа - при совместном действии постоянной и сейсмической нагрузки.

Расчетные сопротивления при растяжении:

- $R_p^A = 15 \cdot 0.66 \cdot 0.765 = 7.6$  МПа - при совместном действии постоянной и кратковременной нагрузки
- $R_p^A = 15 \cdot 0.92 \cdot 0.765 = 10.6$  МПа - при совместном действии постоянной и сейсмической нагрузки

#### 1.4 Условия нагружения

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

#### 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

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

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

$\mu = 1.0$  – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый в соответствии с 10.4 [2] ;

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

Расчетное значение снеговой нагрузки:

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

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

Снеговое загрузение для левого ската показано на рис. 3. Загружение для правого ската симметрично.

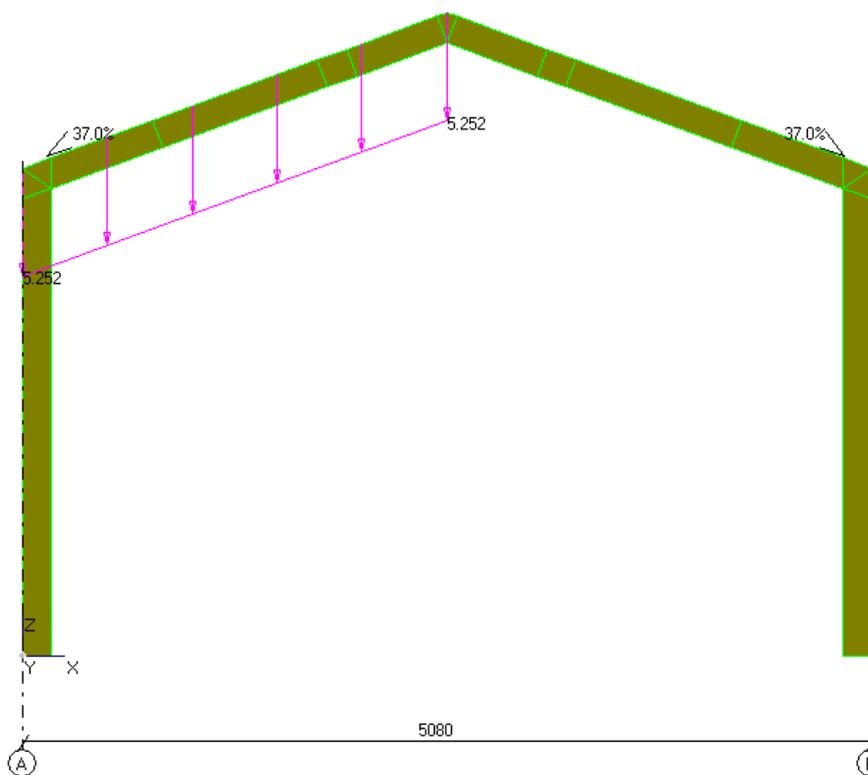


Рисунок 3. Расчетная снеговая нагрузка **snow\_left**, действующая по направлению оси Z, кН/м<sup>2</sup>

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 загрузении **wind\_left** показано на рис. 4.

Загружение **wind\_right** симметрично.

Распределение ветровой нагрузки в загрузении **wind\_tor** показано на рис. 5.

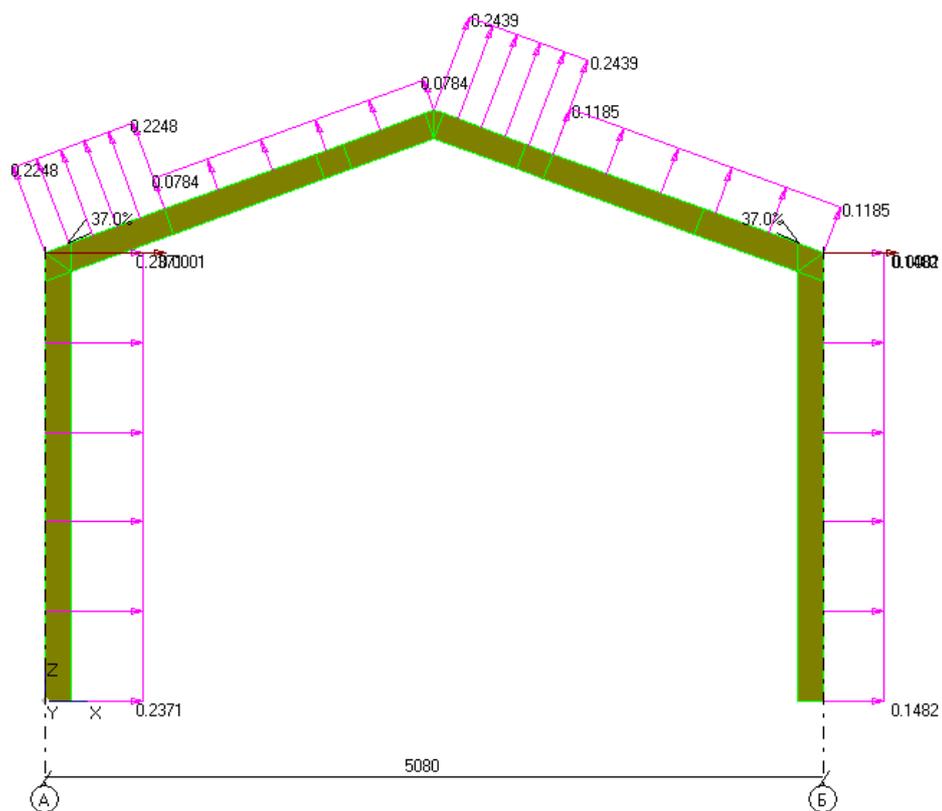


Рисунок 4. Расчетная ветровая нагрузка ветер слева, действующая по нормали к поверхности, кН/м<sup>2</sup>

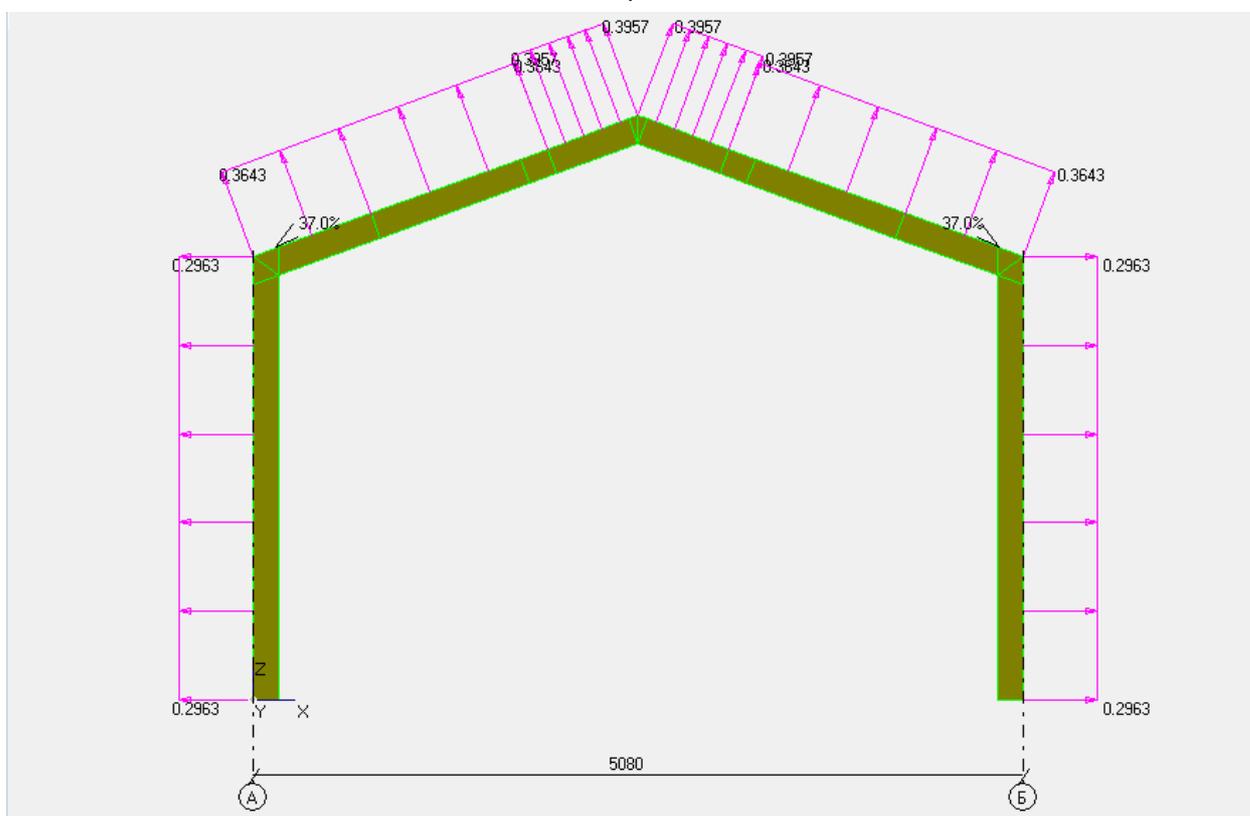


Рисунок 5. Расчетная ветровая нагрузка ветер в торец, действующая по нормали к поверхности, кН/м<sup>2</sup>

### 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;

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

$\beta_i$  - 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.

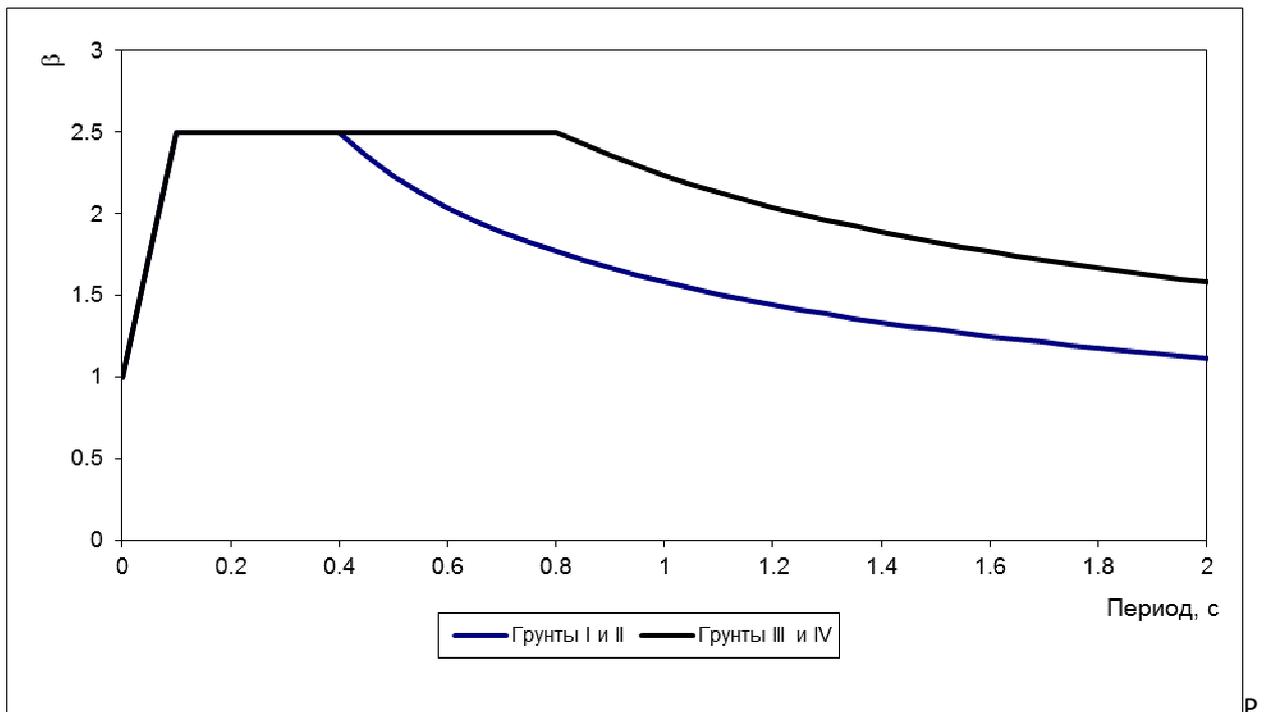


Рисунок 6. Спектрограмма коэффициентов динамичности

### 1.5 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
3. weight + load + snow\_right
4. weight + load + snow\_left + snow\_right + 0.9\*wind\_left
5. 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

## 2. РАСЧЁТ УСИЛИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ

### 2.1 Конечно-элементная модель

Определение напряженно-деформированного состояния элементов конструкции выполнено методом конечных элементов с использованием программы NASTRAN. Расчетная схема конечно-элементной модели здания FINHA S 40 показана на рис. 7-9.

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

Обшивка кровли и стен пола моделируются элементами *Plate*.

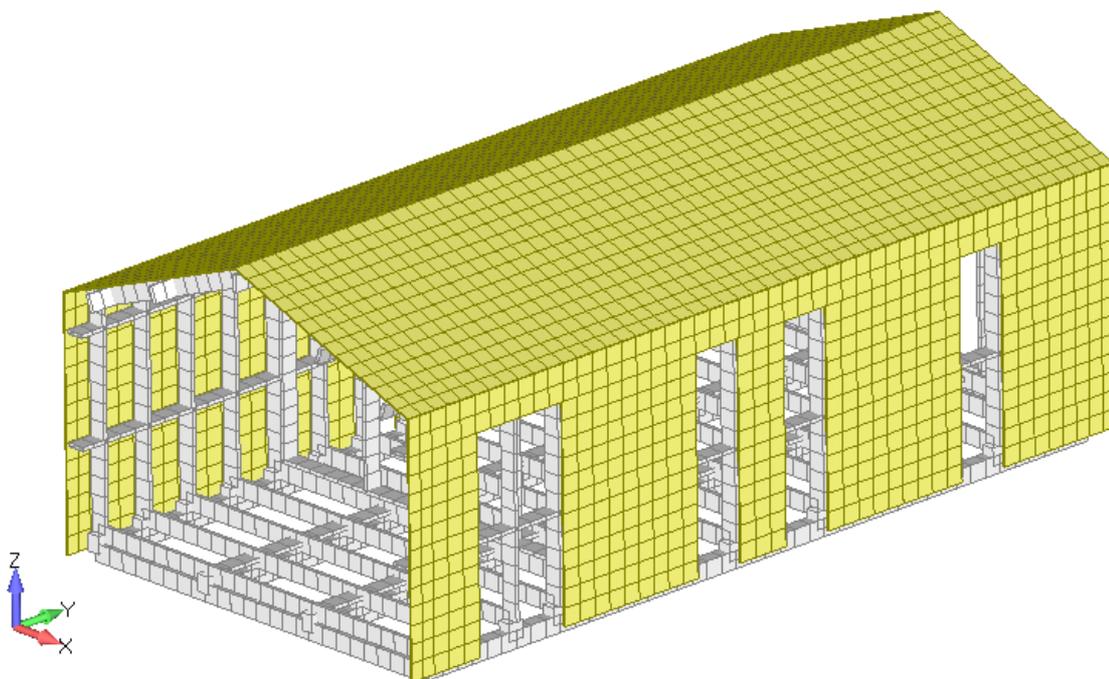


Рисунок 7. Конечно-элементная модель FINHA S 40

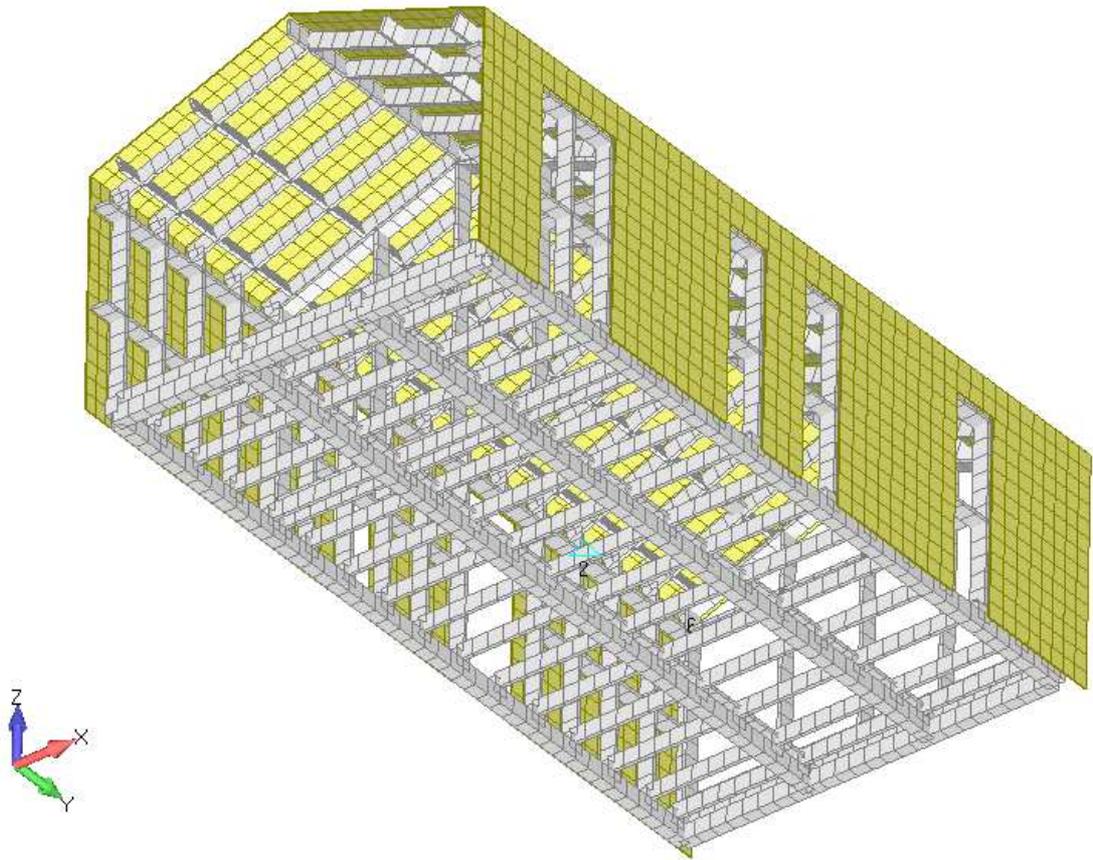


Рисунок 8. Конечно-элементная модель FINHA S 40

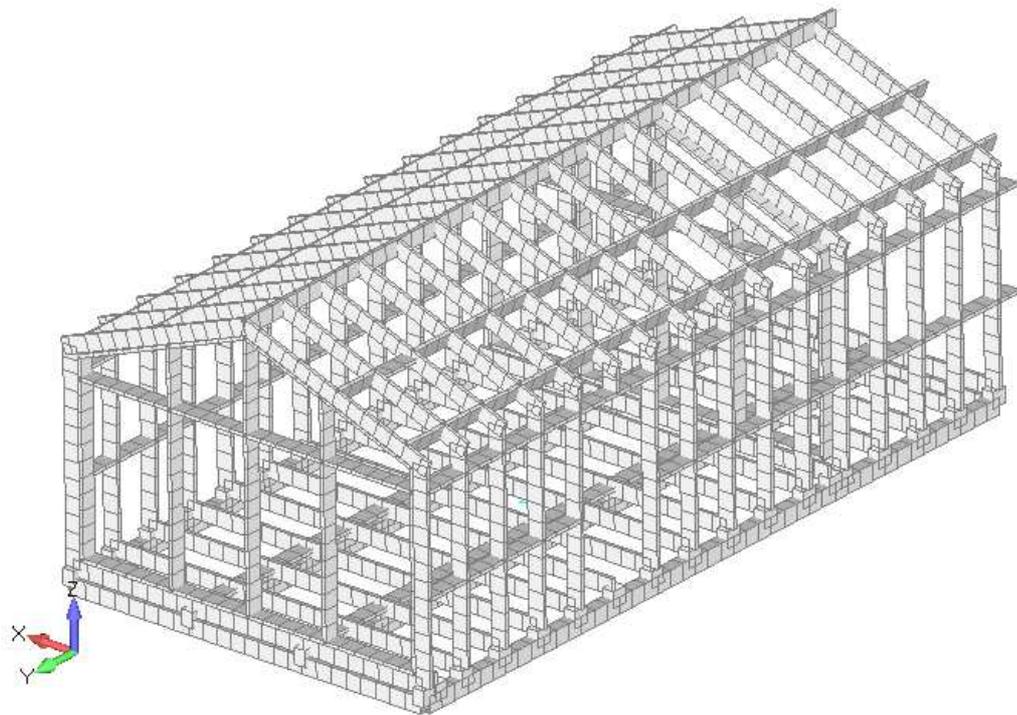


Рисунок 9. Конечно-элементная модель каркаса FINHA S 40

## 2.2 Нагрузки и закрепления

Статические нагрузки от веса (**Weight**) задаются в виде ускорения  $g = -9810 \cdot 1.2 = -11770$  мм/сек<sup>2</sup>, (с учетом  $\gamma_{Gf} = 1.2$ ) по оси координат Z.

Снеговые и ветровые нагрузки задаются в виде давления, приложенного к элементам кровли и витражей.

Сейсмические нагрузки задаются спектрограммой коэффициентов динамичности, см. рис. 6, амплитудой  $A$  и коэффициентами  $K_0, K_1, K_\psi$ .

Здание шарнирно закрепляется в точках опирания на сваи.

## 2.3 Результаты расчета

Результаты расчета, используемые для анализа прочности отдельных конструктивных элементов, показаны на рисунках 10-15.

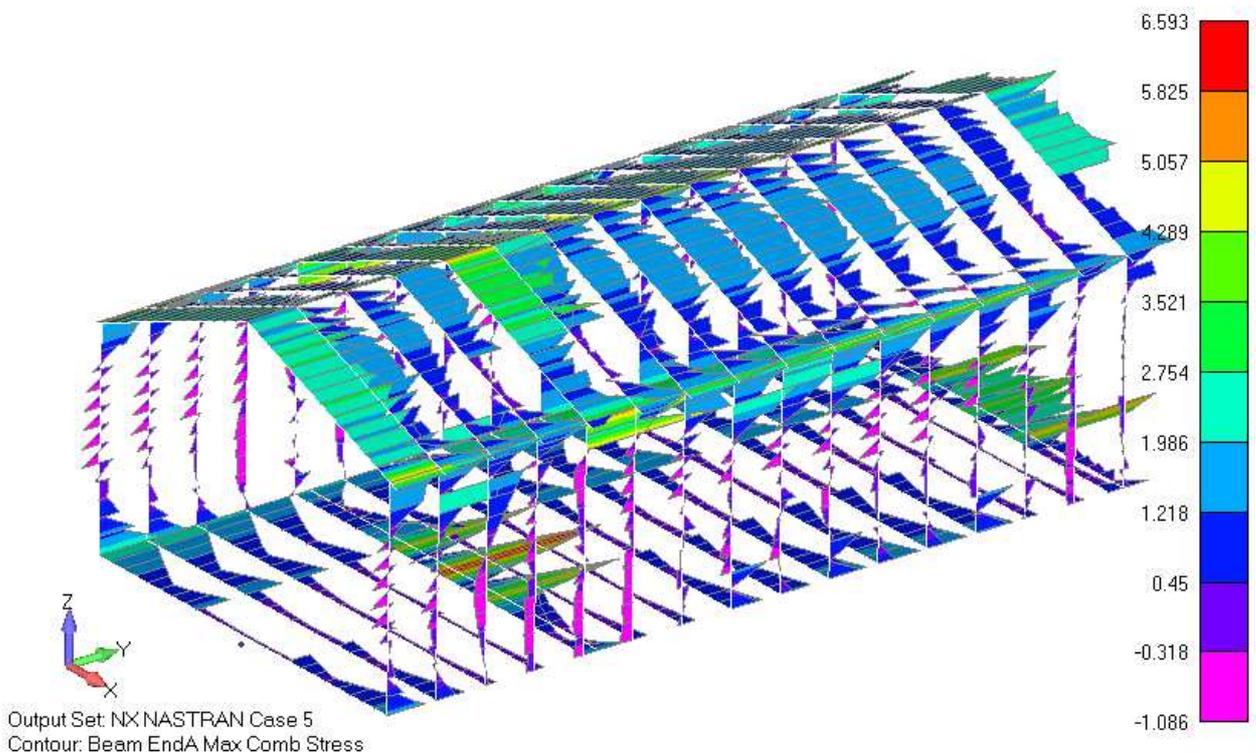


Рисунок 10. Основные сочетания. Максимальные напряжения в рамах, МПа.

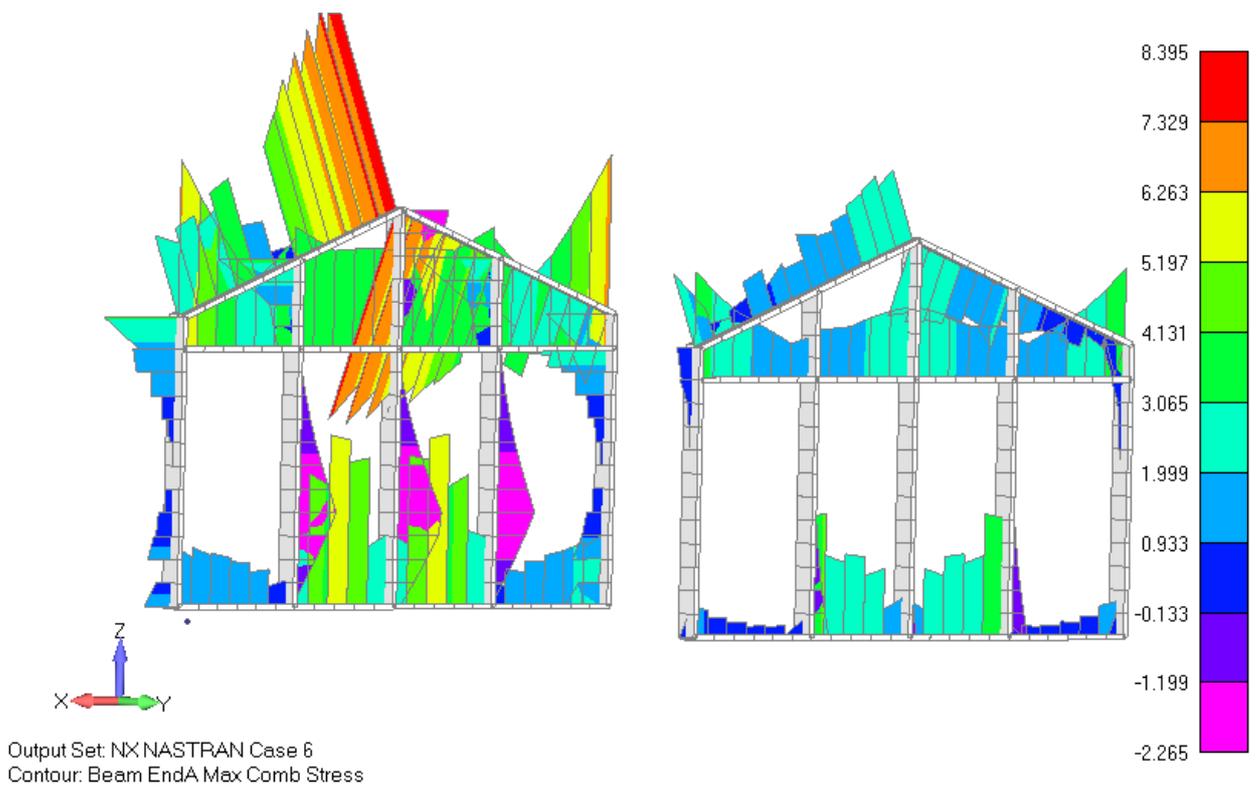


Рисунок 11. Основные сочетания. Максимальные напряжения в рамах фахверка, МПа.

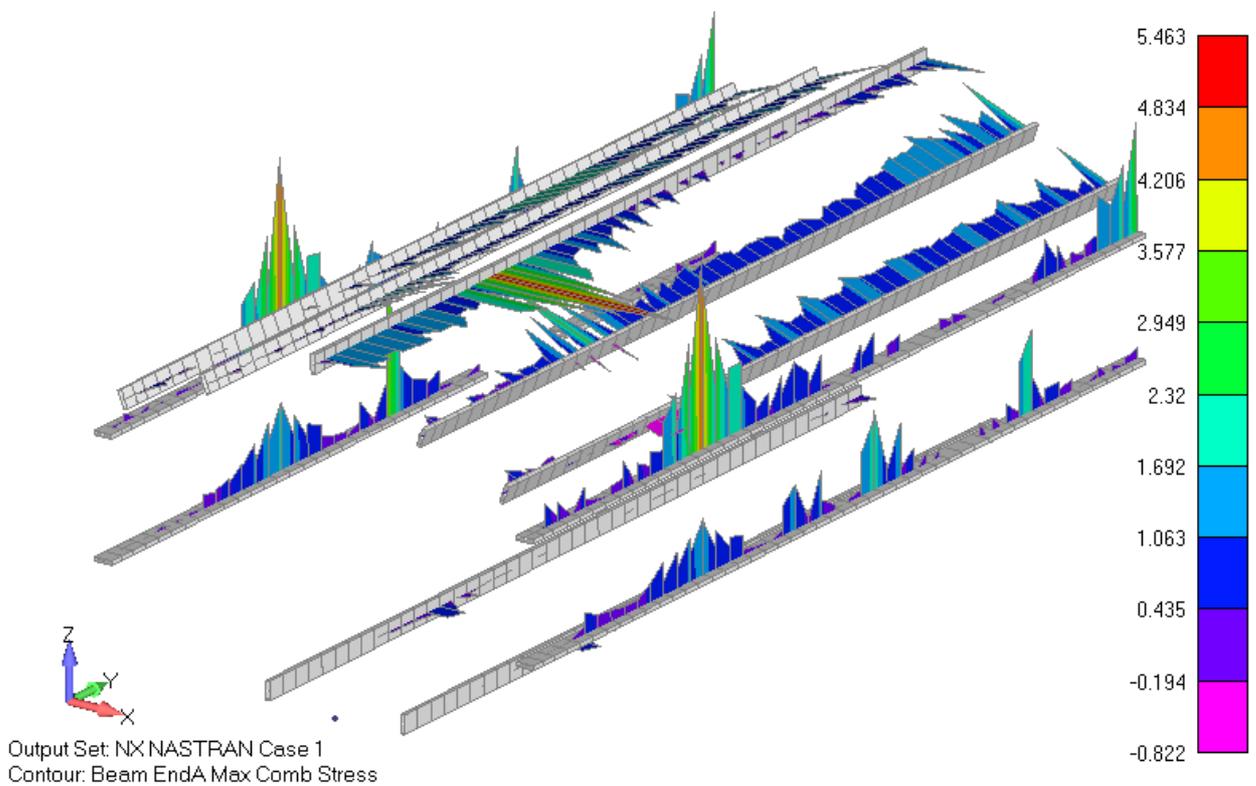


Рисунок 12. Основные сочетания. Максимальные напряжения в продольных балках, МПа.

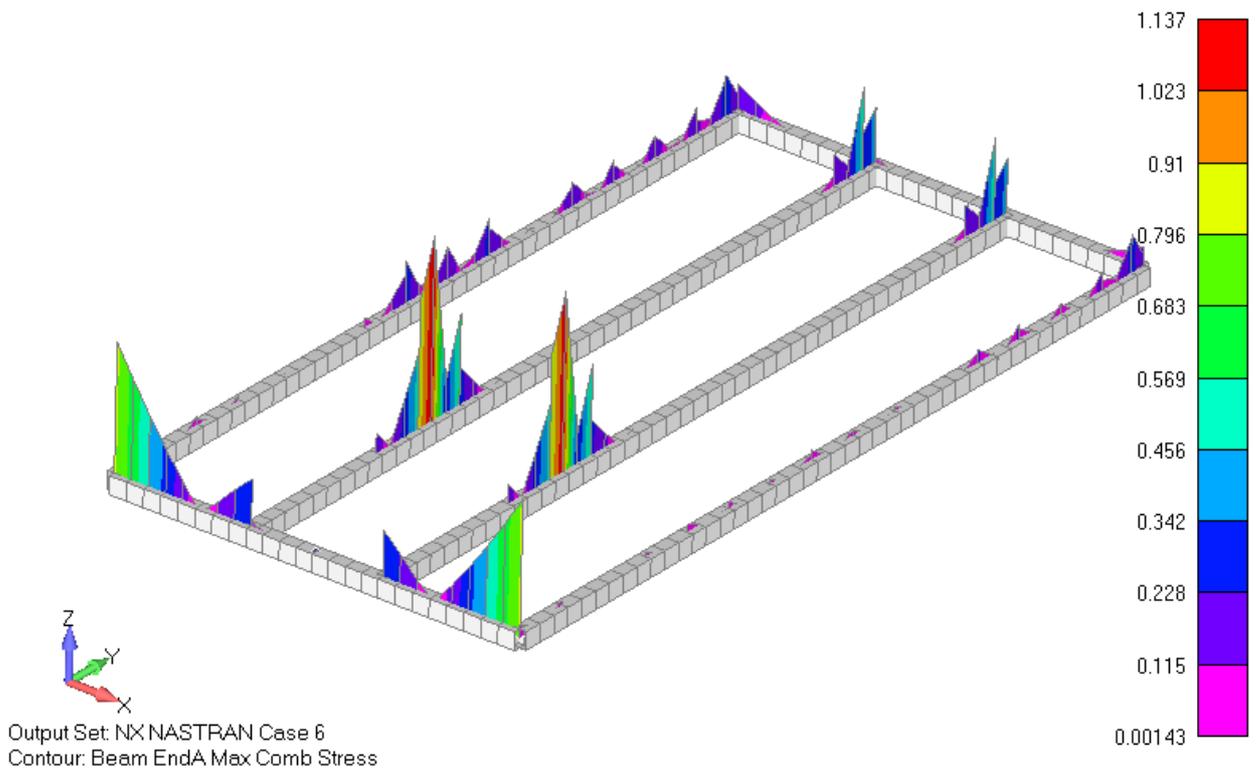


Рисунок 13. Основные сочетания. Максимальные напряжения в балках ростверка, МПа.

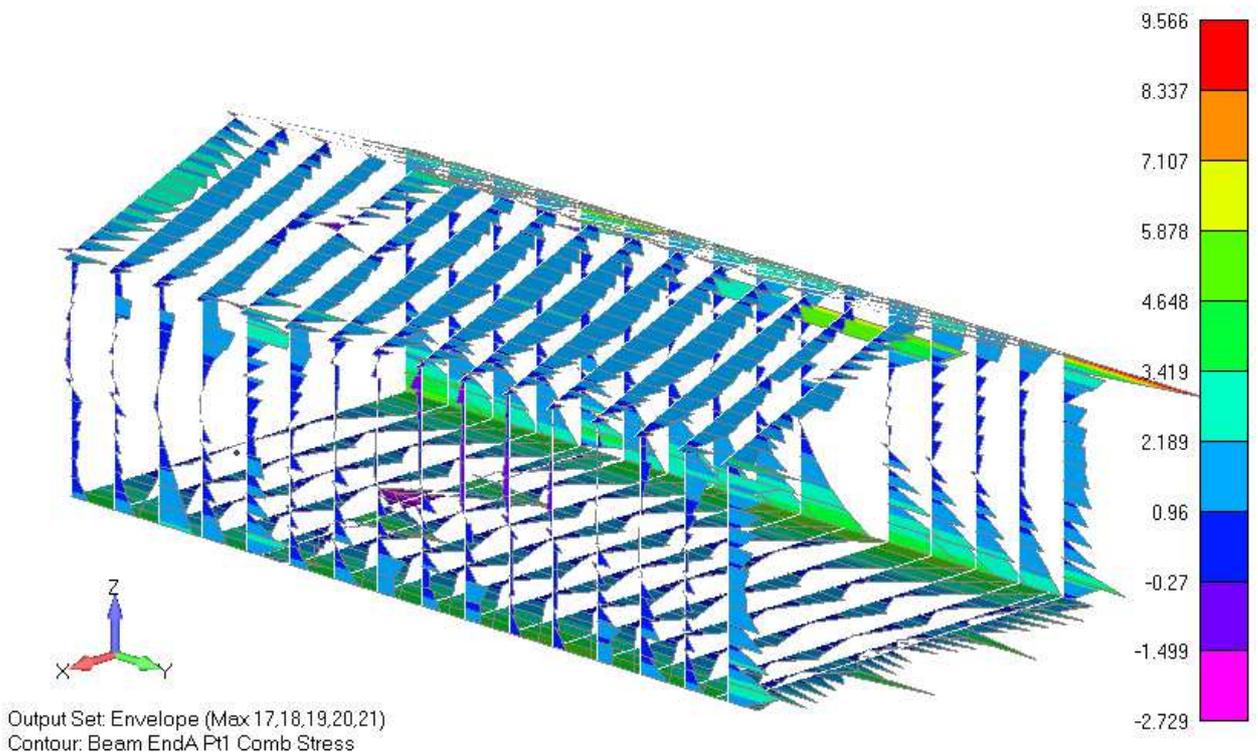


Рисунок 14. Особые сочетания. Максимальные напряжения в рамах, МПа. Огибающая по всем сочетаниям

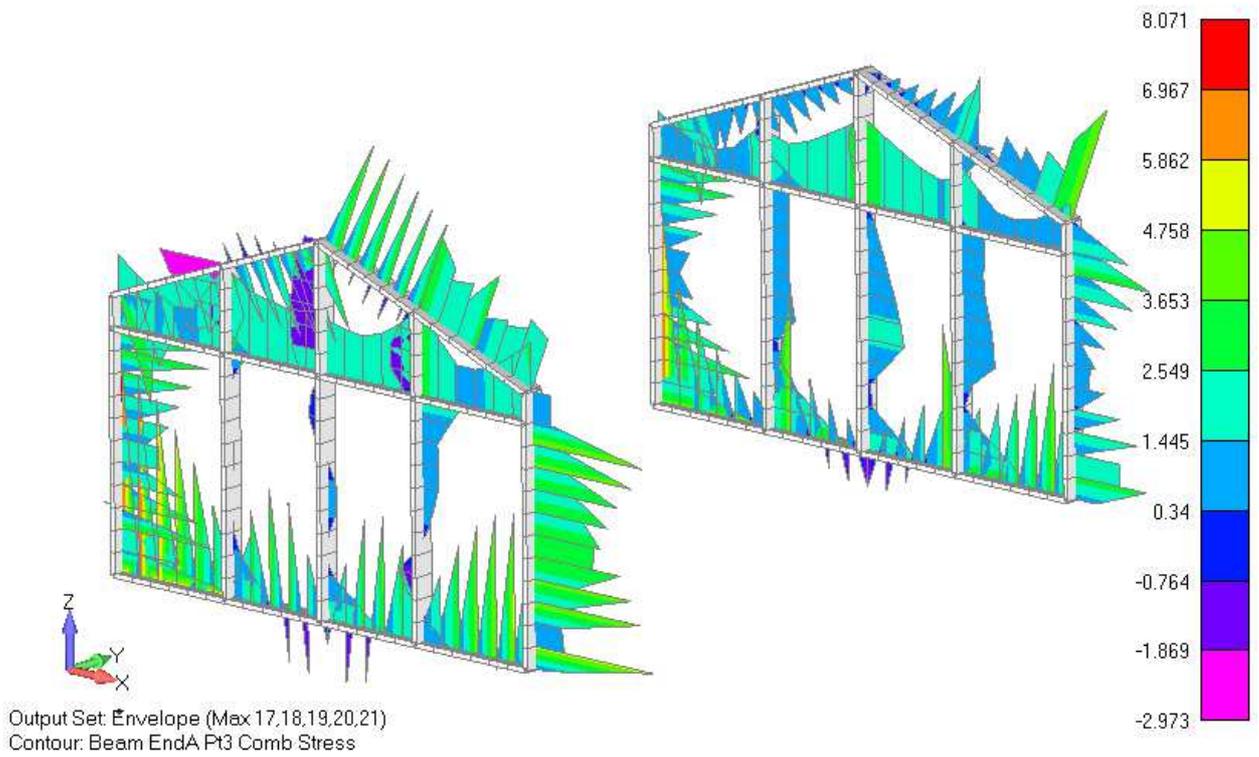


Рисунок 15. Особые сочетания. Максимальные напряжения в рамах фахверка, МПа.  
Огибающая по всем сочетаниям

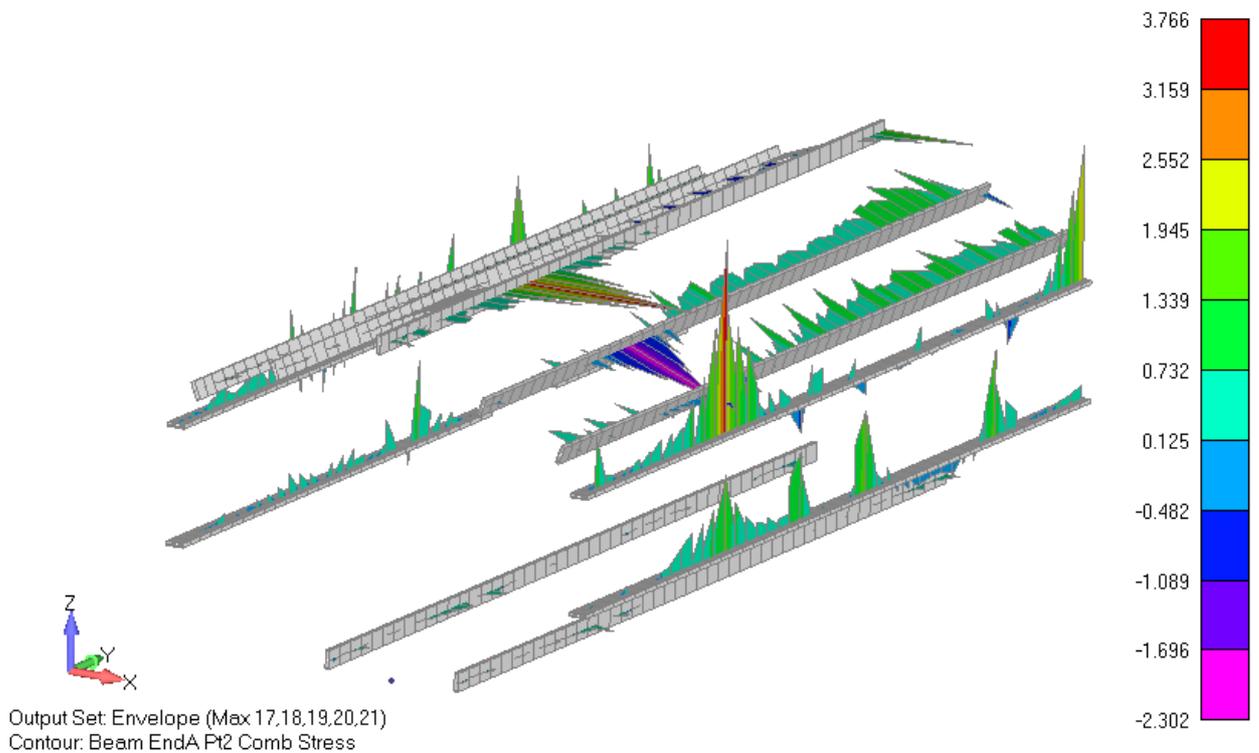


Рисунок 16. Особые сочетания. Максимальные напряжения в балках, МПа. Огибающая по всем сочетаниям

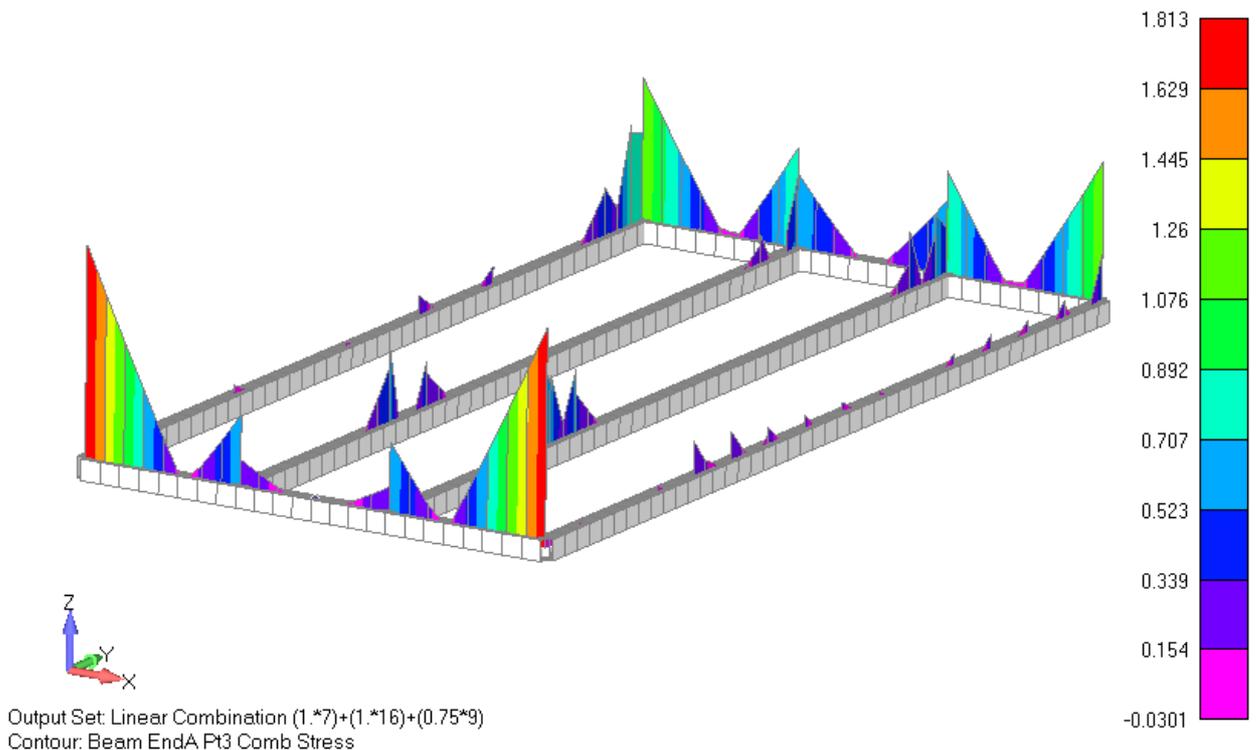


Рисунок 17. Особые сочетания. Максимальные напряжения в балках ростверка, МПа. Огибающая по всем сочетаниям

### 3. АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ

#### 3.1 Основные сочетания

Расчетные сопротивления при изгибе и сжатии:

- $R_{изг}^A = R_{сж}^A = 12.1$  МПа - при совместном действии постоянной и кратковременной нагрузки

Расчетные сопротивления при растяжении:

- $R_p^A = 7.6$  МПа - при совместном действии постоянной и кратковременной нагрузки

#### Рамы каркаса

Расчет ведем по наименьшему из допускаемых напряжений (в запас).

Наибольшие напряжения в элементах рам:  $\sigma_{max} = 6.59$  МПа, рис. 10,

- Коэффициент запаса  $R_p^A / \sigma_{max} = 7.6/6.59 = 1.15$
- Коэффициент использования материала  $\sigma_{max} / R_{изг}^A = 6.59/12.1 = 0.54$

#### Рамы фахверка

Наибольшие напряжения в элементах рам фахверка:  $\sigma_{max} = 8.36$  МПа вызываются изгибом, рис. 11,

- Коэффициент запаса  $R_{изг}^A / \sigma_{max} = 12.1/8.36 = 1.45$
- Коэффициент использования материала  $\sigma_{max} / R_{изг}^A = 8.36/12.1 = 0.69$ .

### Продольные балки

Наибольшие напряжения в продольных балках:  $\sigma_{\max} = 5.46$  МПа, рис. 12.

- Коэффициент запаса  $R_{изг}^A / \sigma_{\max} = 12.1/5.46 = \mathbf{2.22}$
- Коэффициент использования материала  $\sigma_{\max} / R_{изг}^A = 5.46/12.1 = \mathbf{0.45}$

### Балки ростверка

Наибольшие напряжения в балках ростверка:  $\sigma_{\max} = 1.14$  МПа, рис. 13.

- Коэффициент запаса  $R_{изг}^A / \sigma_{\max} = 12.1/1.14 > \mathbf{10.0}$
- Коэффициент использования материала  $\sigma_{\max} / R_{изг}^A = 1.14/12.1 < \mathbf{0.1}$

## 3.2 Особые сочетания

Расчетные сопротивления при изгибе и сжатии:

- $R_{изг}^A = R_{сж}^A = 16.9$  МПа - при совместном действии постоянной и сейсмической

Расчетные сопротивления при растяжении:

- $R_p^A = 10.6$  МПа - при совместном действии постоянной и сейсмической нагрузки

Расчет ведем по наименьшему из допускаемых напряжений -  $R_p^A = 10.6$  МПа (в запас).

### Рамы каркаса

Наибольшие напряжения в элементах рам:  $\sigma_{\max} = 9.57$  МПа, рис. 14,

- Коэффициент запаса  $R_p^A / \sigma_{\max} = 10.6/9.57 = \mathbf{1.10}$
- Коэффициент использования материала  $\sigma_{\max} / R_p^A = 9.57/10.6 = \mathbf{0.9}$

### Рамы фахверка

Наибольшие напряжения в элементах рам фахверка:  $\sigma_{\max} = 8.07$  МПа вызываются изгибом, рис. 15,

- Коэффициент запаса  $R_p^A / \sigma_{\max} = 10.6/8.07 = \mathbf{1.31}$
- Коэффициент использования материала  $\sigma_{\max} / R_p^A = 8.07/10.6 = \mathbf{0.76}$ .

### Продольные балки

Наибольшие напряжения в продольных балках:  $\sigma_{\max} = 3.77$  МПа, рис. 16.

- Коэффициент запаса  $R_p^A / \sigma_{\max} = 10.6/3.77 = \mathbf{2.81}$
- Коэффициент использования материала  $\sigma_{\max} / R_p^A = 3.77/10.6 = \mathbf{0.36}$ .

### Балки ростверка

Наибольшие напряжения в балках ростверка:  $\sigma_{\max} = 1.81$  МПа, рис. 17.

- Коэффициент запаса  $R_p^A / \sigma_{\max} = 10.6/1.81 = \mathbf{5.9}$
- Коэффициент использования материала  $\sigma_{\max} / R_p^A = 1.81/10.6 = \mathbf{0.17}$ .

#### 4. АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ

Коэффициент запаса потери устойчивости при сочетании нагрузок weight + load + snow\_left + snow\_right  $\eta=5.43$ , рис. 18

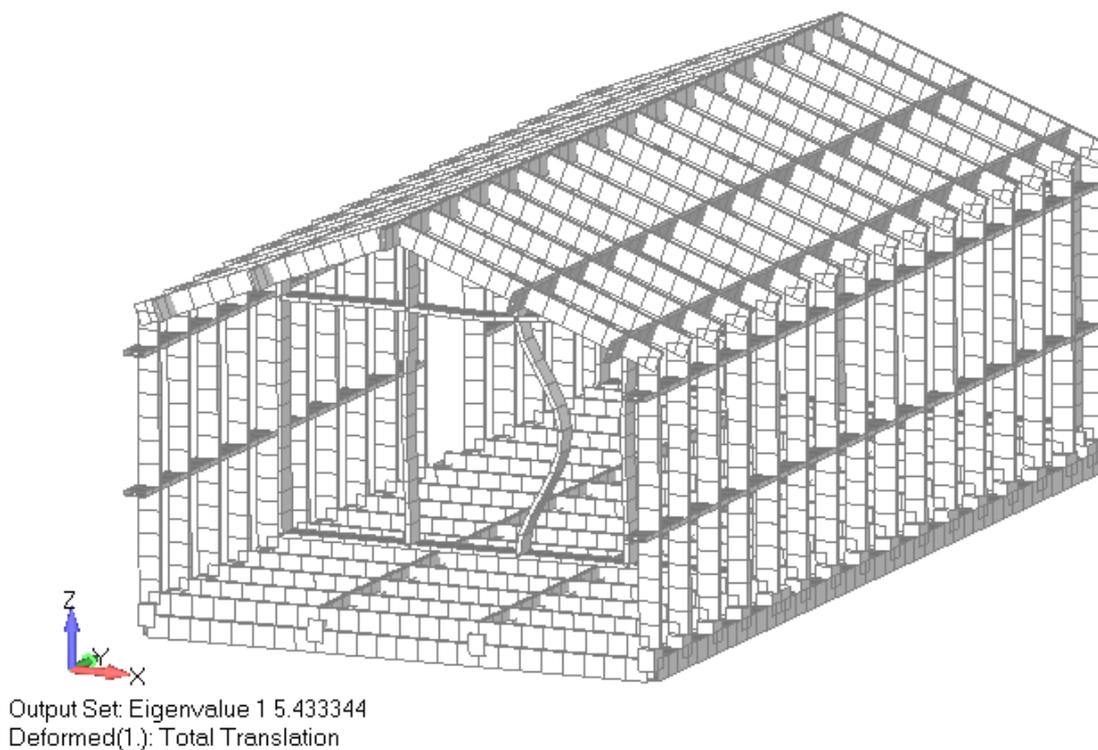


Рисунок 18. Форма потери устойчивости

#### 5. СВОДКА ЗАПАСОВ ПРОЧНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛА

Таблица 2

№ п/п	Наименование	Минимальный запас прочности, $\eta$	Максимальный коэффициент использования
1	Рамы каркаса	1.1	0.9
2	Рамы фахверка	1.31	0.76
3	Продольные балки	2.22	0.45
4	Балки ростверка	5.9	0.17
5	Общая потеря устойчивости	5.43	0.18

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет на экстремальные условия эксплуатации показал, что здание FINNA S 40 удовлетворяет требованиям строительных норм СП 64.13330.2017 "СНиП II-25-80. Деревянные конструкции" Требуемый запас прочности и устойчивости 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.

Также принята максимальная расчетная сейсмичность района - 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