

Технический отчет

Расчет несущей конструкции купольного здания “6 ЭКО”

Рычков С.П.

Самара 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	3
1. Исходные данные для расчёта	3
1.1 Общее описание	3
1.2 Единицы измерения	3
1.3 Сечение силовых элементов здания	3
1.4 Применяемые материалы	4
1.5 Условия статического нагружения	5
1.6 Сейсмические нагрузки	7
1.7 Расчетные сочетания нагрузок	8
Особые сочетания	9
2. Расчёт усилий в элементах конструкции	9
2.1 Конечно-элементная модель	9
2.2 Нагрузки и крепления	12
2.3 Результаты расчета	12
3. Анализ прочности	14
Балки каркаса	14
Распорки	14
4. Сводка запасов прочности и коэффициентов использования материала	15
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	15
Список использованных источников	15

ВВЕДЕНИЕ

Данный расчет выполнен для подтверждения соответствия характеристик прочности и устойчивости купольного здания “б ЭКО” требованиям строительных норм СП 64.13330.2017 “СНиП II-25-80. Деревянные конструкции”.

Цель работы:

- Построение конечно-элементной модели здания;
- Задание вариантов воздействий в соответствии с нормами СП 20.13330.2016. СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия»;
- Задание сейсмических вариантов воздействия в соответствии с СП 14.13330.2013. СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах;
- Выполнение расчетов устойчивости и напряженно-деформированного состояния на заданные варианты воздействий
- Формирование расчетных сочетаний усилий в соответствии с нормами СП 20.13330.2016;
- Определение запасов по прочности

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЁТА

1.1 Общее описание

Общий вид каркаса купольного здания “б ЭКО” приведен на рис. 1.

Каркас собирается из деревянных элементов – балок вдоль меридианов; и распорок вдоль параллелей, которые соединяются с помощью деревянных нагелей. Балки ростверка и балки пола также изготавливаются из дерева.

1.2 Единицы измерения

В данном расчете применяются следующие единицы измерения:

- Сила – Н;
- Длина – мм;
- Давление, напряжение – МПа;

1.3 Сечение силовых элементов здания

Балки, распорки, балки пола и ростверка изготавливаются из сосновой доски сечением 40x140 мм. Материал обшивки - OSB 12 мм.

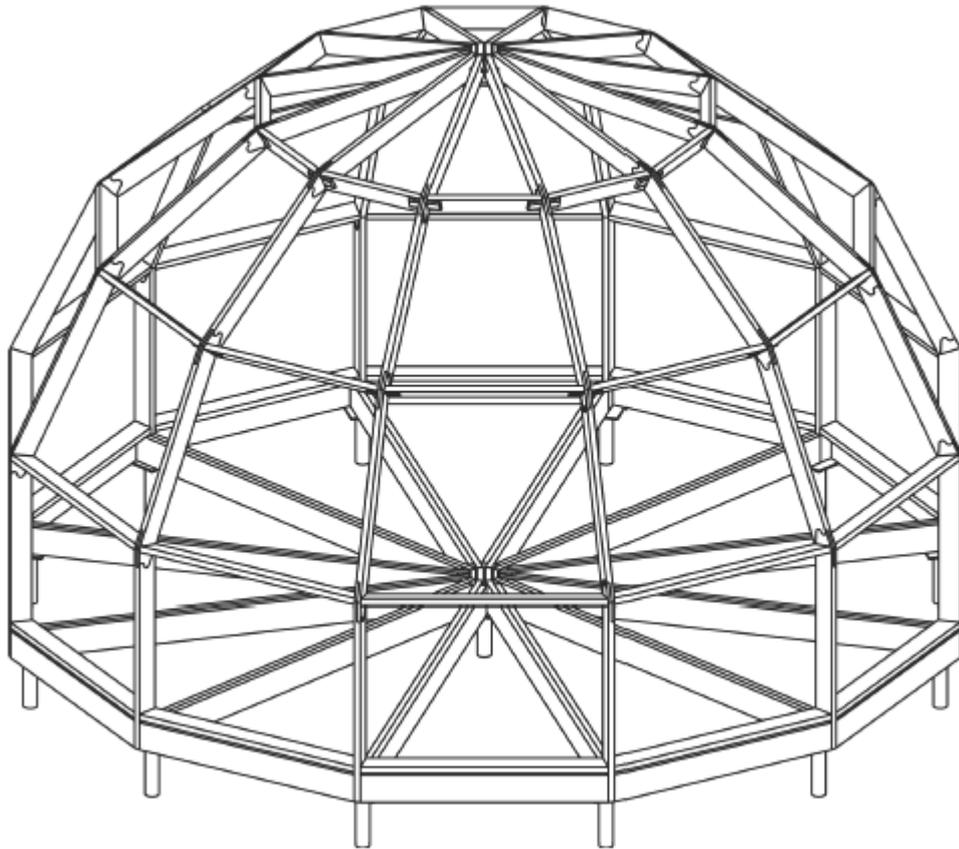


Рисунок 1. Купольное здание “6 ЭКО”

1.4 Применяемые материалы

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;
- $m_t = 1.0$;

- $m_{cl} = 1.0$ по табл. 11;
- $m_{cc} = 0.85$ по табл. 13 (в запас);

$$Pm_i = m_b \cdot m_t \cdot m \cdot m_{cc} = 0.9 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 0.85 = 0.765$$

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

1.5 Условия статического нагружения

Расчет выполняется статических воздействий, на основе которых формируются расчетные сочетания воздействий.

1. Собственный вес здания (**Weight**), постоянное воздействие.

Масса конструкций здания 2560 кг. Нагрузки от собственного веса задаются ускорением вдоль вертикальной оси $a = 9810$ мм/сек².

$$\gamma_f = 1.05 \text{ – коэффициент надежности по нагрузке.}$$

2. Снеговая нагрузка, кратковременное нагружение;

Нормативное значение снеговой нагрузки, п.10 [2]

$$S_0 = 0.7 \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g$$

Здесь

$$c_e = 0.85 \text{ – коэффициент сноса снега для купольных зданий;}$$

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

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

$$S_g = 5.6 \text{ кН/м}^2 \text{ – вес снегового покрова на } 1 \text{ м}^2 \text{ для снегового района VIII.}$$

Расчетное значение снеговой нагрузки:

$$S = S_0 \cdot \gamma_f,$$

$$\gamma_f = 1.4 \text{ – коэффициент надежности по снеговой нагрузке}$$

Распределение снеговой нагрузки на куполе принимается в трех вариантах в соответствии с Г.13 [2], рис. 3. После предварительных расчетов в рассмотрении оставлено два варианта **Snow 1** и **Snow 2**

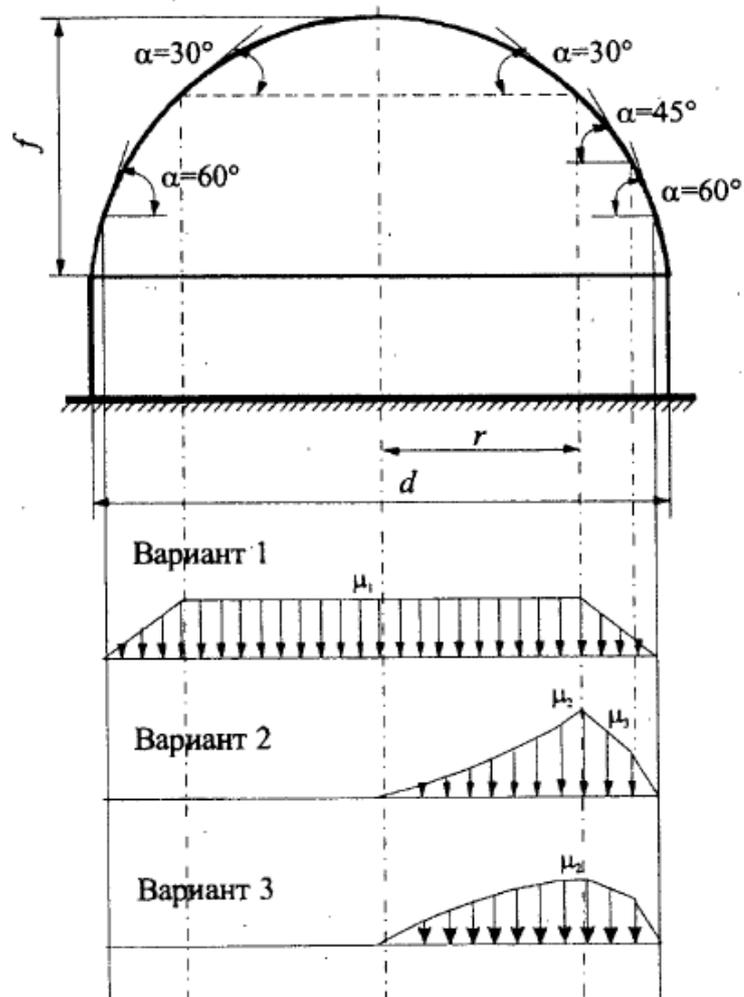


Рисунок 2. Варианты распределения снеговой нагрузки, действующей на купол здания, кН/м^2

3. Ветровая нагрузка (**Wind**), кратковременное загрузеие:

- Нормативное значение ветровой нагрузки принимается по п.11 [2] для ветрового района VII.
- Удельная нормативная ветровая нагрузка
- $w_0 = 0.85 \text{ кПа}$
- $\gamma_f = 1.4$ – коэффициент надежности по ветровой нагрузке.
- Распределение ветровой нагрузки на куполе показано на рис. 4.

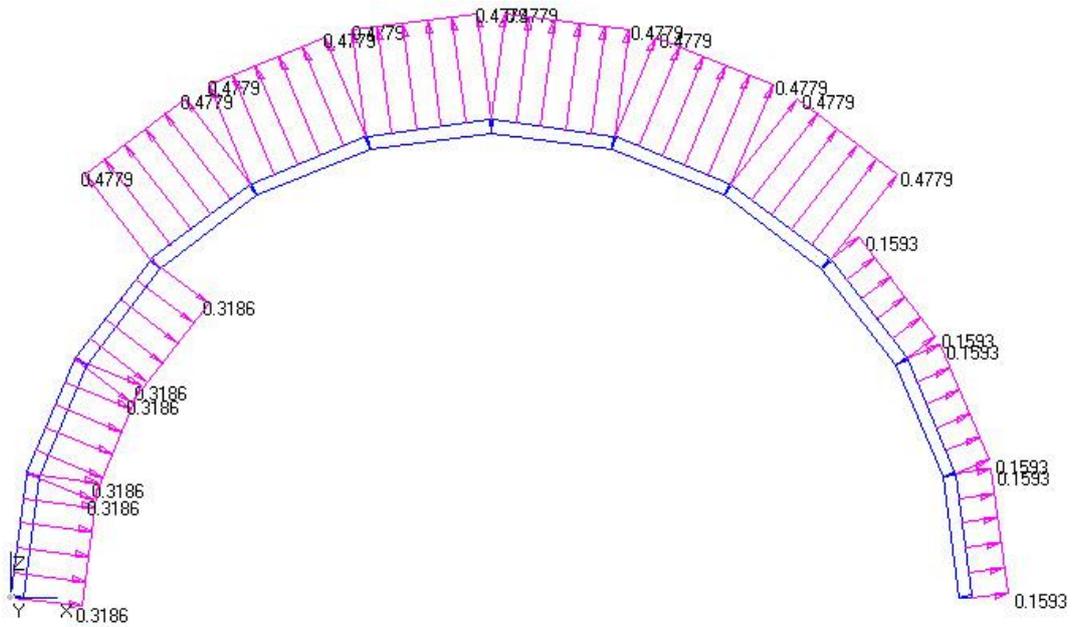


Рисунок 3. Расчетная ветровая нагрузка, действующая на купол здания, кН/м²

1.6 Сейсмические нагрузки

- Горизонтальное воздействие по оси X (**Quake X**)
- Вертикальное воздействие по оси Y (**Quake Y**)
- Горизонтальное воздействие по оси Z (**Quake Z**)

Параметры сейсмической нагрузки принимаются максимально тяжелыми, что идет в запас:

- Расчетная сейсмичность района: 9 баллов;
- Категория грунта III;
- Расчетная сейсмичность площадки строительства: 10 баллов;

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:

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

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.

- $A = 8 \text{ м/сек}^2$ - значение ускорения в уровне основания;

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, рисунок 5.

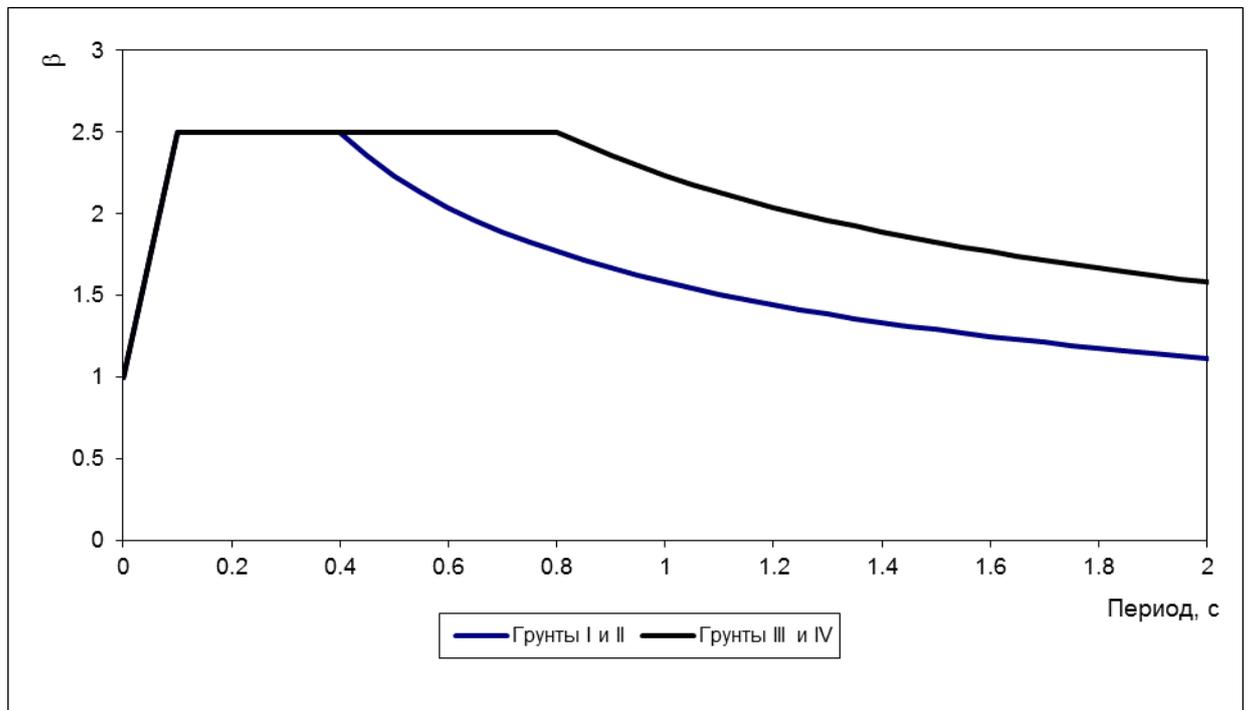


Рисунок 4. Спектрограмма коэффициентов динамичности

1.7 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 + Wind
2. Weight + Snow 1
3. Weight + Snow 2
4. Weight + Wind + 0.9 * Snow 1
5. Weight + Wind + 0.9 * Snow 2
6. Weight + Snow 1 + 0.9 * Wind
7. Weight + Snow 2 + 0.9 * Wind

Особые сочетания

1. Quake X + 0.9*Weight + 0.5*Snow 1
2. Quake X + 0.9*Weight + 0.5*Snow 2
3. Quake Y + 0.9*Weight + 0.5*Snow 1
4. Quake Y + 0.9*Weight + 0.5*Snow 2
5. Quake Z + 0.9*Weight + 0.5*Snow 1
6. Quake Z + 0.9*Weight + 0.5*Snow 2
7. Quake X + 0.75*Quake Y + 0.9*Weight + 0.5*Snow 1
8. Quake X + 0.75*Quake Y + 0.9*Weight + 0.5*Snow 2
9. Quake Z + 0.75*Quake Y + 0.9*Weight + 0.5*Snow 1
10. Quake Z + 0.75*Quake Y + 0.9*Weight + 0.5*Snow 2

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 "6 ЭКО" показана на рис. 7-8.

Балки и распорки каркаса, стойки и балки пола моделируются элементами типа *Beam* соответствующего сечения. Узлы стыка балок и распорок полагаются шарнирными.

Обшивка кровли и покрытие пола моделируются элементами *Plate* с малой изгибной жесткостью.

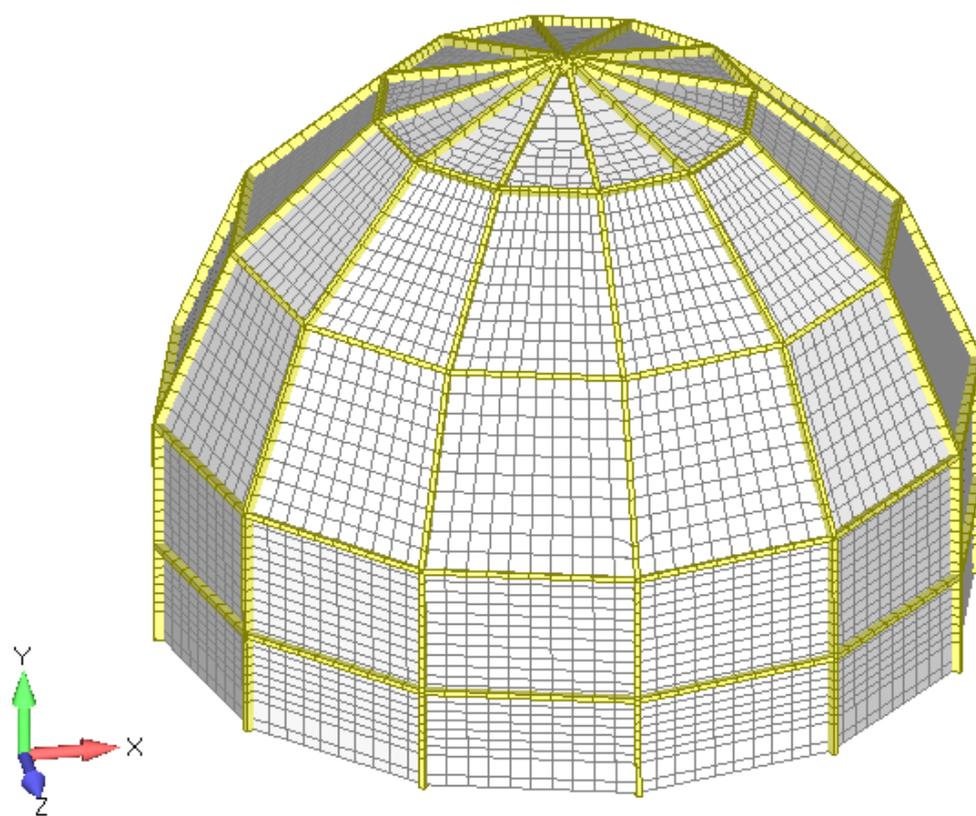


Рисунок 5. Конечно-элементная модель “6 ЭКО”

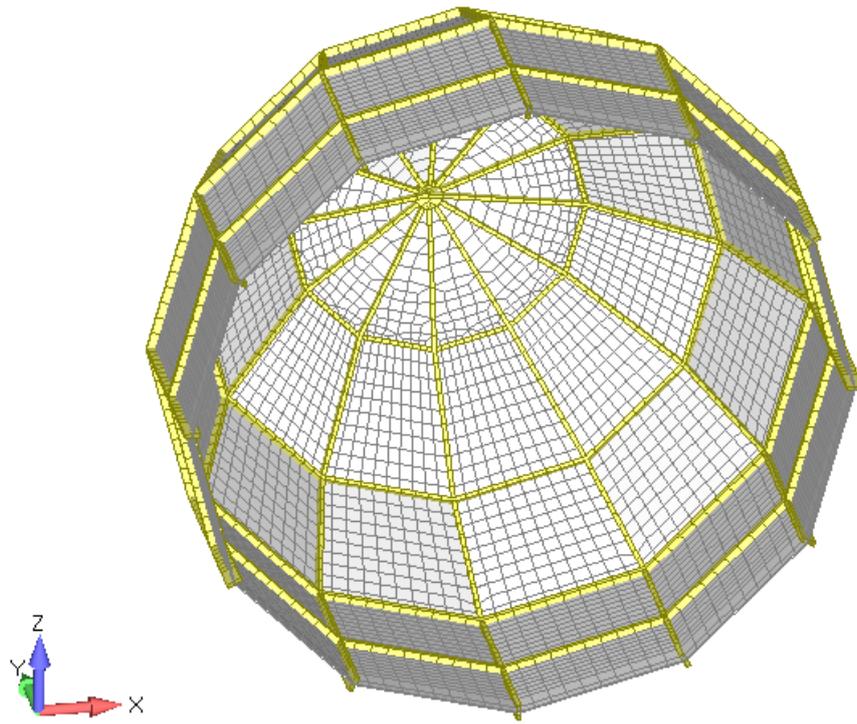


Рисунок 6. Конечно-элементная модель "6 ЭКО"

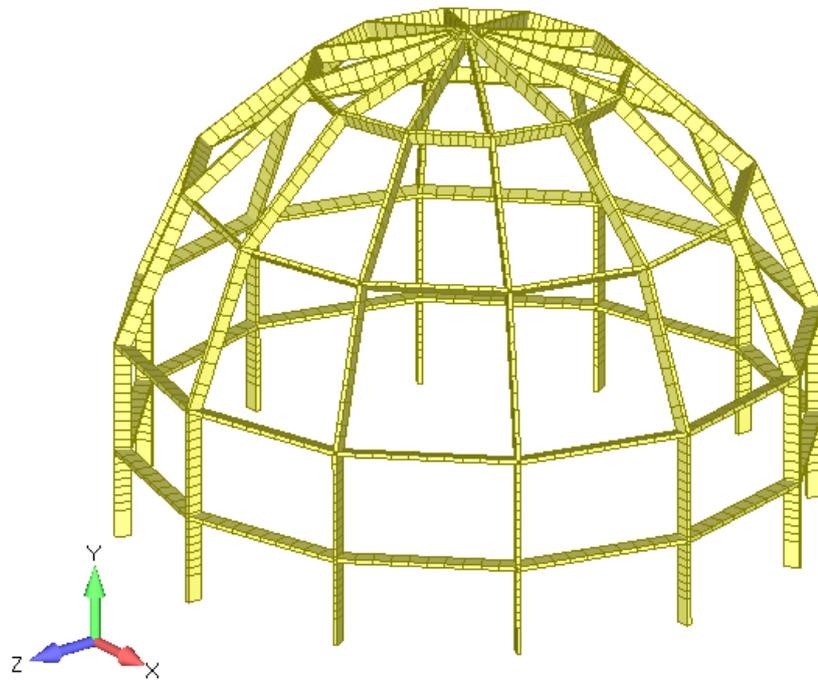


Рисунок 7. Конечно-элементная модель, каркас "6 ЭКО"

2.2 Нагрузки и закрепления

Статические нагрузки от веса **Weight** задаются в виде ускорения $g=9810 \text{ мм/с}^2$ по оси координат Z. Нагрузки **Snow_1**, **Snow_2** и **Wind** задаются в виде сил, распределенных по площади.

Сейсмические нагрузки задаются спектрограммой коэффициентов динамичности, см. рис. 4, амплитудой A и коэффициентами K_0, K_1, K_ψ .

Здание шарнирно закрепляется в точках опирания на сваи.

2.3 Результаты расчета

Результаты расчета, используемые для анализа прочности отдельных конструктивных элементов, показаны на рисунках 8-14.

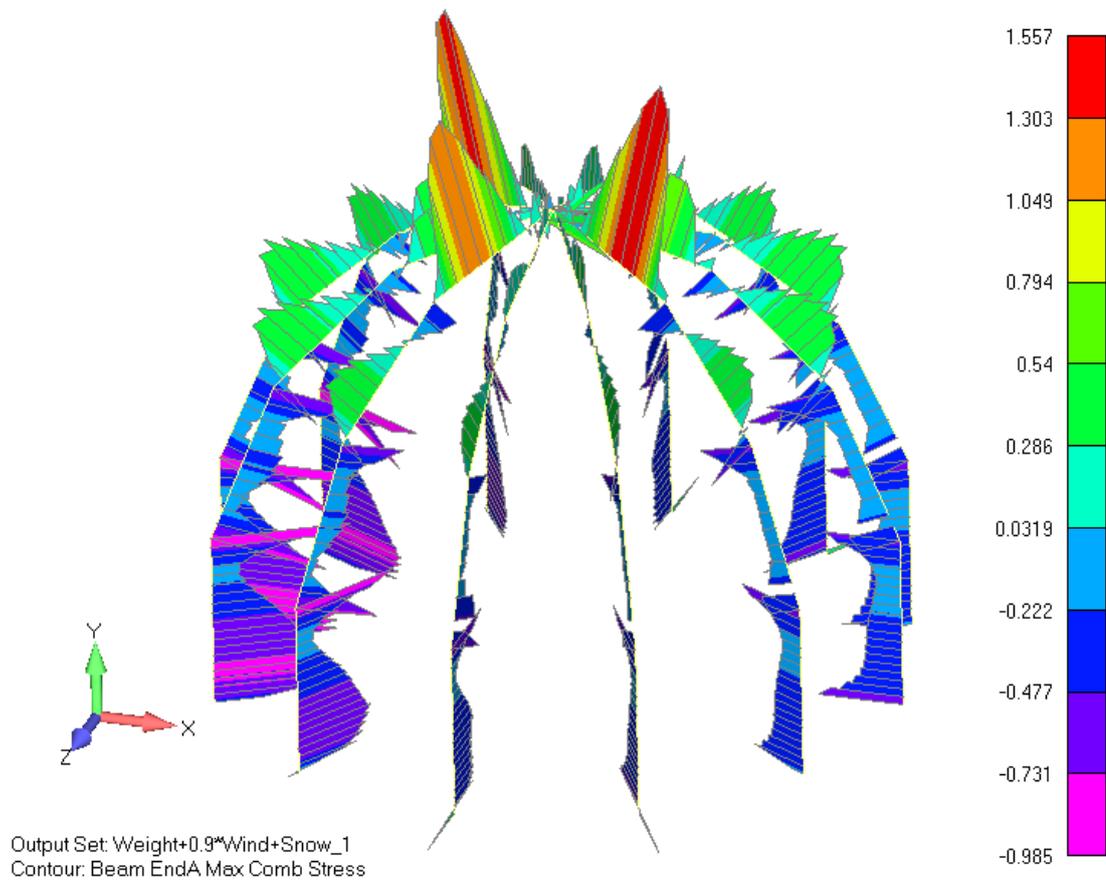


Рисунок 8. Сочетание 1. Максимальные напряжения растяжения в балках каркаса, МПа.

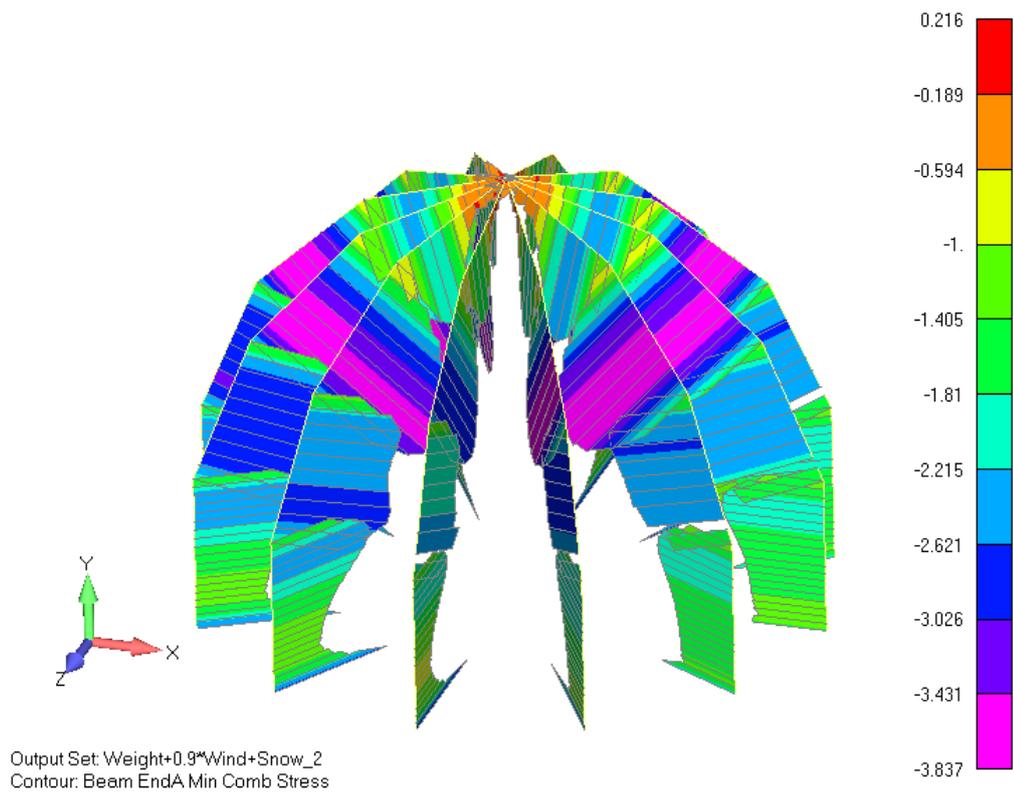


Рисунок 9. Сочетание 5. Максимальные напряжения сжатия в балках каркаса, МПа.

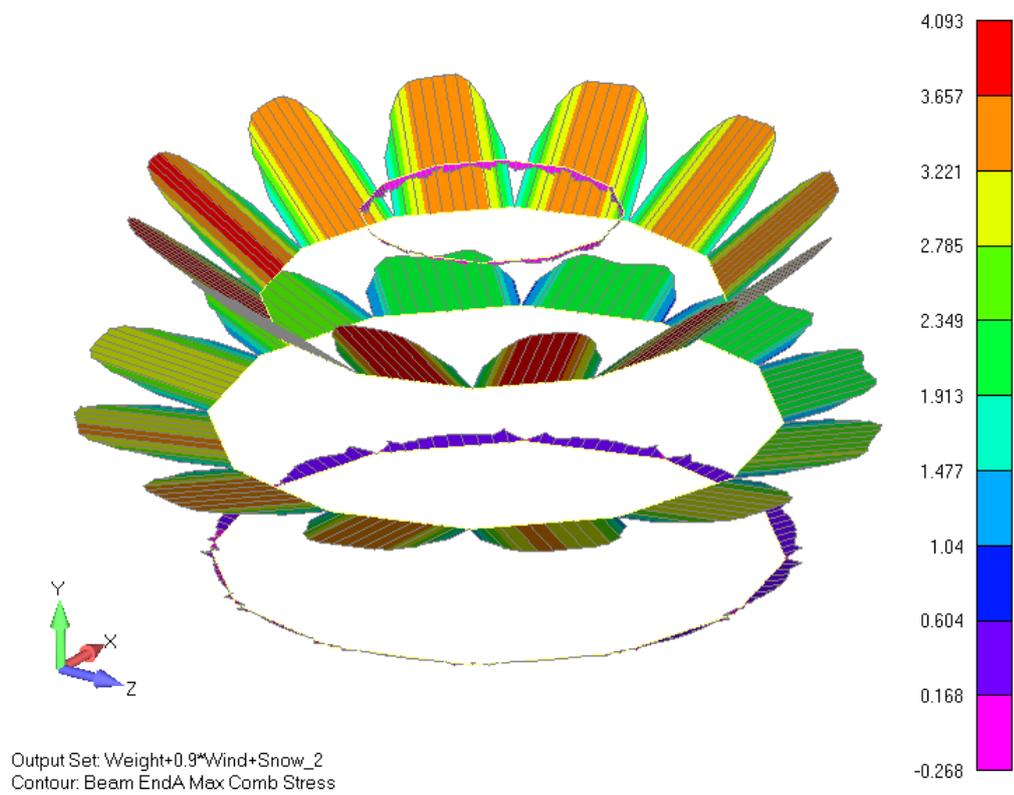
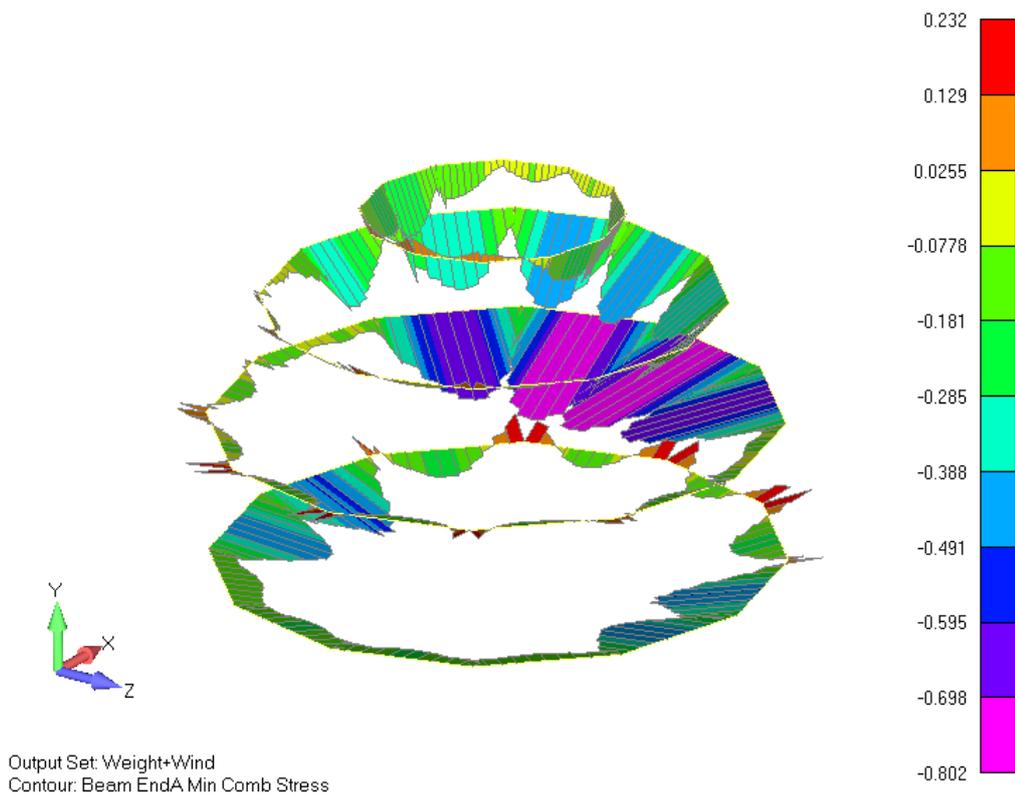


Рисунок 10. Сочетание 7. Максимальные напряжения растяжения в распорках, МПа.



*Рисунок 11. Сочетание 5. Максимальные напряжения сжатия в распорках, МПа.

3. АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ

Балки каркаса

Наибольшие напряжения в балках:

- сжатия - $\sigma_{comp} = 3.837$ МПа, рис. 9.
- растяжения - $\sigma_{tens} = 1.557$ МПа, рис. 8.
- минимальный коэффициент запаса $R_p^A / \sigma_{max} = 7.6/3.837 = 1.98$
- максимальный коэффициент использования материала $\sigma_{max} / R_p^A = 1.557/7.6 = 0.50$

Распорки

Наибольшие напряжения в распорках:

- сжатия - $\sigma_{comp} = 0.802$ МПа, рис. 10.
- растяжения - $\sigma_{tens} = 4.093$ МПа, рис. 11.
- минимальный коэффициент запаса $R_p^A / \sigma_{max} = 7.6/4.093 = 1.86$
- максимальный коэффициент использования материала $\sigma_{max} / R_p^A = 4.093/7.6 = 0.54$

4. СВОДКА ЗАПАСОВ ПРОЧНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛА

Таблица 1

№ п/п	Наименование	Максимальное напряжение растяжения, МПа	Максимальное напряжение сжатия, МПа	Минимальный запас прочности, η	Максимальный коэффициент использования
1	Балки каркаса	1.557	3.837	1.98	0.50
2	Распорки	4.093	0.802	1.86	0.54

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет на экстремальные условия эксплуатации показал, что здание "6 ЭКО" с сечением балок 40*140 мм 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 полезная и снеговые 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