

Технический отчет

Расчет несущей конструкции купольного здания Z14

[Рычков С. П.](#)

Самара 2017



DOBROSFERA
ДОМЕ HOME

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.	Исходные данные для расчёта.....	3
1.1	Общее описание.....	3
1.2	Применяемые материалы и ссылочные данные.....	5
1.3	Единицы измерения.....	5
1.4	Условия нагружения.....	6
	Статические нагрузки.....	6
	Сейсмические нагрузки.....	8
1.5	Расчетные сочетания нагрузок.....	9
	Основные сочетания.....	10
	Особые сочетания.....	10
2.	Расчёт усилий в элементах конструкции.....	10
2.1	Конечно-элементная модель.....	10
2.2	Нагрузки и закрепления.....	14
2.3	Результаты расчета.....	14
3.	Анализ прочности.....	25
3.1	Основные сочетания.....	25
	Балки каркаса.....	25
	Распорки.....	26
	Балки пола.....	26
3.2	Особые сочетания.....	26
	Балки каркаса.....	26
	Распорки.....	26
	Балки пола.....	27
4.	Анализ устойчивости.....	27
5.	Сводка запасов прочности и коэффициентов использования материала.....	28
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	28
	Список использованных источников.....	28



ВВЕДЕНИЕ

Данный расчет выполнен для подтверждения соответствия характеристик прочности и устойчивости купольного здания Z14 требованиям строительных норм СП 64.13330.2017 “СНиП II-25-80. Деревянные конструкции”.

Цель работы:

- Задание нагрузений в соответствии с нормами СНиП;
- Построение конечно-элементных моделей проектируемых зданий;
- Выполнение расчетов устойчивости и напряженно-деформированного состояния на заданные загрузкиения;
- Формирование расчетных сочетаний усилий в соответствии с нормами СНиП;
- Определение запасов по прочности.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЁТА

1.1 Общее описание

Общий вид каркаса купольного здания Z14 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.



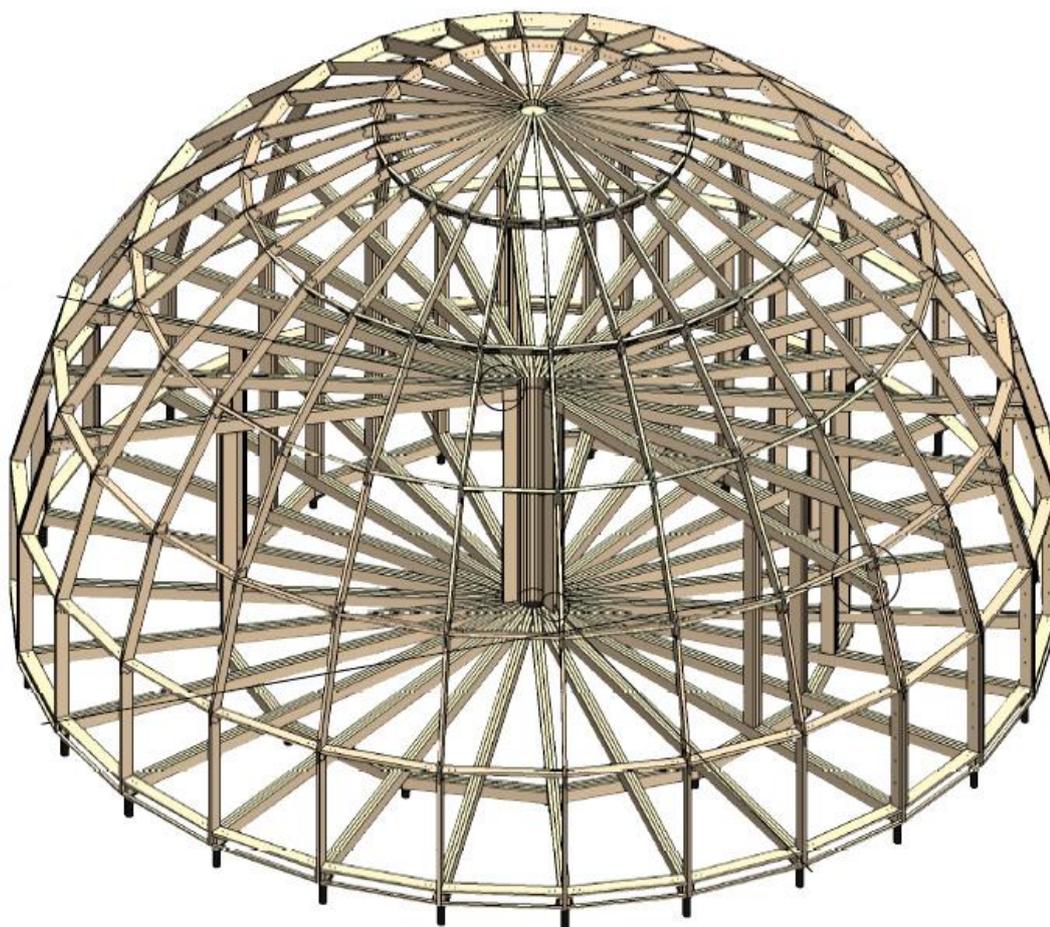


Рисунок 1. Каркас купольного здания Z14

Таблица 1. Весовые данные установки здания Z14

№	Наименование	Вес одной единицы, кгс	Количество	Вес, кгс
1	Каркас	600	8 м3	4800
2	Обшивка	36.6	182 листа	6661
3	Нагели	200	1	200
4	Метизы	400	1	400
5	Кровля	11	435 м2	4785
6	Подкровельный ковер	1000	1	1000
	ИТОГО			17846



1.2 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]

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

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

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

Коэффициенты условий работы п.6.9 [1]:

- $m_b = 0.9$ по табл. 9;
- $m_t = 1.0$;
- $m_{\text{сл}} = 1.0$ по табл. 11;
- $m_{\text{сс}} = 0.85$ по табл. 13 (в запас);

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

Расчетные сопротивления при изгибе и сжатии:

- $R_u^A = R_{сж}^A = 24 \cdot 0.66 \cdot 0.765 = 12.1$ МПа - при совместном действии постоянной и кратковременной снеговой нагрузки;
- $R_u^A = R_{сж}^A = 24 \cdot 0.92 \cdot 0.765 = 16.9$ 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 длительной временной нагрузки;
- $R_p^A = 15 \cdot 0.92 \cdot 0.765 = 10.6$ МПа - при совместном действии постоянной и сейсмической нагрузки.

1.3 Единицы измерения

В данном расчете применяются следующие единицы измерения:



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

1.4 Условия нагружения

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

Статические нагрузки

Собственный вес здания (**Weight**), постоянное нагружение.

Нагрузки от собственного веса задаются ускорением вдоль вертикальной оси $a = 9810$ мм/сек²

Вес нагрузки на балки пола второго этажа (**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;
- $\gamma_f = 1.3$ – коэффициент надежности по нагрузке.

Снеговая нагрузка (**Snow**), 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

- $c_e = 0.85$ – коэффициент сноса снега для купольных зданий;
- $c_t = 1.0$ – термический коэффициент;
- μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый в соответствии с 10.4 [2];
- $S_g = 5.6$ кН/м² – вес снегового покрова на 1 м² для снегового района VIII.

Расчетное значение снеговой нагрузки:

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

- $\gamma_f = 1.4$ – коэффициент надежности по снеговой нагрузке

Распределение снеговой нагрузки на куполе показано на рис. 2.



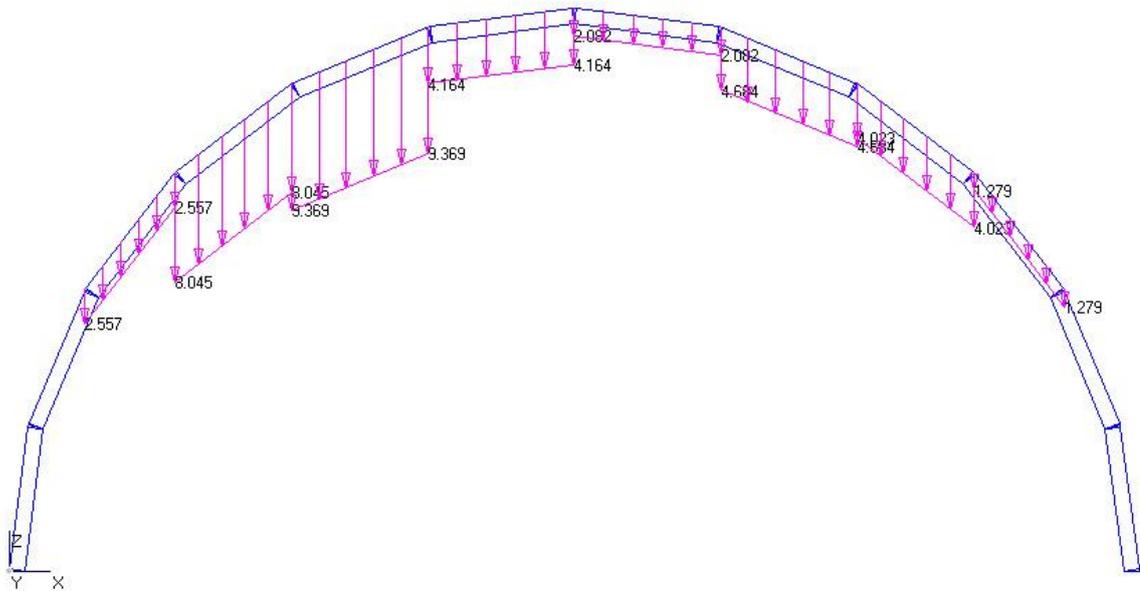


Рисунок 2. Расчетная снеговая нагрузка (снег слева), действующая на купол здания, кН/м²

Ветровая нагрузка (**Wind**), кратковременное нагружение:

Нормативное значение ветровой нагрузки принимается по п.11 [2] для ветрового района VII.

Удельная нормативная ветровая нагрузка

- $w_0 = 0.85$ кПа;
- $\gamma_f = 1.4$ – коэффициент надежности по ветровой нагрузке.

Распределение ветровой нагрузки на куполе показано на рис. 3.



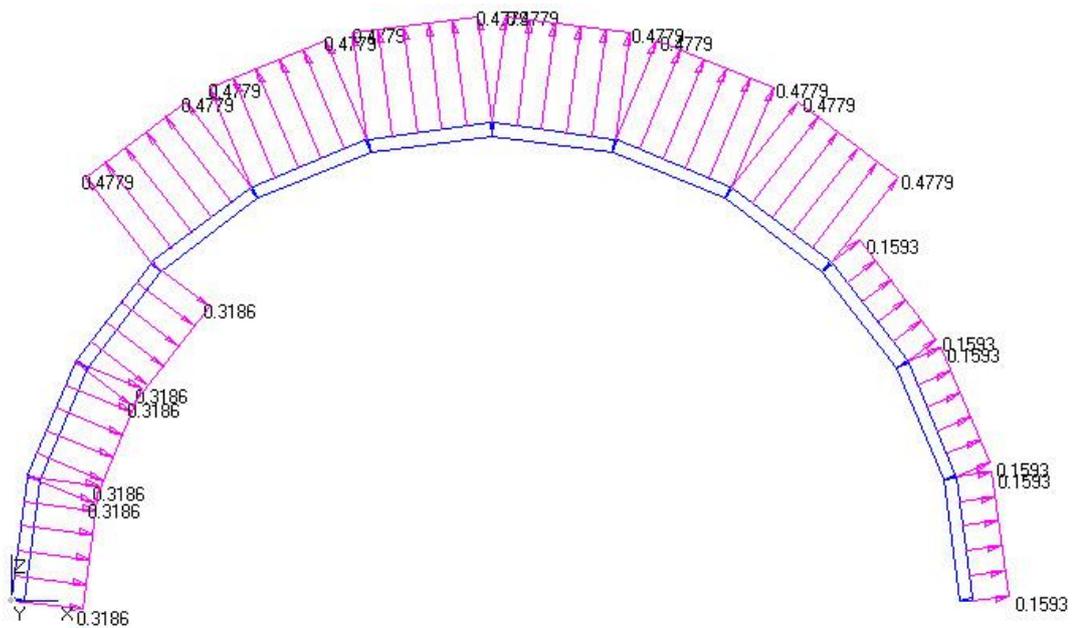


Рисунок 3. Расчетная ветровая нагрузка (ветер слева), действующая на купол здания, кН/м²

Сейсмические нагрузки

Горизонтальное воздействие (**Quake X**).

Вертикальное воздействие (**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 4.

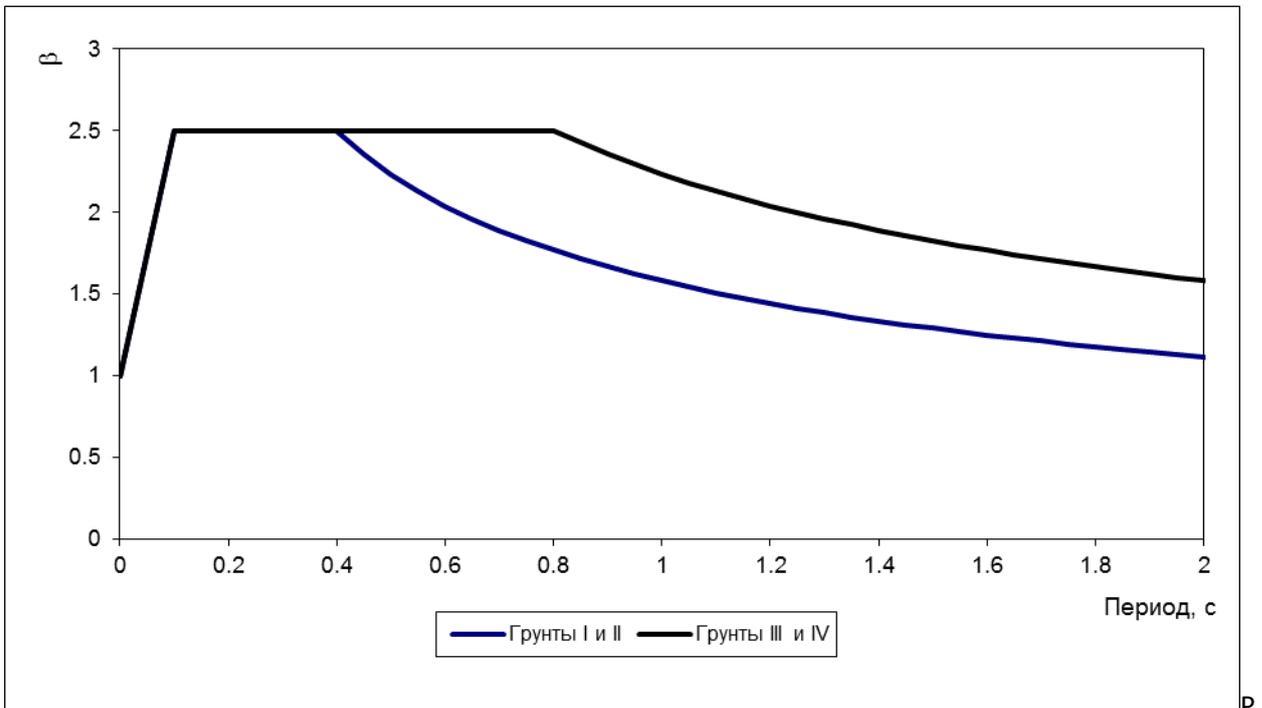


Рисунок 4. Спектрограмма коэффициентов динамичности

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
2. Weight + Load + Snow + 0.9*Wind
3. Weight + Load + 0.9*Snow + Wind

Особые сочетания

1. Quake X + 0.9*Weight + 0.8*Load + 0.5*Snow
2. Quake Z + 0.9*Weight + 0.8*Load + 0.5*Snow
3. Quake X + 0.75*Quake Z + 0.9*Weight + 0.8*Load + 0.5*Snow

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 Z14 показана на рис. 5-8.

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.



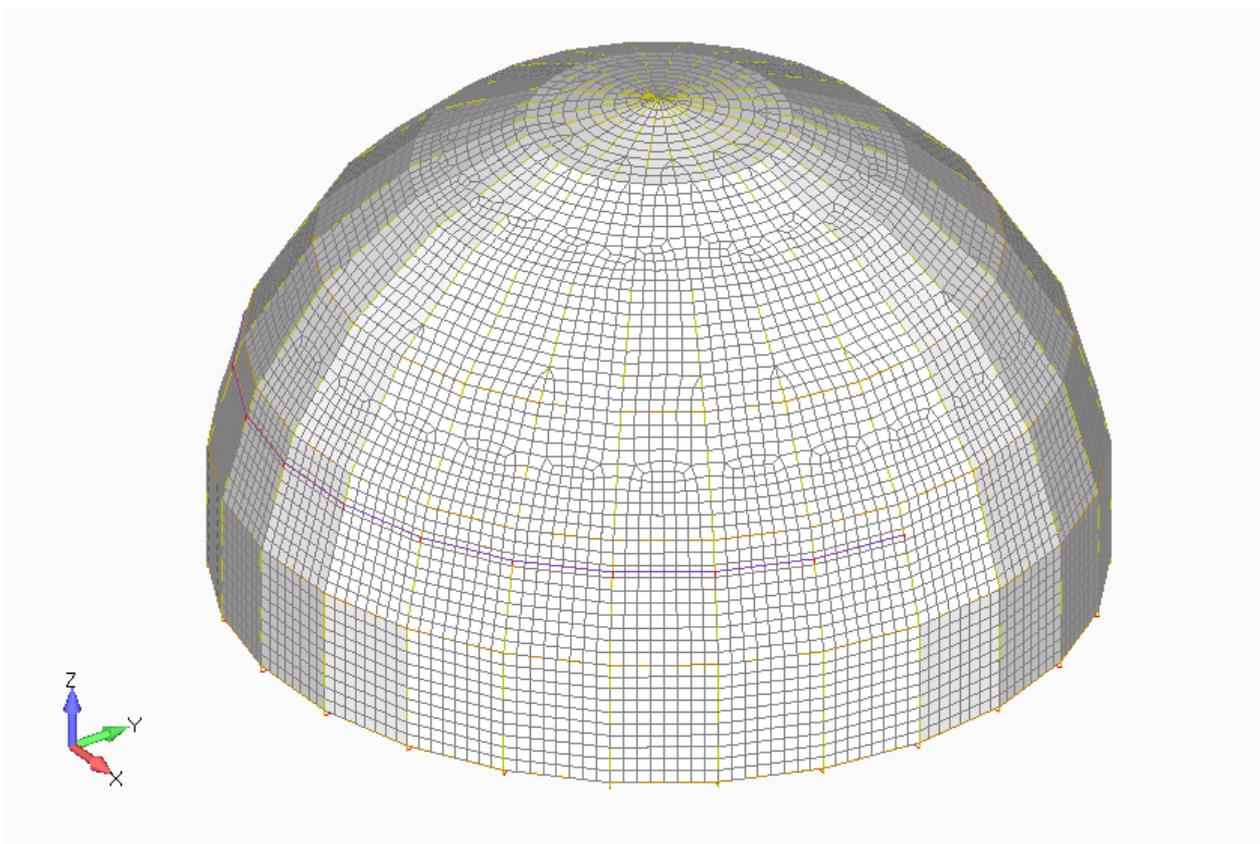


Рисунок 5. Конечно-элементная модель Z14



DOBROSFERA
DOME HOME

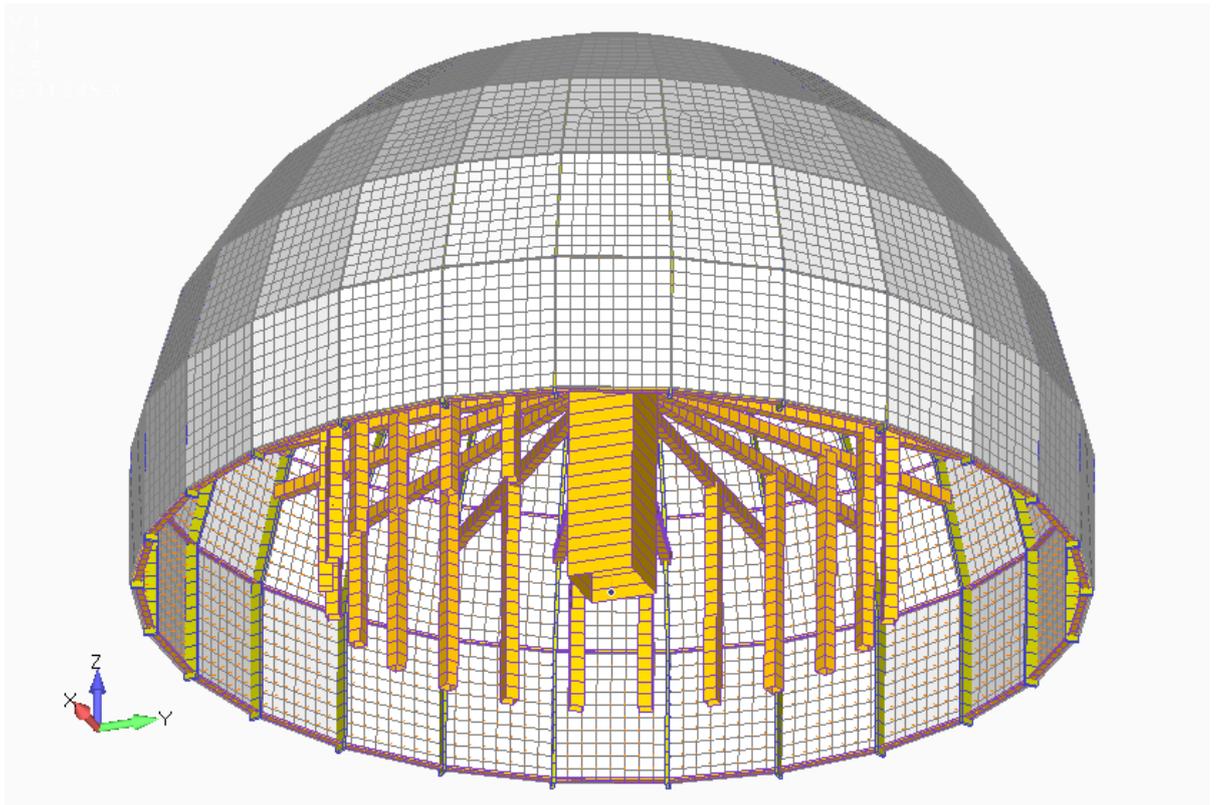


Рисунок 6. Конечно-элементная модель Z14 (пол второго этажа не показан)



DOBROSFERA
DOME HOME

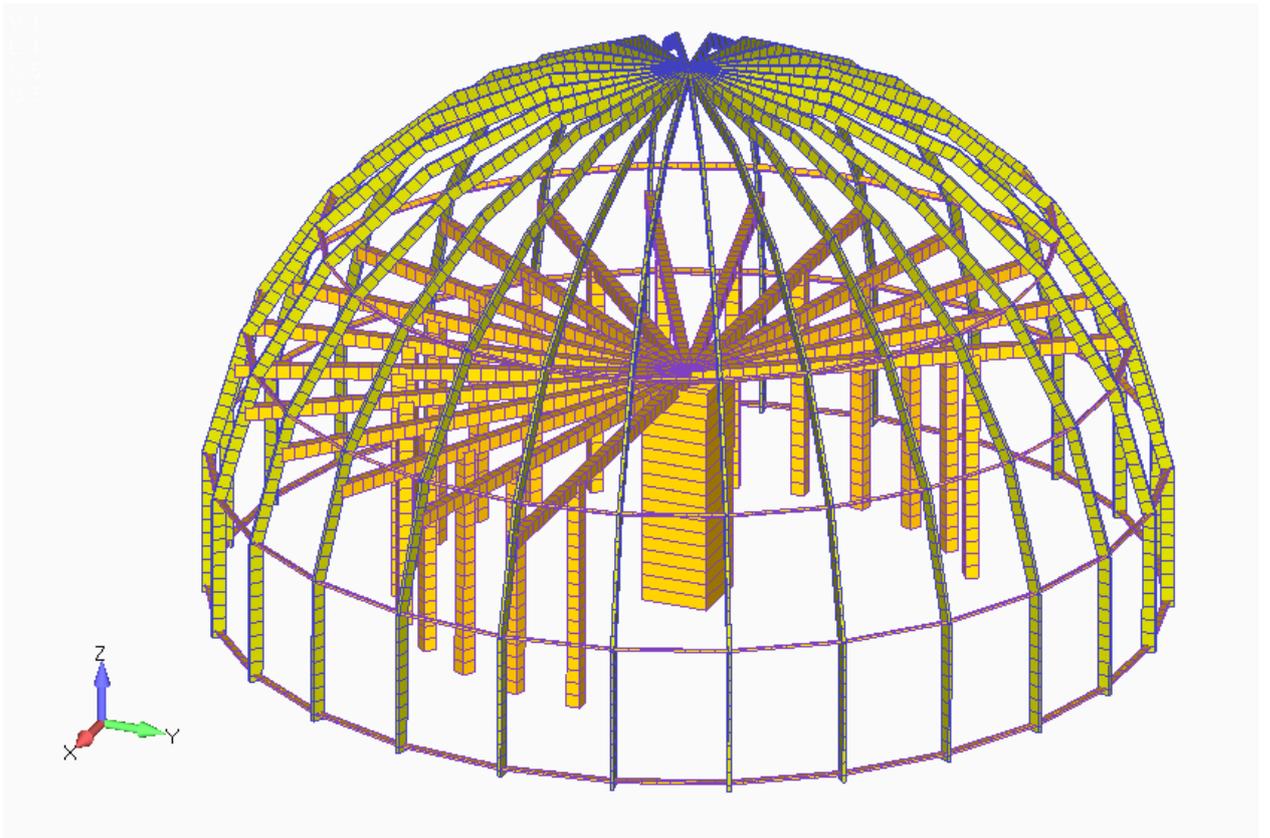


Рисунок 7. Конечно-элементная модель Z14 (покрытие и пол второго этажа не показаны)



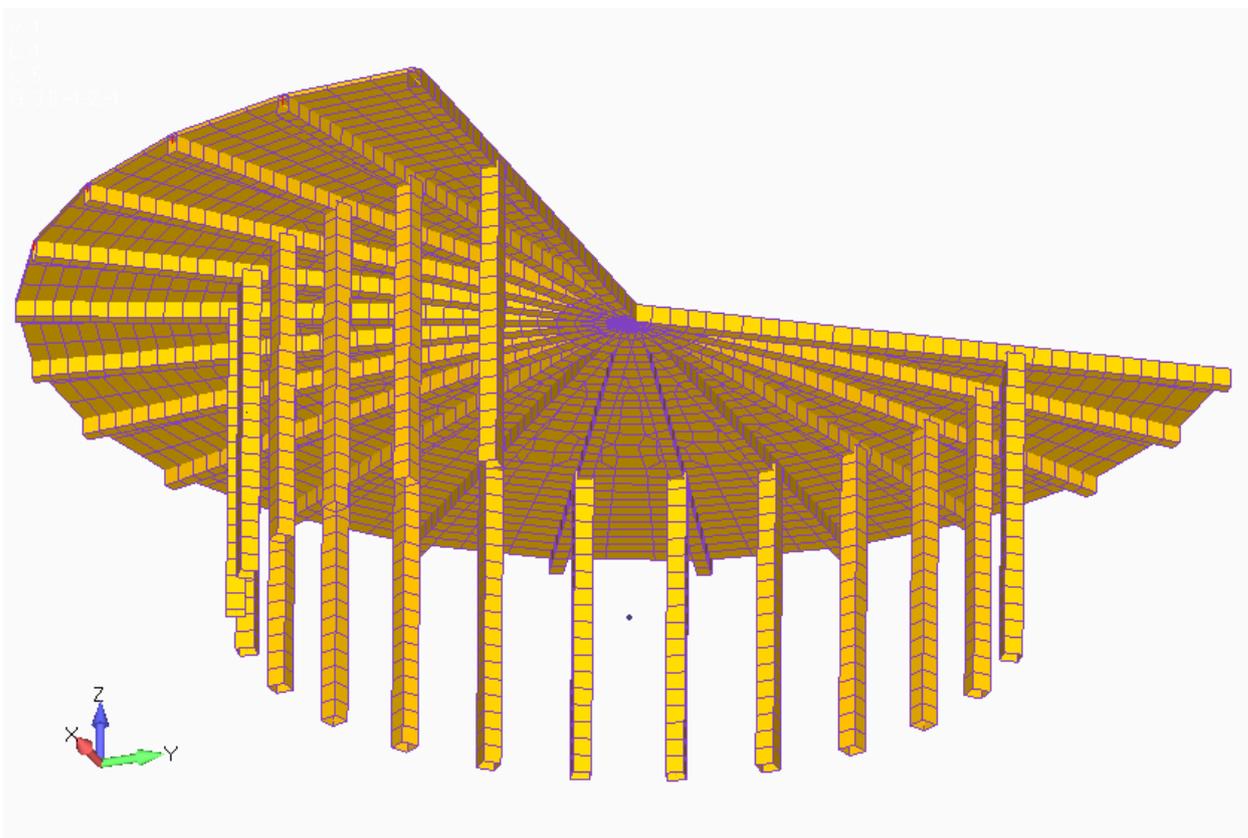


Рисунок 8. Конечно-элементная модель балок пола и покрытия второго этажа Z14

2.2 Нагрузки и закрепления

Статические нагрузки от веса (**Weight**) задаются в виде ускорения $g=9810$ мм/сек² по оси координат Z. Нагрузки **Load**, **Snow** и **Wind** задаются в виде сил, распределенных по площади.

Сейсмические нагрузки задаются спектрограммой коэффициентов динамичности, см. рис. 4, амплитудой A и коэффициентами K_1, K_2, 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 9-19.



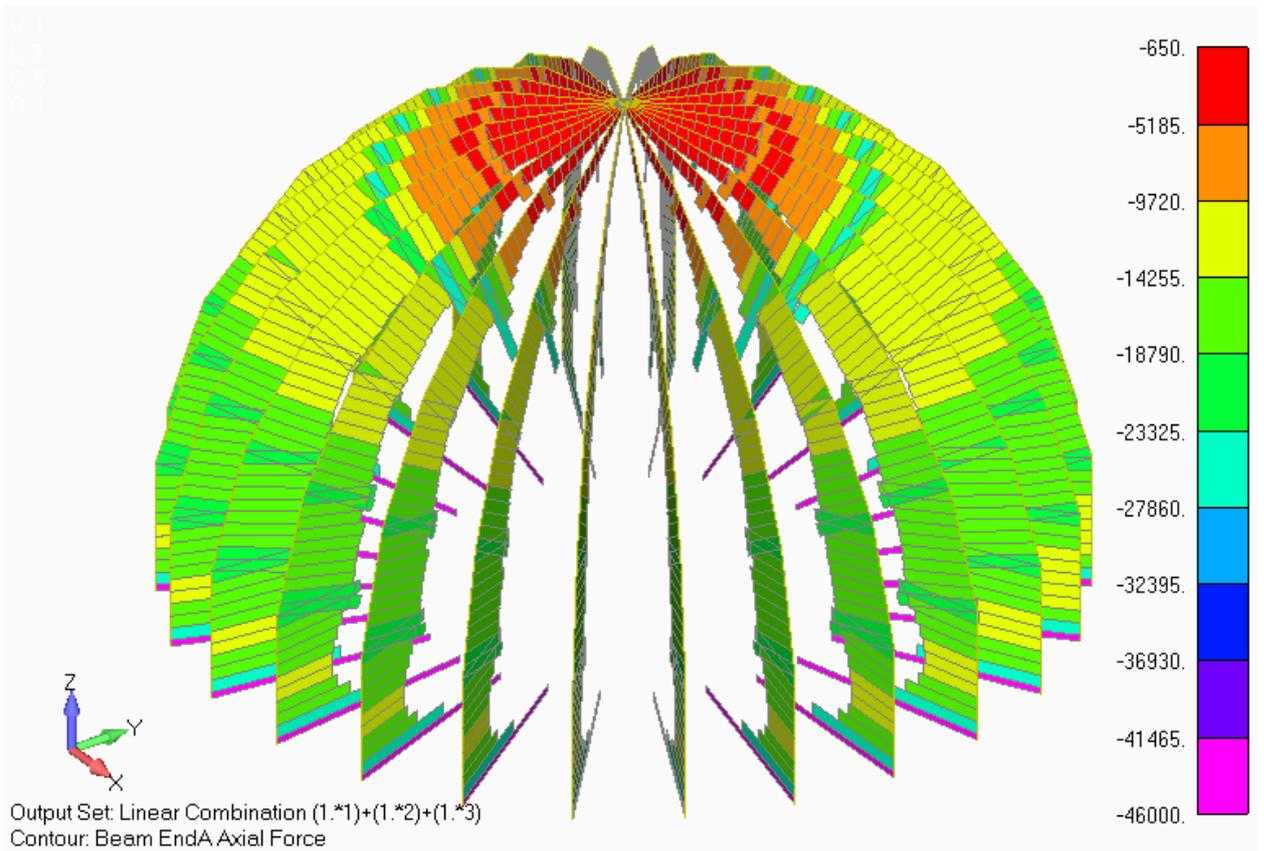


Рисунок 9. Осевые силы в балках, Н. Сочетание Weight + Load + Snow



DOBROSFERA
DOME HOME

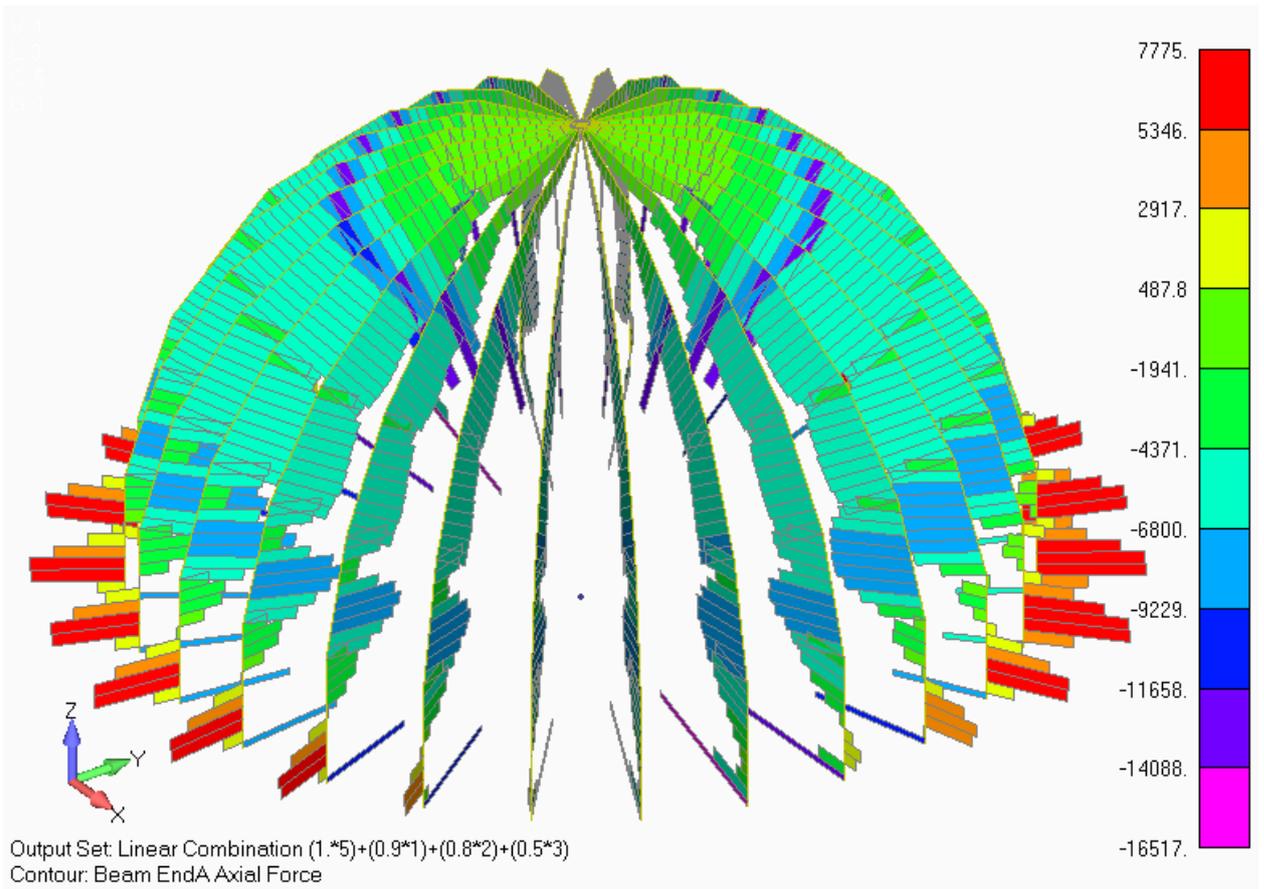


Рисунок 10. Осевые силы в балках, Н. Сочетание Quake Z + 0.9*Weight + 0.8*Load + 0.5*Snow



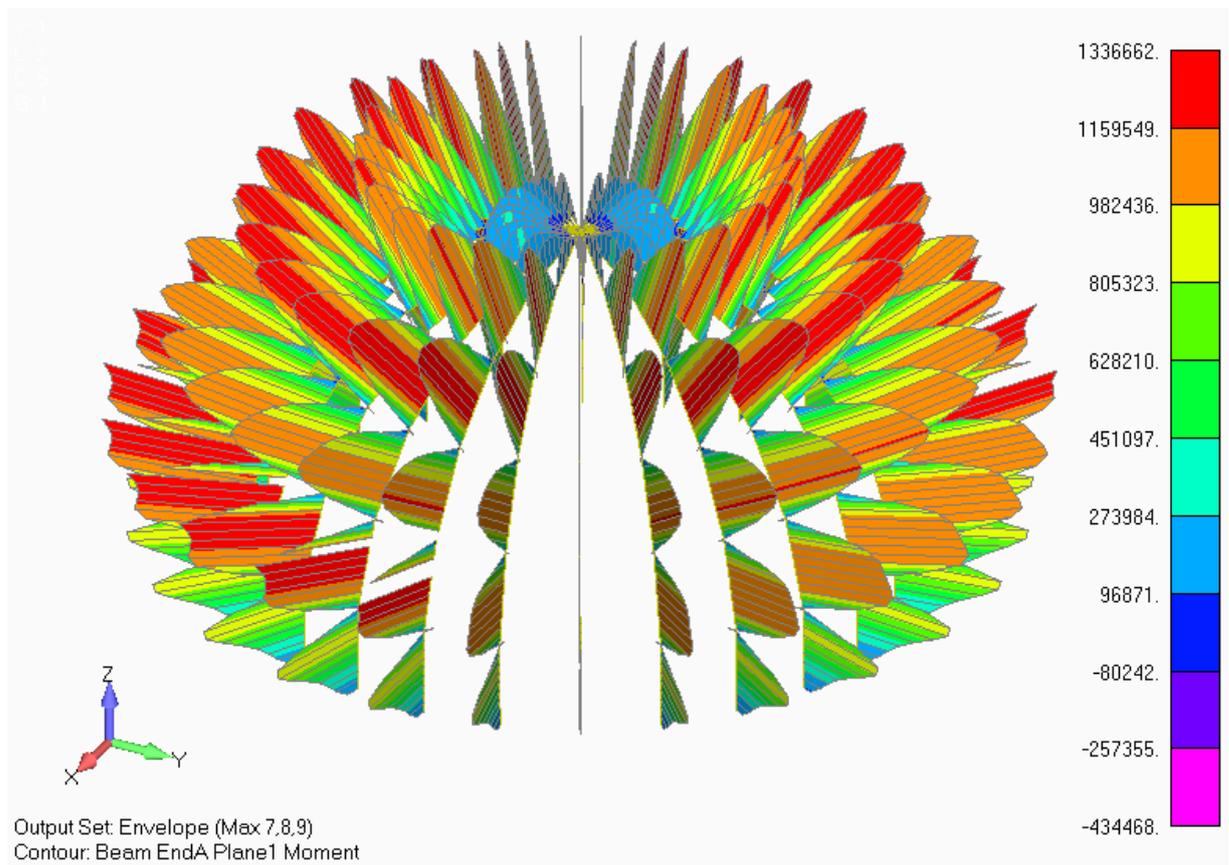


Рисунок 11. Огибающая изгибающих моментов в балках, Н*мм. Основные сочетания



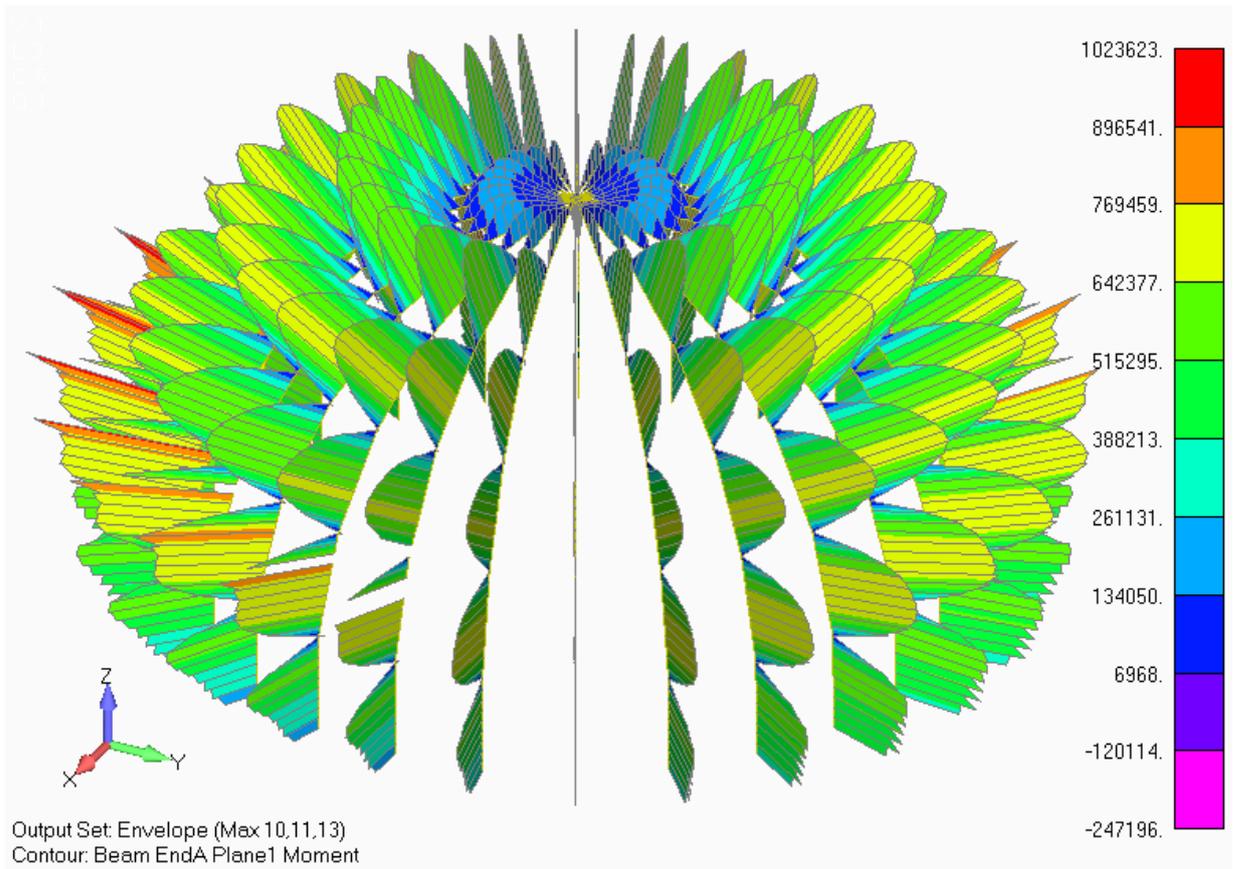


Рисунок 12. Огибающая изгибающих моментов в балках, Н*мм. Особые сочетания



DOBROSFERA
DOME HOME

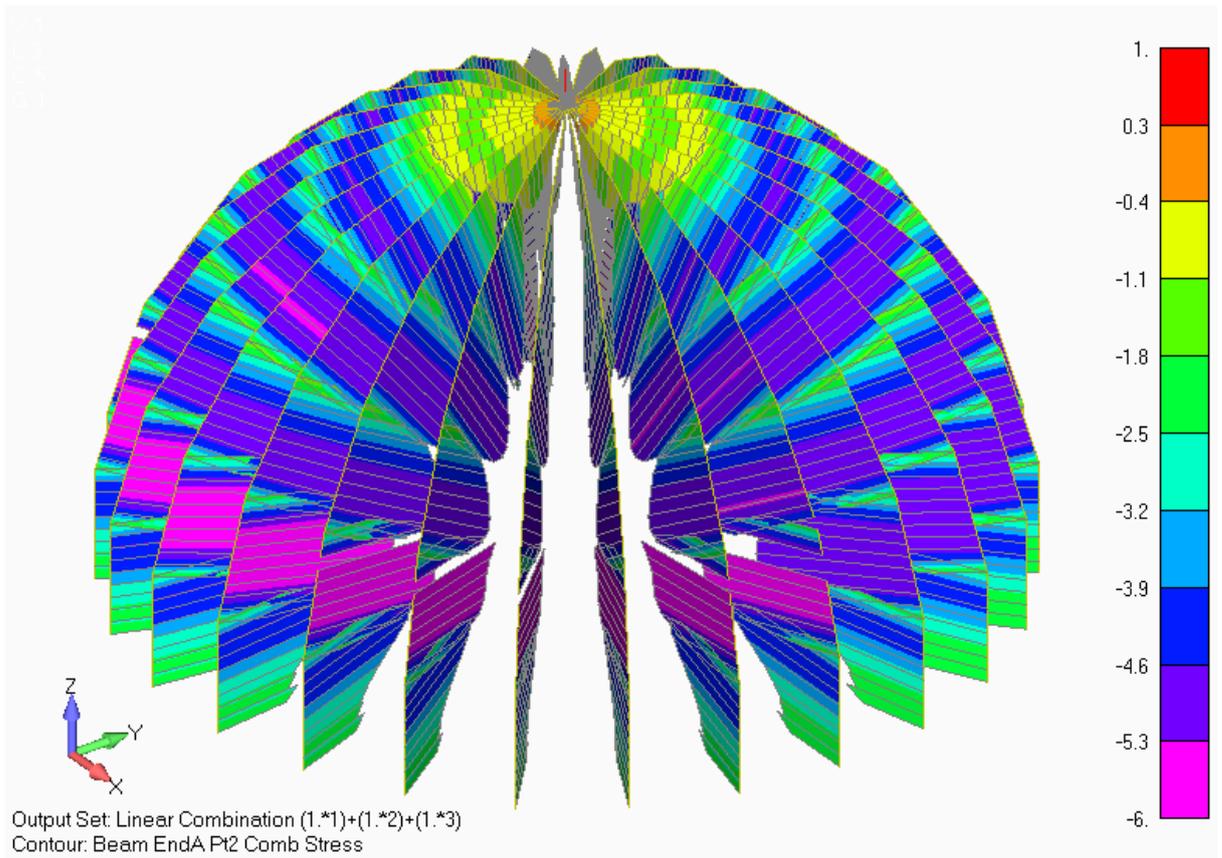


Рисунок 13. Максимальные напряжения в балках, МПа. Сочетание Weight + Load + Snow



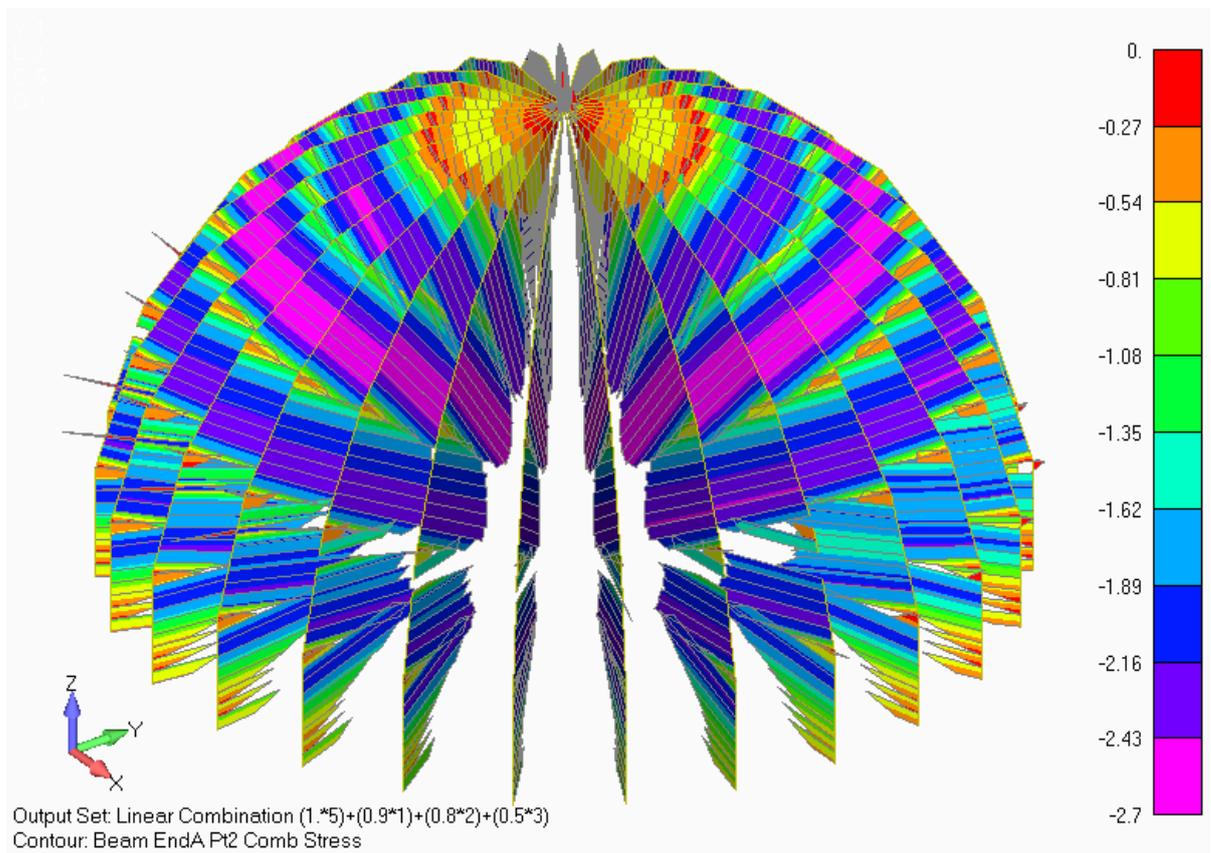


Рисунок 14. Максимальные напряжения в балках, МПа. Сочетание Quake Z + 0.9*Weight + 0.8*Load + 0.5*Snow



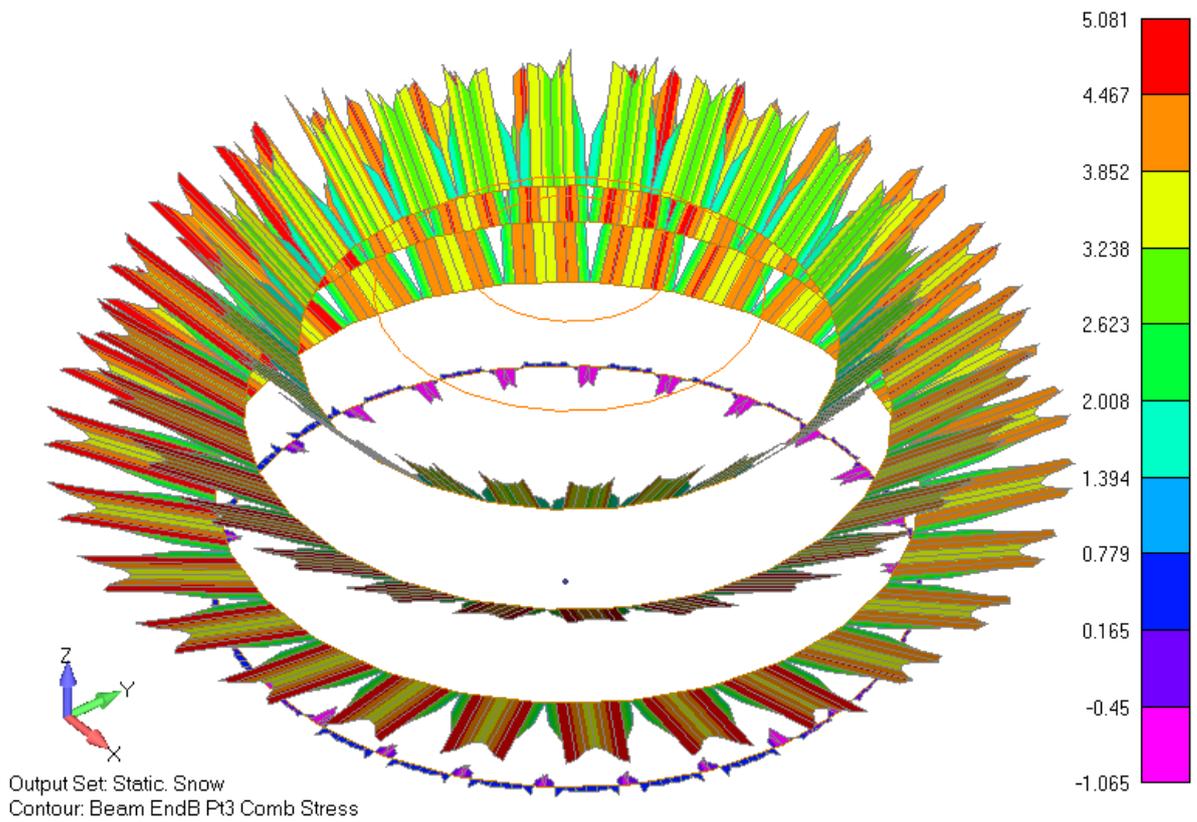


Рисунок 15. Максимальные напряжения в распорках, МПа. Снеговые нагрузки



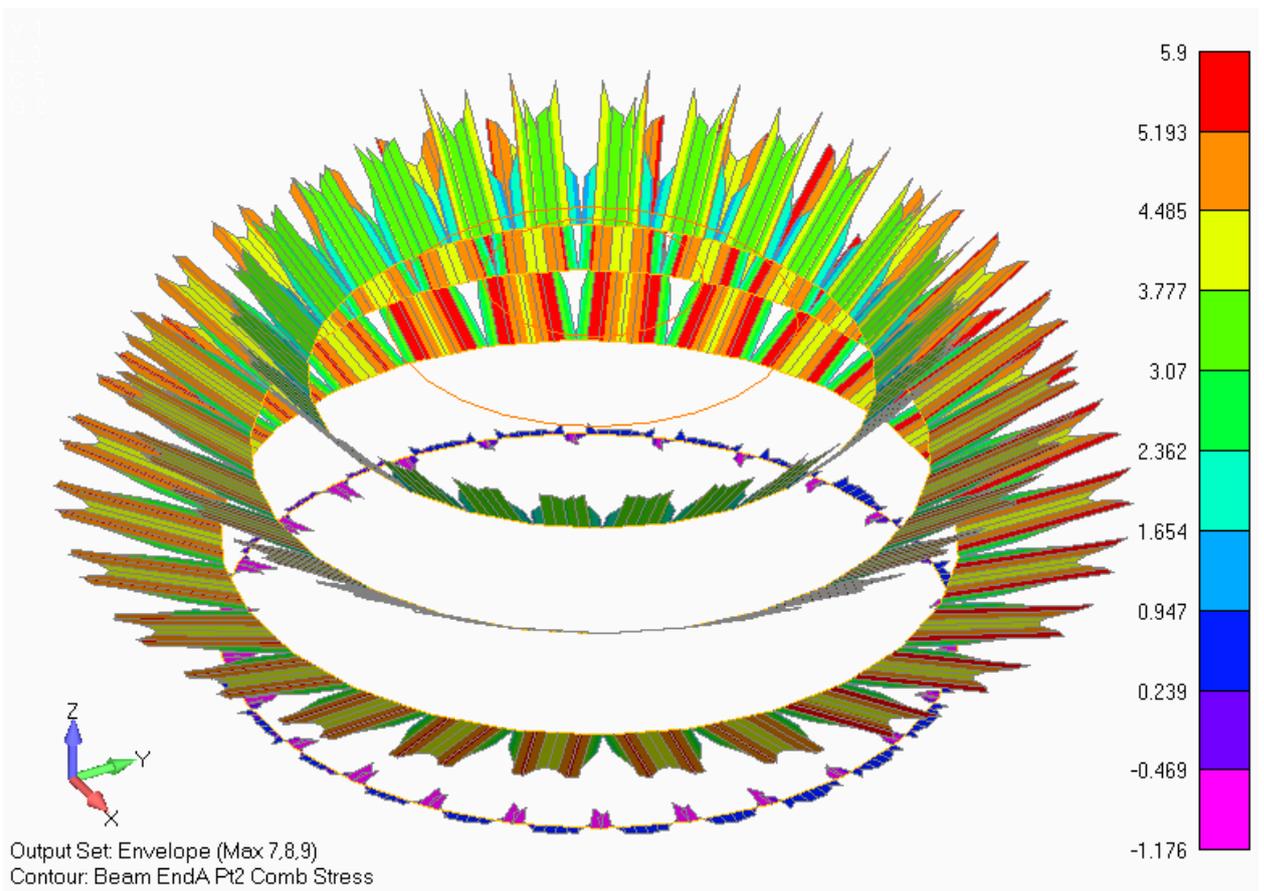


Рисунок 16. Огибающая максимальных напряжений в распорках, МПа. Основные сочетания



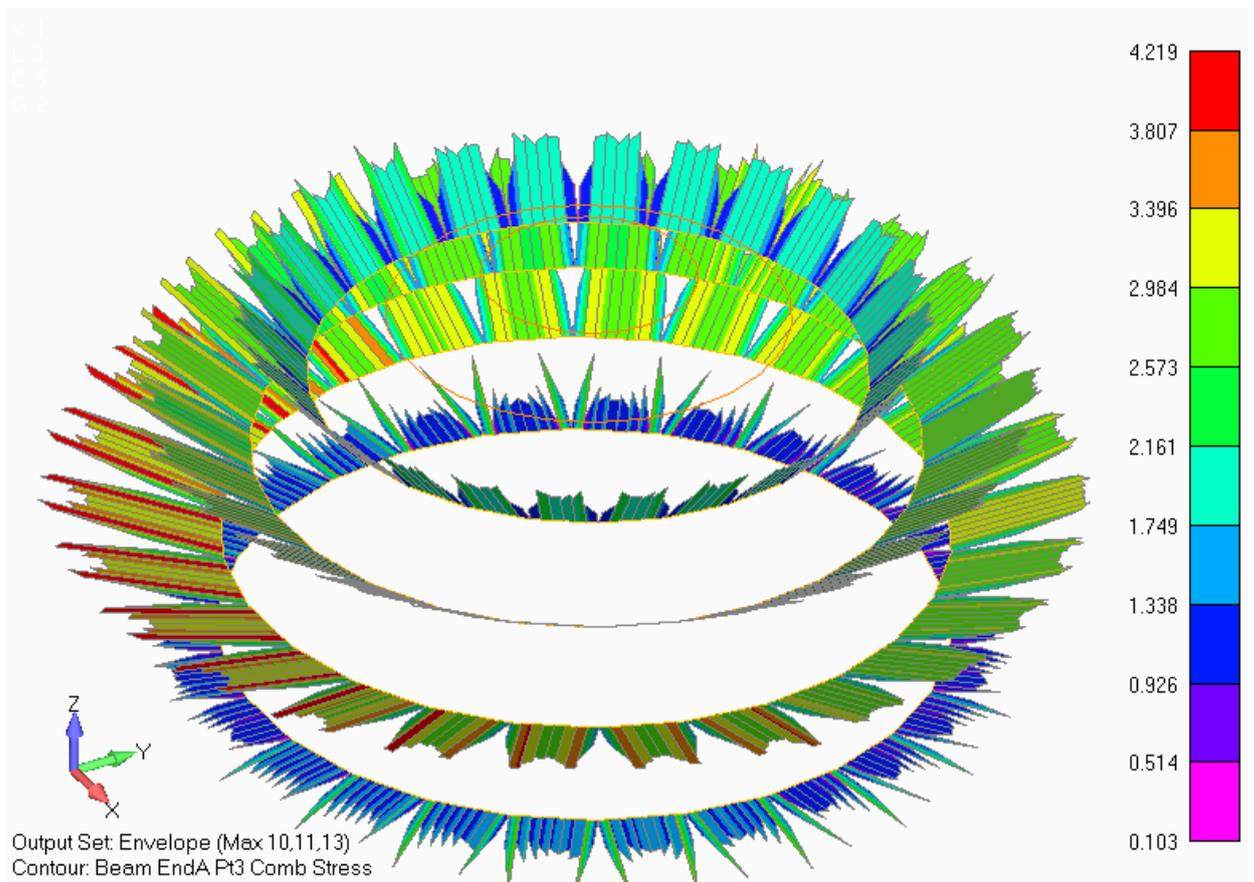


Рисунок 17. Огибающая максимальных напряжений в распорках, МПа. Особые сочетания



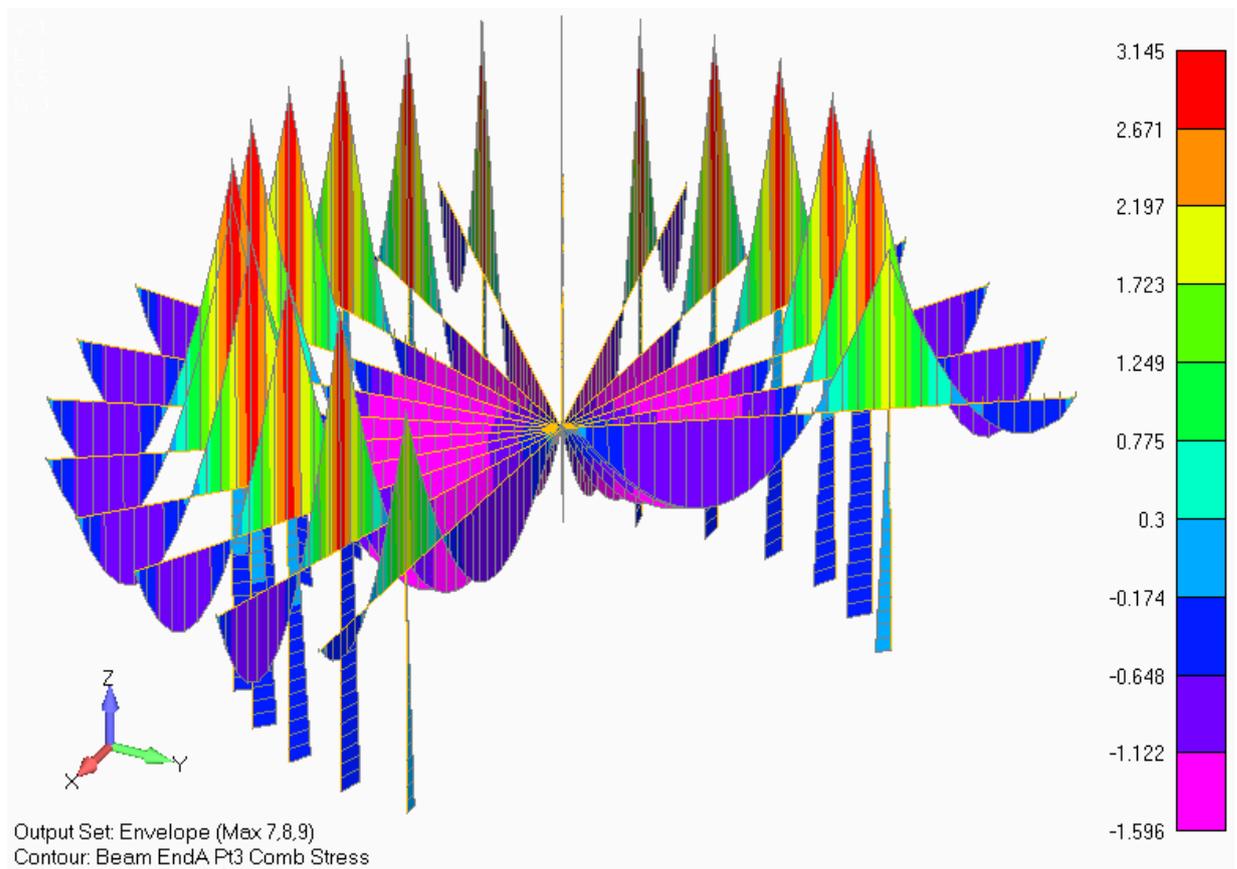


Рисунок 18. Огибающая максимальных напряжений в балках пола и стойках, МПа. Основные сочетания



DOBROSFERA
DOME HOME

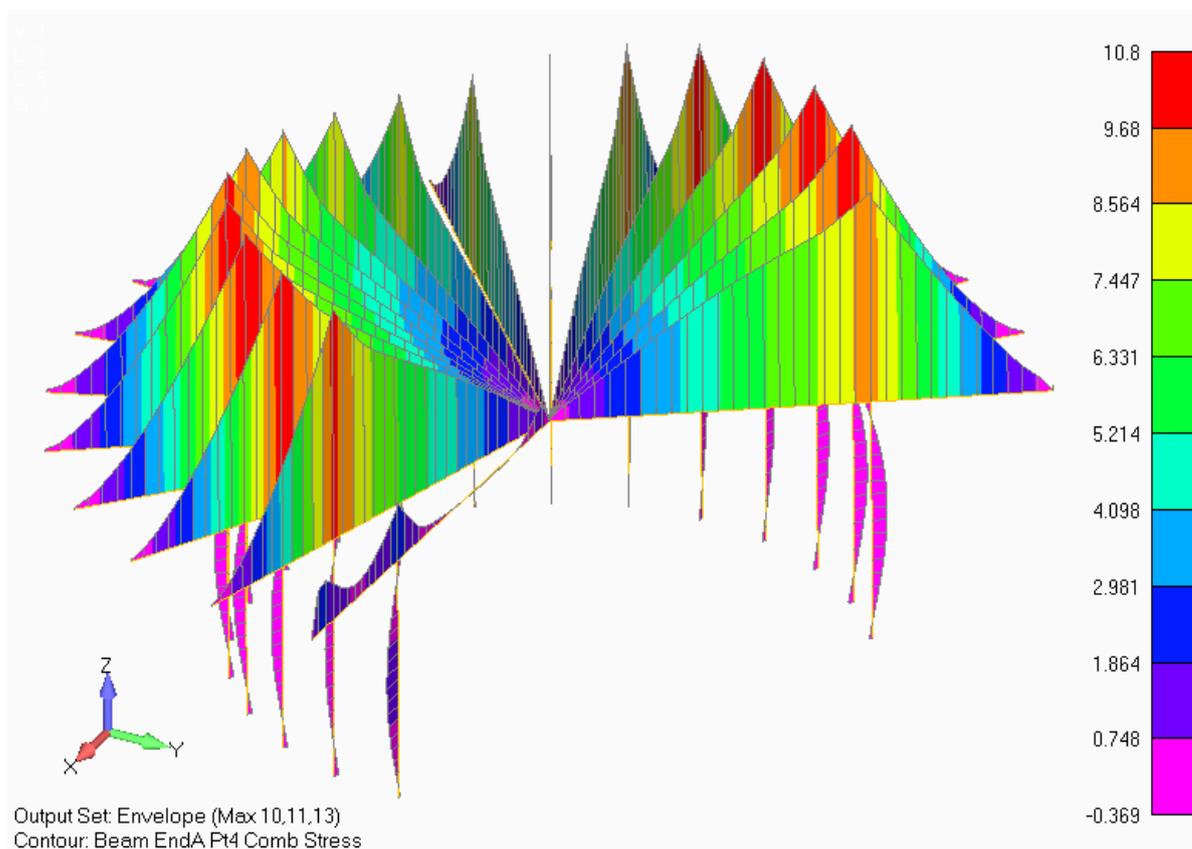


Рисунок 19. Огибающая максимальных напряжений в балках пола и стойках, МПа. Особые сочетания

3. АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ

3.1 Основные сочетания

Расчетные сопротивления при изгибе и сжатии:

- $R_u^A = R_{сж}^A = 12.1$ МПа - при совместном действии постоянной и длительной временной нагрузки

Расчетные сопротивления при растяжении:

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

Балки каркаса

Наибольшие напряжения в балках:

- $\sigma_{сж} = 6.0$ МПа, рис. 13.
- $\sigma_{раст} = 1.0$ МПа, рис. 13.
- Коэффициент запаса $R_{сж}^A / \sigma_{сж} = 12.1/6.0 = 2.02$



- Коэффициент использования материала $\sigma_{сж} / R_{сж}^A = 6/12.1 = 0.5$

Распорки

Наибольшие напряжения в распорках:

- $\sigma_{сж} = 1.18$ МПа, рис. 16.
- $\sigma_{раст} = 5.9$ МПа, рис. 16.
- Коэффициент запаса $R_p^A / \sigma_{раст} = 7.6/5.9 = 1.29$
- Коэффициент использования материала $\sigma_{раст} / R_p^A = 5.9/7.6 = 0.78$

Балки пола

Наибольшие напряжения в балках пола:

- $\sigma_{сж} = 1.6$ МПа, рис. 18.
- $\sigma_{раст} = 3.5$ Мпа (от изгиба), рис. 18
- Коэффициент запаса $R_u^A / \sigma_{раст} = 12.1/3.5 = 3.46$
- Коэффициент использования материала $\sigma_{раст} / R_u^A = 3.5/12.1 = 0.29$

3.2 Особые сочетания

Расчетные сопротивления при изгибе и сжатии:

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

Расчетные сопротивления при растяжении:

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

Балки каркаса

Наибольшие напряжения в балках:

- $\sigma_{сж} = 2.7$ МПа, рис. 14.
- $\sigma_{раст} = 0$ МПа, рис. 14.
- Коэффициент запаса $R_{сж}^A / \sigma_{сж} = 16.9/2.7 = 6.3$
- Коэффициент использования материала $\sigma_{сж} / R_{сж}^A = 2.7/16.9 = 0.16$

Распорки

Наибольшие напряжения в распорках:

- $\sigma_{сж} = 0$ МПа, рис. 17.



- $\sigma_{раст} = 4.2$ МПа, рис. 17.
- Коэффициент запаса $R_p^A / \sigma_{раст} = 10.6/4.2 = 2.5$
- Коэффициент использования материала $\sigma_{раст} / R_p^A = 4.2/10.6 = 0.4$

Балки пола

Наибольшие напряжения в балках пола:

- $\sigma_{сж} = 0.4$ МПа, рис. 19.
- $\sigma_{раст} = 10.8$ Мпа (от изгиба), рис. 19.
- Коэффициент запаса $R_u^A / \sigma_{раст} = 16.9/10.8 = 1.56$
- Коэффициент использования материала $\sigma_{раст} / R_u^A = 3.5/9.7 = 0.64$

4. АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ

Коэффициент запаса потери устойчивости при сочетании нагрузок Weight + Load + Snow $\eta=1.87$, рис. 20

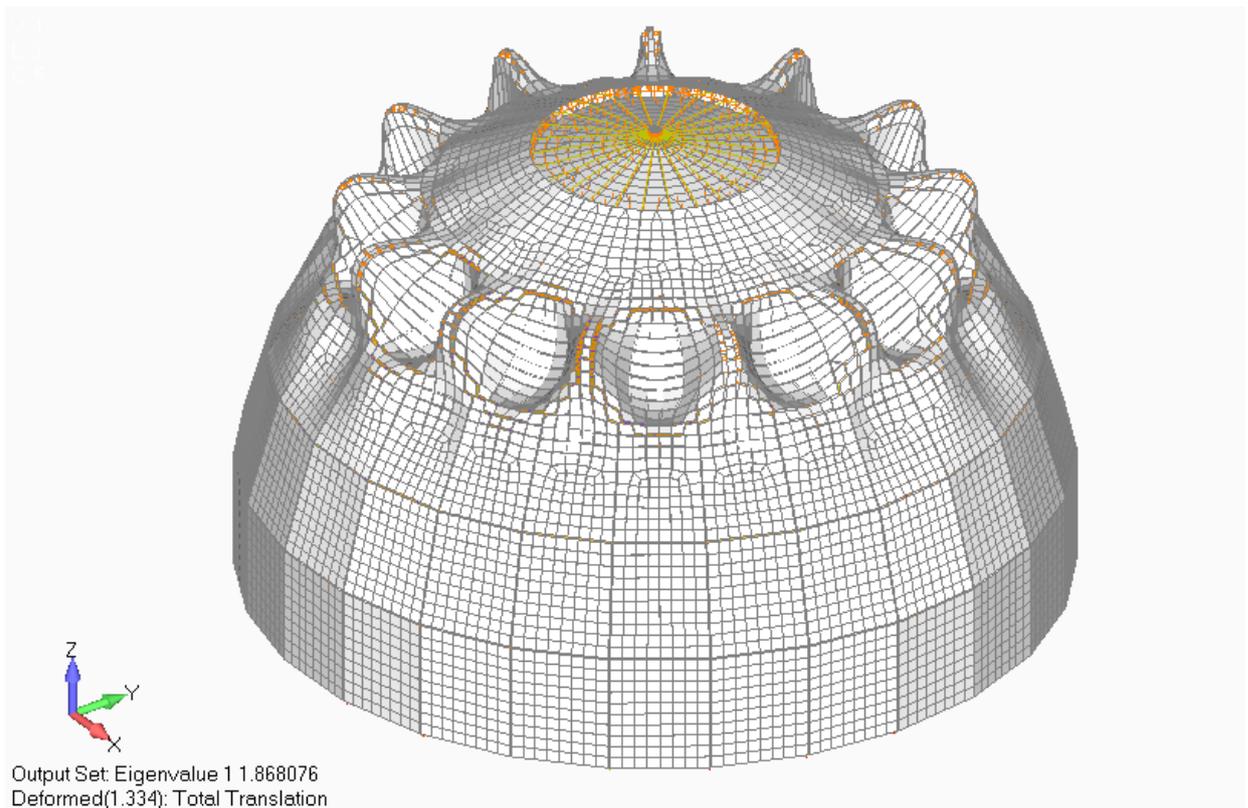


Рисунок 20. Форма потери устойчивости



5. СВОДКА ЗАПАСОВ ПРОЧНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛА

Таблица 2

№ п/п	Наименование	Минимальный запас прочности, η	Максимальный коэффициент использования
1	Балки каркаса	2.02	0.5
2	Распорки	1.29	0.78
3	Балки пола	1.56	0.64
4	Общая потеря устойчивости	1.87	0.53

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет на экстремальные условия эксплуатации показал, что купольное здание Z14 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 (86%) оказывают снеговые нагрузки, рис. 15-16. 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.

Исходя из минимального запаса прочности 1.29, можно сделать вывод, что допустимая расчетное значение веса снегового покрова для здания составляет не менее $S_g = 710 \text{ кг/м}^2$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

4. СП 64.13330.2017 СНиП II-25-80. Деревянные конструкции
5. СП 20.13330.2011 СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия
6. СП 14.13330.2014 СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах

