

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт
институт

Строительных конструкций и управляемых систем
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ С. В. Деордиев
подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2020 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»
код и наименование специальности

Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания
на примере стального каркаса купола диаметром 100м
тема

Руководитель

подпись, дата

доцент, к.т.н.
должность, ученая степень

А.В.Фроловская
инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

К.А.Левченко
инициалы, фамилия

Красноярск 2020

ВКР в виде работы

Тема: «Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметра 100м»

Автор: студентка гр. СС14-11 Левченко Кристина Андреевна

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

С.В.Диодиев

подпись

инициалы, фамилия

« ____ »

_____ 2020 г

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий отделением

Н.Ю.Клиндух

подпись

инициалы, фамилия

« ____ »

_____ 2020 г

ПЛАН РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

Глава 1. Большепролетные купольные покрытия и методы их расчета

1.1 Обзор существующих конструктивных решения купольных большепролетных покрытий

1.2 Методы расчета большепролетных купольных покрытий

1.3 Технология возведения купольных покрытий

Глава 2. Особенности учета монтажных нагрузок

2.1 Нагрузки при транспортировке

2.2 Нагрузки при строповке и укрупнительной сборке

2.3 Нагрузке при монтаже

2.4 Постановка задачи исследования

Глава 3. Конструирование и исследование монтажа сетчатого купола

3.1 Расчетная схема

3.2 Климатические условия

3.3 Сбор нагрузок

3.4 Расчет в ПК SCAD

3.5 Подбор сечений

- 3.6 Технология возведения
- 3.7 Расчет НДС, возникающего при транспортировке
- 3.8 Определение напряженно-деформированного состояния, возникающего при складировании деталей купола
 - 3.9 Расчет усилий, возникающих при строповке элементов купола
 - 3.10 Расчет НДС элементов купола на разных стадиях монтажа
 - 3.11 Анализ полученных результатов
 - 3.12 Конструирование с учетом полученных результатов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подпись руководителя

подпись, дата

А.В. Фроловская
инициалы, фамилия

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Большепролетные купольные покрытия и существующие методы их расчета	6
1.1 Обзор конструктивных решений купольных большепролетных покрытий	6
1.2 Методы расчета большепролетных купольных покрытий	10
1.2.1 Расчет ребристых куполов	10
1.2.2 Расчет ребристо-кольцевых куполов	12
1.2.3 Расчет сетчатых куполов	13
1.3 Технология возведения купольных покрытий	17
1.4 Особенности учета монтажа	19
1.4.1 Нагрузка при транспортировке	20
1.4.3 Нагрузки, возникающие при укрупнительной сборке и подъеме	24
1.4.4 Влияние способа монтажа на НДС конструкции	25
1.5 Постановка задачи исследования	26
2 Конструирование и исследование процесса монтажа сетчатого купола ...	26
2.1 Расчетная схема	26
2.2 Климатические условия	27
2.3 Сбор нагрузок	28
2.3.1 Снеговая нагрузка	28
2.3.2 Ветровая нагрузка	32
2.3.3 Постоянная нагрузка	34
2.3.3.1 Выбор ограждающих конструкций	34
2.3.3.2 Расчет постоянной нагрузки	36
2.4 Расчет сетчатого купола в ПК SCAD	37
2.4.1 Расчетная схема в ПК SCAD	37
2.4.2 Схемы приложения нагрузок	38
2.4.3 Задание комбинаций нагрузок и РСУ	41
2.5 Подбор сечений	41
2.6 Технология возведения сетчатого купола	43

2.7 Исследование НДС элементов каркаса при транспортировке и складировании	43
2.9 Моделирование и анализ процессов укрупнительной сборки и строповки элементов	52
2.10 Моделирование работы каркаса на разных стадиях монтажа	58
2.10.1 Первый способ монтажа	59
2.10.2 Второй способ монтажа	70
2.11 Конструирование купола с учетом монтажных нагрузок	77
2.12 Определение стоимости строительства	83
2.13 Анализ полученных результатов	84
3. Прогрессирующее обрушение	93
3.1 Прогрессирующее обрушение элементов стального каркаса	93
3.2 Анализ полученных результатов	97
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	98
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	100
Приложение А – Сечения сетчатого купола без учета особых нагрузок	103
Приложение Б – Характеристики отправочных элементов сетчатого купола	107
Приложение В – Критические факторы элементов на стадиях монтажа каркаса	113
Приложение Г – Характеристики отправочных элементов сетчатого купола, монтируемого по первой схеме	121
Приложение Д – Характеристики отправочных элементов сетчатого купола, монтируемого по второй схеме	127
Приложение Е. Локальные сметные расчеты	133
Приложение Ж. Усилия в элементах, возникающие при монтаже по первой схеме	148
Приложение З. Усилия в элементах, возникающие при монтаже по второй схеме	156

ВВЕДЕНИЕ

25 января 1985г в г. Истре обрушился купол Высоковольтного испытательного стенда предприятия Р-6511, принадлежащий Всесоюзному энергетическому институту имени В.И. Ленина. Это было поистине уникальное здание. Его диаметр составлял 236,5м, а высота – 118,4м.

При поиске причин данной трагедии были выявлены ошибки при изготовлении и монтаже элементов купола. Было установлено, что некоторые стержни теряли свою устойчивость в процессе монтажа и выходили из пространственной работы конструкции купола [1].

Чтобы исключить подобную ситуацию в дальнейшем, целесообразно учитывать процесс монтажа на стадии проектирования. Таким образом, в современных стандартах [2], указывается необходимость учета монтажных нагрузок. Особенно этот момент важен, когда речь идет о возведении уникальных зданий и сооружений. Из-за нестандартных решений эти объекты должны наиболее тщательно рассчитываться, а также проходить испытания в аэротрубе и на виброплатформе.

Влияние монтажных нагрузок на стальные каркасы зданий и сооружений рассматривалось в работах Е.В. Лебеда [3-5], А.В. Осиповой [6], А.М. Югова [7]. В их исследованиях были проанализированы общие принципы работы стальных куполов [3], проведен анализ НДС элементов каркасов во время монтажа [4,5,7], а также изучены перемещения узлов при монтажных нагрузках [6].

В отличие от вышеперечисленных работ, в данном исследовании рассмотрены этапы жизни здания от транспортировки элементов с завода до полного возведения каркаса, чтобы проследить, какое напряженно-деформированное состояние возникает в элементах стального каркаса звездчатого купола в период монтажа навесным способом, а также при транспортировке и складировании элементов.

Цель выпускной квалификационной работы: исследовать напряженно-деформированное состояние элементов стального купола диаметром 100м на подготовительном этапе и на этапе монтажа.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разобрать существующие конструктивные решения купольных покрытий;
- проанализировать существующие технологии монтажа куполов;
- изучить особенность учета монтажных нагрузок при проектировании несущих элементов купола;
- разработать конструктивные решения сетчатого купола без учета особых видов воздействий;
- определить влияние процесса транспортировки, складирования и монтажа на напряженно-деформированное состояние элементов конструкции;

- разработать конструктивные решения сетчатого купола с учетом монтажных нагрузок;
- проанализировать полученные результаты.

Гипотеза исследования: в процессе монтажа значения усилий выше, чем в проектном положении, что может привести к потере устойчивости и снижению прочности.

Результат данной работы поможет оценить, в каких случаях при возведении зданий несущая способность элементов может быть снижена. Это позволит сконцентрировать внимание проектировщиков на учете особых нагрузок (в частности возникающих при монтаже и на подготовительном этапе).

1 Большепролетные купольные покрытия и существующие методы их расчета

1.1 Обзор конструктивных решений купольных большепролетных покрытий

Купола начали возводить еще до нашей эры. Конечно, многие не сохранились. Из уцелевших хочется отметить Большую Ступу в Санчи (Индия), возведенную в 3 веке до н. э (рис. 1). Её ядром является простой кирпичный купол.



Рисунок 1 - Большая Ступа в Санчи

Со временем человечество все более совершенствовало свои строительные способности: использовались новые материалы, появлялись все более точные методики расчетов, модернизировались технологии их возведения. С каждым годом строения становились и становятся по сей день все более масштабными.

На сегодняшний день большое распространение получили купола со стальным каркасом благодаря своей легкости и скорости монтажа.

Купольные покрытия являются эффективными конструкциями при необходимости перекрытия больших пролетов. При пролете менее 40 м плоскостные конструкции конкурируют с куполами по металлоемкости, а вот при больших пролетах преимущества купольных покрытий становится все более очевидным. Большинство покрытий пролетом более 200м являются купольными [8].

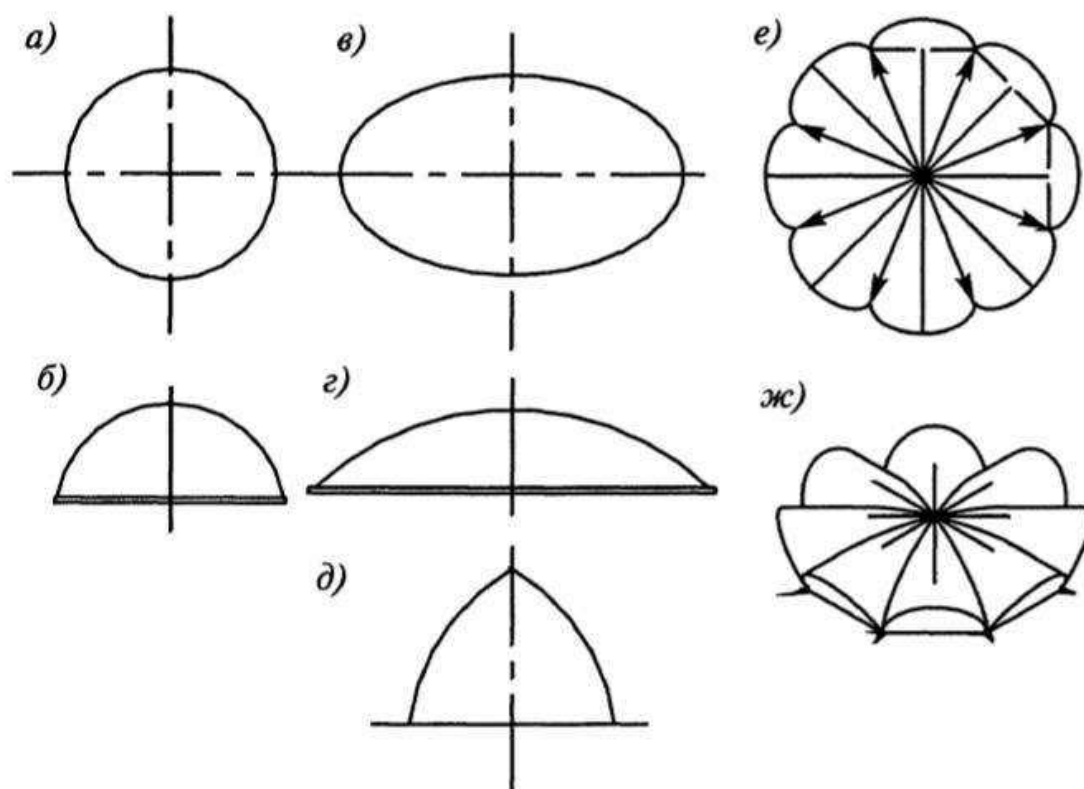
Купола относятся к распорным системам. К основным элементам купольного покрытия относятся: нижнее кольцо, верхнее кольцо и оболочка.

По конструкции купола делятся на [8]:

- ребристые;
- ребристо-кольцевые;
- ребристо-кольцевые со связями;
- сетчатые;
- пластинчатые.

По форме покрытия различают (рис. 2):

- сферические;
- эллиптические;
- стрельчатые;
- зонтичные и др.



а-план сферического купола; б-поперечный разрез сферического купола; в – план эллиптического купола; г – поперечный разрез эллиптического купола; д – стрельчатый купол; е – план зонтичного купола; ж – вид зонтичного купола

Рисунок 2 – Формы куполов

По стреле подъема:

- подъемистые (высокие) купола (стрела подъема $1/2 \dots 1/5$ диаметра);
- пологие (при стреле подъема $1/5$).

Ребристые купола.

Плоские ребра, поставленные в радиальном направлении, условно попарно образующие арки, составляют ребристый купол.

Ребра выполняют в виде легких ферм (сквозными) или сплошными.

Ребристый купол (рис. 3,а) представляет собой распорную систему. Распор воспринимает нижнее кольцо. Как правило, его функцию выполняют стены здания или фундамент. При частом расположении ребер выбирают круглую форму опорной части в плане, а при редком расположении – многоугольную, что позволяет избежать работы на кручение и изгиб.

Верхнее кольцо проектируется с учетом работы на сжатие, изгиб и кручение.

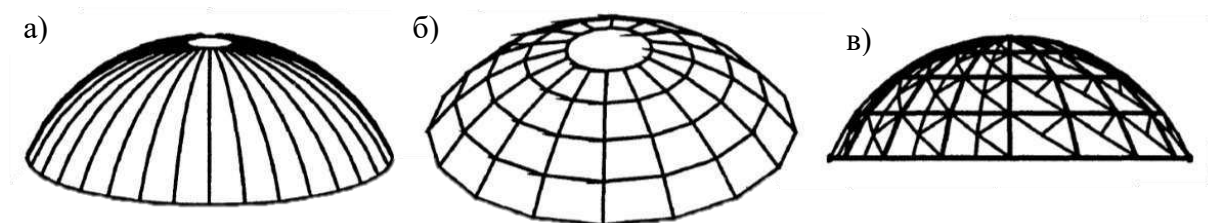
Для общей жесткости куполов устраивают не менее четырех связевых панелей, представляющих собой сектора из двух смежных ребер, сопряженных друг с другом связями и распорками.

Между ребрами укладывают специальные настилы или мембранное покрытие, что обеспечивает устойчивость ребер, уменьшая их расчетную длину в плоскости покрытия. Между ребрами устанавливаются прогоны, на которые передается нагрузка от кровли.

Ребристо-кольцевые купола (рис. 3,б)

В отличие от предыдущей схемы, прогоны ребристо-кольцевого купола (кольца) включаются в работу наряду с ребрами. Часто кольца выполняют роль затяжек и работают не только на изгиб, возникающий из-за нагрузки от кровли, но и воспринимают нормальные усилия ребер купола (а в случае жесткого соединения еще и изгибающие моменты). Но из-за малой жесткости колец и ребер в плоскостях, касательных к поверхности купола, влиянием жесткости узлов можно пренебречь и считать, что кольца примыкают к ребрам шарнирно.

Отдельно можно выделить ребристо-кольцевые купола со связями (рис. 3,в). В них между ребрами и кольцами для большей жесткости добавляются связи.



а-ребристый купол; б-ребристо-кольцевой купол; в – ребристо-кольцевой купол со связями

Рисунок 3 – Виды куполов

Сетчатые купола

Если в ребристо-кольцевом куполе увеличить количество связей, чтобы ячейка между ребрами и кольцами разбивалась на 4 части, то можно получить сетчатый купол. Такое покрытие называется купол Шведлера (рис. 4,а)

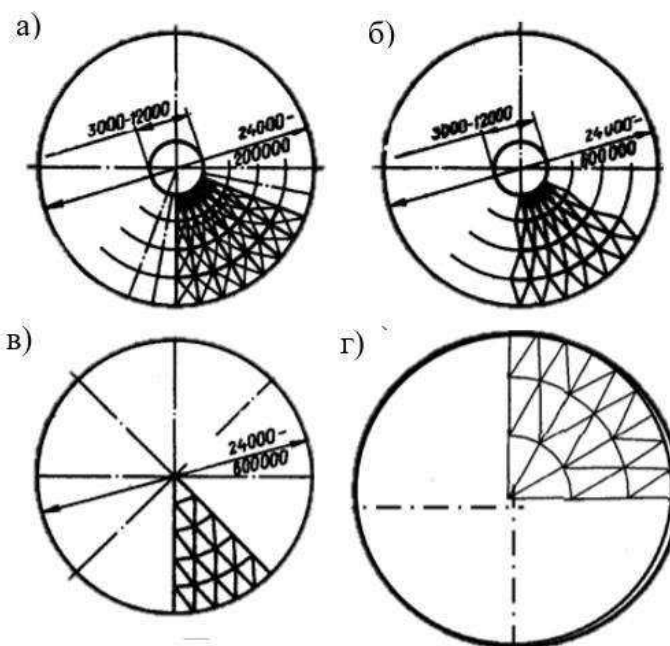
Также к сетчатым куполам относятся поверхности, образованные многогранниками, вписанными в сферу. Сетка купола может разбиваться на треугольники, ромбы, трапеции, пяти- и шестиугольники.

Самыми распространенными являются купола с треугольной сеткой и геодезические системы куполов. Стержни последних являются ребрами многоугольников, вписанных в сферу.

В звездчатой системе разбивки, которая получила название «купол Фешля» (рис. 4,б), длина всех не кольцевых стержней назначается одинаковой, а кольцевые элементы с возрастанием высоты уменьшаются.

В системе Чивитта (рис. 4.в) все узлы одного яруса находятся на едином уровне. Это делает возможным соблюдать одинаковое расстояние между кольцами или длину кольцевых элементов, находящихся на одной отметке.

При ромбической схеме длина всех стержней одинакова. Таким образом, получает ромбическая сетка, построенная на основе правильной сети Чебышева. Применение этой сетки приводит к сгущению сетки по мере приближения к вершине купола. Данный недостаток устраняется системой Кейвитта (рис. 4.г).



а-сетчатый системы Шведлера; б-звездчатый системы Фешля; в – сетчатый купол системы Чивитта; г – сетчатый системы Кейвитта

Рисунок 4 – Решетки сетчатых куполов

Геодезические купола создаются путем членения вписанных в сферу правильных многогранников.

Сетчатые купола зачастую имеют только опорное кольцо.

Такой вид купола является наиболее экономичным по расходу материалов, так как каркас равномерно включен работу.

Пластинчатые купола собирают из готовых стальных панелей, с высштампованными ребрами жесткости. Эти панели связываются обычно между собой сваркой.

1.2 Методы расчета большепролетных купольных покрытий

1.2.1 Расчет ребристых куполов

Расчет такого вида купола сводится к определению сечения отдельной арки ребристого купола [9]. К ней прикладываются нагрузки, собранные с грузовой площади – сферической трапеции.

Чтобы учесть реакцию опорного кольца, вводят понятие условной затяжки. Данная затяжка связывает ребра одной арки. Площадь такой затяжки, принимается из условия равенства ее упругих деформаций и деформаций опорного кольца в горизонтальном направлении [10].

Площадь сечения условной затяжки для круглого опорного кольца:

$$A = \frac{2\pi E_k A_k}{n E_3} \quad (1)$$

где $E_k A_k$ - жесткость опорного кольца;

E_3 - модуль упругости материала затяжки;

n – количество ребер в куполе.

Если кольцо выполнено в форме многоугольника, площадь затяжки равна:

$$A = \frac{4r E_k A_k \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{l_k E_3} \quad (2)$$

где $E_k A_k$ - жесткость опорного кольца;

E_3 - модуль упругости материала затяжки;

r – радиус описанной окружности;

l_k - длина участка кольца между соседними ребрами;

φ - угол в горизонтальной плоскости между соседними ребрами.

Получившаяся система трехшарнирной арки с затяжкой рассчитывается на влияние постоянных, снеговых и ветровых нагрузок.

К постоянным нагрузкам относятся вес покрытия и вес самой конструкции ребер.

Снеговая нагрузка, согласно требованиям [11], на арочные покрытие может распределяться по трем вариантам, в зависимости от коэффициента μ (рис. 5).

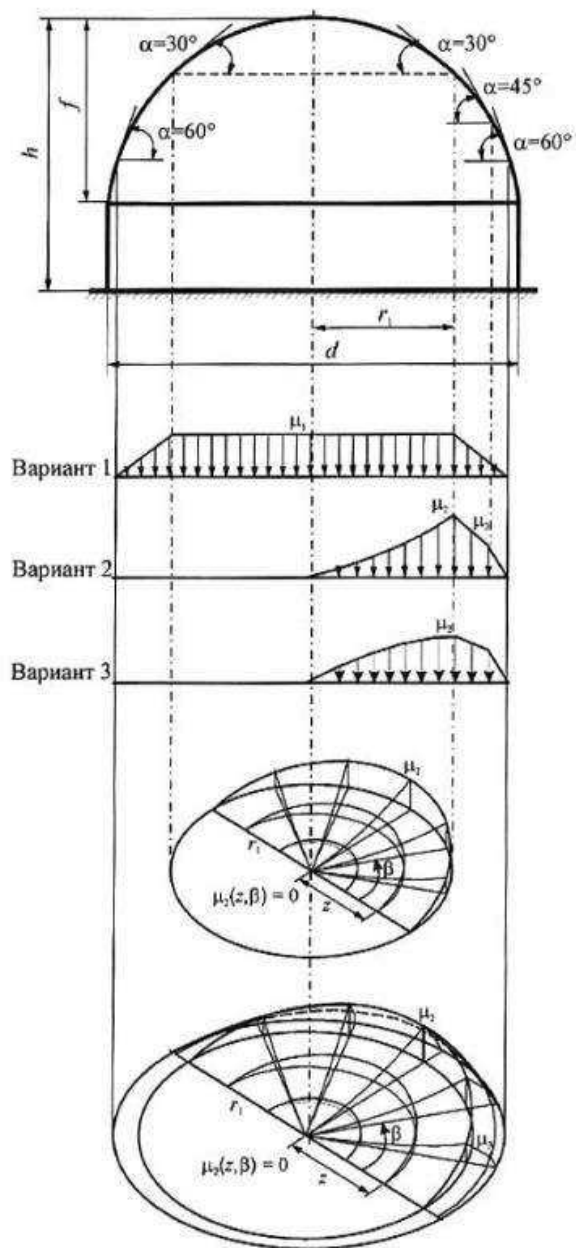


Рисунок 5 – Варианты распределения величины коэффициента μ

Значение ветровой нагрузки определяется по требованиям СП [11]. Значение статической ветровой нагрузки зависит от аэродинамического коэффициента, распределение которого показано на рисунке 6. Помимо статической составляющей ветровой нагрузки, необходимо учитывать и пульсационную.

Арка, находящаяся на линии АС будет испытывать наибольшие ветровые нагрузки, поэтому при подборе сечения именно они и берутся в расчет.

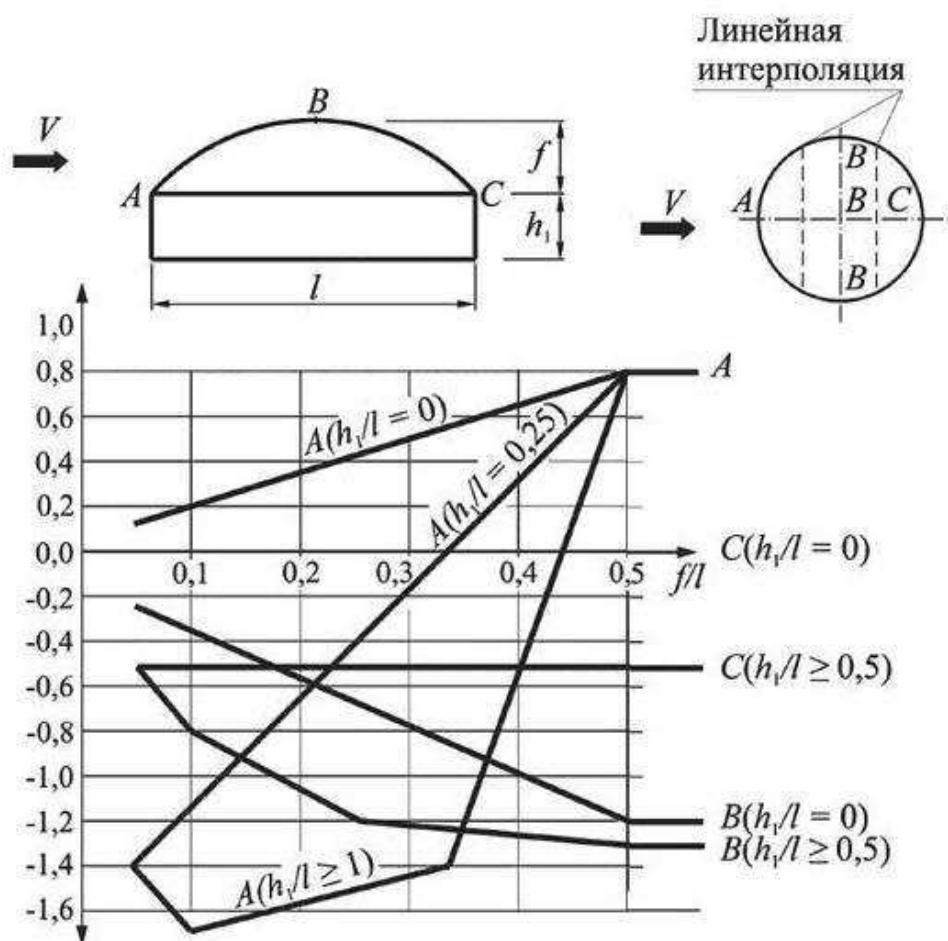


Рисунок 6 – Значение аэродинамического коэффициента для куполов

Далее рассчитываются комбинации нагрузок и находятся самые невыгодные сочетания.

Посчитав нагрузки, действующие на конструкцию арки, нужно определить усилия, возникающие в арке. Для этого изначально находятся опорные реакции и затем из условия равновесия находятся усилия в каждом необходимом сечении [12].

Из условия прочности определяется необходимое сечение ребра и проверяется на устойчивость.

1.2.2 Расчет ребристо-кольцевых куполов

Расчет происходит аналогичным способом. Каждое кольцо купола заменяется опорным кольцом, так же, как и опорное кольцо в ребристом куполе. Из выражений (1) и (2) находятся величины площадей условных затяжек.

Полученная расчетная схема представляет собой трехшарнирную арку с несколькими затяжками (их количество равно количеству колец).

Благодаря методу сил находятся усилия в затяжках. Решается система уравнений с количеством неизвестных, равным количеству затяжек.

1.2.3 Расчет сетчатых куполов

Сложность расчета сетчатых куполов заключается в необходимости рассмотрения каркаса как осесимметричную оболочку. Далее необходимо перейти обратно к усилиям дискретной системы. Жесткостные характеристики сетчатой системы заменяются эквивалентными характеристиками сплошной сетчатой оболочки, а перемещения сплошной поверхности должны совпадать с перемещением сетчатой оболочки. После расчета сплошной оболочки происходит обратный переход к сетчатой системе. Усилия в стержневой системе определяются из условия статического равновесия системы.

Собственный вес распределяется равномерно по всей поверхности сетки.

Меридиональное усилие на единицу длины кольца:

$$T_1 = -\frac{gR(1 - \cos \varphi)}{\sin^2 \varphi} = -q \frac{R}{1 + \cos \varphi}, \quad (3)$$

где R – радиус сферического купола;

φ - угол между наивысшей точкой и расчетной.

Кольцевое усилие на единицу длины меридиана:

$$T_2 = -Rg \left(\cos \varphi - \frac{1}{1 + \cos \varphi} \right), \quad (4)$$

При угле $\varphi = 51^\circ 49'$ кольцо начинает испытывать вместо сжатия растяжение.

Усилие, возникающее в опорном кольце от собственного веса, равно:

$$N_k = R^2 g \frac{1 - \cos \varphi_0}{\operatorname{tg} \varphi_0}. \quad (5)$$

Величину снеговой нагрузки находят по закону косинуса:

$$p = p_0 \cos \varphi, \quad (6)$$

где p_0 - равномерно-распределенная снеговая нагрузка на горизонтальную плоскость.

Меридиональное усилие на единицу длины кольца в любом сечении имеет постоянное значение:

$$T_1 = -\frac{\pi r^2 p_0 \sin \varphi}{2\pi r} = -\frac{p_0 R}{2}, \quad (7)$$

Кольцевое усилие на единицу длины меридиана определяется с учетом нормальной составляющей нагрузки в уровне кольцевого сечения $q = p_0 \cos^2 \varphi$, из уравнения $T_1 + T_2 = -qR$:

$$T_2 = -qR + p_0 \frac{R}{2} = -\left(\frac{1}{2}\right)p_0 R \cos 2\varphi. \quad (8)$$

Кольцевое усилие меняет знак при $\varphi = 45^\circ$.

Усилие растяжения в опорном кольце:

$$N_k = \frac{p_0 R^2}{4} \sin 2\varphi_0. \quad (9)$$

При действии на купол несимметричной снеговой нагрузки в оболочке кроме меридиональных и кольцевых усилий возникают сдвигающие усилия S .

Усилия в сферическом куполе от односторонней снеговой нагрузки интенсивностью $p = 0,4p_0(1 + \sin \varphi \sin \psi)$:

$$T_1 = 0,4p_0 R \left[\frac{1}{2} + \frac{\cos \varphi}{3 \sin^3 \varphi} (2 + 3 \cos \varphi) \cdot (1 - \cos \varphi)^2 \sin \psi \right]; \quad (10)$$

$$T_2 = 0,4p_0 R \left\{ \frac{1}{2} + \left[\sin \varphi - \frac{\cos \varphi}{3 \sin^3 \varphi} (2 + 3 \cos \varphi) \cdot (1 - \cos \varphi)^2 \sin \psi \right] \right\}; \quad (11)$$

$$S = \frac{0,4p_0 R (2 + \cos \varphi) \cdot (1 - \cos \varphi)^2}{3 \sin^3 \varphi} \cos \psi, \quad (12)$$

где ψ - угол широты в плане нижнего круга сферического купола, отсчитываемый от диаметра, перпендикулярного направлению ветра, при котором получается одностороннее загрузеие.

Расчет ветровой нагрузки производят приближенно заменой действительной эпюры ветрового давления суммой двух эпюр – симметричной $q_{v1} = q_v^0 \cos^2 \varphi$, где q_v^0 - расчетная нагрузка от давления ветра на вертикальную плоскость на уровне основания купола, и кососимметричной $q_{v2} = q_v^0 \sin \varphi \sin \psi$.

Усилия от симметричного загрузеия:

$$T_{1,v} = -q_v^0 \frac{R(1 + \cos \varphi + \cos^2 \varphi)}{3(1 + \cos \varphi)}; \quad (13)$$

$$T_{2,v} = -q_v^0 R \left[\cos^2 \varphi - \frac{1 + \cos \varphi + \cos^2 \varphi}{3(1 + \cos \varphi)} \right]. \quad (14)$$

Усилия от кососимметричного нагружения ветрового давления:

$$T_{1,v} = q_v^0 R \frac{\cos \varphi}{\sin^3 \varphi} \left(\frac{2}{3} - \cos \varphi + \frac{1}{3} \cos^3 \varphi \right) \sin \psi; \quad (15)$$

$$T_{2,v} = q_v^0 R \left[\sin \varphi - \frac{\cos \varphi}{\sin^3 \varphi} \left(\frac{2}{3} - \cos \varphi + \frac{1}{3} \cos^3 \varphi \right) \right] \sin \psi; \quad (16)$$

Кососимметричная нагрузка дает сдвигающие усилия.

Купольные покрытия обладают хорошей обтекаемостью, поэтому при $f/l \leq 4$ достаточно учесть только симметричный откос. Для купола $cf/l > 4$ следует принимать во внимание и кососимметричную ветровую нагрузку.

Максимально возможные усилия в верхнем кольце купола:

$$N_K = T_1 r_K \cos \varphi_K \leq \frac{3E_K I_K}{r_K^2}, \quad (17)$$

где E_K - модуль упругости материала;

I_K - момент инерции относительно вертикальной оси;

r_K - радиус кольца.

Критическое напряжение в оболочке:

$$\sigma_{cr,ob} = \frac{E_{ob} t_{ob}}{R \sqrt{3(1 - \mu_{ob}^2)}} \geq \sigma_{max}, \quad (18)$$

где t_{ob} - толщина оболочки;

E_{ob} , μ_{ob} - модуль упругости и коэффициент Пуассона материала оболочки;

σ_{max} - суммарные сжимающие напряжения от всех видов нагружения.

Чтобы перейти к системе сплошного купола используют следующие формулы:

- для однослойного купола

$$E_{ob} = EA / 3il, \quad (19)$$

$$t_{об} = 2i\sqrt{3}, \quad (20)$$

$$\mu_{об} = \frac{1}{3}. \quad (21)$$

- для двухслойного купола

$$E_{об} = 4EI / 3Kl^2, \quad (22)$$

$$t_{об} = K \cdot a\sqrt{3}, \quad (23)$$

$$\mu_{об} = \frac{1}{3}. \quad (24)$$

где E , I , $\mu_{об}$, A , i , l – изгибная жесткость, коэффициент Пуассона, площадь сечения, радиус инерции и длина стержня сжатого купола;

a – шаг стержней;

K – коэффициент, который определяется $K = \frac{t}{l}$ (здесь t – толщина двухслойной оболочки)

Усилия в стержнях купола определяются умножением усилий T_1 и T_2 на соответствующие расстояния между стержнями в рассматриваемом сечении купола и проектированием их на направления стержней.

Усилие в стержне меридионального направления:

$$N_1 = \frac{T_1 a}{2 \cos \alpha}. \quad (25)$$

$$N_2 = T_2 b. \quad (26)$$

Помимо осевых усилий N_1 и N_2 в стержнях могут возникать изгибающие моменты от местной нагрузки.

Чтобы избежать потери устойчивости в вертикальной плоскости, момент инерции стержней должен удовлетворить условию:

$$J \geq \frac{T_1 R_a}{0,5E} \sqrt{\frac{T_1 R}{0,5E}}. \quad (27)$$

На сегодняшний день существует возможность проведения расчетов элементов куполов в программных комплексах. Они позволяют определить НДС элементов конструкции, подобрать сечения элементов, узнать величину перемещений и другие необходимые параметры здания.

В этой работе будет использоваться расчет в ПК SCAD, но результаты расчета по подбору сечения пройдут проверку ручным счетом.

1.3 Технология возведения купольных покрытий

Ребристые и ребристо-кольцевые купола имеют аналогичные технологии возведения.

При монтаже ребристых куполов изначально возводят временную опору в центре купола [13]. Для того чтобы кольцо было смонтировано точно и раскручивание по окончании монтажа прошло без проблем, в верхней части этой опоры устанавливаются домкраты или песочницы. Для удобства и безопасности работ на опоре имеются площадка, огражденная перилами, и лестницы.

Монтажу верхнего кольца уделяют особое внимание, т.к. от его точного расположения по горизонтали и по вертикали зависит симметричность и правильная форма будущего строения.

После установки опоры и устройства колец начинается возведение ребер. Для этого производят укрупнительную сборку ребра по всей длине и закрепляют между кольцами полностью готовое ребро. Для того чтобы нагрузка не приходилась на верхнее кольцо с одной стороны, ребра возводят попарно, друг на против друга, чтобы система была в равновесии. Если укрупнительная сборка на всю длину ребра невозможна, то устраивают промежуточные опоры.

Если при возведении ребер попарно их жесткости из плоскости недостаточно, то ребра объединяют в блоки. Такой блок представляет собой объединенных два смежных ребра.

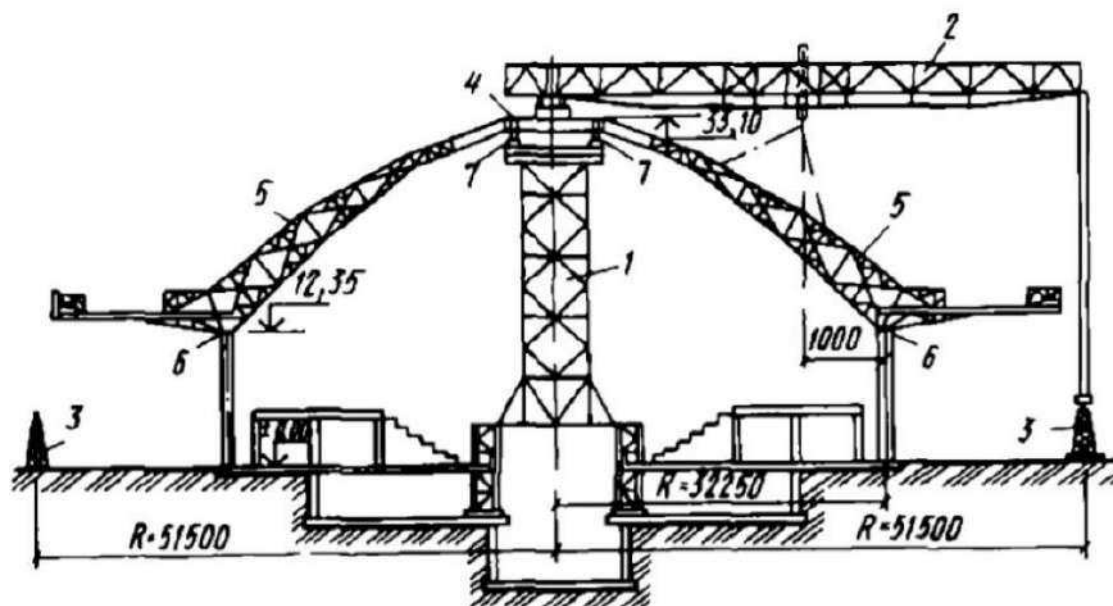
Расчалки обеспечивают жесткость ребер до устройства постоянных связей. После того, как купол полностью смонтирован, производят опускание домкратов или песочниц, для опускания которых выпускают песок.

Для монтажа купольных покрытий могут быть применены гусеничные, башенные, рельсовые и специальные краны. Располагаться они могут как внутри купола, так и снаружи. Выбор зависит от геометрических и весовых характеристик купола.

Монтаж купола цирка в Москве на пр. Вернадского производили при помощи радиально-поворотного устройства на основе козлового крана (рис. 7). Грузоподъемность этого устройства составляла 30т. Высота опоры, держащей верхнее кольцо, составляла 34м. На башню происходило опирание ригеля радиально-поворотного устройства, смонтированного при помощи строительного портала [14].

Перед установкой элементов в проектное положение производилась укрупнительная сборка при помощи гусеничного крана. каждый блок должен был быть не более 15т. Готовые блоки перевозились в зону действия радиально-поворотного устройства, где на стендах-кондукторах собиралась

складка купола. Там же происходила и сварка складок, после чего их поднимали и устанавливали в проектное положение.



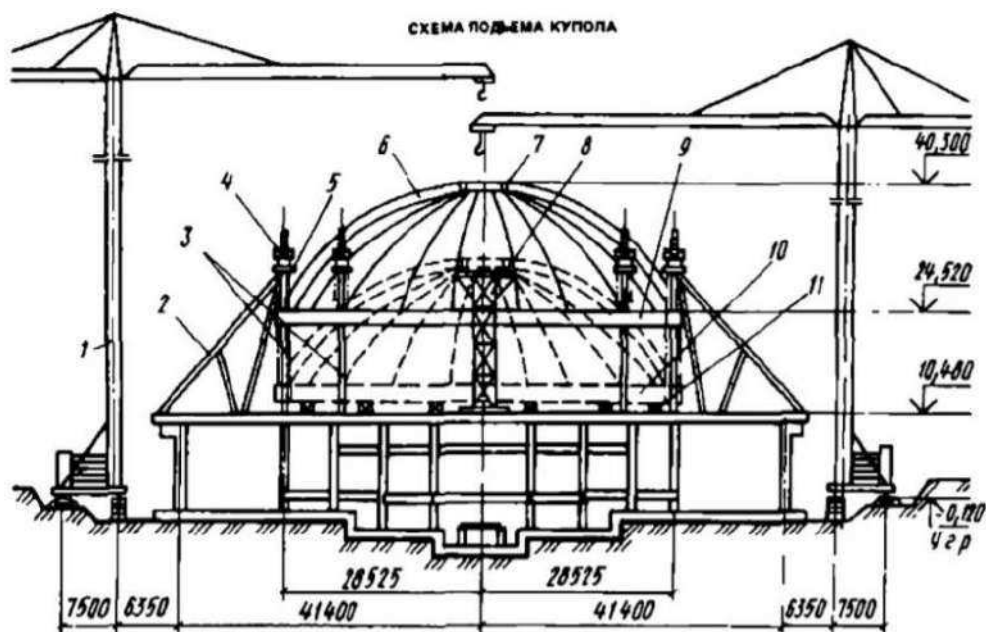
1-временная опора; 2-радиально-поворотное устройство; 3 – подкрановая кольцевая эстакада; 4 – верхнее опорное кольцо; 5 – ребра купола; 6 – нижнее опорное кольцо; 7 - домкраты

Рисунок 7 – Схема монтажа купола цирка в г. Москве на пр. Вернадского

Иногда невозможно монтировать купол сразу на проектной отметке. Так при строительстве купольного покрытия весом 720т и диаметром 57м на Поклонной горе в Москве была применена следующая технология (рис. 8).

Возвели восемь тумб высотой 1,2м. На этих тумбах было собрано нижнее опорное кольцо. Затем установили центральную опору и смонтировали на ней верхнее кольцо. Между опорными кольцами установили ребра купола, все необходимые связи и распорки.

Для дальнейшего подъема конструкции возвели восемь колонн, которые проходили через квадратные проемы опорного кольца. Колонны нарастили оголовками с касающимися траверсами. На них были установлены по 2 электромеханических подъемника, каждый рассчитанный на 50т. При помощи тяг и электроподъемников опорное нижнее вместе с куполом было поднято на проектную отметку и закреплено на колоннах.



1-башенные краны; 2-монтажные подкосы; 3 – колонны купола; 4 – электромеханические подъемники; 5 – тяги; 6 – арки купола; 7 – верхнее кольцо; 8 – временная опора; 9-нижнее кольцо; 10 – положение нижнего кольца при сборке; 11 – монтажные тумбы

Рисунок 8 – Схема монтажа купола здания в Москве на Поклонной горе

При проектировании сетчатых куполов в конструктивных решениях необходимо учитывать намеченную схему монтажа. Если купол имеет большой пролет и относится к пологим куполом, то его можно монтировать при помощи центральной и промежуточных опор.

В истории строительства есть пример, когда для возведения сетчатого купола, создали искусственный холм, на котором и разместили покрытие, а по завершению монтажа лишний грунт убрали [14].

При навесном способе монтажа сетчатых куполов, необходимо прослеживать НДС элементов купола на протяжении всего монтажа, чтобы элементы не теряли своей устойчивости. На сегодняшний день это возможно сделать благодаря программным комплексам.

1.4 Особенности учета монтажа

Монтажные нагрузки, наряду с сейсмическим воздействием, прогрессирующим обрушением, климатическими нагрузками, относятся к особому виду нагружения.

Согласно сведениям [15], в современных реалиях проектировщикам необходимо при расчете сложных сооружений (большепролетных и высотных зданий, мостов и пр.) учитывать не только схему полностью возведенного здания, но и промежуточные схемы, получаемые на стадии возведения. Иногда сечение элементов и конструкции узлов определяются именно монтажной стадией.

При монтаже на сооружение действуют следующие нагрузки [16]:

- постоянные (вес смонтированных элементов, такелажных конструкций, усилия от предварительного напряжения);

- кратковременные нагрузки (ветровые (на уже возведенную часть), вес монтажных элементов, которые используются недлительное время, динамическое воздействие при подъеме, инерционные нагрузки при транспортировке, нагрузки от ударов монтируемых конструкций, температурные воздействия и перемещения опор.

Для большепролетных конструкций особое значение играет момент раскружаливания. Раскружаливание должно производиться поэтапно, причем величины временных промежутков должны быть равны. Такое постепенное освобождение конструкции позволяет избежать перенапряжений отдельных элементов.

Купольные покрытия до установки связей представляют собой сплошные и сквозные полуарки. Их устойчивость проверяют по общим правилам. Первое ребро раскрепляют от потери устойчивости расчалками, количество, поперечное сечение и места установки которых просчитываются. Все последующие возводимые элементы связывают с предыдущими постоянными связями и распорками.

1.4.1 Нагрузка при транспортировке

При транспортировании металлоконструкций от завода на монтажную площадку по железной дороге необходимо принимать меры по обеспечению прочности и устойчивости отдельных отправочных элементов. С этой целью завод-изготовитель составляет и согласовывает с управлением железной дороги схемы погрузки. При транспортировке конструкций железнодорожным транспортом размещают и крепят груз на подвижном составе в соответствии с «Техническими условиями погрузки и крепления грузов» [17], а также чертежами и схемами. Габаритные конструкции и оборудование, подлежащие перевозке по железной дороге, не должны выходить за пределы габарита очертания погрузки с учетом его упаковки и крепления. В противном случае грузы называются негабаритными (0—IV степени).

Завод-изготовитель обязан подготовить конструкцию к перевозке таким образом, чтобы обеспечивалась безопасность движения и сохранность ее в процессе транспортирования. В связи с этим должны быть проверены на прочность узлы и отдельные элементы конструкций, а также детали, предназначенные для восприятия возникающих при транспортировании усилий.

При определении способов размещения и крепления конструкций, а также их прочности и устойчивости должны учитываться следующие силы:

- продольные горизонтальные инерционные, возникающие вследствие соударения вагонов при движении поезда, во время маневров, спуска с горок и в процессе торможения;

- поперечные горизонтальные инерционные, возникающие при движении вагона и при вписывании его в кривые и переходные участки пути;
- вертикальные, вызванные ускорениями при колебаниях движущегося вагона; давление ветра; трение; тяжесть груза.

Точкой приложения равнодействующей продольных, поперечных и вертикальных сил является центр тяжести груза. Точкой приложения равнодействующей ветровой нагрузки является центр тяжести площадки, подверженной действию силы ветра. Указанные силы учитываются в расчетах в двух сочетаниях:

I - продольная инерционная сила и сила трения;

II - поперечная инерционная сила, вертикальная динамическая, ветровая нагрузка и сила трения.

При расчете на устойчивость необходимо считать точки опирания на подвижной состав опорами конструкции, т. е. конструкция рассматривается как двухконсольная балка, а точки раскрепления растяжками, оттяжками и другими видами креплений принимаются как связи, сокращающие расчетную длину элементов конструкции.

В связи с увеличением в последнее время скорости поездов наблюдается увеличение динамических нагрузок на подвижной состав и транспортируемые конструкции. Во многих случаях отмечается также несогласованность места опирания конструкций с местами допускаемых нагрузок на подвижной состав. Поэтому возникает необходимость опирания на промежуточные узлы конструкций и подвижного состава.

В таких случаях следует проверить рабочие чертежи с целью согласования мест опирания конструкций с точками нагрузок на подвижном составе (отсюда и должно возникать понятие о транспортабельности и нетранспортабельности на железной дороге).

При транспортировке конструкций от площадки укрупнения до места монтажа (если укрупнение происходит на центральном складе и для подачи монтажного блока необходимы специальные транспортные приспособления и турникеты) укрупненный блок должен быть обеспечен от потери устойчивости постоянными или инвентарными связями (вертикальными и горизонтальными), создающими также пространственную жесткость блока. Иногда для транспортировки блоков, масса которых достигает 100 т и более, применяют специальные транспортные тележки. Поскольку в состав укрупненных блоков входят технологическое оборудование, ограждающие конструкции и т. д., они могут быть загружены нагрузками, близкими к эксплуатационным, а условия опирания их резко отличаются от проектных. Поэтому возникает необходимость в проверочных расчетах их прочности и устойчивости для принятого случая опирания. В некоторых случаях требуется определение точки (узла) опирания монтажного блока на такие транспортные приспособления.

В большинстве случаев расчетная схема конструкций на этой стадии транспортировки представляет собой двухконсольную балку при полном

отсутствии заземления во всех точках опирания. В связи с тем, что скорость при подаче укрупненных блоков незначительна, влиянием инерционных нагрузок можно пренебречь и считать, что укрупненные блоки загружены силой тяжести собственной массы и установленного на них технологического оборудования.

На автотранспорте можно перевозить негабаритные блоки, что невозможно сделать на железной дороге. При транспортировке по железной дороге эти блоки после сборки и испытания в заводских условиях приходится разбирать или же разрезать на транспортабельные части. Это не только экономически убыточно, но иногда и технически невозможно. В этом случае автомобильный транспорт оказывается экономически целесообразным.

Следует учитывать, что при погрузке на автотранспортные приспособления возможно значительное повышение общего центра тяжести, в результате чего груз окажется неустойчивым, особенно на неровных участках дороги. В этих случаях рационально транспортирование конструкций и оборудования на двух трейлерах методом провисания, для чего на трейлерах устанавливаются шарнирные опорные приспособления. Это дает возможность понизить общий центр тяжести до 1 м и верхний габарит автопоезда.

При таком методе транспортировки конструкция, кроме усилий от силы тяжести, инерционных и динамических воздействий, будет воспринимать в качестве растягивающей силу тяги

$$F_d = \frac{N}{v} \eta, \quad (28)$$

где N - мощность двигателя тягача, Вт;

v - скорость движения автопоезда, м/с;

η - коэффициент полезного действия двигателя и силовой передачи (для автомашин $\eta=0,85$ для тракторов $\eta=0,8$).

Сила тяги в зависимости от сцепления с поверхностью дороги

$$F_c = P_c \varphi, \quad (29)$$

где P_c — сила тяжести тягача с грузом, Н;

φ — коэффициент сцепления колес или гусениц с покрытием, который зависит от типа и состояния дороги и определяется по справочным данным.

Из двух найденных значений силы тяги для расчета конструкции принимается максимальное, а для определения максимально возможной трассы транспортируемого блока — минимальное.

1.4.2 Нагрузки при складировании

Все конструктивные элементы, которые поступают на строительную площадку, должны быть снабжены знаком монтажа. Элементы, которые предварительно собраны в структурную единицу и будут транспортироваться и монтироваться как один элемент, могут иметь тот же начальный номер, что и маркировка. Если при монтаже элемент имеет ориентацию (левую и правую стороны), что не видно по его форме, это также должно быть обозначено маркировкой. Метки должны быть размещены в местах, видимых во время хранения и после установки элемента. Маркировка должна быть указана на монтажных чертежах таким образом, чтобы место каждого элемента можно было легко распознать [18].

Материал, доставленный на площадку и не предназначенный для немедленного монтажа, должен храниться в подходящем месте, которое должно быть защищено от концентрации дождевой воды. Стальные элементы следует снимать на деревянных шпалах или других подходящих материалах.

Складирование должно быть организовано с учетом последовательности работ, чтобы компоненты, подлежащие установке в первую очередь, были доступны. Крепежи, хранящиеся на месте, должны храниться в сухих условиях, надлежащим образом упакованы и легко распознаваемы.

Компоненты должны храниться и обрабатываться таким образом, чтобы минимизировать опасность постоянных деформаций или любого вида повреждений стальных поперечных сечений или защитной обработки. Повреждения при транспортировке, хранении или монтаже должны быть восстановлены.

Расчетная схема элемента на этом этапе напрямую зависит от схемы складирования (рис. 9).

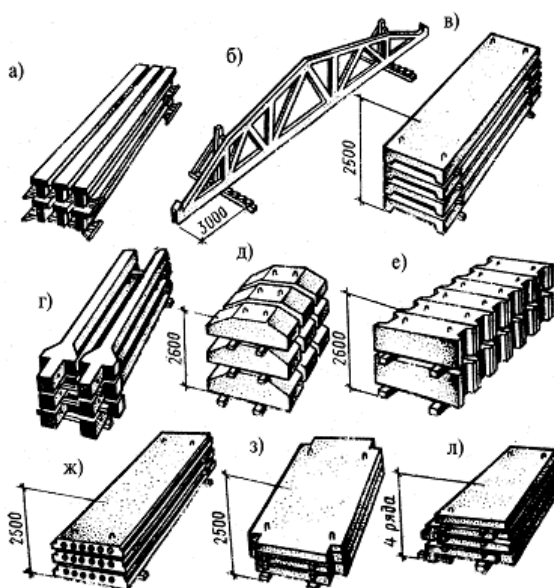


Рисунок 9 – Схемы складирования элементов

На элемент действует нагрузка от собственного веса, а также веса вышележащих конструкций. Если используются прокладки между рядами элементов, то в этих местах нагрузку от верхних элементов можно принять сосредоточенной (собственный вес всегда задается распределенной нагрузкой).

В зависимости от того, соприкасается элемент непосредственно с нижележащим элементом/землей или через прокладки, задаются связи. Так при использовании прокладок можно принять, что элемент закреплен шарнирно-подвижными опорами, ограничивающими перемещение по вертикали, а без использования прокладок – элемент лежит на упругом основании.

1.4.3 Нагрузки, возникающие при укрупнительной сборке и подъеме

Мощность современных грузоподъемных монтажных механизмов позволяет доводить размеры монтажных блоков до таких пределов, когда они могут разрушиться или потерять устойчивость под действием собственной силы тяжести и других монтажных воздействий. Поэтому возникает необходимость в проверке укрупненных блоков на прочность и устойчивость, а в некоторых случаях — в постановке специальных связей и элементов усиления.

При укрупнении конструкций в пространственные блоки возникает задача обеспечения пространственной жесткости, для чего должны быть запроектированы постоянные или инвентарные вертикальные и горизонтальные связи. При применении конвейерной сборки оказывается целесообразным в системе монтажных блоков предусматривать постоянные вертикальные связи на каждый блок [14], хотя это и влечет за собой перерасход металла. При традиционных методах сборки пространственных блоков такие связи проектируют инвентарными.

Особое внимание при укрупнительной сборке должно уделяться обеспечению проектной геометрической формы монтажных блоков.

При подъеме стержневых сплошностенчатых конструкций (балки, трубы) расчет их можно производить как обычных консольно-балочных систем. Точки строповки при этом являются опорами. Расчетный изгибающий момент определяется с учетом коэффициентов надежности по нагрузке и динамичности.

Гибкость поднимаемой конструкции на длине между точками строповки не должна превышать 220.

При подъеме решетчатых конструкций с достаточно мощной решеткой расчет представляет сложную инженерную задачу. Естественно, что при этом каждый стержень обеспечивается от потери устойчивости при всех возможных условиях работы конструкции в ее плоскости и из плоскости.

В этом отношении условия работы элементов решетки в период подъема не будут существенно отличаться от условий работы в период эксплуатации (хотя и возможны случаи изменения знака усилия; тогда элементы решетки, в которых вместо растяжения в период эксплуатации появляется сжатие в период монтажа, должны иметь соответствующую СП [20] гибкость).

1.4.4 Влияние способа монтажа на НДС конструкции

Неоднократное изменение статических схем в период монтажа характерно не только для отдельных конструкций, но и для несущего каркаса сооружения в целом. Однако при расчетах усилия в элементах несущих конструкций и сооружений определяются от постоянных, временных и особых нагрузок (в их различных сочетаниях), приложенных к несущим конструкциям в таком виде, какими они будут в период эксплуатации. Таким образом, сооружения традиционно рассчитываются из условия одновременного включения всех конструкций по одной и той же статической схеме на различные виды нагрузок.

На практике по мере возведения каркаса здания отдельные пролеты и этажи последовательно загружаются ограждающими конструкциями и некоторыми (наиболее массивными) частями технологического оборудования. Эти нагрузки иногда могут составлять большую часть расчетных, но включаться в работу на их восприятие будет не весь каркас, а только его смонтированная часть. Под воздействием усилий от этих нагрузок происходит деформирование смонтированной части каркаса, причем на распределение усилий и деформаций будет влиять степень завершенности узловых соединений (шарнирное или жесткое сопряжение смонтированных конструкций в момент их загрузки) и соответствие их в этот момент проектным.

В конструкциях, монтируемых позже, от этих нагрузок не будут возникать усилия, хотя по традиционной расчетной схеме они должны работать на восприятие всех нагрузок [16].

Таким образом, статические расчеты несущих каркасов зданий и сооружений следует производить с учетом возможных методов монтажа и последовательности приложения полезных нагрузок, так как каждому этапу монтажа соответствует своя расчетная схема. К моменту окончания монтажа действительное напряженное состояние каркаса оказывается значительно отличным от расчетного. Учет этого фактора особенно важен при совмещенных методах монтажа высотных зданий, широко практикуемых в настоящее время. При задании монолитного каркаса высотного здания в ПК SCAD без учета монтажа можно наблюдать растягивающие усилия, возникающие в верхних элементах, что противоречит реальной картине работы каркаса.

Рабочие чертежи металлических конструкций и монтажные схемы содержат указания о принятом в расчете методе монтажа, последовательности приложения нагрузок, порядке и времени выполнения и завершения узлов на отдельных этапах монтажа.

Изменение предусмотренных расчетами методов монтажа или последовательности установки конструкций согласовывается с проектной организацией.

Расчеты несущих конструкций сооружения проводятся в соответствии с заранее заданной схемой и последовательностью возведения (чаще для каркасов промышленных зданий, когда деформации не могут иметь значительного влияния на окончательную исполнительную схему несущих конструкций каркаса сооружения). В этом случае не требуется искусственного управления напряженным и деформированным состоянием конструкций на отдельных стадиях возведения здания. Для высотных сооружений, а также для большепролетных зданий и сооружений расчеты рекомендуется выполнять исходя из необходимого конечного положения смонтированного целиком сооружения: в этом случае требуется применение различных способов управления напряженным и деформированным состоянием сооружения с учетом нагрузок, соответствующих рассматриваемой стадии монтажа. В связи с большой трудоемкостью такие расчеты выполняют на электронно-вычислительных машинах.

1.5 Постановка задачи исследования

Исследовать на подготовительном этапе и во время возведения каркаса сетчатого купола изменение напряженно-деформированного состояния элементов. Данное исследование позволит установить, достаточно ли расчета только готовой конструкции здания, или необходимо учитывать и промежуточные этапы жизни здания/сооружения.

Для этого изначально производится расчет купола в финальном виде по предельным состояниям, а затем с учетом нагрузок, возникающих при транспортировке, складировании, строповке, укрупнительной сборке и на промежуточных этапах возведения каркаса.

2 Конструирование и исследование процесса монтажа сетчатого купола

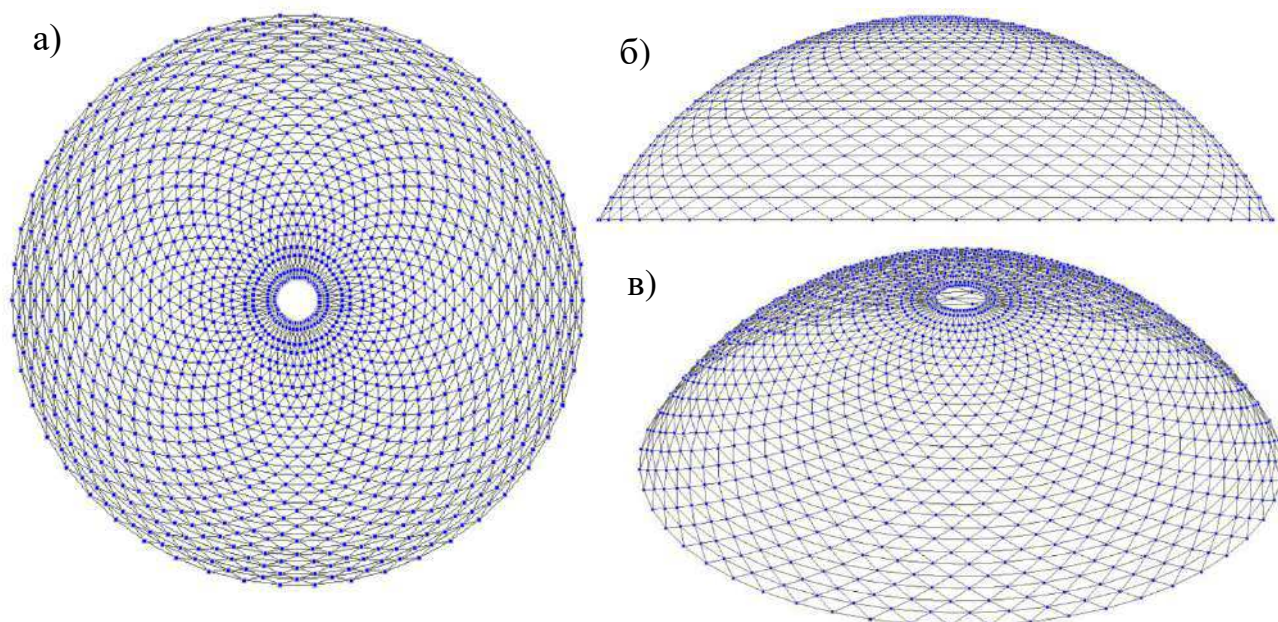
2.1 Расчетная схема

Схема несущего каркаса стального купола представлена в графической части проекта на листе 1.

Геометрические характеристики сетчатого купола:

- диаметр купола – 100 метров;
- высота купола - 30 метров;

- количество сегментов по высоте – 30;
- количество сегментов по длине окружности – 50;
- система каркаса - звездчатый купол Фешля (рис.10).



а – вид сверху на купол; б – вид спереди; в – общий вид

Рисунок 10 – Сетчатый купол

2.2 Климатические условия

Расчет несущих конструкций выполнен для района с природно-климатическими условиями:

- г. Красноярск
- климатический район – I;
- климатический подрайон – IV;
- зона влажности – 3 (сухая);
- средняя температура воздуха наиболее холодной пятидневки – минус 40°C;
- расчетная температура внутреннего воздуха – 20°C;
- продолжительность отопительного периода – 233 сут.;
- средняя суточная температура отопительного периода – минус 6,7°C;
- расчетная снеговая нагрузка – 2,1 кПа (III снеговой район);
- нормативная ветровая нагрузка – 0,38 кПа, тип местности – В (III ветровой район);
- преобладающее направление ветра – западное;
- интенсивность сейсмического воздействия для г. Красноярска принимается равной 6 баллов.

2.3 Сбор нагрузок

Купол будет покрываться светопрозрачными конструкциями, а для определения их параметров необходимо знать максимальные нагрузки, действующие на стекло. Поэтому изначально определим снеговые и ветровые нагрузки, а затем уже постоянные.

2.3.1 Снеговая нагрузка

Нормативное значение нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия следует определять по формуле

$$S_0 = c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g \quad (30)$$

где c_e – коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра или иных факторов;

c_t – термический коэффициент;

μ – коэффициент формы, учитывающий переход от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие;

S_g – нормативное значение веса снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли.

Для наших условий принимаем следующие значения:

$S_g = 1,5 \text{ кН/м}^2$ – для 3-го снегового района;

$c_e = 1$ – для купольных покрытий зданий на круглом плане, при $d = 100\text{ м}$;

$c_t = 1$ – несмотря на то, что утеплитель не применяется, но заданная толщина стеклопакета должна предотвратить чрезмерной потери тепла. И чтобы не уменьшать значение нормативной снеговой нагрузки, принят коэффициент равный 1.

Определение коэффициента μ . Для здания с купольной формой определяется для 3-х вариантов. В нашем случае рассматривается 2 варианта, потому что поверхность не шероховата, не имеет надстроек, фонарей и ограждающих сооружений.

1 вариант

Коэффициент μ принимается согласно табл. Б.2 источника [11]. В промежуточных точках значения находятся с помощью линейной интерполяции. Необходимые геометрические параметра купола указаны на рисунке 11.

Значение μ
1 вариант

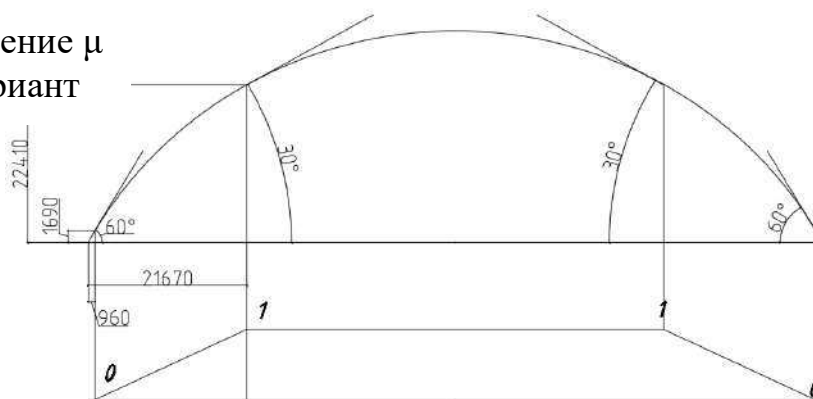


Рисунок 11 – Значение коэффициента μ для 1-го варианта

Значение коэффициента μ_1 для четных сегментов 1-го купола ($30^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$ и $45^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значение коэффициента μ_1 ($30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$)

Расстояние от центра купола	Значение коэффициента μ_1
28,33	1 ($\alpha=30^\circ$)
30	0,92
35	0,68
40	0,44
45	0,2
49,04 ($\alpha=60^\circ$)	0
50	0

Нормативное значение снеговой нагрузки при $\alpha < 30^\circ$

$$S_0 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ кПа}$$

Для учета расчетной нагрузки в ПК SCAD вводится коэффициент 1,4.

Значение нормативной снеговой нагрузки при $30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значение нормативной снеговой нагрузки ($30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$)

Расстояние от центра купола	Значение нормативной снеговой нагрузки по 1-му варианту
28,33 ($\alpha=30^\circ$)	1,5
30	1,38
35	1,02
40	0,66
45	0,3
49,04 ($\alpha=60^\circ$)	0
50	0

2 вариант

В этом варианте рассматривается снеговая нагрузка только на половину купола. При этом значение нагрузки на каждую плоскость покрытия зависит от своего коэффициента (рис. 12).

Для 2 варианта при $z \leq r_1$ следует принимать

$$\mu_2 = C_{r1} (z/r_1)^2 \cdot \sin \beta \quad (31)$$

где $C_{r1} = 2,55 \cdot \exp(0,8 - 14f/d) = 2,55 \cdot \exp(0,8 - 14 \cdot 30/100) = 2,52$

z – расстояние от центра купола до горизонтальной проекции середины сегмента, на который рассчитывается нагрузка;

$r_1 = 28,33$ м – расстояние от центра купола до горизонтальной проекции точки, в которой касательная к куполу составляет 30° с горизонтом.

Для 2 варианта при $z > r_1$ следует принимать $\mu = 1,5 \cdot \sin \beta$, при $\alpha = 45^\circ$ ($z = 40$ м), а при $\alpha = 60^\circ$ $\mu = 0$ ($z = 49,04$ м). Промежуточные точки находятся при помощи интерполяции.

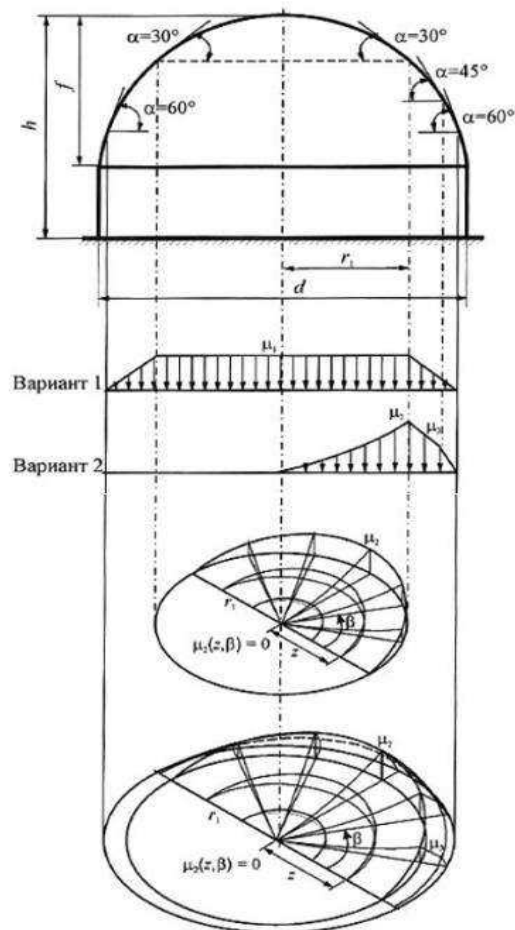


Рисунок 12 – Значение коэффициента μ

Результаты значения μ_2 и нормативной снеговой нагрузки сводится в таблице 3. Расчет производится по формулам, представленным выше, в Excel.

2.3.2 Ветровая нагрузка

Город Красноярск относится к 3 ветровому району, отсюда следует, что $w_0=0,38$ кПа.

Нормативное значение основной ветровой нагрузки w следует определять как сумму средней w_m и пульсационной w_p составляющих.

Нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки w_m в зависимости от эквивалентной высоты z_e над поверхностью земли следует определять по формуле:

$$w_m = w_0 k(z_e) c_e, \quad (32)$$

где $k(z_e)$ – коэффициент, учитывающий изменения ветрового давления для высоты z_e ;

c_e – аэродинамический коэффициент.

Коэффициент $k(z_e)$ учитывает изменение ветрового давления для высоты z_e .

$z_e = 30$ м; согласно табл. 11.2 [11], используя метод интерполяции, получаем $k(z_e)=0,95$

Для купольных покрытий значения коэффициентов c_e в точках А и С, а также в сечении В-В приведены на рисунке 13. Для промежуточных сечений коэффициенты определяются линейной интерполяцией.

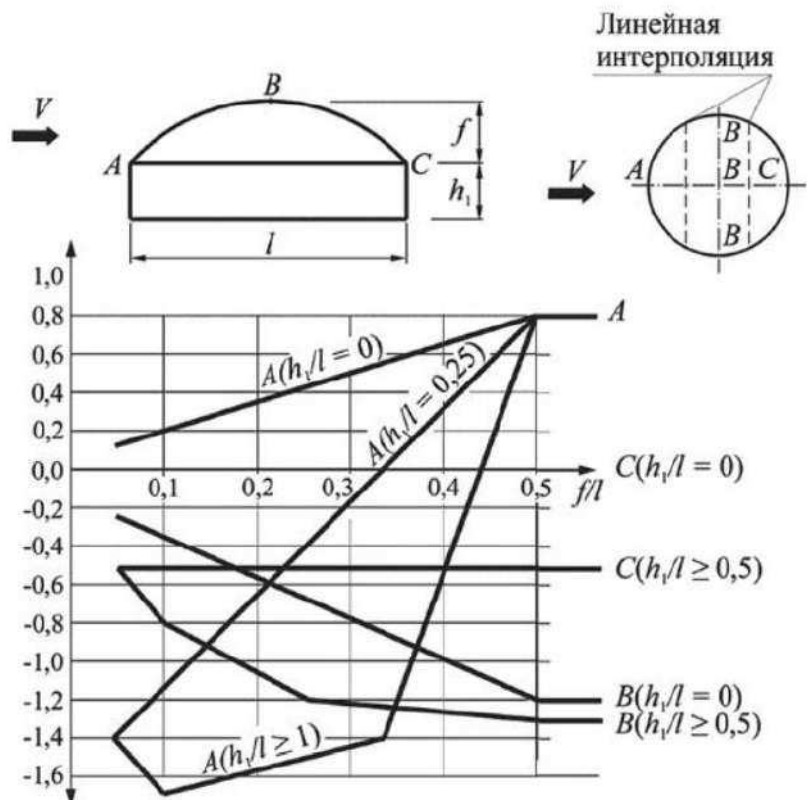


Рисунок 13 – Значение коэффициента c_e

Соответственно из графика получаем, что для точки А $c=0,5$, т.В – $c=-0,77$, для т.С $c=0$.

Считая по выше приведенной формуле, получаем:

$$w_{m1} = 0.38 \cdot 0,95 \cdot 0.5 = 0.1805 \text{кПа},$$

$$w_{m1} = 0.38 \cdot 0,95 \cdot (-)0.77 = -0.277 \text{кПа},$$

$$w_{m1} = 0.38 \cdot 0,95 \cdot 0 = 0 \text{кПа}.$$

Нормативные значения ветровой нагрузки представлены на рисунке 14.

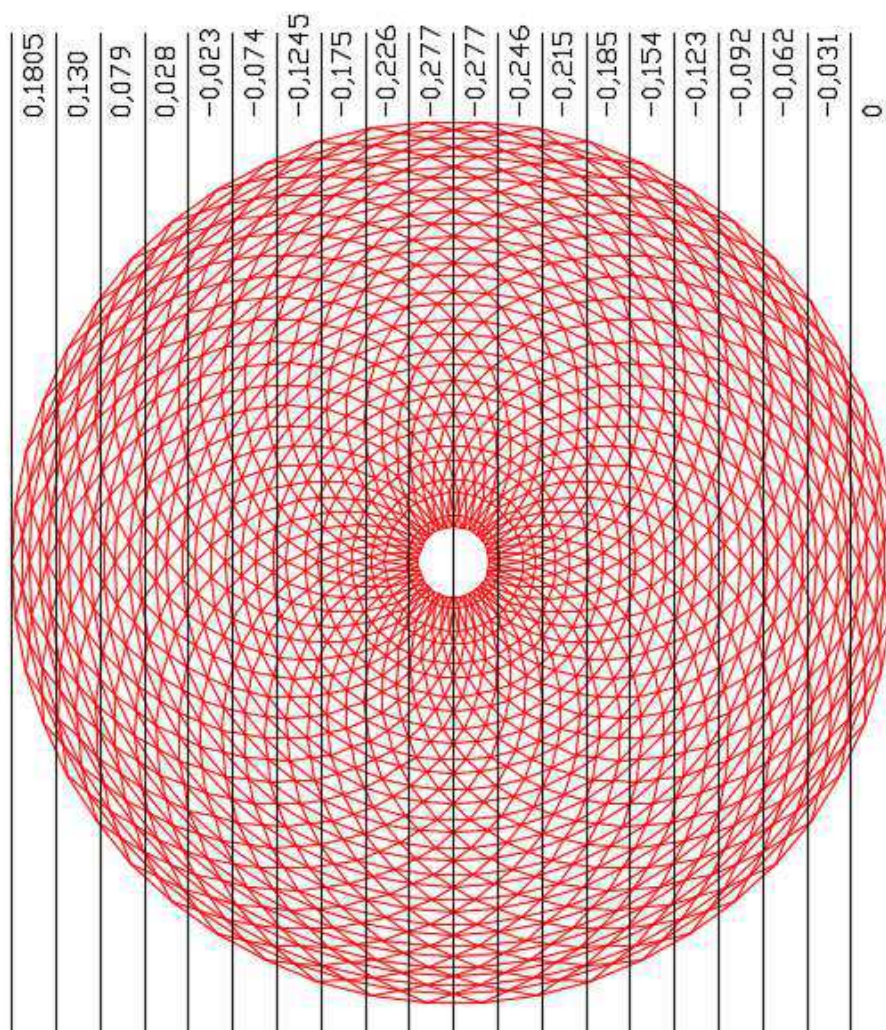


Рисунок 14 – Величина ветровой нормативной нагрузки

К расчетным нагрузкам перейдем, указав в ПК SCAD коэффициент 1,4. Пульсирующая составляющая ветровой нагрузки задается при помощи ПК SCAD. Параметры задания представлены на рисунке 21.

2.3.3 Постоянная нагрузка

2.3.3.1 Выбор ограждающих конструкций

Для эстетической выразительности в качестве ограждающих применим светопрозрачные конструкции.

Согласно требованиям [16], прочность стекла должна быть обеспечена при действии расчетных значений нагрузок от снега, ветра, собственного веса.

Наибольшая площадь остекленного элемента составляет 6 м^2 . Из табл.1 источника [22] подбираем трехслойный стеклопакет с толщиной каждого стекла 8мм, и прослойкой в 12мм.

Согласно источнику [22], при площади стекла более 5 м^2 нагрузкой от разности температур и давления можно пренебречь.

Исходные данные для расчета: $a=2\text{ м}$ (меньшая сторона стеклопакета), $b=3\text{ м}$ (большая сторона стеклопакета), расчетная температура внутри здания $+20^\circ\text{C}$.

Значение максимальной расчетной снеговой нагрузки (нормативное значение принимается из табл. 3 ПЗ):

$$3,78 \cdot 1,4 = 5,3 \text{ кПа}$$

Максимальная расчетная ветровая нагрузка (нормативное значение представлено на рис. 14):

$$0,18 \cdot 1,4 = 0,25 \text{ кПа}$$

Принимается значение с «плюсом», чтобы не принимать во внимание разгружающий эффект от ветровой нагрузки.

Нагрузка, действующая на стеклопакет, равняется:

$$q_p = g + (q + p)n \tag{33}$$

где g – нагрузка от собственного веса стекла (для трехслойного стеклопакета с толщиной стекла 8мм равна $52,5\text{ кгс/м}^2 = 0,515\text{ кПа}$)

q – снеговая нагрузка, кПа;

p – ветровая нагрузка, кПа.

n - коэффициент, принимаемый равным 0,55 - для двухслойных стеклопакетов, 0,36 - для трехслойных стеклопакетов со стеклами равной толщины.

$$q_p = 0,515 + (5,3 + 0,25) \cdot 0,36 = 2,5\text{ кПа} = 254,93 \text{ кгс/м}^2 = 0,025\text{ кгс/см}^2$$

Коэффициент k вычисляется по формуле 34:

$$k = \frac{q_p}{(1 + \lambda^2)^2 \cdot E} \left(\frac{b}{\delta} \right)^4 \quad (34)$$

где δ – толщина стекла;

E – модуль упругости стекла, равный $6,5 \cdot 10^5$ кгс/см²;

λ – отношение большей стороны к меньшей $\lambda = \frac{b}{a} = 3/2 = 1.5$

$$k = \frac{0.025}{(1 + 1.5^2)^2 \cdot 6.5 \cdot 10^5} \left(\frac{600}{0.8} \right)^4 = 30.4$$

Из рис.3 [22] определяем $f/\delta=2,2$.

Проверяем прочность:

$$E \left(\frac{\delta}{b} \right)^2 \left[2,3\lambda \left(\frac{f}{\delta} \right)^2 + 5.12 \frac{f}{\delta} (\lambda^2 + 0.22) \right] \leq R_u \quad (35)$$

$$6.5 \cdot 10^5 \cdot (0.0027)^2 \left[2,3 \cdot 1.5 \cdot 2.2^2 + 5.12 \cdot 2.2 \cdot (1.5^2 + 0.22) \right] = 131.84 < 150$$

Условие прочности выполняется только при использовании закаленного стекла, в случае применения обычного – прочность не обеспечена.

Расчет сопротивления теплопередачи фасадного остекления

Теплотехнический расчет производится на ограждающую конструкцию (светопрозрачная навесная фасадная конструкция) в соответствии с СП50.13330.2012 Тепловая защита зданий [23].

Градусо-сутки отопительного периода, °С·сут/год, определяют по формуле:

$$ГСОП = (t_e - t_{om}) \cdot z_{om}; \quad (36)$$

где t_{om} , z_{om} – средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по [24] для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С;

t_e – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С, согласно классификации помещений и минимальных значений оптимальной температуры по ГОСТ 30494 [25].

$$ГСОП = (20 - (-6,7)) \cdot 233 = 6221.1 \text{ °С} \cdot \text{сут} / \text{год};$$

По таблице 3 [23] в зависимости от здания и вида ограждающей конструкции определим базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции:

$$R^{mp} = a \cdot ГСОП + b = 0,000025 \cdot 6221,1 + 0,2 = 0,355 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции R_0^{norm} , ($\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$), следует определять по формуле:

$$R_0^{norm} = R_{0mp} \cdot m_p; \quad (37)$$

где m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства, в расчете принимается равным 1.

$$R_0^{norm} = 0,73 \cdot 1 = 0,73 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Витражные конструкции выполняются согласно проекту по проектному каталогу алюминиевых конструкций систем «СИАЛ КП50» и «СИАЛ КП50КС» ("Алюминиевые конструкции и профили системы СИАЛ, структурное остекление КП50КС") [21]. Согласно каталога $R = 1,099 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, что удовлетворяет требованиям.

В системе «теплого» фасадного остекления применяем двухкамерный стеклопакет толщиной 38мм, состоящий из трех листовых стекол толщиной 8 мм, стекло закаленное, расстояние между стеклами 12 мм.

2.3.3.2 Расчет постоянной нагрузки

Из предыдущего пункта получаем нормативную нагрузку от веса ограждающих конструкций - 0,52кПа.

Согласно требованиям [16], для светопропускающих конструкций применяется коэффициент надежности по нагрузке, равный 1,1. Таким образом, расчетная нагрузка составляет:

$$0,52 \cdot 1,1 = 0,57 \text{ кПа}.$$

Для учета собственного веса конструкции будет использована встроенная функция SCAD Office. Коэффициент надежности по нагрузке для металлических конструкций равен 1,05, согласно [11].

В дальнейших расчетах к постоянной нагрузке будет относиться вес расчалок, крепежных устройств, которые длительное время влияют на работу конструкции на стадии монтажа.

2.4 Расчет сетчатого купола в ПК SCAD

2.4.1 Расчетная схема в ПК SCAD

Расчетная схема сетчатого купола, заданная в ПК SCAD, представлена на рисунке 15.

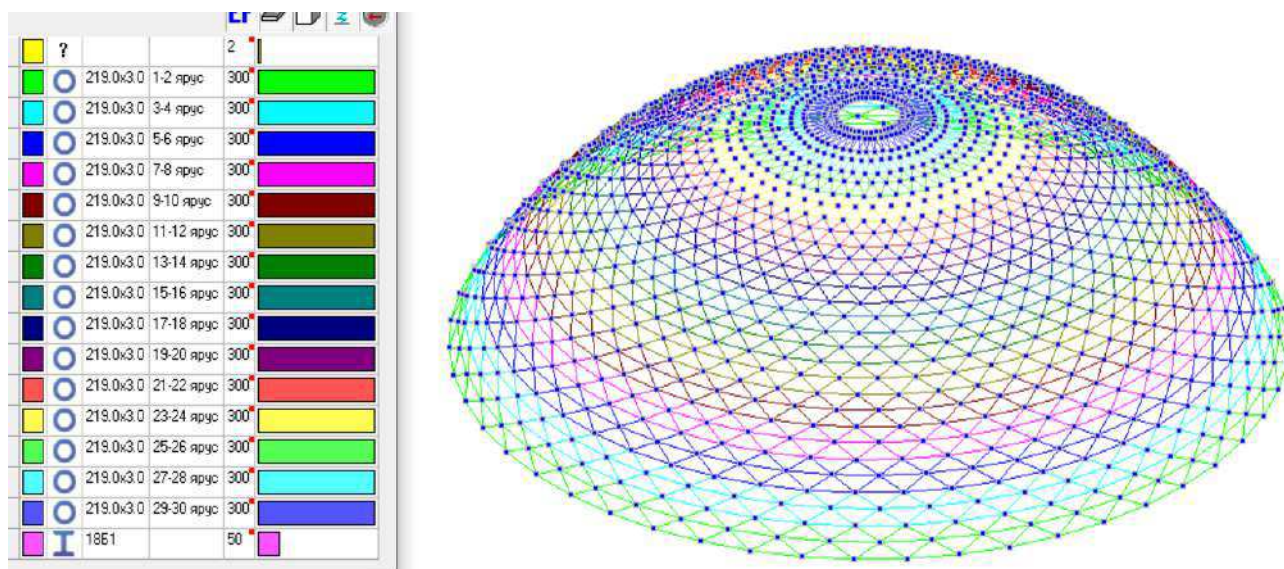


Рисунок 15 – Расчетная схема сетчатого купола

Так как мы рассматриваем «поведение» только стального каркаса, то действие нижнего опорного кольца заменяем установленными связями в опорах (предполагается, что купол устанавливается на железобетонной основание, которое и служит кольцом).

Для удобства дальнейшей работы сразу разбиваем купол по 2 яруса, чтобы подобрать в дальнейшем необходимые сечения.

Изначально для всех стержней задается сечение по ГОСТ 8732-78 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные [26] 203x6мм.

Ячейки заполняются условно невесомыми пластинами, чтобы их жесткость в данной схеме не учитывалась, а возможность прикладывать нагрузки к плоскости сохранилась.

Элементы между собой соединены жестко, потому что обычно элементы сетчатых куполов скрепляются сваркой, что обеспечивает жесткое соединение.

Верхнее кольцо задано по ГОСТ 26020-83 [27] двутавровым сечением 18Б1. В дальнейшем все значения сечений будут скорректированы. Многие сетчатые купола выполняются без верхнего кольца, но в выбранной мной схеме (по звездчатой системе Феппля), верхнее кольцо должно быть. Насколько оно будет необходимо, и какие будут его размеры на данном этапе сказать трудно.

2.4.2 Схемы приложения нагрузок

Вес от покрытия ограждающих конструкций прикладывается к условно невесомым пластинам. Пластины заданы без реальных параметров, чтобы при расчете их жесткостные параметры не учитывались, а демонстрировалась только работа несущего каркаса.

Схема приложения нагрузки от ограждающих конструкций представлена на рисунке 16.

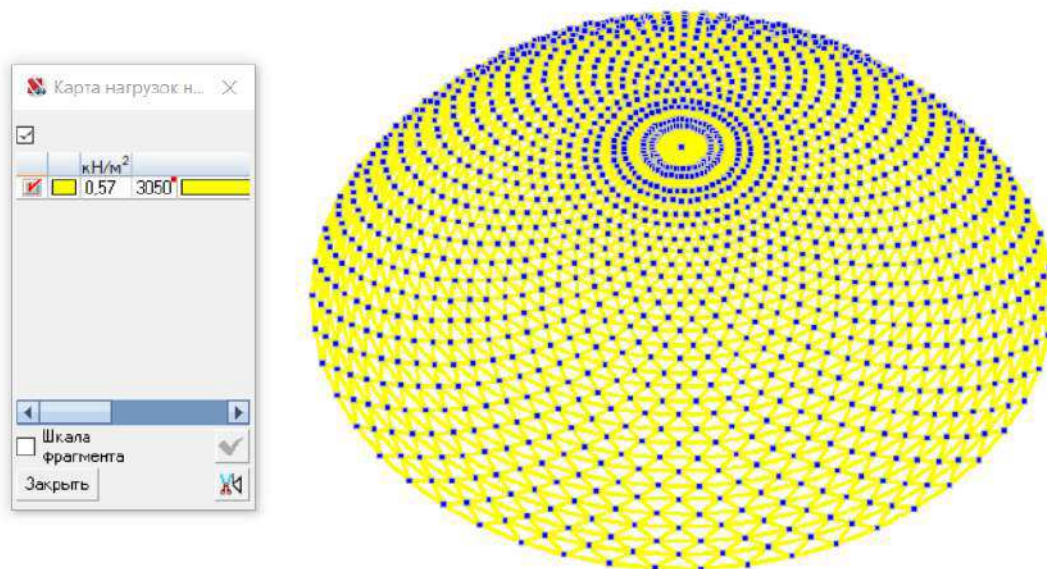


Рисунок 16 – Схема приложения постоянной нагрузки от покрытия

Собственный вес несущих конструкций купола учитывается программным комплексом SCAD Office автоматически. Схема приложения нагрузки от собственного веса несущих конструкций представлена на рисунке 17.

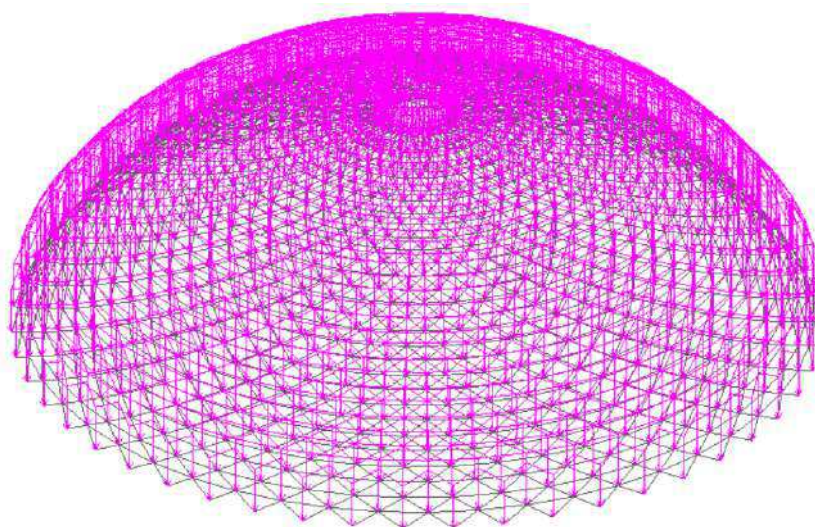


Рисунок 17 – Схема приложения нагрузки от собственного веса

Далее прикладываем снеговую нагрузку по 1-му варианту:

Первый вариант рассматривает случай, когда снег покрывает купол равномерно (рис. 18). При втором варианте снег покрывает половину купола, и снеговая нагрузка распределяется только на части купола (рис. 19).

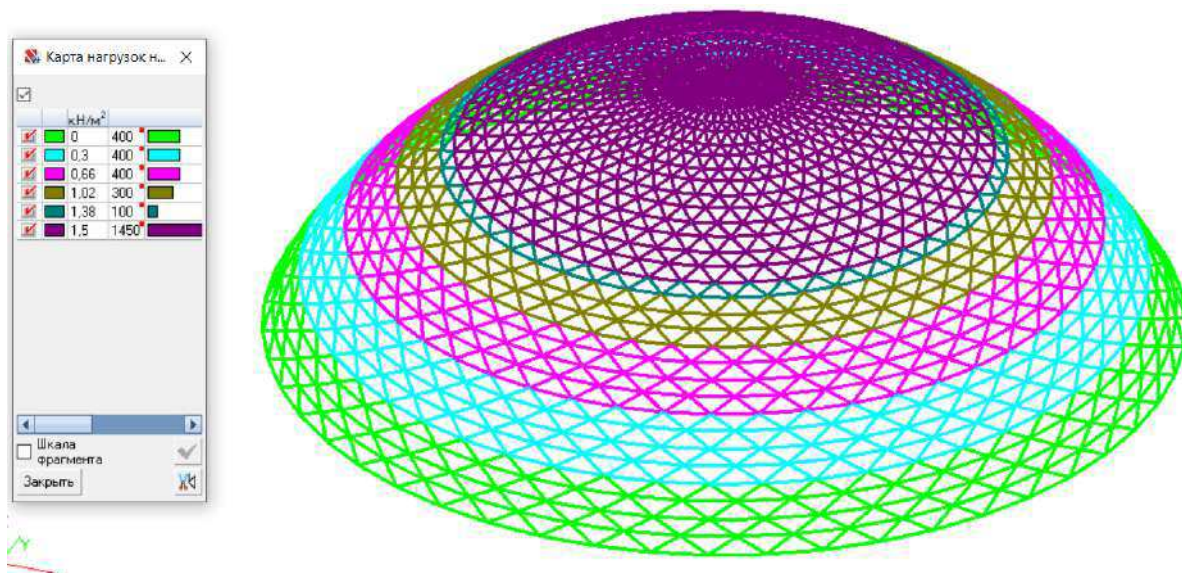


Рисунок 18 – Схема приложения снеговой нагрузки (1 вариант)

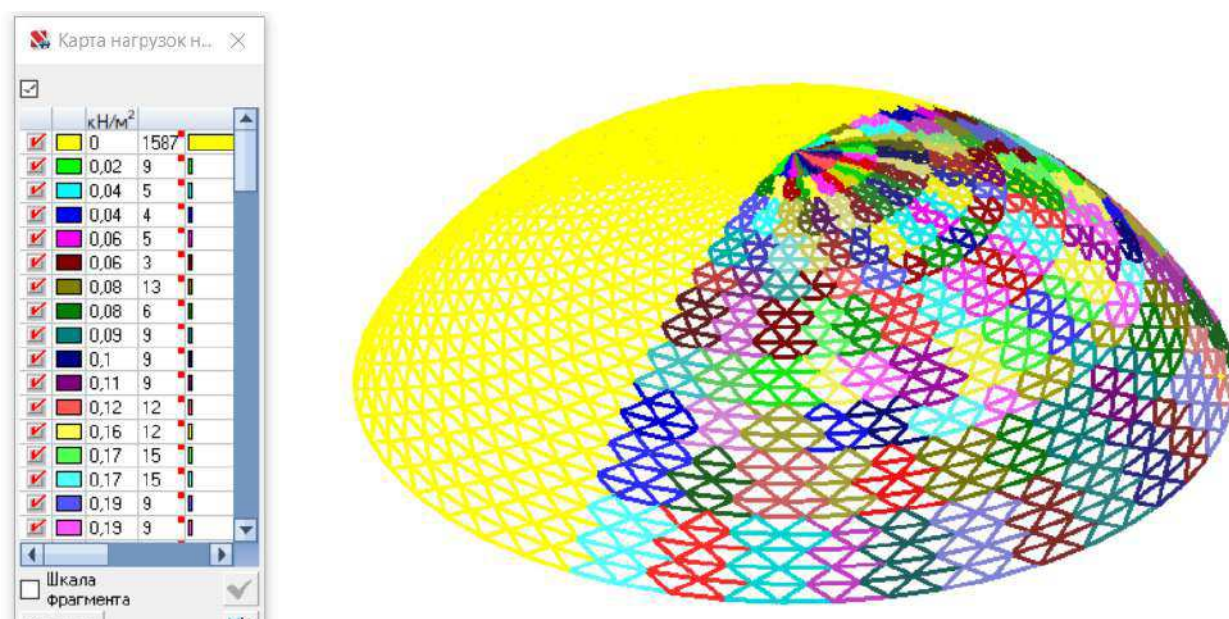


Рисунок 19 – Схема приложения снеговой нагрузки (2 вариант)

Ветровая нагрузка прикладывается к элементам по местным осям. Схема распределения нагрузки на элементы по центральной оси купола представлена на рисунке 20. Значение нагрузки согласно рисунку 14. Задаются четыре вариант загрузки в ортогональных направлениях, чтобы рассмотреть наиболее неблагоприятные сочетания со снеговой нагрузкой.



Рисунок 20 – Схема распределения ветровой нагрузки

В п.2.3.2 была рассчитана статическая составляющая ветровой нагрузки. Пульсационная составляющая задается в ПК SCAD Office согласно рисунку 21.

На верхнее кольцо прикладывается распределенная нагрузка с сегмента покрытия кольца. Чтобы корректно подобрать сечение элементов .

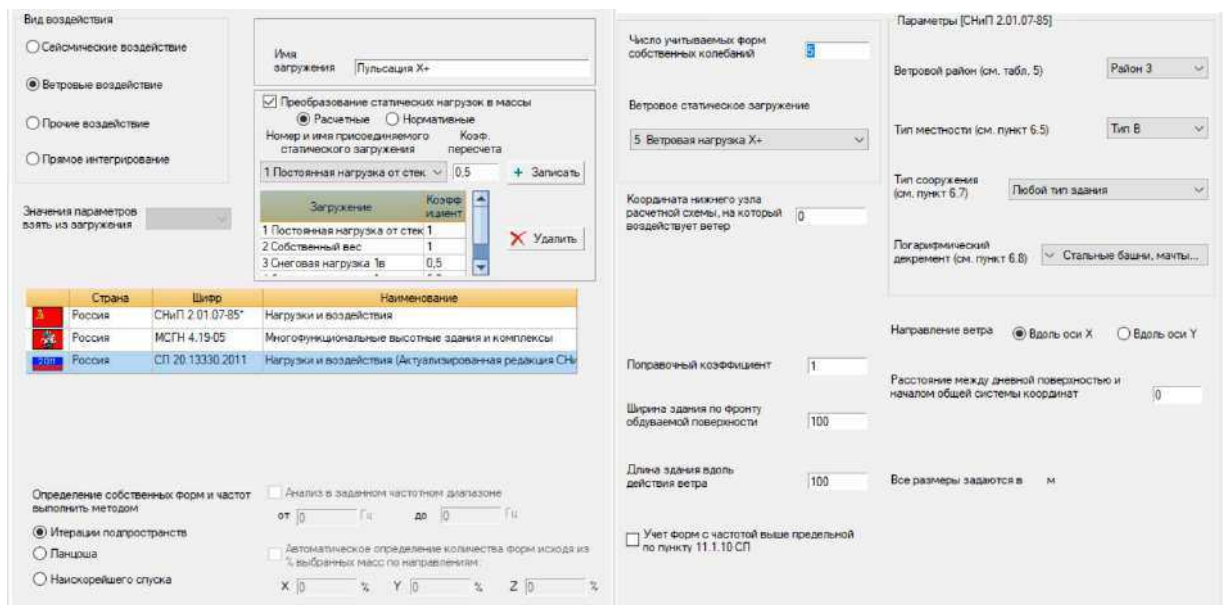


Рисунок 21–Параметры задания пульсационной нагрузки (скриншот ПК SCAD)

2.4.3 Задание комбинаций нагрузок и РСУ

Параметры задания комбинации нагрузок и расчетного-сочетания усилий представлены соответственно на рисунках 22 и 23.

Комбинации загрузений

№	Загружения/Комбинации	Коэффициент
1	Постоянная нагрузка от стекла	1
2	Собственный вес	1
3	Снеговая нагрузка 1в	0
4	Снеговая нагрузка 2в	0
5	Ветровая нагрузка X+	0
6	Ветровая нагрузка X-	0
7	Ветровая нагрузка Y+	0
8	Ветровая нагрузка Y-	0
9	Пульсация X+	0
10	Пульсация X-	0
11	Пульсация Y+	0
12	Пульсация Y-	0

Комбинации загрузений

№	Комбинации загрузений	Название
1	(L1)*1+(L2)*1	
2	(L3)*1+(C1)*1	
3	(L3)*1+(L9)*0.9+(C1)*1	
4	(L3)*1+(L10)*0.9+(C1)*1	
5	(L3)*1+(L11)*0.9+(C1)*1	
6	(L3)*1+(L12)*0.9+(C1)*1	
7	(L4)*1+(C1)*1	
8	(L4)*1+(L9)*0.9+(C1)*1	
9	(L4)*1+(L10)*0.9+(C1)*1	

Рисунок 22 – Комбинации загрузений

Расчетные сочетания усилий и перемещений

№	Активное загрузение	Активное загрузение в РСР	Наименование	Тип загрузки	Вид нагрузки	Знакоприменение	Участуют в групповых операциях	Объединения	Взаимоисключаются	Сопутствия	Коэф. надежности	Доля длительности	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄
1	✓	✓	Постоянная нагрузка	Постоянные на	Другие						1,1	1	1	0	0	0
2	✓	✓	Собственный вес	Постоянные на	Вес металлических						1,05	1	1	0	0	0
3	✓	✓	Снеговая нагрузка 1в	Кратковременн	Полные снегово						1,4	0,3	1	0	0	0
4	✓	✓	Снеговая нагрузка 2в	Кратковременн	Полные снегово						1,4	0,3	1	0	0	0
5	✓	✓	Ветровая нагрузка X+	Кратковременн	Ветровые нагр						1,4	0	1	0	0	0
6	✓	✓	Ветровая нагрузка X-	Кратковременн	Ветровые нагр						1,4	0	1	0	0	0
7	✓	✓	Ветровая нагрузка Y+	Кратковременн	Ветровые нагр						1,4	0	1	0	0	0
8	✓	✓	Ветровая нагрузка Y-	Кратковременн	Ветровые нагр						1,4	0	1	0	0	0
9	✓	✓	Пульсация X+	Кратковременн	Ветровые нагр						1,4	0	1	0	0	0
10	✓	✓	Пульсация X-	Кратковременн	Ветровые нагр						1,4	0	1	0	0	0
11	✓	✓	Пульсация Y+	Кратковременн	Ветровые нагр						1,4	0	1	0	0	0
12	✓	✓	Пульсация Y-	Кратковременн	Ветровые нагр						1,4	0	1	0	0	0

Взаимоисключающие загрузения

Наименование	3	4	9	10	11	12
3 Снеговая нагрузка 1в		✓				
4 Снеговая нагрузка 2в	✓					
9 Пульсация X+				✓	✓	✓
10 Пульсация X-				✓	✓	✓
11 Пульсация Y+				✓	✓	✓
12 Пульсация Y-				✓	✓	✓

Сопутствующие загрузения

Наименование	1	2
3 Снеговая нагрузка 1в	✓	✓
4 Снеговая нагрузка 2в	✓	✓
9 Пульсация X+	✓	✓
10 Пульсация X-	✓	✓
11 Пульсация Y+	✓	✓
12 Пульсация Y-	✓	✓

Рисунок 23 – Задание расчетных сочетаний усилий

2.5 Подбор сечений

Изначально все стержни были заданы сечением по ГОСТ 8732-78 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные [26] 203х6мм.

Верхнее кольцо задано по ГОСТ 26020-83[27] двутавровым сечением 18Б1.

Чтобы подобрать элементам одного яруса единое сечение, были назначены группы унификации (на каждый ярус – своя группа). Верхнее кольцо учитывалось отдельно.

Проведя расчет по предварительно заданному сечению, получилось, что во многих элементах сечение завышено, т.к. критический фактор очень мал (рисунок 24).

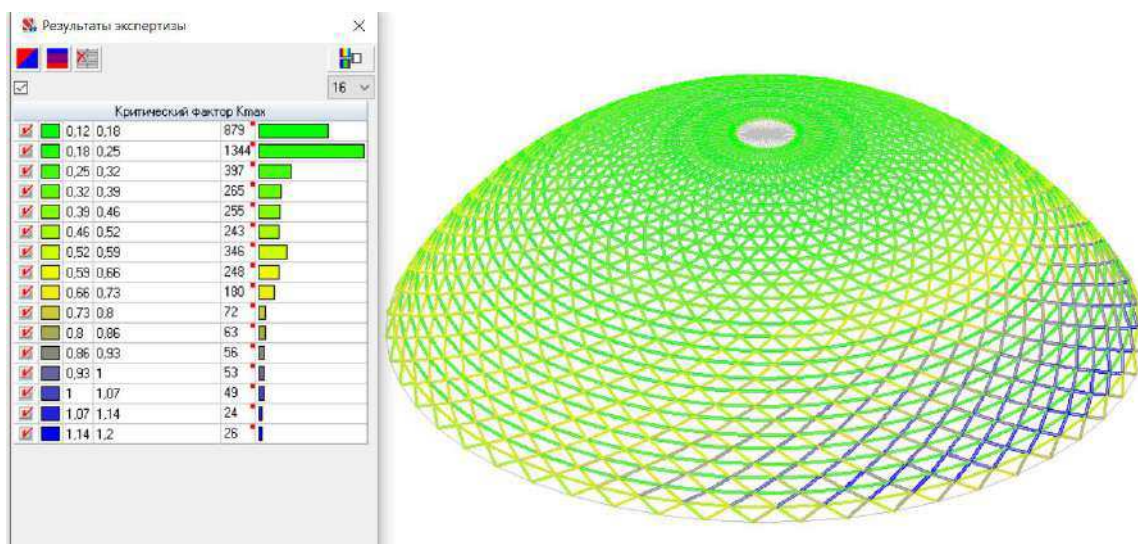


Рисунок 24 – Критический фактор при изначальных сечениях

Чтобы избежать перерасхода материала и без надобности не утяжелять конструкцию, проводим расчет в SCAD Office на подбор сечений элементов.

Данный расчет необходимо было провести несколько раз, т.к. при изменении сечения, вес конструкции менялся и ярусы, лежащие ниже изменяемого, можно было тоже сделать меньшим сечением.

В итоге получили значения требуемых сечений для каждого яруса. Результаты подбора представлены в приложении А.

Критический фактор для подобранных сечений показан на рисунке 25. Максимальные суммарные перемещения продемонстрированы на рисунке 26.

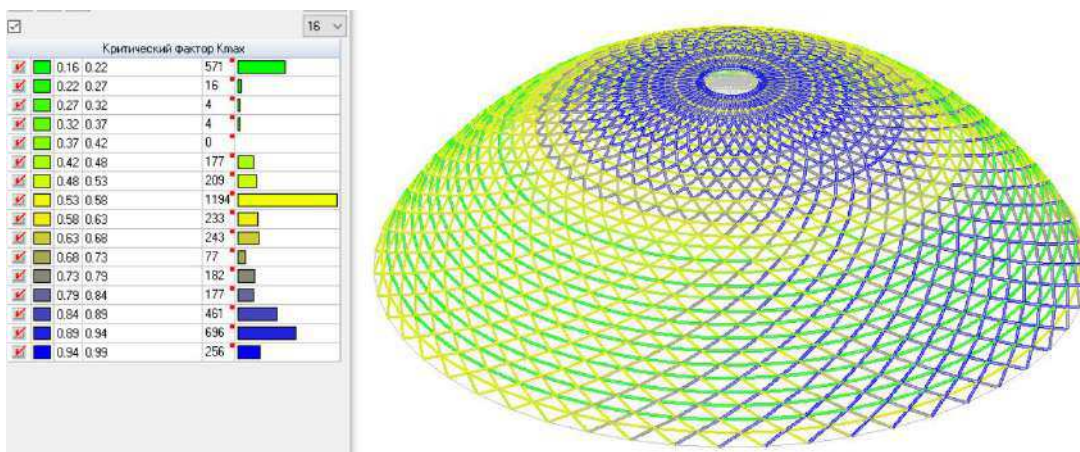


Рисунок 25 – Критический фактор при подобранных сечениях

Суммарное перемещение	
см	см
0	0.92
0.92	1.85
1.85	2.77
2.77	3.69
3.69	4.62
4.62	5.54
5.54	6.46
6.46	7.39
7.39	8.31
8.31	9.23
9.23	10.16
10.16	11.08
11.08	12
12	12.93
12.93	13.85
13.85	14.77

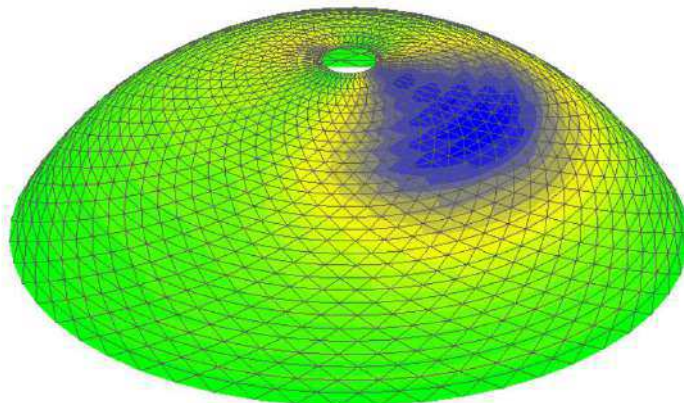


Рисунок 26 – Суммарные перемещения

Полученные значения сравниваются с предельным прогибом конструкции $f=l/300=100/300\approx 0.33\text{м}=33\text{см}$ [11]. Полученные перемещения при анализе работы купола, меньше критических.

2.6 Технология возведения сетчатого купола

Согласно п.1.3 данного исследования, поведение элементов сетчатого купола при монтаже лучше всего можно рассмотреть при возведении каркаса навесным способом. В этом случае не используются дополнительные поддерживающие устройства.

Данный способ начали применять благодаря современным программам расчета конструкций, которые позволяют предсказать поведение элементов в разных условиях.

За исходные данные берем, что элементы каркаса (трубы) поступают с завода, подготовленные к монтажу (нужного размера, и с нужными вырезами). На строительной площадке происходит укрупнительная сборка в треугольные ячейки купола, которые далее монтируются башенным и самоходным краном в каркас.

2.7 Исследование НДС элементов каркаса при транспортировке и складировании

Момент изготовления элементов на заводе не исследуется, потому что, как правило, эта задача решается производителем.

Исходя из вышеизложенного, можно перейти к нагрузкам, возникающих при транспортировке элементов.

В рассматриваемой схеме почти все отправочные элементы – это трубы. При транспортировке и складировании они размещаются штабелями. В обоих рассматриваемых случаях расчетная схема идентична, разница заключается только в том, что при транспортировке трубы испытывают динамическую нагрузку.

Рассмотрим транспортировку элементов автотранспортом. Элементы будут перевозиться на полуприцепе. Для избежания перемещения в вертикальном направлении используют тязи, которыми крепко перетягивают трубы с основанием полуприцепа.

Согласно требованиям [28], к основным показателям транспортабельности строительных конструкций относятся: транспортное положение, габаритные размеры, масса, допускаемые места опирания и крепления, восприимчивость к динамическим нагрузкам.

При выборе схемы складирования и транспортировке предпочтение было отдано размещению штабелями (рис. 27). Согласно рекомендациям [24], такой метод размещения можно использовать при диаметре труб менее 500мм.

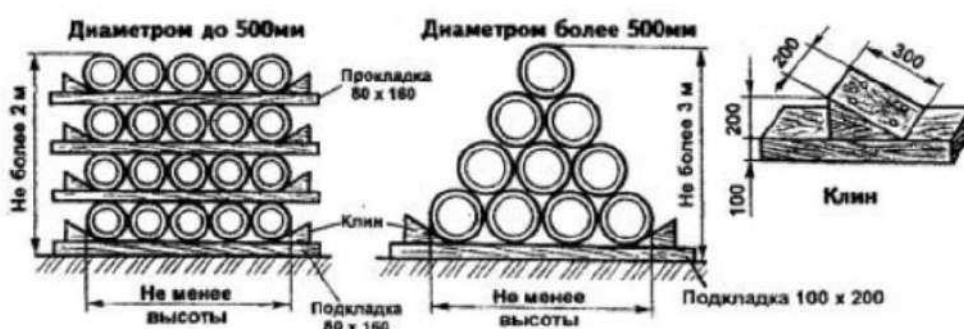


Рисунок 27 – Схемы размещения труб

Хранение металлопроката в зависимости от вида, марки металла, размеров проката, его упаковки, способов транспортирования и др. должно производиться в штабелях или на стеллажах, в таре, в связках или единичными грузами на открытых площадках, закрытых и полужакрытых складах (навесах) [29].

Для создания сетчатого купола потребуется 60 видов отправочных элементов. Их характеристики приведены в Приложении Б. Трубы длиной более 4м транспортируются при помощи дальномеров, остальные – на грузовиках.

Трубы диаметром менее 160 мм, могут транспортироваться в пучках (рис. 28), из-за такого вида транспортировки у труб диаметром менее 160 мм принимается другая расчетная схема.



Рисунок 28 – Размещение труб пучками

Для рассмотрения обоих случаев разберем особенности транспортировки и хранения элементов сечением 219х6,5мм и 146х4,5мм.

1 случай. Транспортировка и хранение труб штабелями

Исходные параметры:

- сечение труб: 219х6,5мм;
- прокладка: доска(сосна) 80х160мм;
- количество прокладок: 3;
- ширина длинномера: 2,47м;
- длина трубы – 6,15м;
- длина длинномера – 13,6м;
- грузоподъемность – 20т.
- погрузочная высота – 1,62м.

Схема размещения элементов представлена на рисунке 29.

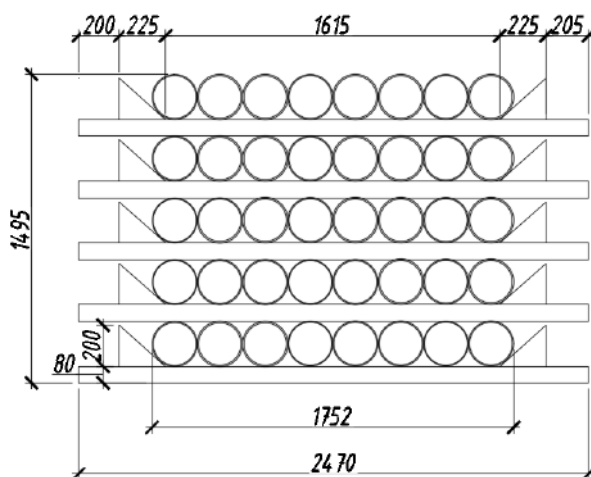


Рисунок 29 – Параметры размещения труб штабелями

Проверим достаточно ли грузоподъемности выбранного полуприцепа КАМАЗа:

$$M = \sum_i n_i \cdot m_i = 50 \cdot 209,47 + 30 \cdot 205,72 = 16645,1 \text{ кг} = 16,6 \text{ т},$$

где n_i – количество труб каждого вида, транспортируемых в один заезд;
 m_i – масса трубы каждого вида, транспортируемых в один заезд.

Так как 16,6 т не превышает максимальной грузоподъемности (20т), указанной в характеристиках транспортного средства, то такая раскладка допустима. На одном полуприцепе будут размещены два штабеля с трубами двух видов (длина 1 типа – 6,15м, 2 типа – 6,04; сечения идентичны)

На рисунке 30 показана схема размещения элементов штабелями.

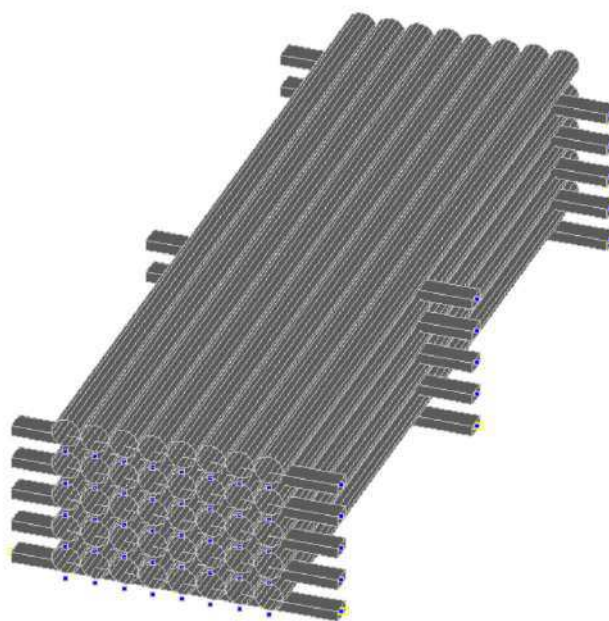


Рисунок 30 – Схема размещения элементов штабелями

Максимальное усилие приходится на трубы нижнего ряда. Рассчитаем их как неразрезную статически неопределимую балку (рис. 31).

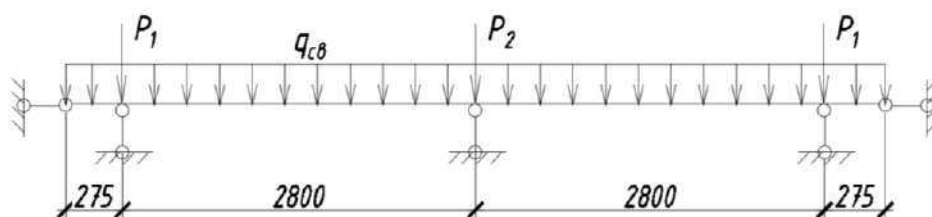


Рисунок 31 – Расчетная схема нижней трубы

Для начала необходимо определить нагрузки приходящие на трубу (принебрегаем площадью соприкосновения с деревянной прокладкой и сводим нагрузку к сосредоточенной). Вес деревянных прокладок также исключим, потому что по сравнению с весом труб он незначительный.

Определим величину P_1 и P_2 :

$$P_1 = m \cdot l \cdot n = 34,06 \cdot 1,675 \cdot 4 = 228,2 \text{ кг} = 2,24 \text{ кН},$$

$$P_2 = m \cdot l \cdot n = 34,06 \cdot 2,8 \cdot 4 = 381,47 \text{ кг} = 3,74 \text{ кН},$$

где m – масса погонного метра трубы;

l – расчетная длина опирающихся труб;

n – количество труб находящихся в одном столбце, за исключением самой нижней.

Собственный вес прикладывается автоматически в ПК SCAD (рис. 32).

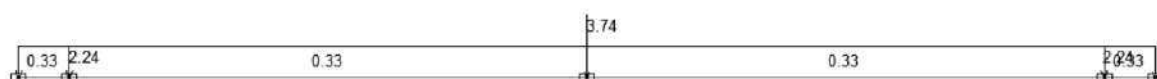


Рисунок 32 – Задание нормативных нагрузок в ПК SCAD

Динамическое воздействие вертикальных нагрузок при транспортировке допускается учитывать путем умножения нормативных значений статических нагрузок на коэффициент динамичности, равный 1,2 [11]. Таким образом, при складировании коэффициент принимается 1,05, а при транспортировке – 1,2.

В элементе возникают следующие усилия (рис. 33-36):



Рисунок 33 – Эпюра поперечной силы Q при складировании



Рисунок 34 – Эпюра поперечной силы Q при транспортировке

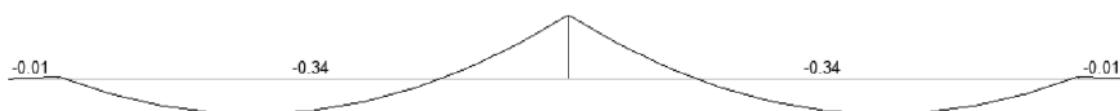


Рисунок 35 – Эпюра изгибающего моменты M_y при складировании



Рисунок 36 – Эпюра изгибающего моменты M_y при транспортировке

Основные геометрические характеристики сечения трубы:
 $W = 223,89 \text{ см}^3$; $I = 2451,64 \text{ см}^4$; $S = 149,75 \text{ см}^3$.

Нормальные напряжения в сечении балки определяются по формуле:

$$\sigma = \frac{M}{I} y, \quad (38)$$

где M – изгибающий момент в рассматриваемом сечении;

I – момент инерции поперечного сечения балки относительно нейтральной оси;

y – расстояние от нейтральной оси до точки, в которой определяются напряжения.

$$\sigma = \frac{0,34 \cdot 10^6}{24,516 \cdot 10^6} \cdot 109,5 = 1,51 < 315 \text{ Н / мм}^2,$$

Касательные напряжения в точках поперечного сечения балки определяются по формуле:

$$\tau = \frac{Q \cdot S_x}{I_x \cdot b_y}, \quad (39)$$

где Q – поперечная сила в рассматриваемом сечении;

I_x – момент инерции поперечного сечения балки относительно нейтральной оси;

S_x – статический момент отсеченной части поперечного сечения;

b_y – ширина сечения в той точке, для которой находится напряжение.

$$\tau = \frac{0,61 \cdot 10^3 \cdot 145,75 \cdot 10^3}{24,516 \cdot 10^6 \cdot 6,5} = 0,56 \text{ Н/мм}^2 < R_s \cdot \gamma_c = 182,7 \text{ Н/мм}^2.$$

Как можем видеть из расчетов, прочности при складировании хватает с очень большим запасом.

Таким образом, для труб больших диаметров стадии складирования и монтажа не страшны.

2 случай. Транспортировка и хранение труб пучками

Так как трубы меньшего диаметра применяются для верхних ярусов, то и длина их соответственно тоже меньше. Для их транспортировки нет необходимости использовать длинномер, поэтому выбирается тягач с полуприцепом.

Исходные параметры:

- сечение труб: 127x4,5мм;
- прокладка: доска (сосна) 80x160мм;
- количество прокладок: 2;
- ширина полуприцепа: 2,55м;
- высота полуприцепа: 3,88м
- длина трубы – 3,45м.

Трубы размещаются в полуприцепе исходя из геометрических параметров кузова. Схема размещения представлена на рисунке 37.

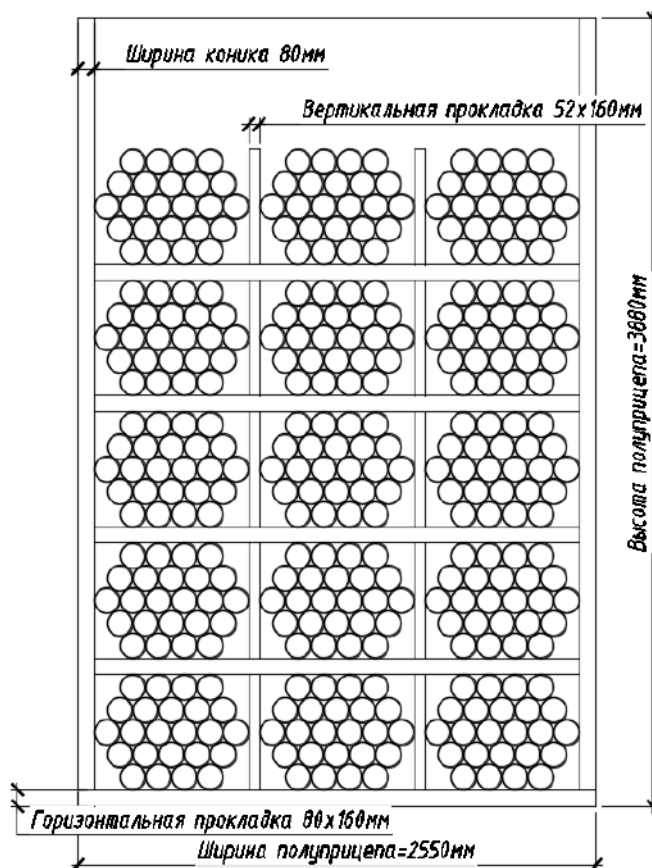


Рисунок 37 – Схема размещения труб в полуприцепе

Погрузка осуществляется через крышу полуприцепа.

Максимальная нагрузка приходится на самый нижний ряд труб, поэтому рассчитаем усилия именно в этих элементах.

Труба рассчитывается, как неразрезная балка, на которую действует распределенная нагрузка от веса вышележащих труб, а так же собственный вес.

Расчетная схема представлена на рисунке 38.

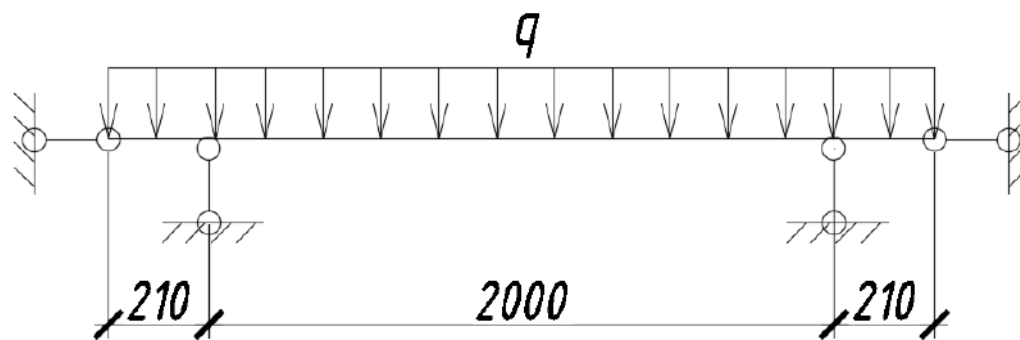


Рисунок 38 – Схема размещения труб в полуприцепе

Определение величины распределенной нагрузки:

$$q = \frac{\sum m_i \cdot l_i \cdot n_i}{n_{\text{низ}} \cdot l_{\text{низ}}} = \frac{13,6 \cdot 3,45 \cdot 50 + 12,13 \cdot 3,26 \cdot 50 + 10,26 \cdot 3,02 \cdot 20}{4 \cdot 3,45} = 358,18 \text{ кг/м} = 3,5 \text{ кН/м},$$

где m_i – масса погонного метра каждого типа трубы;

l_i – длина трубы каждого типа;

n_i – количество труб каждого типа;

$n_{\text{низ}}$ – количество труб в нижнем ряду;

$l_{\text{низ}}$ – длина труб нижнего ряда.

Расчетная схема в SCAD Office изображена на рисунке 39.

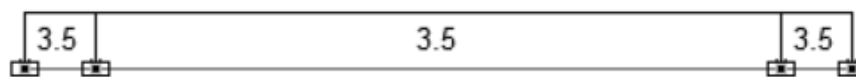


Рисунок 39 – Расчетная схема в ПК SCAD

В элементе возникают следующие усилия (рис. 40-43):

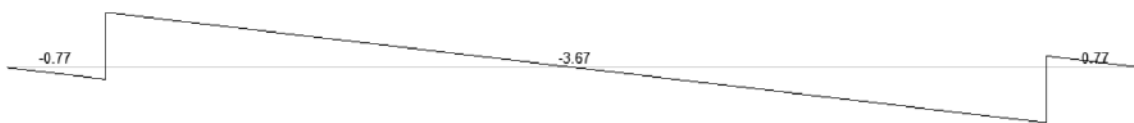


Рисунок 40 – Эпюра поперечной силы Q при складировании

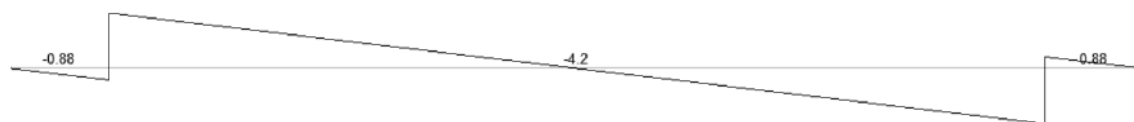


Рисунок 41 – Эпюра поперечной силы Q при транспортировке



Рисунок 42 – Эпюра изгибающих моменты M_y при складировании



Рисунок 43 – Эпюра изгибающего моменты M_y при транспортировке

Основные геометрические характеристики сечения трубы:
 $W = 51,226 \text{ см}^3$; $I = 325,287 \text{ см}^4$; $S = 33,78 \text{ см}^3$.

Нормальные напряжения в сечении балки определяются по формуле 38 ПЗ данной работы:

$$\sigma = \frac{2,01 \cdot 10^6}{3,25 \cdot 10^6} \cdot 63,5 = 39,27 < 315 \text{ Н / мм}^2,$$

Касательные напряжения в точках поперечного сечения балки определяются по формуле 39 ПЗ данной работы:

$$\tau = \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 33,78 \cdot 10^3}{3,25 \cdot 10^6 \cdot 4,5} = 9,7 \text{ Н / мм}^2 < R_s \cdot \gamma_c = 182,7 \text{ Н / мм}^2.$$

Данный расчет был проведен по усилиям, возникающим в результате транспортировки. Расчет на определения напряжений при складировании не требуется.

Трубы можно перевозить и хранить пучками. Это не приведет к их повреждению.

Хранение, согласно [26], при упаковке труб пучками должно осуществляться по схеме, представленной на рисунке 44.

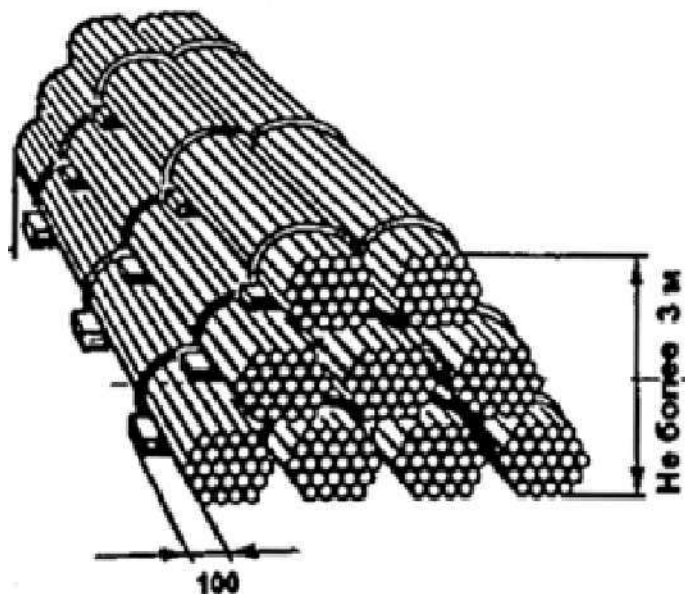


Рисунок 44 – Схема складирования труб пучками

2.9 Моделирование и анализ процессов укрупнительной сборки и строповки элементов

При строповке элементов труб, сгруппированных в пучки, расчетная схема идентична рассмотренной при транспортировке и хранении. Но в отличие от транспортировки, нагрузка приходится от веса труб, сложенных в одном пучке.

На рисунке 45 представлена схема строповки труб в пучке.

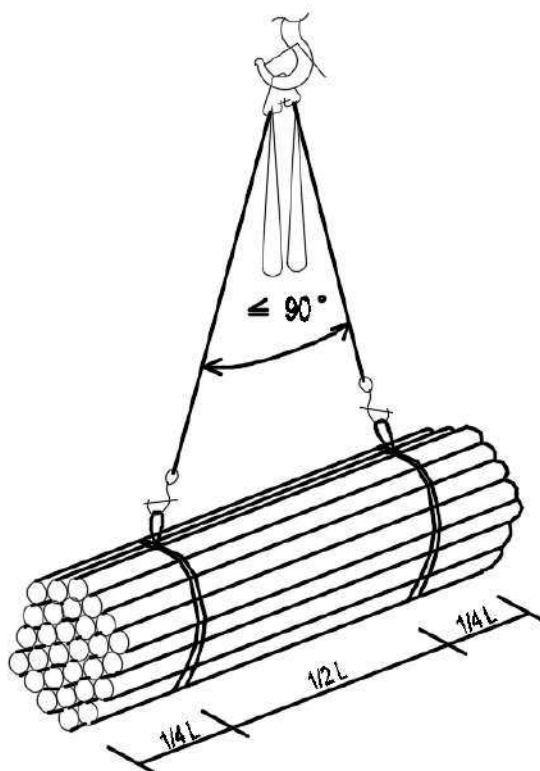


Рисунок 45 – Строповка труб малого диаметра

При строповке труб большего диаметра (более 140мм) проверим прочность сечения.

Схема строповки и расчетная схема представлены соответственно на рисунках 46 и 47.

Учитываем, что на трубу действует только распределенная нагрузка от собственного веса. Рассчитаем самую крупную трубу, используемую в схеме: длина – 6,15м, сечение 219х6,5мм.

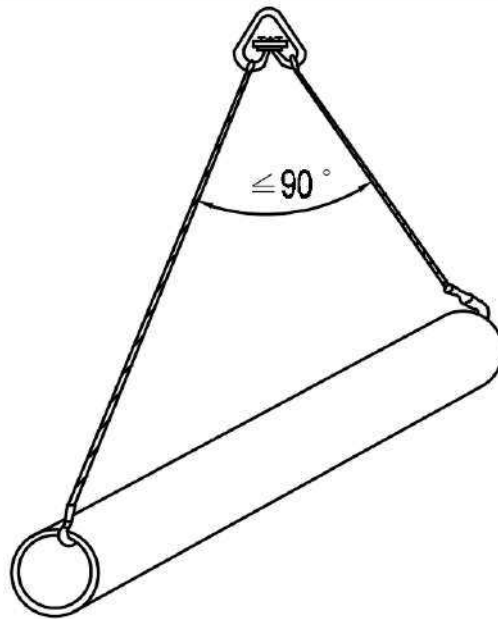


Рисунок 46 – Строповка труб большого диаметра

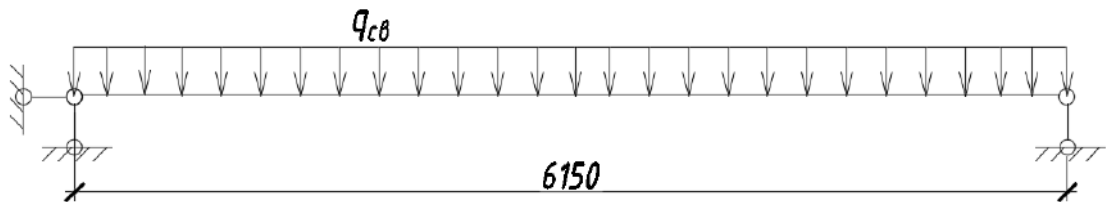


Рисунок 47 – Расчетная схема трубы

Максимальный изгибающий момент возникает в центре пролета и равен:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{0,33 \cdot 6,15^2}{8} = 1,56 \text{ кНм.}$$

Продольная сила имеет максимальное значение на опоре:

$$Q = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{0,33 \cdot 6,15}{2} = 1,01 \text{ кН.}$$

Основные геометрические характеристики сечения трубы:
 $W = 223,89 \text{ см}^3$; $I = 2451,64 \text{ см}^4$; $S = 149,75 \text{ см}^3$.

Нормальные напряжения в сечении балки определяются по формуле 38 ПЗ данной работы:

$$\sigma = \frac{1,56 \cdot 10^6}{24,516 \cdot 10^6} \cdot 109,5 = 6,97 < 315 \text{ Н / мм}^2,$$

Касательные напряжения в точках поперечного сечения балки определяются по формуле 39 ПЗ данной работы:

$$\tau = \frac{1,01 \cdot 10^3 \cdot 145,75 \cdot 10^3}{24,516 \cdot 10^6 \cdot 6,5} = 0,9 \text{ Н/мм}^2 < R_s \cdot \gamma_c = 182,7 \text{ Н/мм}^2.$$

Перед перемещением элементов в проектное положение происходит укрупнительная сборка. Элементы монтируются в треугольные ячейки, и уже в таком состоянии поднимаются до проектной отметки.

Исключения составляют элементы первого яруса. Они не образуют треугольник, так как нижним ребром служит опорное кольцо. Нижние элементы свариваются между собой под углом и поднимаются в таком положении.

Для подъема в укрупненном состоянии на серединах элементов должны быть монтажные петли.

Схемы строповки укрупненных элементов представлены на рисунках 48 и 49.



Рисунок 48 – Стрповка элементов первого ряда

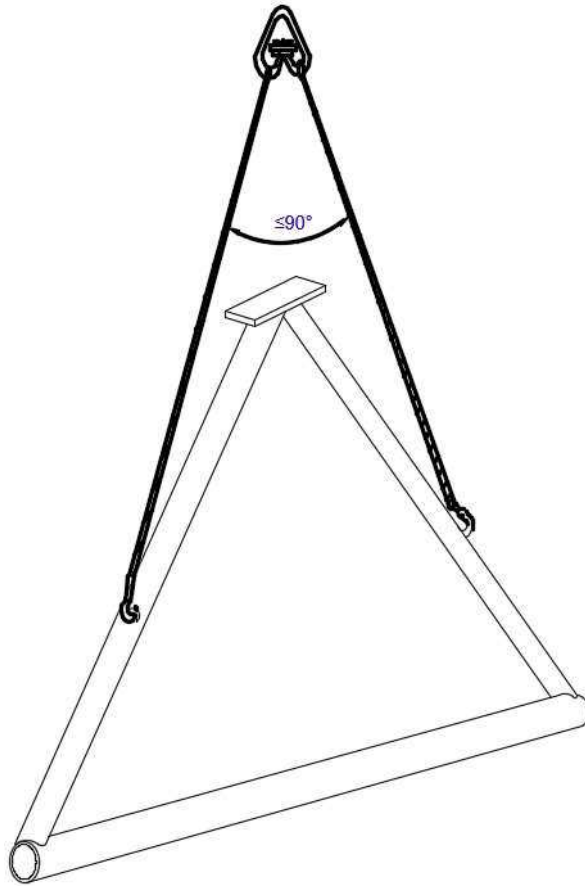


Рисунок 49 – Строповка элементов последующих рядов

Для расчетов НДС укрупненных элементов во время поднятия рассмотрим элементы первого, второго и восемнадцатого ряда.

При составлении расчетной схемы принимаем места крепления стропа за опоры. На элемент действует нагрузка от собственного веса (рис. 50)

Элементы первого ряда

Значение усилий в элементах показаны на рисунках 51-53.

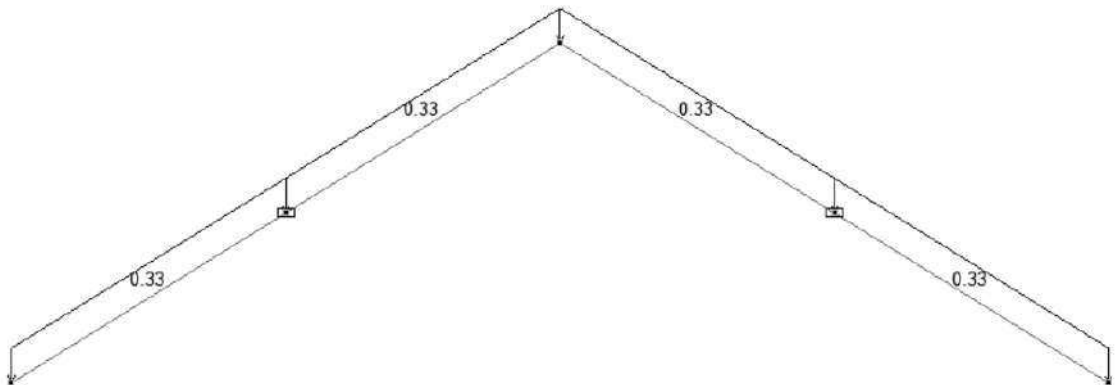


Рисунок 50 – Расчетная схема элемента первого ряда при строповке

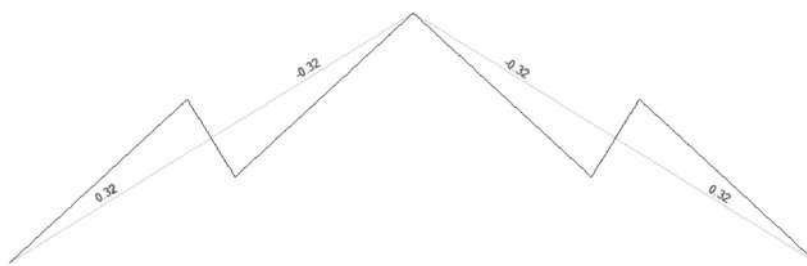


Рисунок 51 – Эпюра продольных сил N

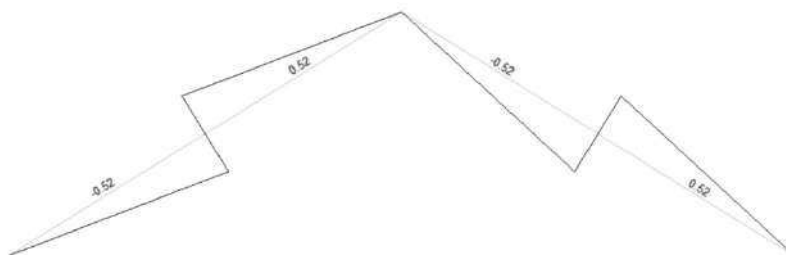


Рисунок 52 – Эпюра поперечных сил Q



Рисунок 53 – Эпюра изгибающих моментов M

В проектном положении элементы первого яруса рассчитаны на максимальные усилия, полученные в результате расчета, $N=-476.68\text{кН}$, $M=8,26\text{кНм}$, $Q =3,27\text{кН}$, что значительно больше полученных результатов, значит, что процесс поднятия не вызывает в элементах критических напряжений.

Элементы второго ряда

Расчетная схема рассматриваемого элемента продемонстрирована на рисунке 54.

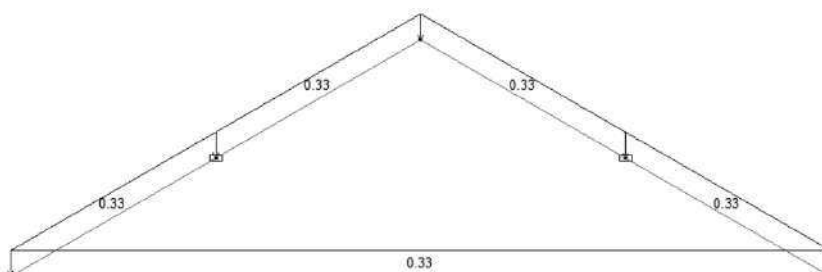


Рисунок 54 – Расчетная схема элемента второго ряда при строповке

Полученные значения усилий в элементах представлены на рисунках 55-57.

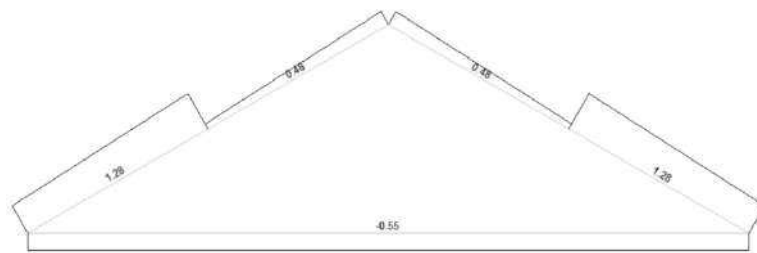


Рисунок 55 – Эпюра продольных сил N

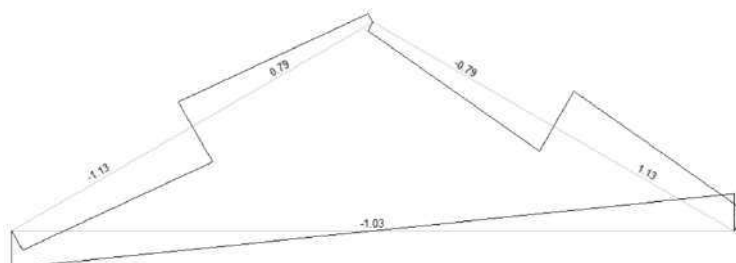


Рисунок 56 – Эпюра поперечных сил Q

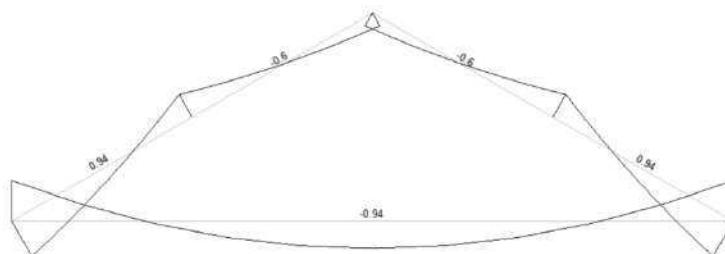


Рисунок 57 – Эпюра изгибающих моментов M

В проектном положении элементы первого яруса рассчитаны на максимальные усилия, полученные в результате расчета, $N=-458.29\text{кН}$, $M=33.71\text{кНм}$, $Q=17\text{кН}$, что значительно больше полученных результатов, значит, что процесс поднятия не вызывает в элементах критических напряжений.

Элементы восемнадцатого ряда

Расчетная схема элемента показана на рисунке 58.

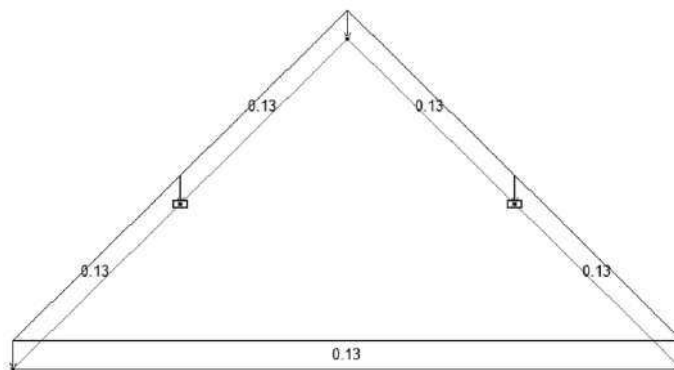


Рисунок 58 – Расчетная схема элемента второго ряда при строповке

В результате расчета элемента получены следующие эпюры усилий (рис. 59 – 61):

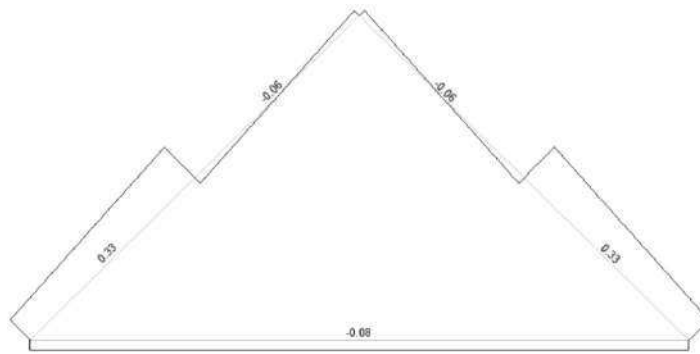


Рисунок 59 – Эпюра продольных сил N

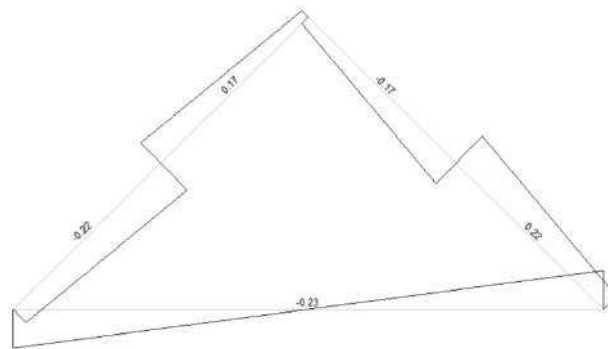


Рисунок 60 – Эпюра поперечных сил Q

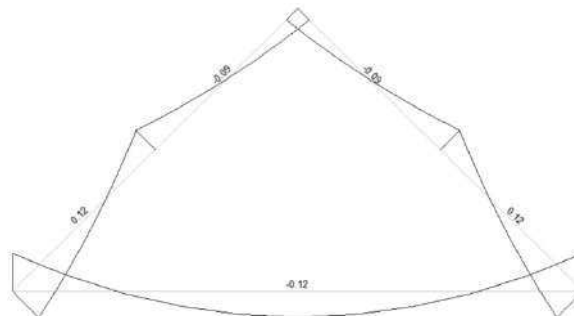


Рисунок 61 – Эпюра изгибающих моментов M

В проектном положении элементы первого яруса рассчитаны на максимальные усилия, полученные в результате расчета, $N=-249,31\text{кН}$, $M=4,94\text{кНм}$, $Q =4,26\text{кН}$, что значительно больше полученных результатов, значит, что процесс поднятия не вызывает в элементах критических напряжений.

Таким образом, при строповке как одиночных элементов, так и укрупненных блоков, не возникает опасных усилий.

2.10 Моделирование работы каркаса на разных стадиях монтажа

Для сетчатых куполов, монтируемых навесным способом, самым опасным моментом в жизненном цикле здания является монтаж. Потому что

без дополнительных опор может быть изменена расчетная схема. Каркас испытает чрезмерные усилия, или появятся весомые перемещения.

При возведении каждого яруса должна проверяться и корректироваться отметка предыдущего.

В этом пункте рассмотрим ярусное возведение каркаса. Сделать это позволяет режим Монтаж в ПК SCAD.

Режим «Монтаж» предназначен для моделирования поведения конструкции (определения ее напряженно-деформированного состояния) в процессе возведения. Процесс возведения сооружения и, соответственно расчет, разбивается на несколько этапов (стадий монтажа). Расчет каждого следующего этапа выполняется с учетом напряженно-деформированного состояния конструкции, определенного по результатам расчета предыдущих этапов.

2.10.1 Первый способ монтажа

Проанализируем, обеспечивается ли прочность конструкции при монтаже, когда ограждающие конструкции устанавливаются сразу при монтаже каркаса.

Поэтапное возведение каркаса смоделировано в ПК SCAD. Критический фактор на каждой стадии возведения показан на рисунках 62 – 92.

1 стадия

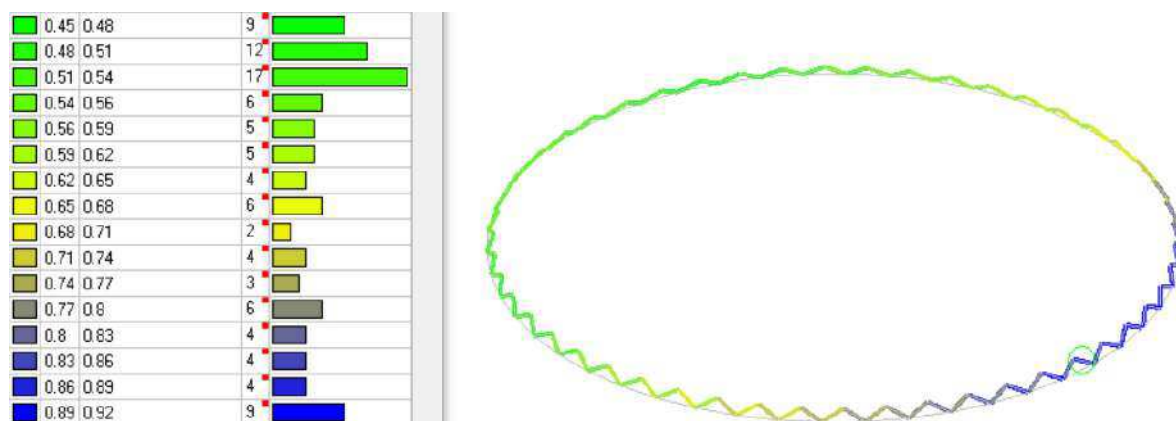


Рисунок 62 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 1 стадии

2 стадия

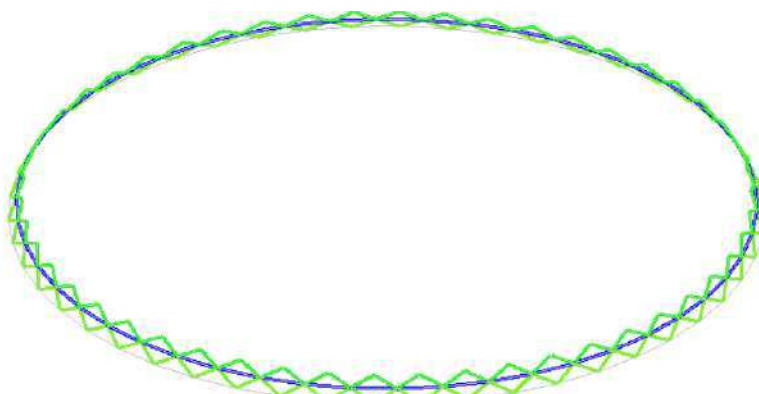
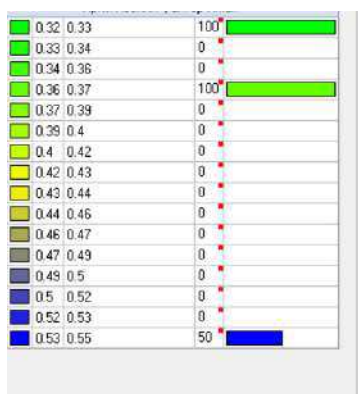


Рисунок 63 – Проверка прочности элементов на 2 стадии

3 стадия

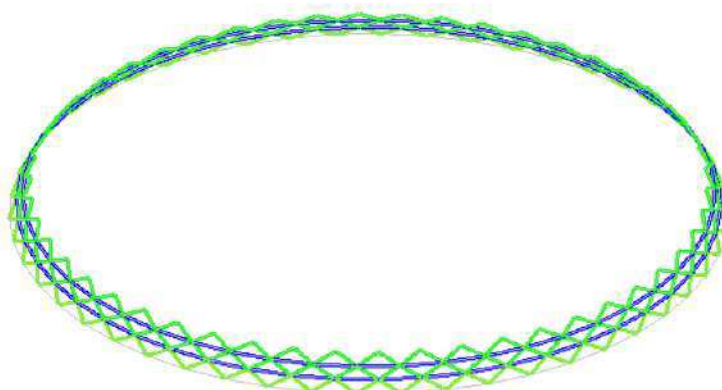
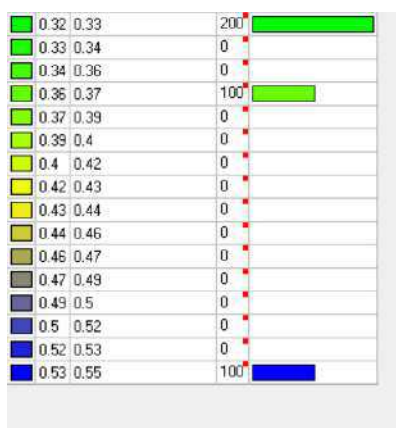


Рисунок 64 – Проверка прочности элементов на 3 стадии

4 стадия

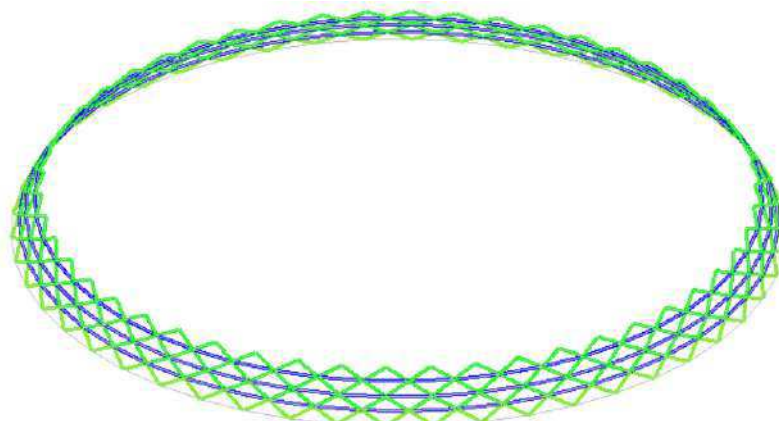
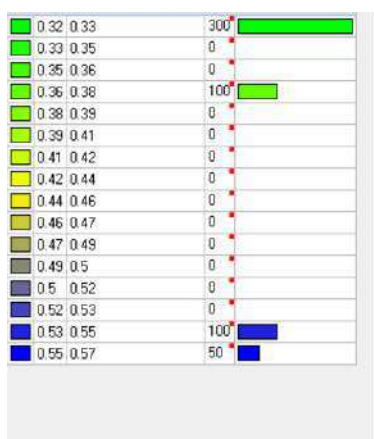


Рисунок 65 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 4 стадии

5 стадия

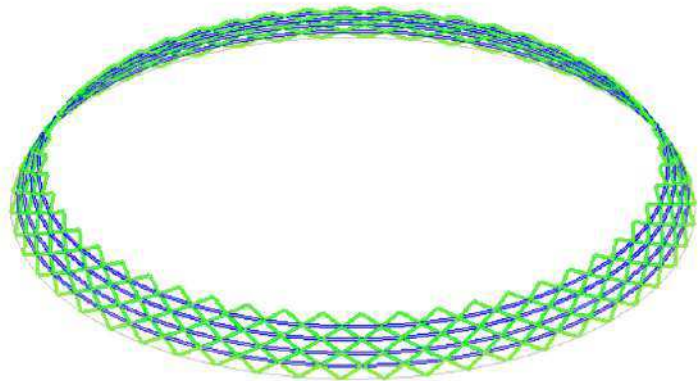
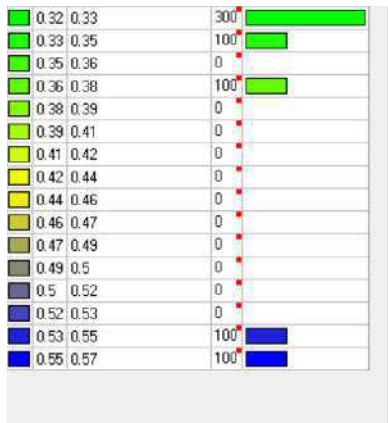


Рисунок 66 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 5 стадии

6 стадия

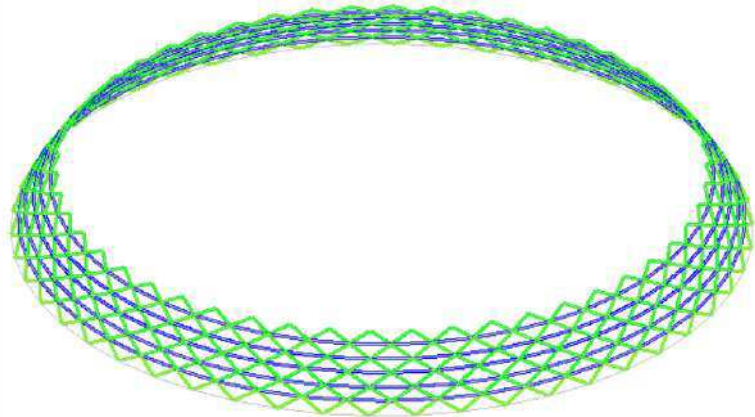
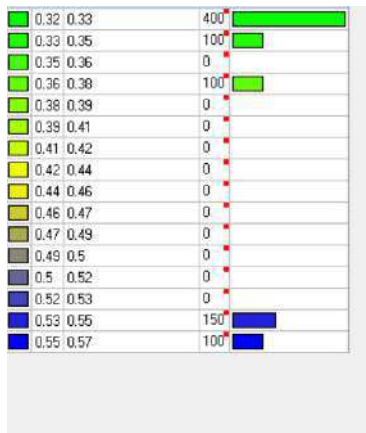


Рисунок 67 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 6 стадии

7 стадия

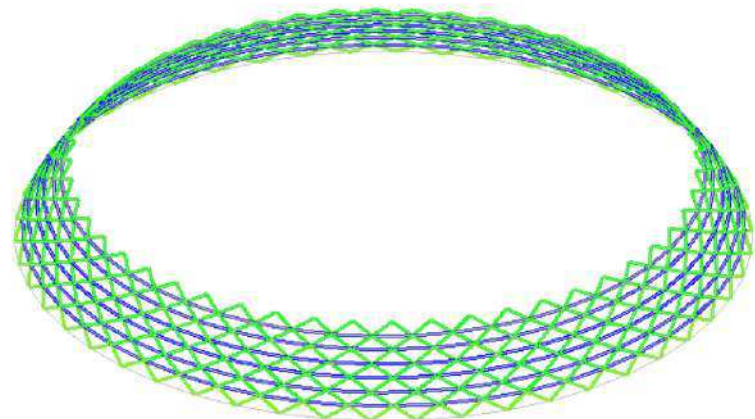
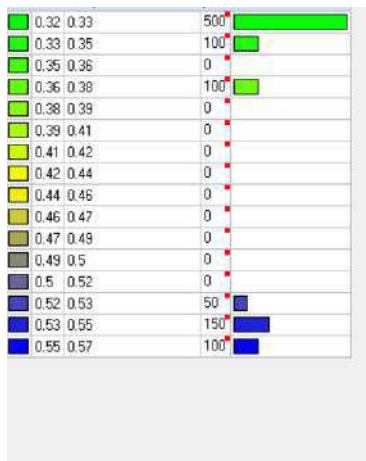


Рисунок 68 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 7 стадии

8 стадия

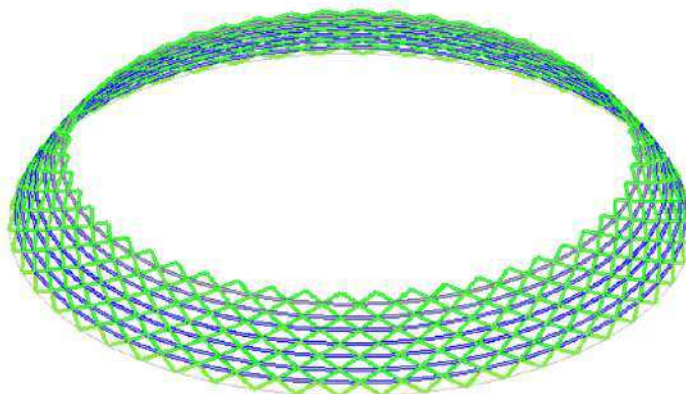
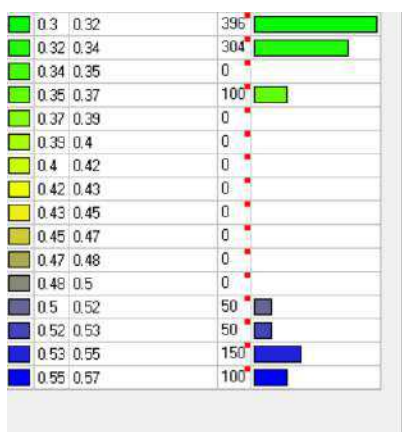


Рисунок 69 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 8 стадии

9 стадия

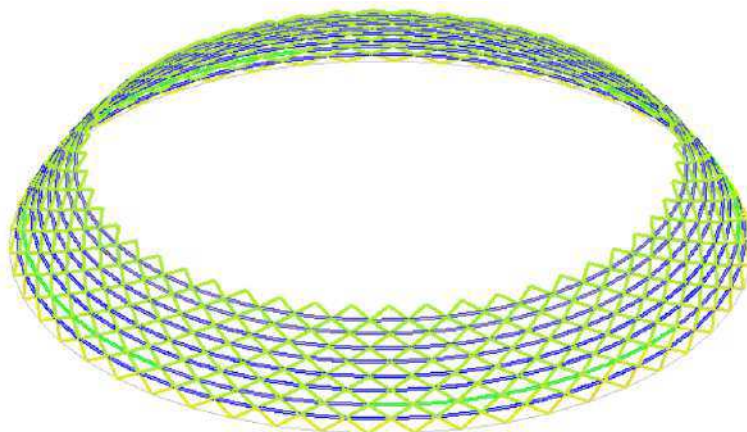
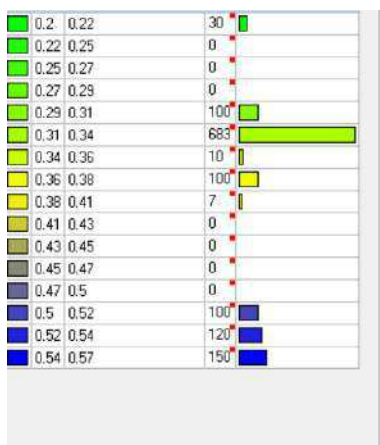


Рисунок 70 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 9 стадии

10 стадия

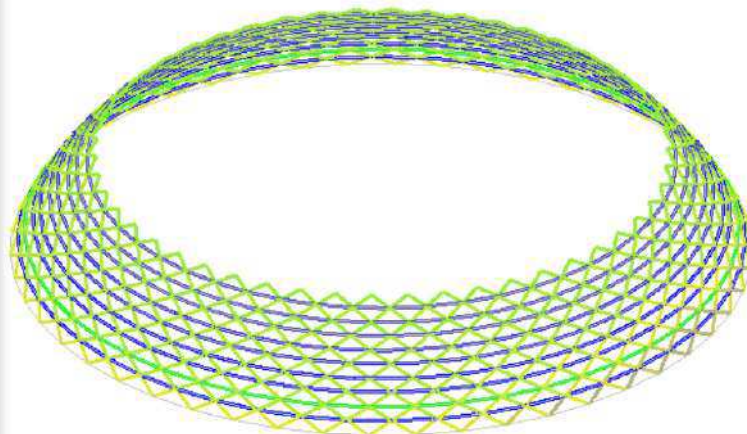
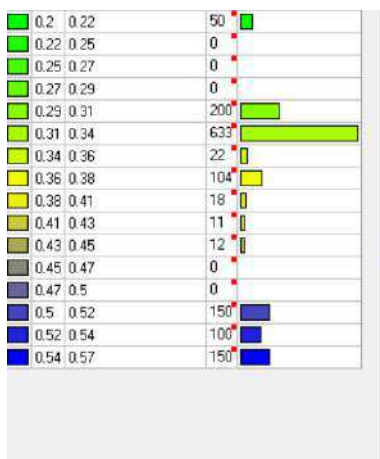


Рисунок 71 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 10 стадии

11 стадия

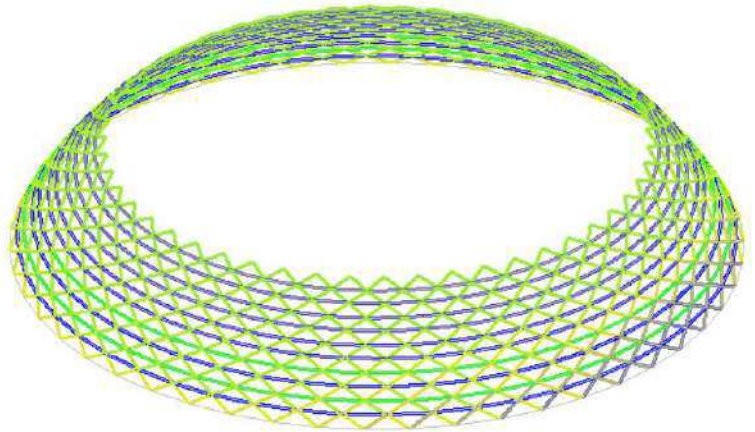
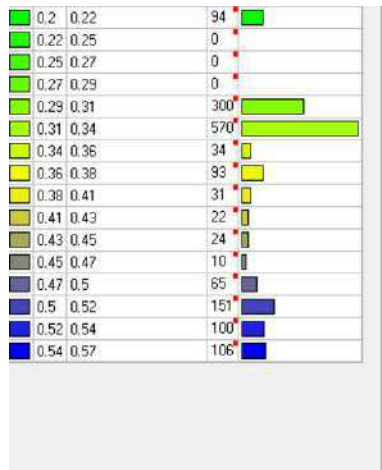


Рисунок 72 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 11 стадии

12 стадия

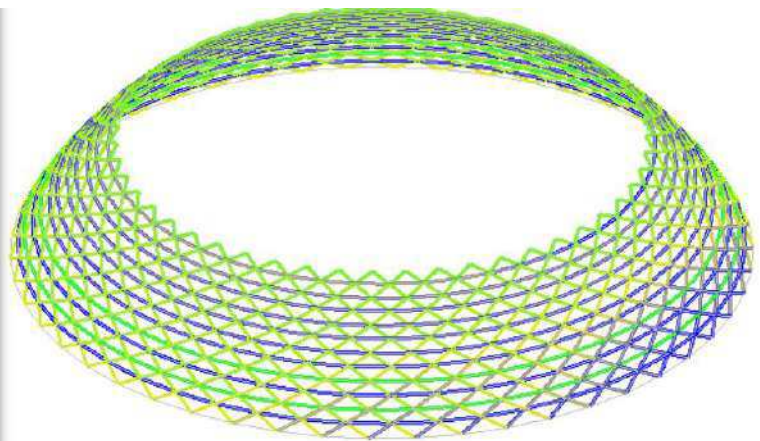


Рисунок 73 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 12 стадии

13 стадия

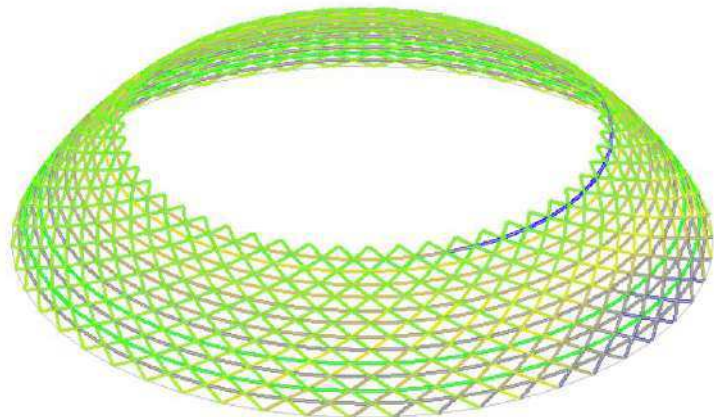
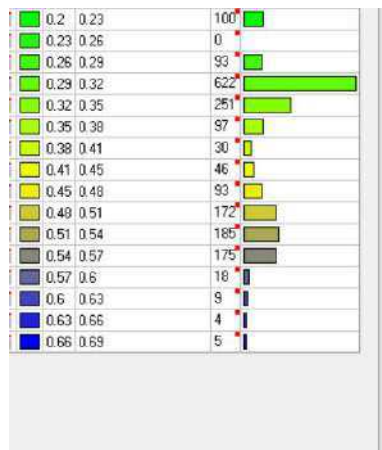


Рисунок 74 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 13 стадии

14 стадия

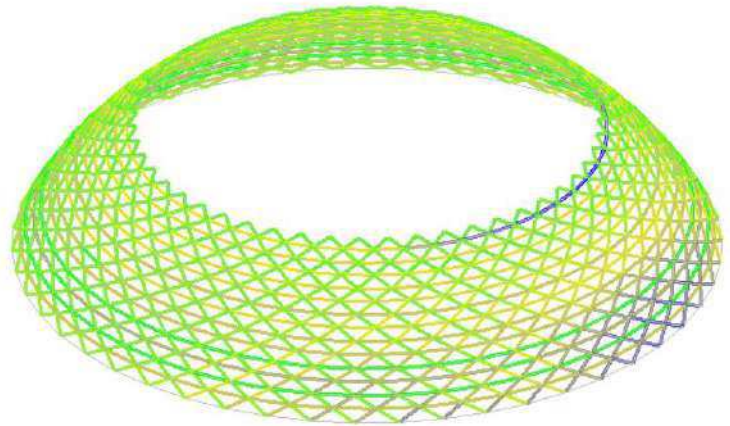
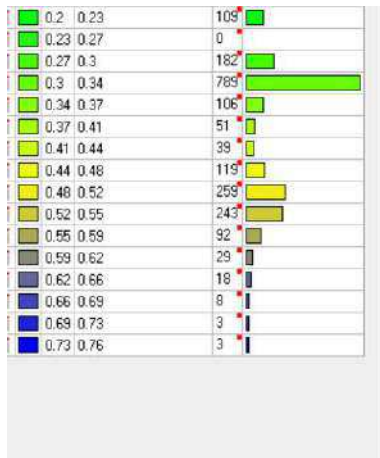


Рисунок 75 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 14 стадии

15 стадия

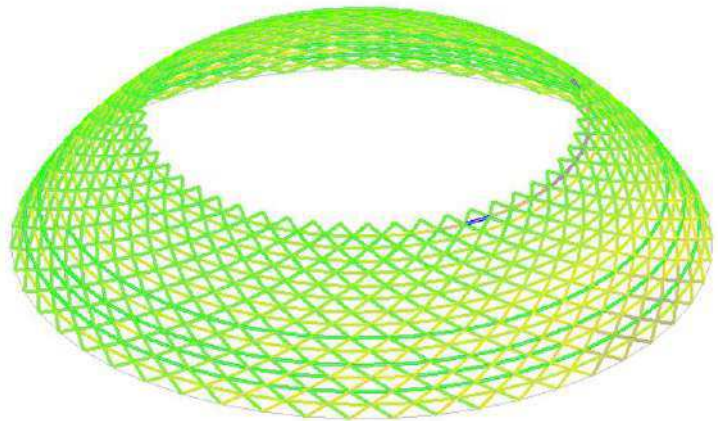
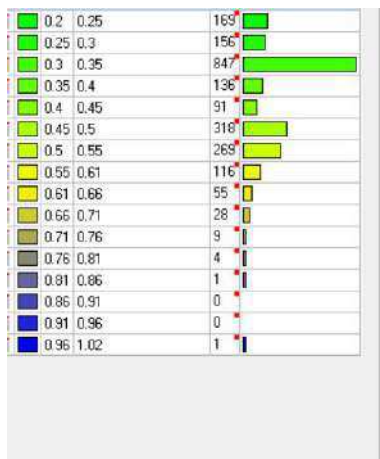


Рисунок 76 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 15 стадии

16 стадия

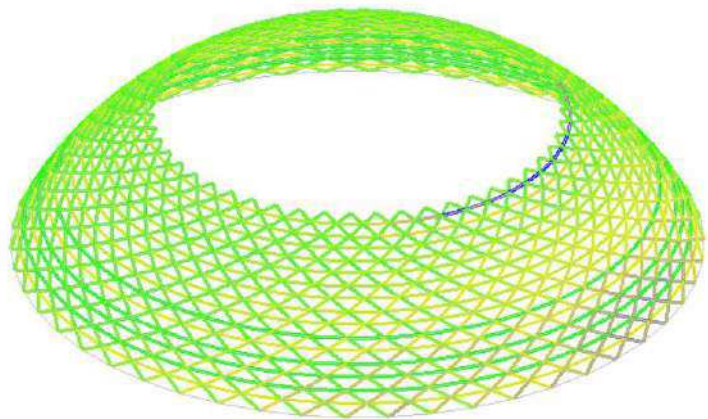
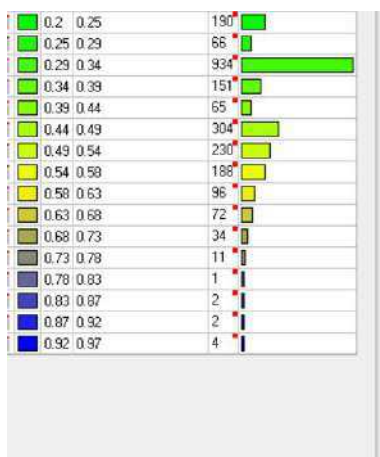


Рисунок 77 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 16 стадии

17 стадия

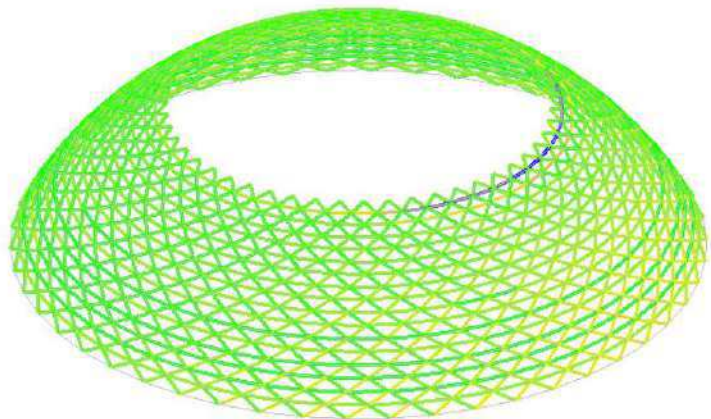
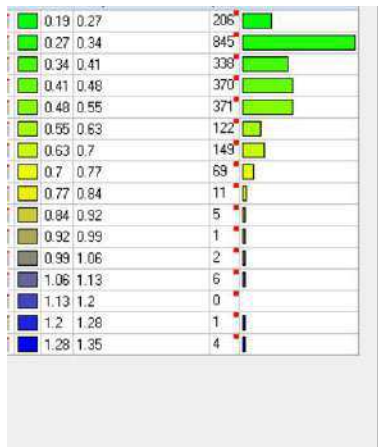


Рисунок 78 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 17 стадии

18 стадия

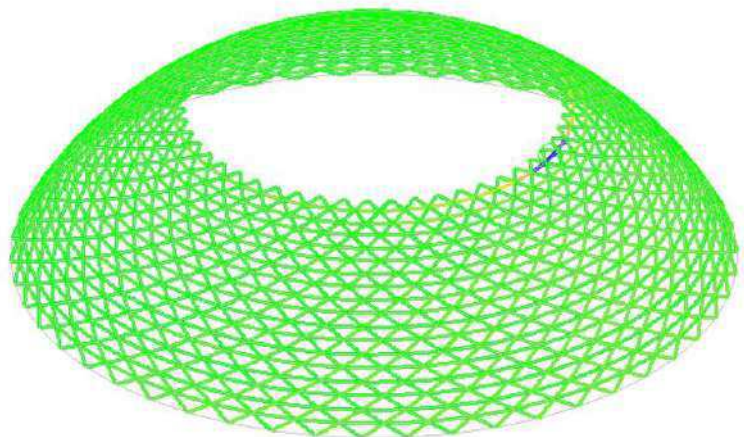


Рисунок 79 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 18 стадии

19 стадия

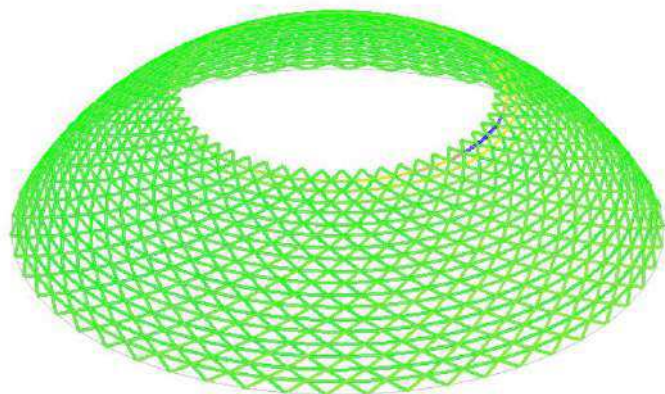


Рисунок 80 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 19 стадии

20 стадия

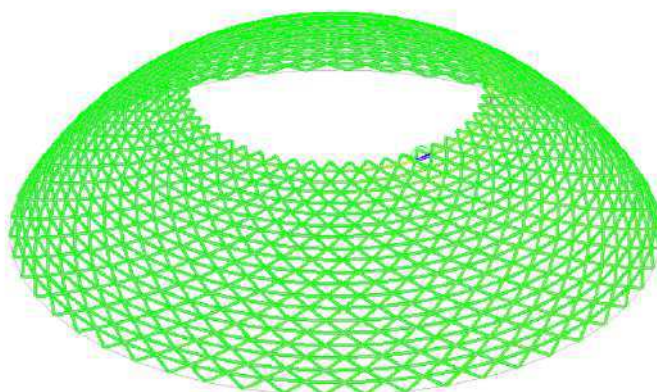


Рисунок 81 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 20 стадии

21 стадия

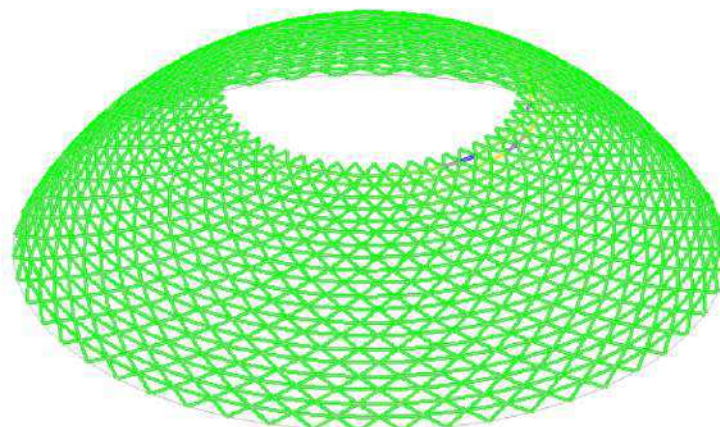


Рисунок 82 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 21 стадии

22 стадия

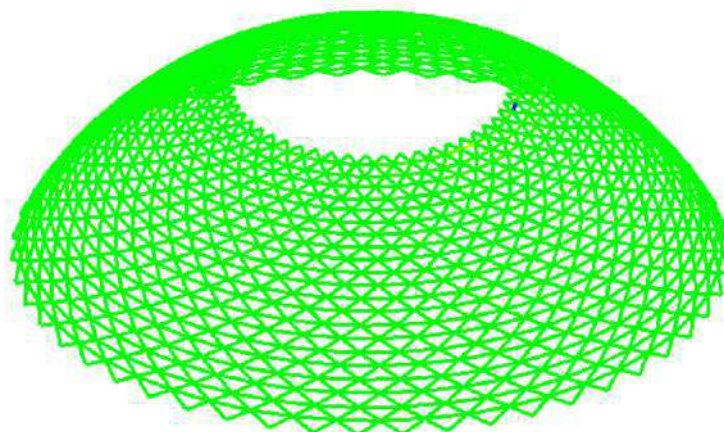
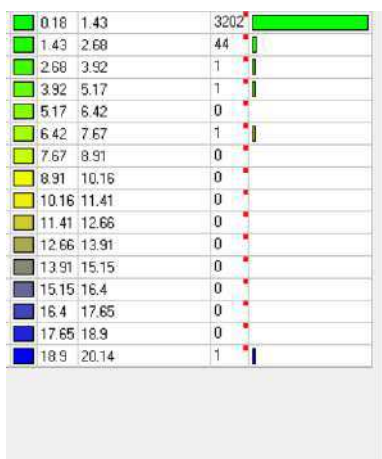


Рисунок 83 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 22 стадии

23 стадия

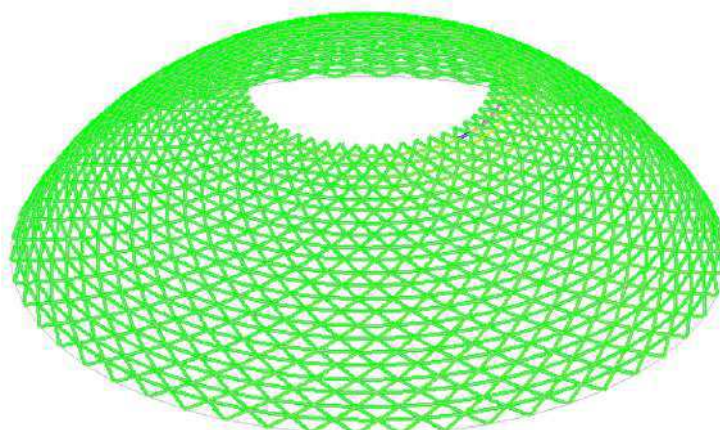
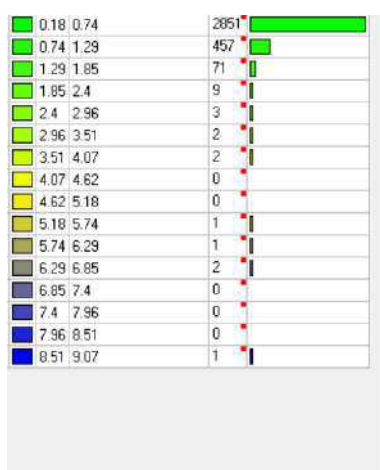


Рисунок 84 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 23 стадии

24 стадия

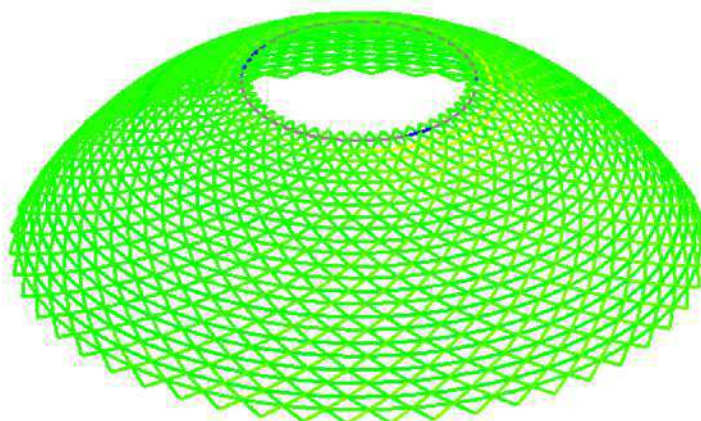
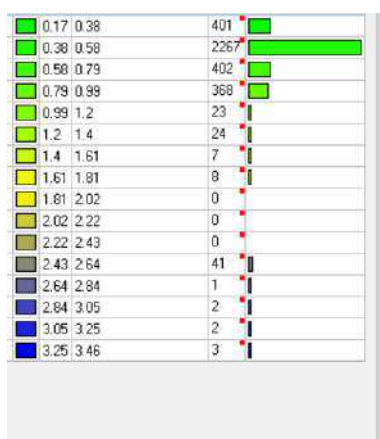


Рисунок 85 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 24 стадии

25 стадия

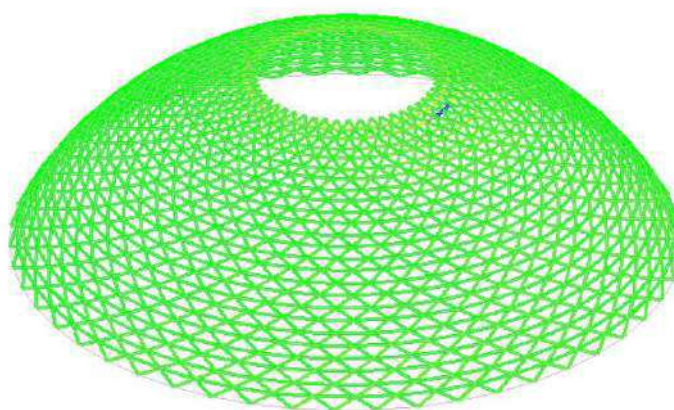
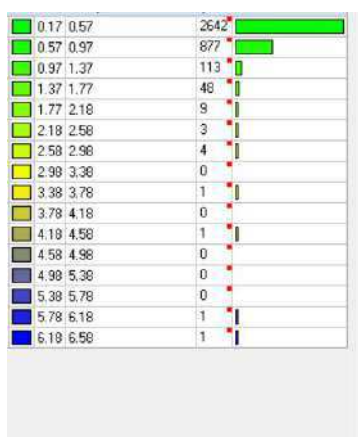


Рисунок 86 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 25 стадии

26 стадия

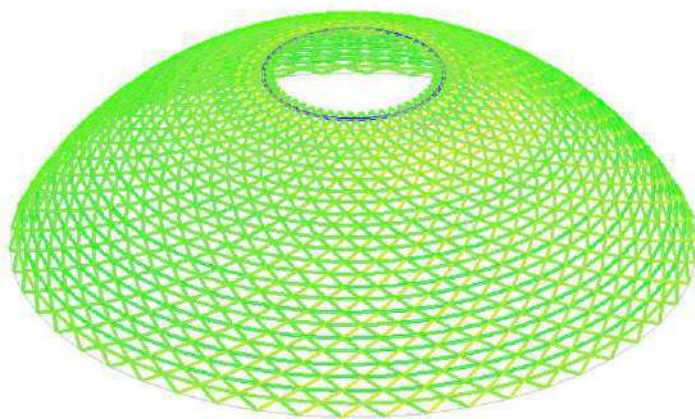


Рисунок 87 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 26 стадии

27 стадия

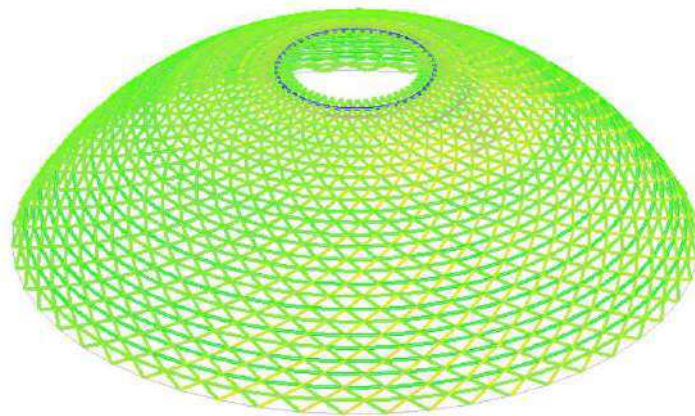


Рисунок 88 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 27 стадии

28 стадия

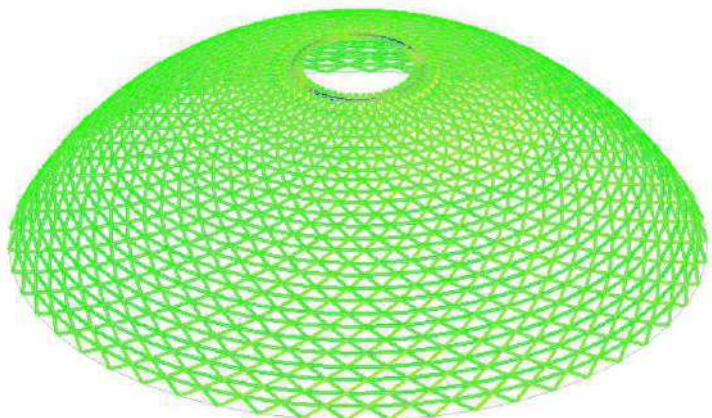


Рисунок 89 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 28 стадии

29 стадия

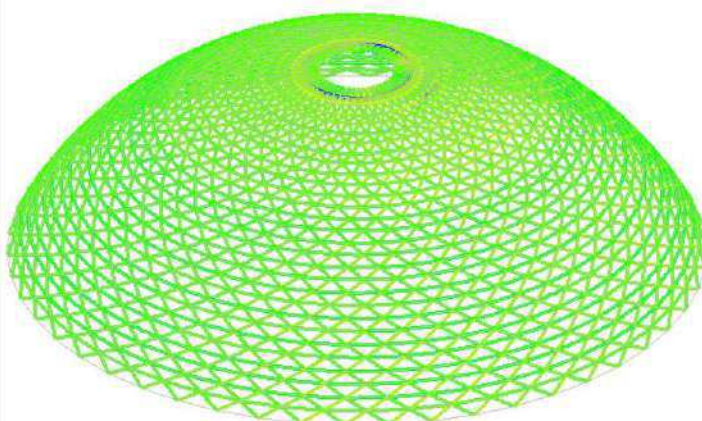


Рисунок 90 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 29 стадии

30 стадия

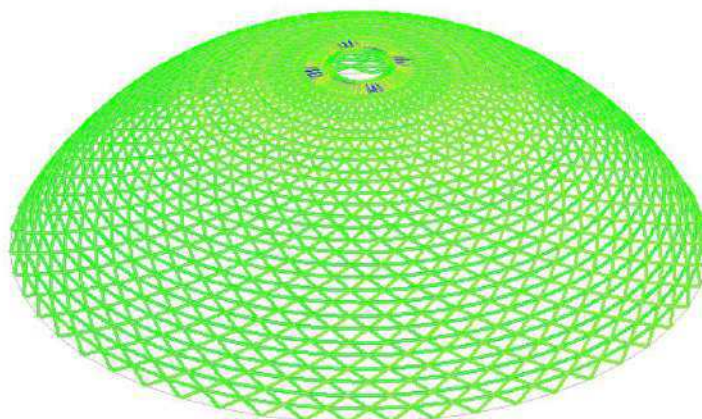


Рисунок 91 – Проверка прочности и устойчивости элементов на 30 стадии

31 стадия (финальная)

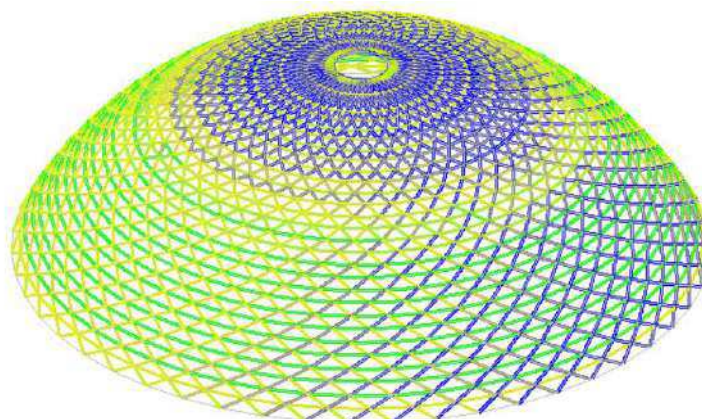
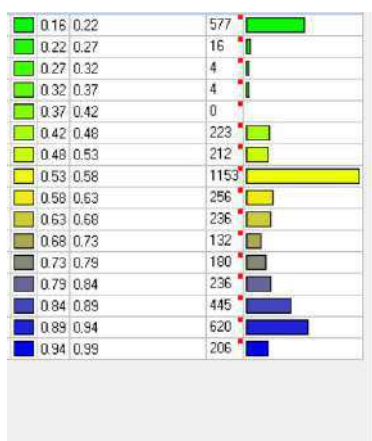


Рисунок 92 – Проверка прочности и устойчивости элементов на финальной стадии

2.10.2 Второй способ монтажа

Далее рассматривается случай, когда сначала возводится металлический каркас, а затем уже производится монтаж ограждающих конструкций.

При анализе работы каркаса на этапах его монтажа не обнаружено опасных моментов. Критический фактор элементов на разных этапах приведены в приложение В.

На этапах крепления элементов ограждения поярусно, элементы купола теряют устойчивость. Результаты значений критических факторов показаны на рисунках 93-122.

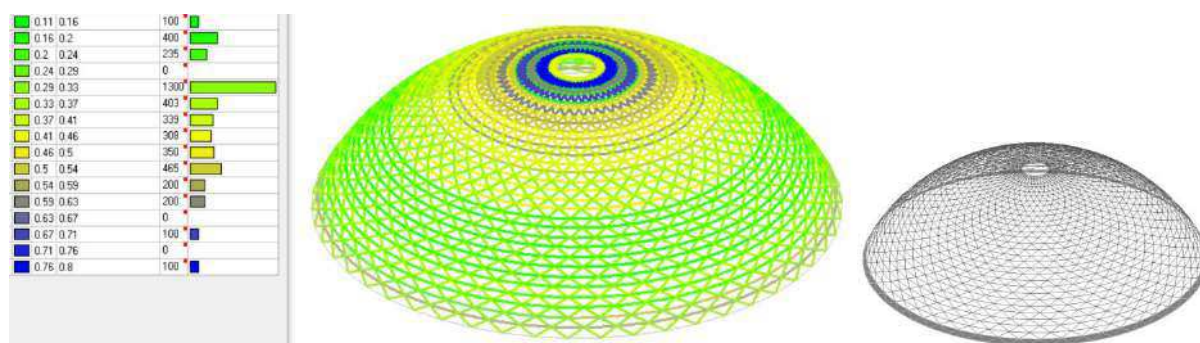


Рисунок 93 – Проверка элементов на 32-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 1 яруса)

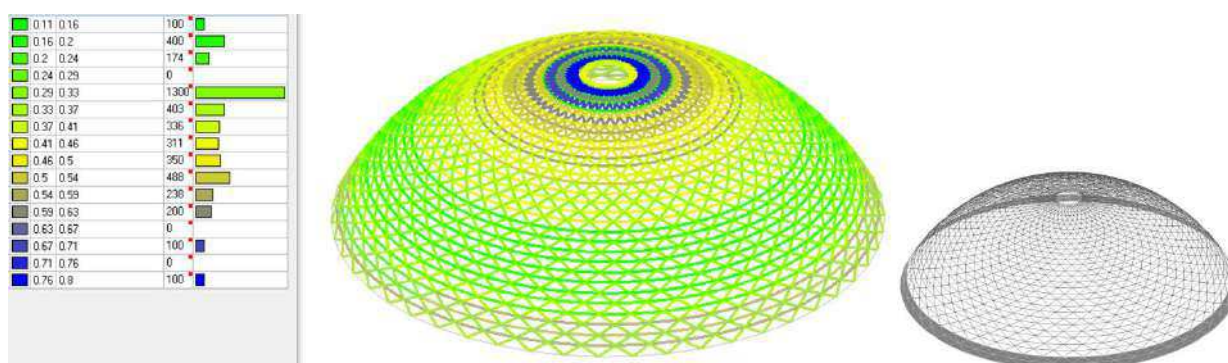


Рисунок 94 – Проверка элементов на 33-ей стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 2 яруса)

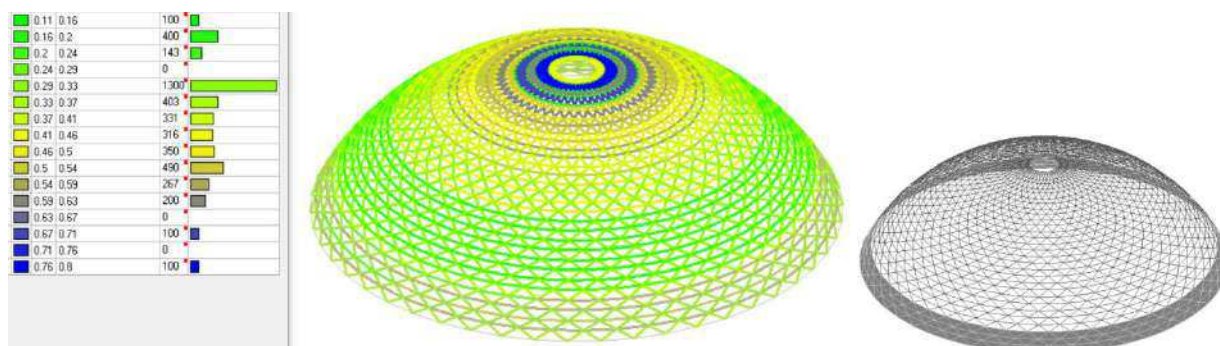


Рисунок 95 – Проверка элементов на 34-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 3 яруса)

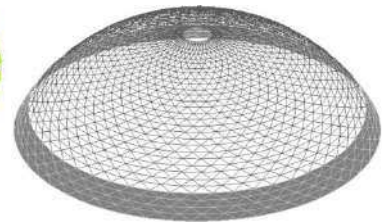
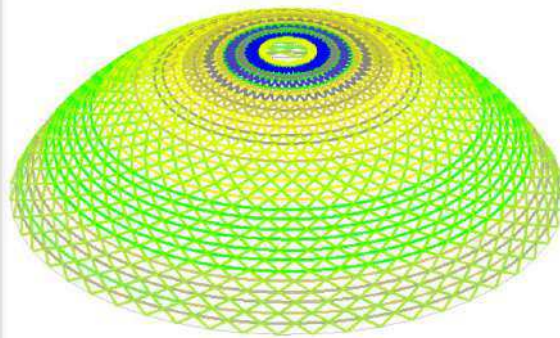
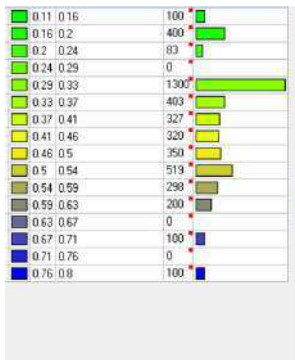


Рисунок 96 – Проверка элементов на 35-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 4 яруса)

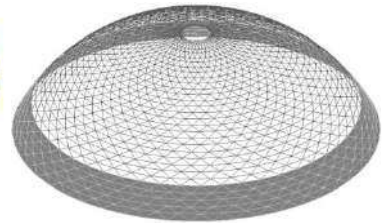
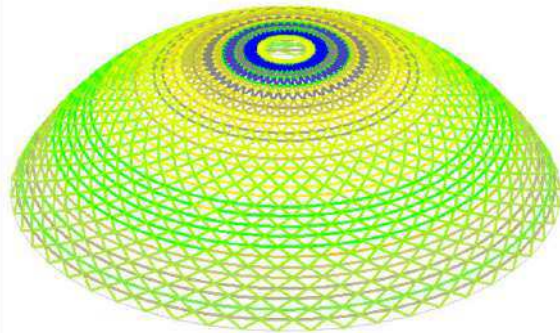


Рисунок 97 – Проверка элементов на 36-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 5 яруса)

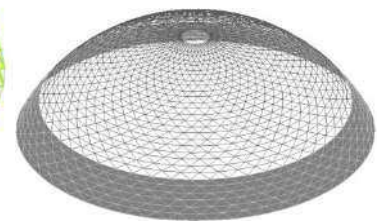
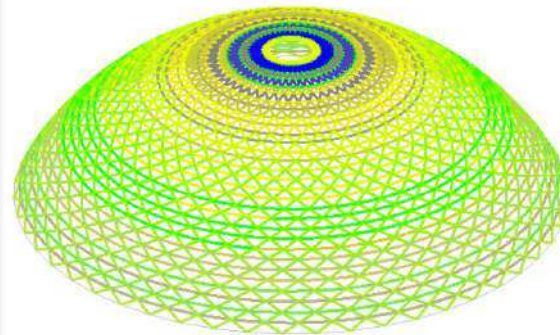
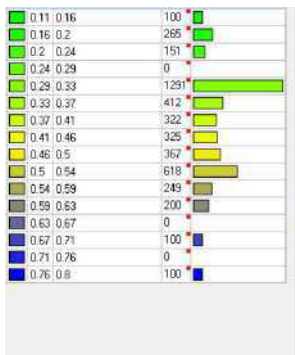


Рисунок 98 – Проверка элементов на 37-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 6 яруса)

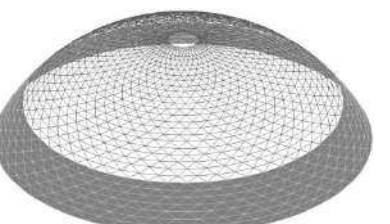
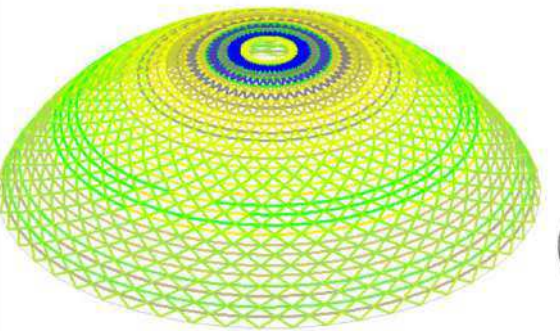
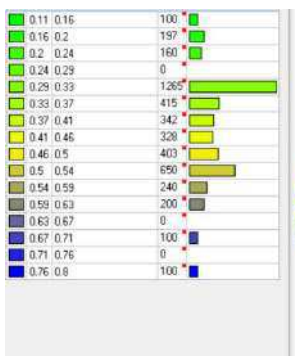


Рисунок 99 – Проверка элементов на 38-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 7 яруса)

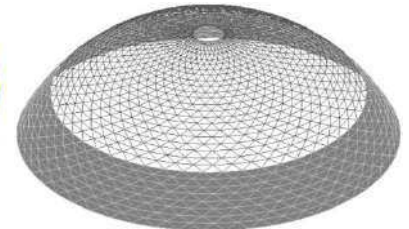
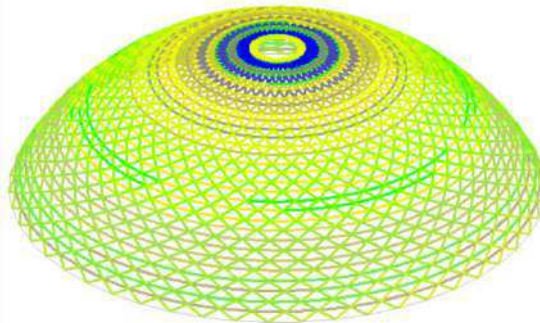


Рисунок 100 – Проверка элементов на 39-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 8 яруса)

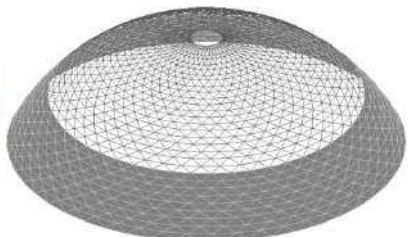
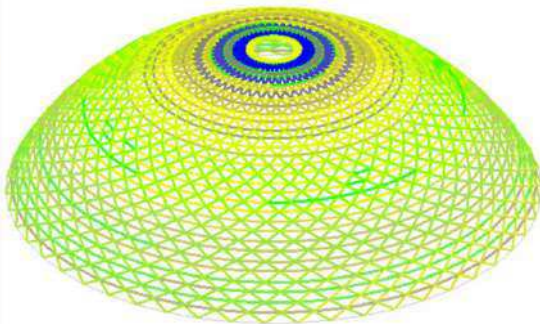


Рисунок 101 – Проверка элементов на 40-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 9 яруса)

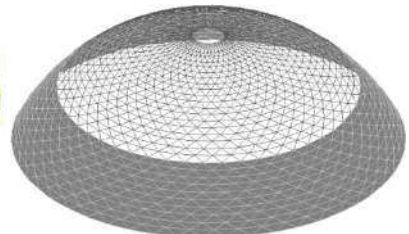
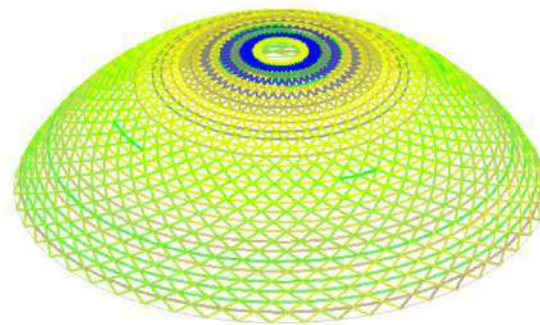


Рисунок 102 – Проверка элементов на 41-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 10 яруса)

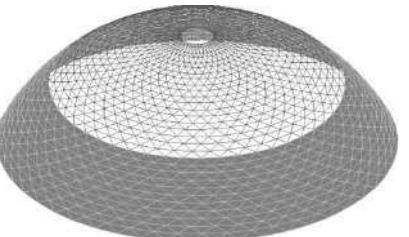
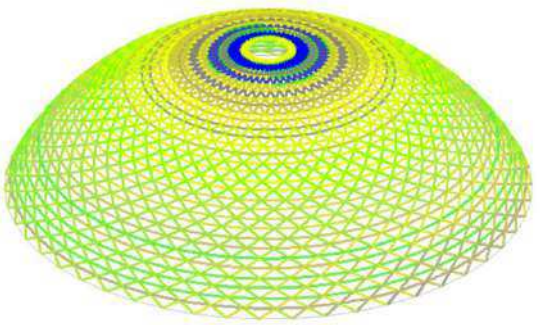


Рисунок 103 – Проверка элементов на 42-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 11 яруса)

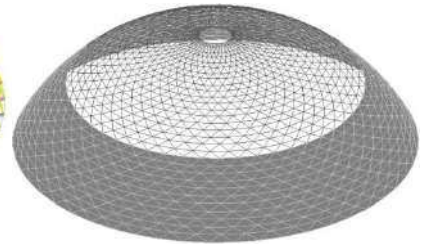
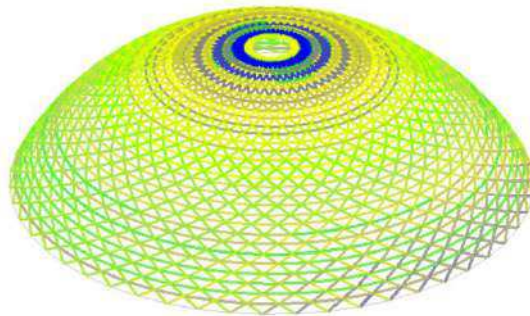


Рисунок 104 – Проверка элементов на 43-ей стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 12 яруса)

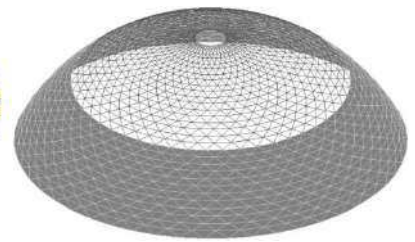
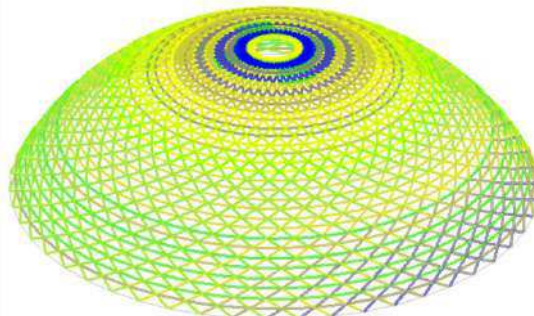
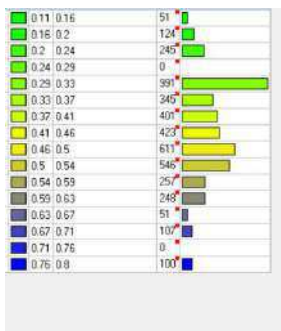


Рисунок 105 – Проверка элементов на 44-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 13 яруса)

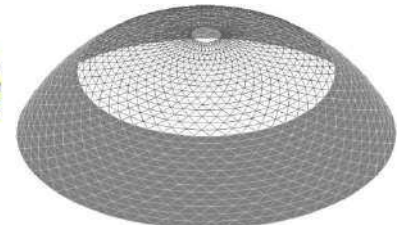
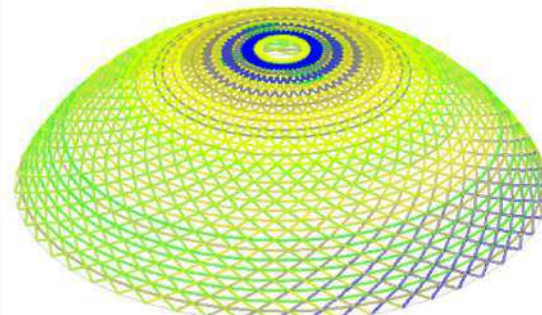


Рисунок 106 – Проверка элементов на 45-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 14 яруса)

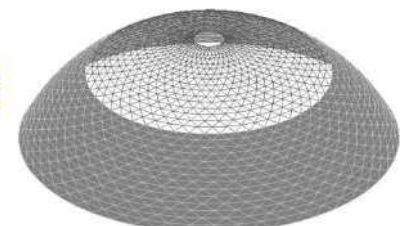
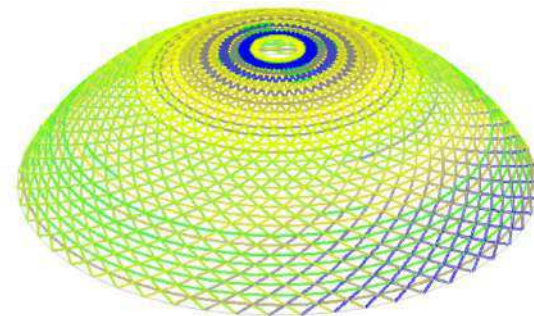
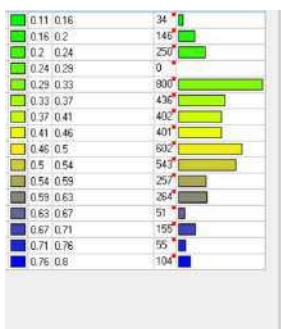


Рисунок 107 – Проверка элементов на 46-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 15 яруса)

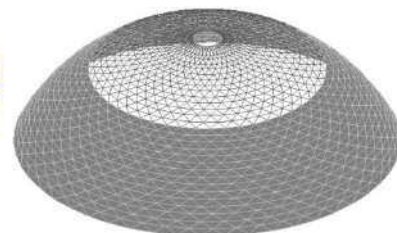
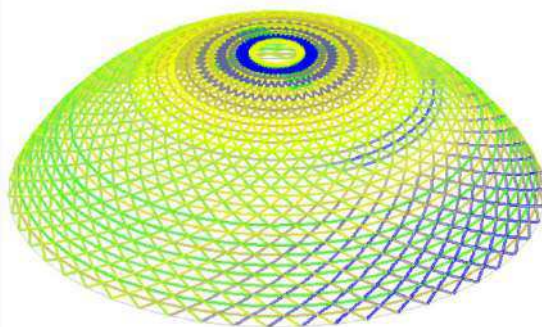
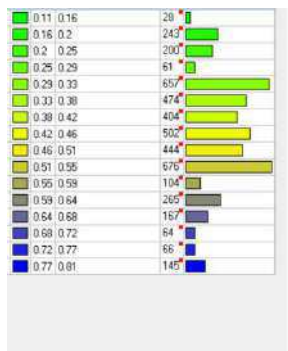


Рисунок 108 – Проверка элементов на 47-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 16 яруса)

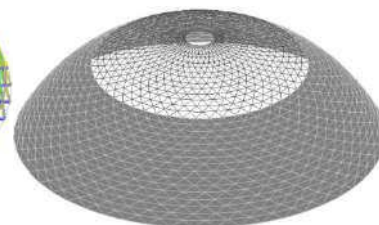
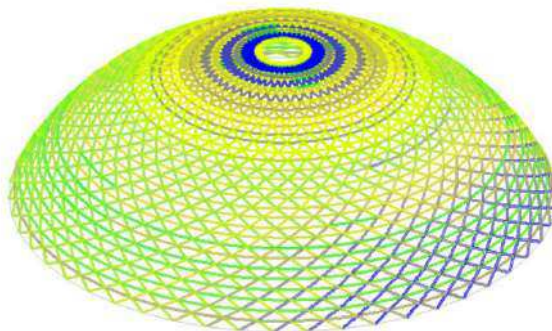
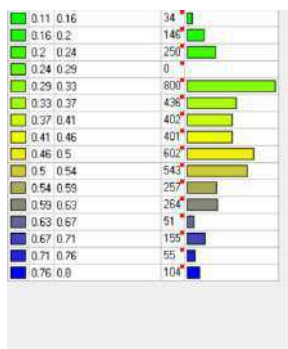


Рисунок 109 – Проверка элементов на 48-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 17 яруса)

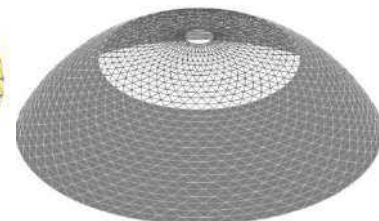
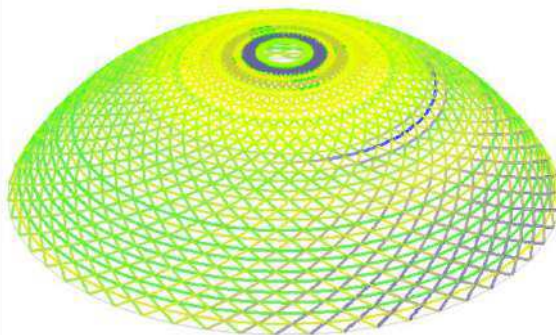


Рисунок 110 – Проверка элементов на 49-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 18 яруса)

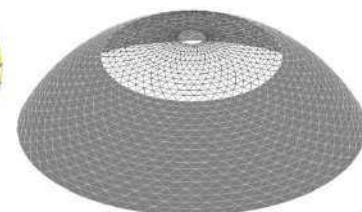
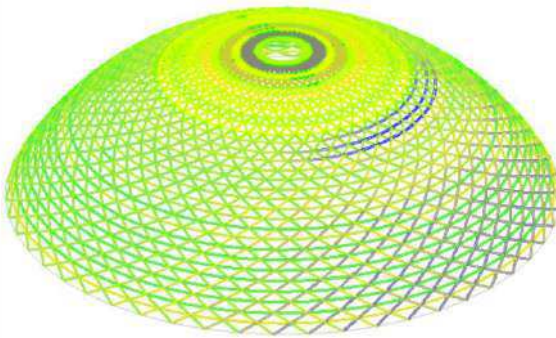


Рисунок 111 – Проверка элементов на 50-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 19 яруса)

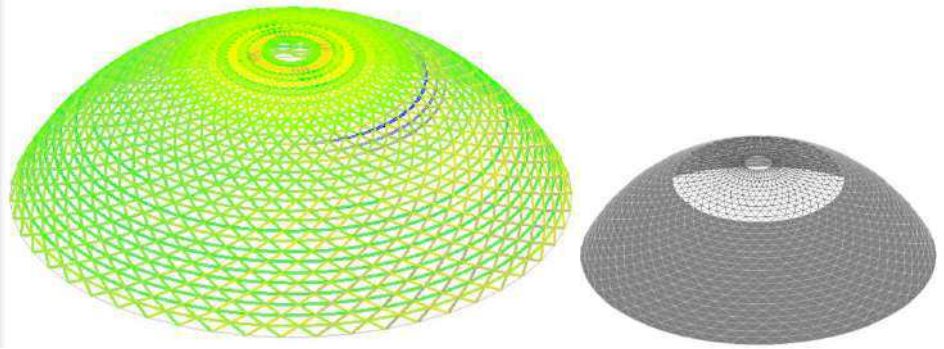


Рисунок 112 – Проверка элементов на 51-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 20 яруса)

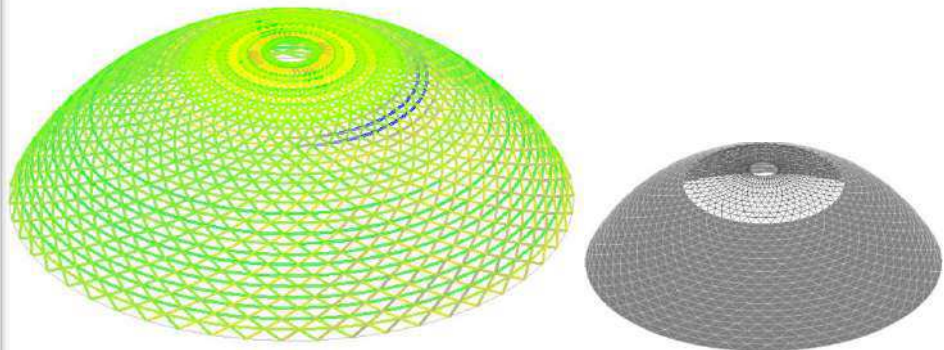
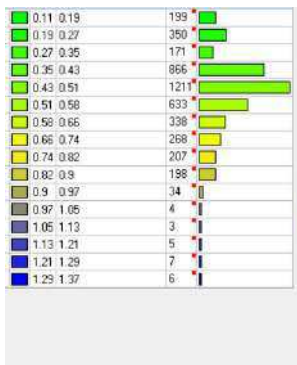


Рисунок 113 – Проверка элементов на 52-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 21 яруса)

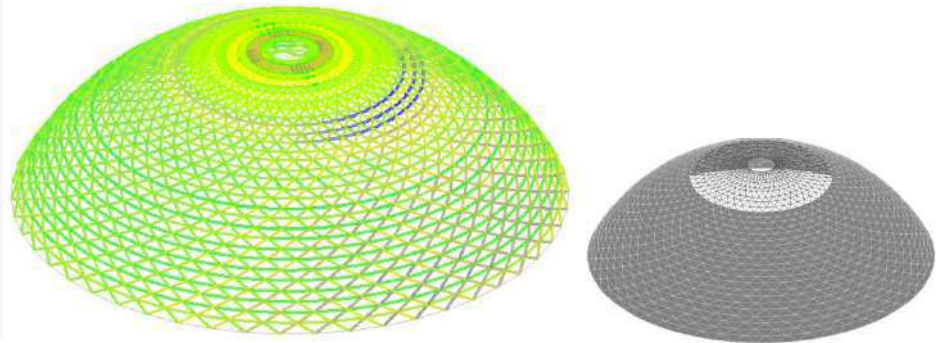


Рисунок 114 – Проверка элементов на 53-ей стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 22 яруса)

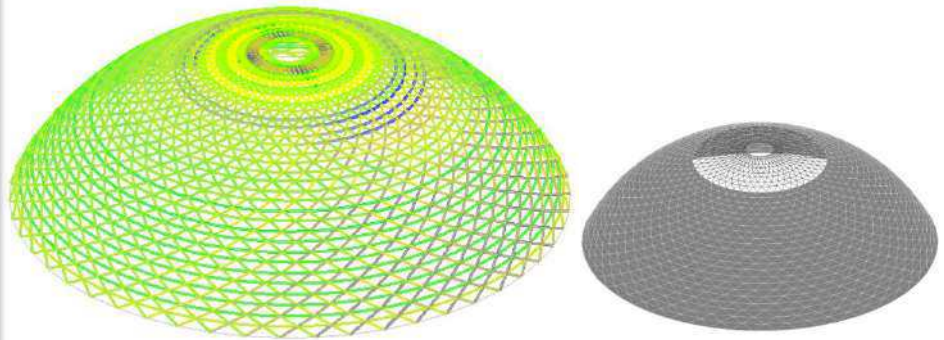


Рисунок 115 – Проверка элементов на 54-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 23 яруса)

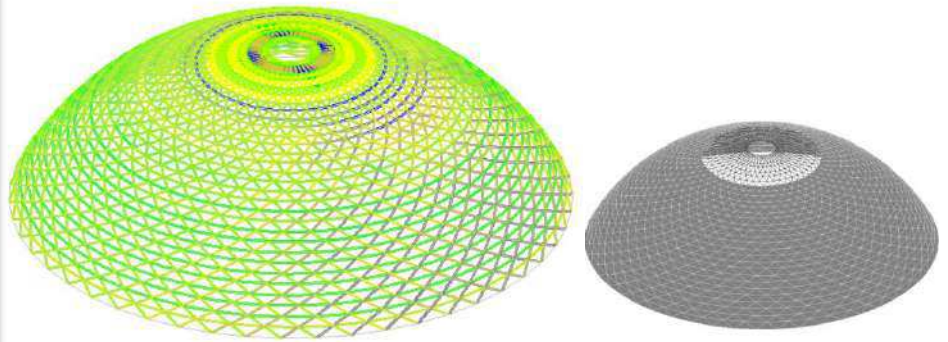


Рисунок 116 – Проверка элементов на 55-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 24 яруса)

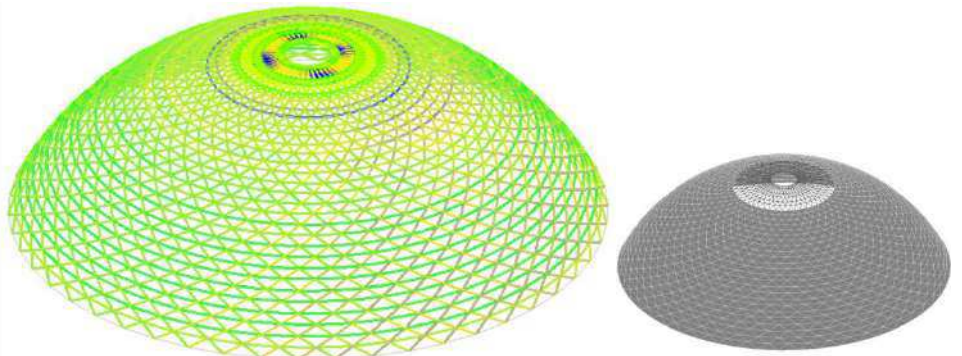
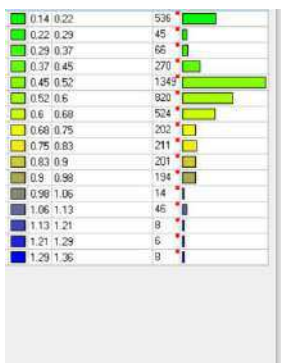


Рисунок 117 – Проверка элементов на 56-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 25 яруса)

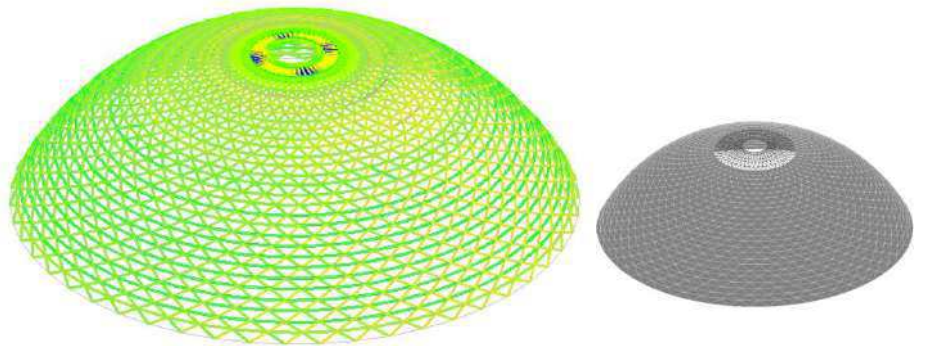


Рисунок 118 – Проверка элементов на 57-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 26 яруса)

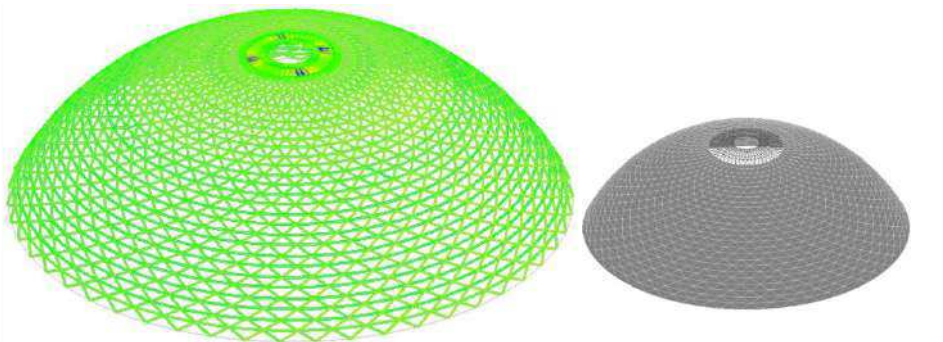


Рисунок 119 – Проверка элементов на 58-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 27 яруса)

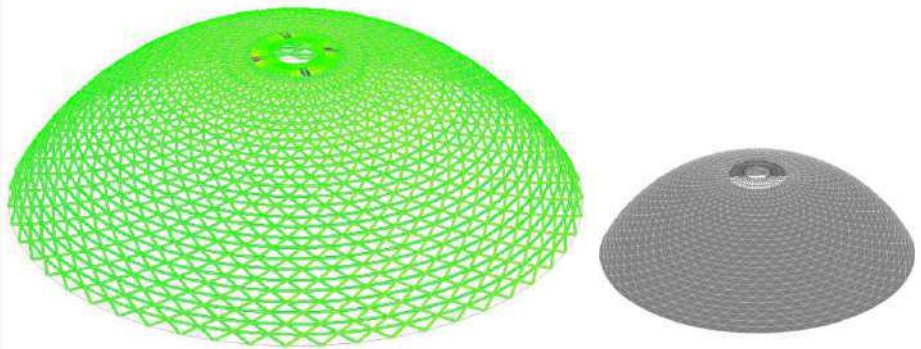


Рисунок 120 – Проверка элементов на 59-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 28 яруса)

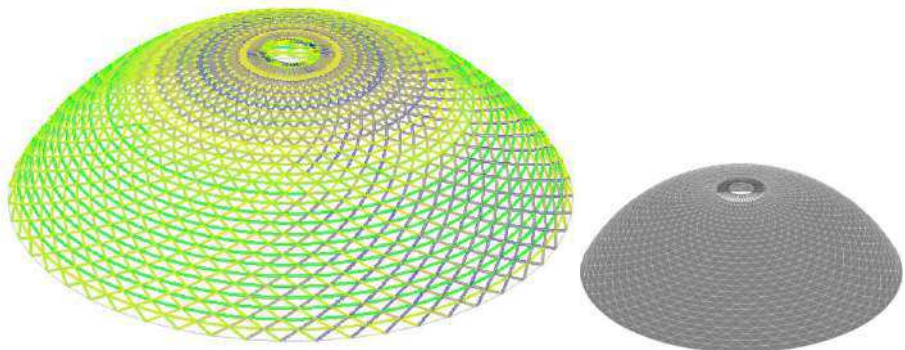


Рисунок 121 – Проверка элементов на 60-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 29 яруса)

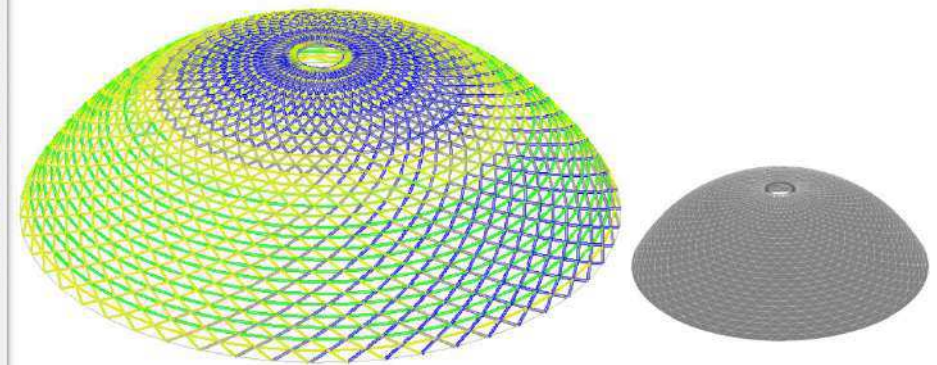


Рисунок 122 – Проверка элементов на 61-ой стадии 2-ого способа монтажа (покрытие 30 яруса)

2.11 Конструирование купола с учетом монтажных нагрузок

Подбор сечений производим для каждой стадии, в которой критический фактор превысил 1 (15 стадия, 17-30 стадия – для первого метода монтажа; 48-61 стадия – для второго метода монтажа). По итогу сечение каждого яруса должно быть максимальным из подобранных.

Сечения, которые будут использоваться в финальном конструктивном решении купола, выделены цветом в таблицах 4 и 5.

При первом варианте монтажа для стадий 1-14 и 16 подбор не производится, т.к. в указанных вариантах элементы не испытывают нагрузку больше, чем в финальной схеме.

При втором методе монтажа расчет для 1-48 стадии также не проводится, потому что на этих этапах обеспечивается прочность конструкций даже с первоначальными сечениями.

При втором варианте монтажа рассчитываются сечения при возведении ограждающих конструкций на 18-29 ярусах.

После того, как подобрали сечения для исследуемых стадий монтажа, производится проверка работы каркаса здания еще раз, так как изменился вес конструкций. При необходимости сечения подбираются повторно, пока критический фактор для всех элементов в исследуемой стадии не станет меньше 1.

Таблица 4 –Результаты подбора сечений с учетом первой схемы монтажа

ярус \ ст	15	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	168x5	180x5	180x5	180x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5,5	194x5,5	194x5,5	194x5,5	194x5,5	194x5,5	194x5	194x5
2	203x6	203x6,5	203x6,5	219x6	203x6,5	219x6	219x6	219x6,5	219x6,5	219x7	219x7	219x7	219x7	219x7	219x6,5	219x6,5
3	203x6	203x6,5	203x6,5	219x6	219x6	219x6	219x6,5	219x6,5	219x7	219x7	219x7	245x6,5	219x7	219x7	219x6,5	219x6,5
4	194x5	194x5,5	194x6	194x6	194x6	203x6	203x6	203x6,5	203x6,5	203x6,5	219x6	219x6	219x6	219x6	203x6,5	203x6,5
5	194x5	194x5,5	194x5,5	194x6	194x6	203x6	203x6	203x6,5	203x6,5	219x6	219x6	219x6	219x6	219x6	203x6,5	203x6,5
6	194x5	194x5	194x5,5	194x5,5	194x6	194x6	203x6	203x6	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5
7	180x5	194x5	194x5	194x5,5	194x5,5	194x6	194x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6,5	203x6
8	180x5	194x5	194x5	194x5,5	194x5,5	180x6,5	194x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6
9	159x4,5	180x5	180x5	194x5	194x5	194x5	194x5,5	194x5,5	180x6,5	194x6	194x6	194x6	194x6	194x6	180x6,5	194x6
10	159x4,5	168x5	180x5	194x5	194x5	194x5	194x5,5	194x5,5	180x6,5	194x6	194x6	194x6	194x6	194x6	194x6	194x6
11	146x4,5	159x5	168x8	180x5	180x5	180x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5,5	194x5,5	194x5,5	194x5	194x5
12	140x4,5	159x4,5	159x5	168x5	180x5	180x5	180x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5
13	140x4,5	146x4,5	152x4,5	159x5	159x5	168x5	168x5	168x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5
14	159x4,5	146x4,5	146x4,5	159x4,5	159x5	159x5	168x5	168x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5
15	194x5	152x4,5	146x4,5	159x4,5	159x5	168x5	168x5	168x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5
16		159x5	159x4,5	152x4,5	146x4,5	159x4,5	159x4,5	159x5	159x5	168x5	168x5	168x5	168x5	168x5	168x5	168x5
17		159x5	146x4,5	146x4,5	133x4,5	159x4,5	140x4,5	140x4,5	146x4,5	146x4,5	146x4,5	152x4,5	152x4,5	152x4,5	146x4,5	146x4,5
18			168x5	159x4,5	146x4,5	146x4,5	133x4,5	133x4	133x4	133x4	127x4,5	133x4,5	133x4,5	133x4,5	127x4,5	127x4,5
19				159x5	146x4,5	146x4,5	133x4	133x4	121x4	127x4	127x4	127x4	127x4	127x4	127x4	127x4
20					152x5	146x4,5	133x4,5	133x4	127x4	121x4	121x4	121x4	121x4	121x4	114x4	108x4
21						152x4,5	133x4	127x4	114x4	114x4	114x4	114x4	114x4	114x4	108x4	102x4
22							133x4,5	127x4	108x4	108x4	102x4	102x3,5	102x3,5	102x3,5	95x3,5	95x3,5
23								127x4	102x4	102x3,5	95x3,5	95x3,5	95x3,5	95x3,5	89x3,5	89x3,5
24									114x4	102x3,5	89x3,5	89x3,5	89x3,5	83x3,5	83x3,5	73x4
25										102x4	89x3,5	83x3,5	83x3,5	83x3,5	76x3	76x3,5
26											89x3,5	73x3,5	73x3	70x3	63,5x3	68x3
27												89x3,5	89x3,5	89x3,5	68x3	70x3
28													83x3,5	68x3	57x3	54x3
29														102x3,5	73x4	63,5x3
30															102x3,5	60x3
БК																18Б1

Таблица 5 – Результаты подбора сечений с учетом второй схемы монтажа

стадия. ярус	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	180x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5
2	203x6,5	219x6	219x6	219x6	219x6	219x6	219x6,5	219x6,5	219x6,5	219x6,5	219x6,5	219x6,5	219x6,5
3	203x6,5	219x6	219x6	219x6	219x6	219x6,5	219x6,5	219x6,5	219x6,5	219x6,5	219x6,5	219x6,5	219x6,5
4	194x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5
5	194x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5
6	194x6	194x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5	203x6,5
7	194x5,5	194x5,5	194x6	194x6	194x6	194x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6
8	194x5,5	194x5,5	194x6	194x6	194x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6	203x6
9	194x5	194x5	194x5	194x5,5	194x5,5	194x5,5	194x5,5	194x4,5	180x6,5	194x6	180x6,5	194x6	194x6
10	194x5	194x5	194x5	194x5,5	194x5,5	194x5,5	180x6,5	194x6	194x6	194x6	194x6	194x6	194x6
11	168x5	180x5	180x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5
12	168x5	180x5	180x5	180x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5	194x5
13	152x4,5	159x4,5	159x5	168x5	168x5	168x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5
14	152x4,5	159x4,5	159x5	168x5	168x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5
15	140x4,5	152x4,5	152x5	159x5	168x5	168x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5	180x5
16	146x4,5	140x4,5	146x4,5	159x4,5	152x5	159x5	159x5	168x5	168x5	168x5	168x5	168x5	168x5
17	133x4,5	133x4	127x4	127x4,5	133x4,5	140x4,5	140x4,5	140x4,5	140x4,5	146x4,5	146x4,5	146x4,5	146x4,5
18	133x4,5	133x4,5	133x4	127x4	127x4	127x4	127x4	133x4	133x4	127x4,5	127x4,5	127x4,5	127x4,5
19	108x4	133x4	133x4	127x4	121x4	121x4	121x4	121x4	121x4	127x4	127x4	127x4	127x4
20	76x3	108x4	127x4	127x4	121x4	121x4	114x4	114x4	114x4	108x4	108x4	108x4	108x4
21	68x3	76x3	102x3,5	121x4	114x4	108x4	108x4	102x4	102x4	102x4	102x4	102x4	102x4
22	57x3	60x3	63,5x3	95x3,5	102x4	102x4	102x3,5	102x3,5	95x3,5	95x3,5	95x3,5	95x3,5	95x3,5
23	54x3	57x3	60x3	68x3	83x3,5	95x3,5	95x3,5	89x3,5	83x3,5	89x3,5	83x3,5	89x3,5	89x3,5
24	50x2,5	50x2,5	50x2,8	54x3	57x3	83x3,5	89x3,5	89x3,5	83x3,5	73x4	76x3,5	76x3,5	73x4
25	50x3	54x3	54x3	54x3	60x3	63,5x3	68x3	76x3,5	73x3,5	76x3,5	73x3	73x3,5	76x3,5
26	42x2,5	42x2,5	45x2,5	45x2,5	45x2,8	50x2,5	50x2,8	60x3	73x3	68x3	68x3	68x3	68x3
27	50x3	54x3	54x3	54x3	57x3	57x3	60x3	63,5x3	63,5x3	70x3	68x3	68x3	70x3
28	42x2,5	42x2,5	42x2,5	42x2,5	45x2,5	45x2,5	45x2,5	45x2,8	50x2,5	54x3	57x3	54x3	54x3
29	57x3	57x3	60x3	60x3	63,5x3	68x3	68x3	70x3	73x3	63,5x3	76x3	68x3	63,5x3
30	42x2,5	45x2,5	45x2,8	50x2,5	50x2,8	54x3	54x3	57x3	60x3	60x3	68x3	68x3	60x3
вк	12Б1	12Б1	12Б1	12Б2	12Б2	14Б1	16Б1	16Б1	16Б1	18Б1	18Б1	18Б1	18Б1

По данным таблицы 4 назначаются сечения сетчатого купола (рисунок 123), монтируемого по первой схеме (когда ограждающие конструкции монтируются одновременно с каркасом), и проверяется критический фактор элементов (рисунок 124).

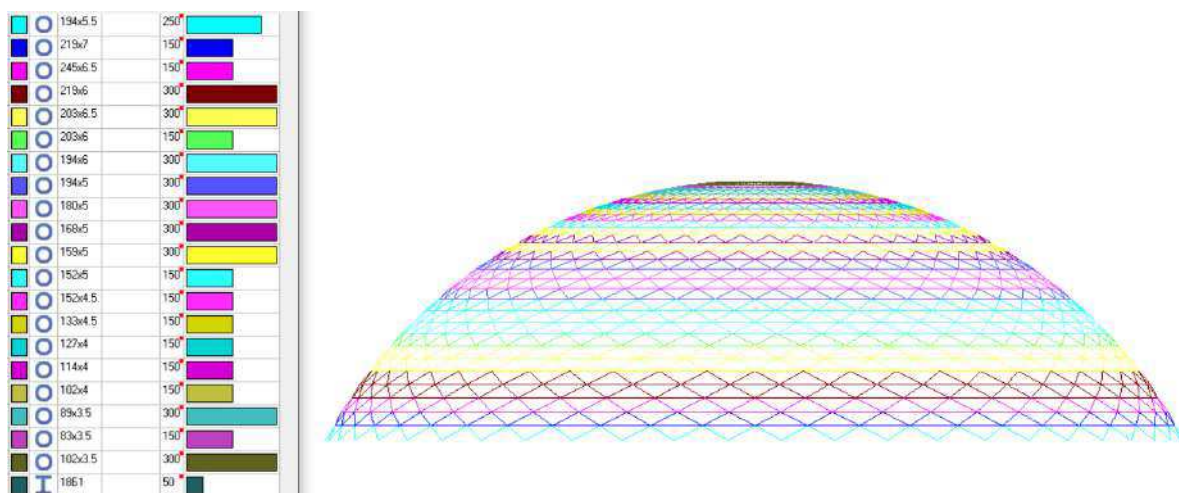


Рисунок 123 – Сечения сетчатого купола с учетом первой схемы монтажа

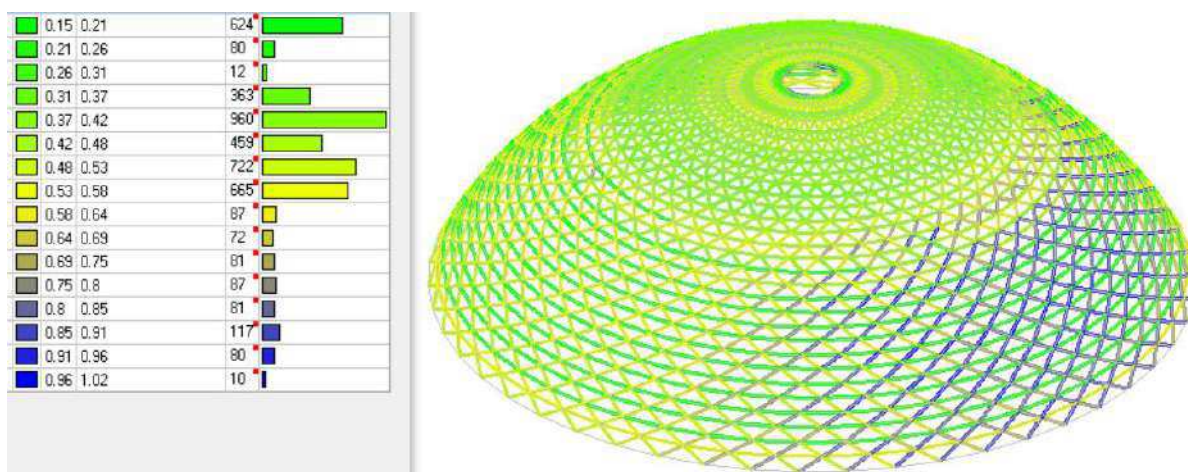


Рисунок 124 – Критический фактор элементов (1 схема монтажа)

Необходимо заново подобрать сечения, при этом уменьшать величину сечений нельзя, можно только увеличивать.

Ведомость окончательных сечений купола для монтажа по первой схеме представлена в приложении Г.

Критический фактор итоговых элементов купола показан на рисунке 125.

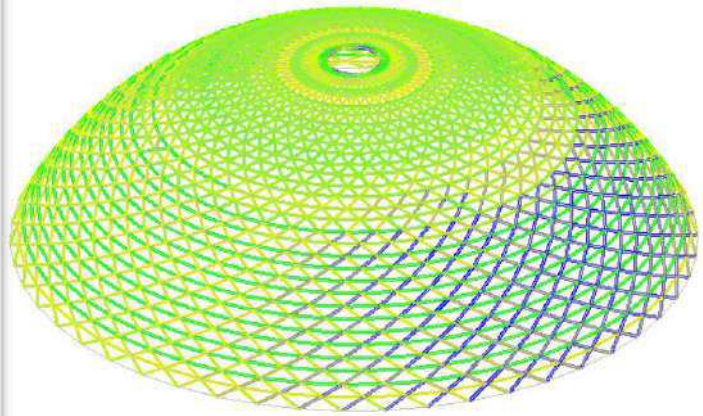


Рисунок 125 – Критический фактор элементов (1 схема монтажа)

Суммарные перемещения элементов купола показаны на рисунке 126.

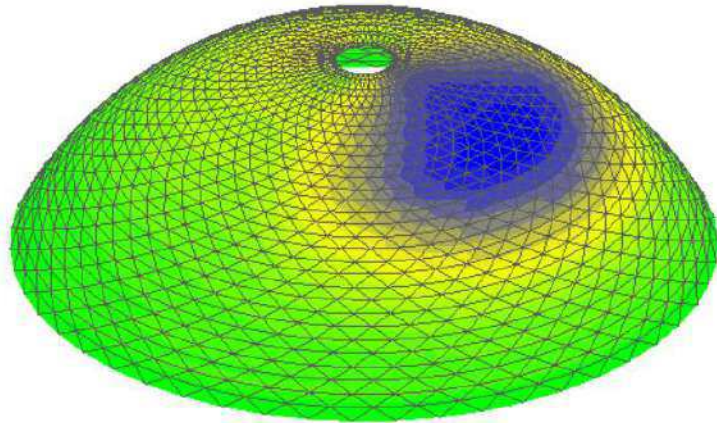
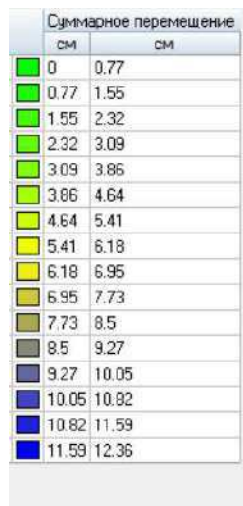


Рисунок 126 – Суммарные перемещения (1 схема монтажа)

По данным таблицы 5 назначаются сечения сетчатого купола (рисунок 127), монтируемого по второй схеме (когда ограждающие конструкции монтируются после возведения стального каркаса), и проверяется критический фактор элементов (рисунок 128).

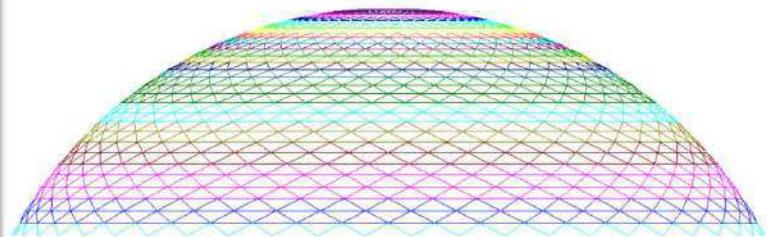


Рисунок 127 – Сечения сетчатого купола с учетом первой схемы монтажа

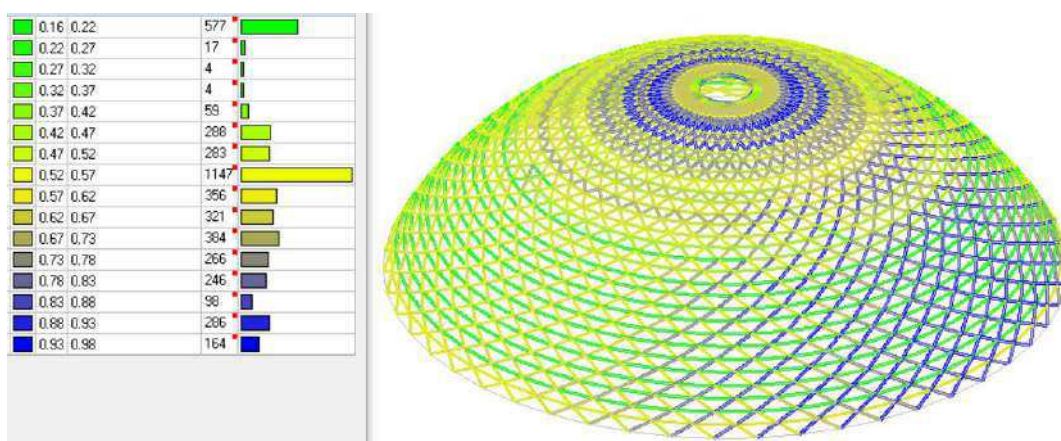


Рисунок 128 – Критический фактор элементов (2 схема монтажа)

Суммарные максимальные перемещения элементов купола, монтируемого по второй схеме, представлены на рисунке 129.

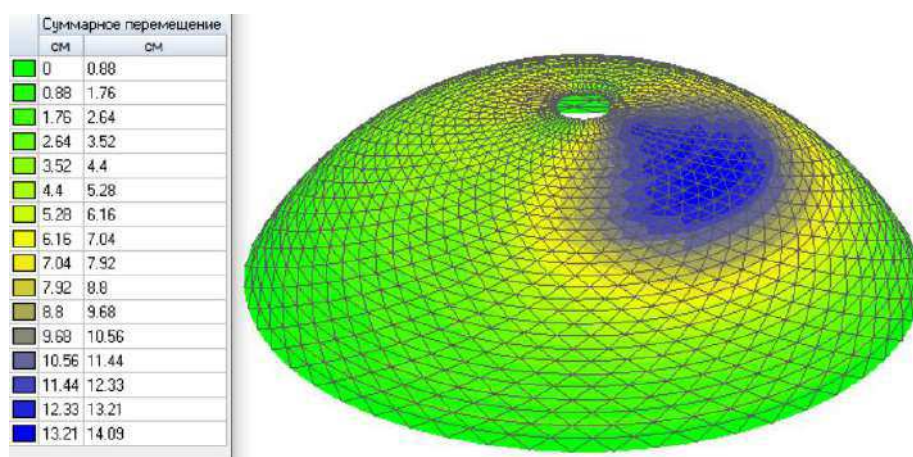


Рисунок 129 – Суммарные перемещения (2 схема монтажа)

Ведомость окончательных сечений купола для монтажа по второй схеме представлена в приложении Д.

2.12 Определение стоимости строительства

Составляется три локальных сметных расчета:

- для первоначально спроектированного купола;
- для купола, монтируемого по первой схеме;
- для купола, монтируемого по второй схеме.

Локально-сметные расчеты представлены в приложении Е.

Сметы составлен с использованием ФЕР 2020. При определении сметной стоимости были применены индексы IV квартала 2020г.

Накладные расходы и сметная прибыль приняты по [32] и [33] соответственно. Лимитированные затраты приняты в соответствии с [34].

Основные показатели локальных сметных расчетов куполов сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Экономические показатели

	Монтаж каркаса без учета монтажных нагрузок	Монтаж каркаса с учетом монтажа по первой схеме	Монтаж каркаса с учетом монтажа по второй схеме
Затраты по Разделу 1. Транспортировка. Погрузо-разгрузочные работы	858,9 тыс. руб.	895,3 тыс. руб.	865,6 тыс. руб.
Затраты по Разделу 2. Монтаж каркаса	153009,1 тыс. руб.	168400,9 тыс. руб.	154668,9 тыс.руб.
Затраты по Разделу 3. Установка ограждающих конструкций	270960,9 тыс. руб.	270960,9 тыс. руб.	270960,9 тыс.руб.
Сметная стоимость строительных работ	545230,99 тыс. руб.	565031,68 тыс. руб.	547369,67 тыс. руб.
Средства на оплату труда	10550,49 тыс. руб.	108296,78 тыс. руб.	105850,5 тыс. руб.
Сметная трудоемкость	257175,88 чел.час	262749,89 чел.час	257786,61 чел.час
Трудозатраты механизмов	9631,26 чел.час	10490,42 чел.час	9726,66 чел.час

2.13 Анализ полученных результатов

В ходе проведенного исследования установлено следующее:

1. Рассмотренные элементы каркаса при транспортировке/складировании/укрупнительной сборке имеют совершенно другую расчетную схему относительно того, когда они установлены в проектное положение. Если в проектном положении элементы преимущественно испытывают сжатие с изгибом, то в подготовительном периоде на этапе транспортировке, строповке отдельных элементов и складировании они работают преимущественно на изгиб. Несмотря на то, что усилия в исследуемом куполе получились значительно меньше расчетных, нельзя полностью пренебрегать учетом данных стадий. Особое влияние может оказать крупнительная сборка, когда на подготовительном этапе возводятся целые конструктивные элементы, которые в момент подъема и монтажа будут работать совсем иначе, нежели в проектном положении. Усилия, возникающие в элементах на подготовительном этапе и в проектном положении, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Сравнение усилий, возникающих на подготовительном этапе и в проектном положении

	N	M	Q
Элементы 2-го яруса			
Усилия в проектном положении	-458,29	33,71	17

Окончание таблицы 7

	N	M	Q
Усилия при складировании	-	-0,34	0,61
Усилия при транспортировке	-	-0,39	0,69
Усилия при укрупнительной сборке	1,28	0,94	1,13
Элементы 18-го яруса			
Усилия в проектном положении	-249,31	4,94	4,26
Усилия при складировании	-	1,76	-3,67
Усилия при транспортировке	-	2,01	-4,2
Усилия при укрупнительной сборке	0,33	0,12	0,23

2. При монтаже купола по первой схеме (когда вместе с каркасом купола возводятся ограждающие конструкции) возникают совсем иные усилия, чем в проектном положении. Расчетные усилия для подбора элементов каждого яруса на каждой стадии представлены в приложении Ж. Проанализировав, полученные усилия, были сделаны следующие выводы:

- в элементах ярусов при монтаже увеличиваются расчетные значения усилий (их величина и процентное отклонение от начальных показаны в таблице 8). Среднее превышение величины продольной силы – 35,62%, поперечной силы – 46,2%, изгибающего момента – 46,03%;
- до 13 яруса включительно максимальные усилия в элементах наблюдаются на 27-28 стадии монтажа. А начиная с 14-го яруса максимальные усилия возникают при возведении непосредственно этого яруса, а так же яруса, который возводится следующим. На этих стадиях элементы находятся уже в положении близком к горизонтальному, что способствует увеличению влияния снеговой нагрузки и нагрузки от собственного веса;
- с 15-ой стадии монтажа элементы начинают терять устойчивость. График потери устойчивости при первой схеме монтажа представлен на рисунке 130. В положение, в котором нет элементов, потерявших устойчивость, купол приходит только на финальной стадии, когда уже возведено верхнее кольцо;
- с 18-ой стадии наблюдаются элементы, которые не проходят проверку на прочность при совместном действии продольной силы и изгибающего момента. Изменение количества таких элементов, в зависимости от стадии представлено на рисунке 131;

- графики показывают, что количество элементов, выходящих из строя, нельзя подчинить какому-либо математическому закону. Это говорит о том, что при проектировании сетчатых куполов, монтируемых навесным способом, необходимо рассчитывать их при помощи компьютерных программ, прорабатывая схему, как можно, более детально;
- после перерасчета конструкции с учетом стадии монтажа общий вес каркаса увеличился на 32,31т;
- максимальные перемещения каркаса сократились с 14,77см до 12,36см;
- стоимость строительства увеличилась на 19800,7 т.р.(с 545230,99т.р. до 565031,7 т.р.), что составляет 3,6% от начальной стоимости строительства.

Таблица 8 – Усилия при первой схеме монтажа

	Начальные расчетные значения			Расчетные значения с учетом 1-ой схемы монтажа					
	N	Q	M	N	Отклонение, %	Q	Отклонение, %	M	Отклонение, %
1 ярус	-476.88	3.27	8.26	-609.858	21.8	14.45	77	39.14	79
2 ярус	-458.29	17	-33.71	-592.41	22.64	18.042	6	33.71	0
3 ярус	-454.94	-14.1	-24.48	-580.75	21.66	16.543	15	30.661	20
4 ярус	-428.51	15.37	27.44	-543.75	21.19	16.563	7	27.44	0
5 ярус	-464.72	12.25	22.13	-571.108	18.63	14.695	17	24.807	11
6 ярус	-456.91	-14.76	24.49	-552.46	17.3	15.918	7	24.49	0
7 ярус	-467.53	11.11	-19.79	-559.542	16.44	13.365	17	22.258	11
8 ярус	-452.81	-13.18	-21.22	-532.98	15.04	14.357	8	21.22	0
9 ярус	-461.17	-10.59	-17.69	-540.05	14.61	12.256	14	19.384	9
10 ярус	-447.76	10.91	18.95	-514.98	13.05	11.831	8	18.95	0
11 ярус	-434.29	9.23	14.65	-501.18	13.35	10.859	15	16.528	11
12 ярус	-414.34	8.32	12.35	-473.16	12.43	8.901	7	12.35	0
13 ярус	-398.2	-7	11.11	-453.757	12.24	8.395	17	12.628	12
14 ярус	-378.75	7.44	-10.37	-462.731	18.15	8.095	8	11.036	6
15 ярус	-358.26	-9.47	-14.07	-472.42	24.16	9.78	3	14.08	0
16 ярус	-328.74	-8.37	10.16	-513.44	35.97	10.725	22	12.265	17
17 ярус	-286.77	-4.09	5.39	-492.09	41.72	5.21	21	8.316	35
18 ярус	-249.31	4.26	4.94	-540.323	53.86	4.541	6	8.519	42

Окончание таблицы 8

	Начальные расчетные значения			Расчетные значения с учетом 1-ой схемы монтажа					
	N	Q	M	N	Отклонение, %	Q	Отклонение, %	M	Отклонение, %
19 ярус	-249.47	0.18	-0.64	-528.154	52.77	4.03	96	8.434	92
20 ярус	-249.47	0.18	-0.04	-508.34	50.92	3.324	95	6.84	99
21 ярус	-204.53	0.15	0.02	-453.394	54.89	3.465	96	6.919	100
22 ярус	-190.35	-0.12	0.06	-396.59	52	2.826	96	5.434	99
23 ярус	-152.03	-0.08	0.01	-322.099	52.8	2.502	97	4.738	100
24 ярус	-152.03	0.08	0.01	-318.01	52.19	2.222	96	3.732	100
25 ярус	-108.52	0.07	-0.01	-253.03	57.11	1.704	96	3.375	100
26 ярус	-89.42	0.05	-0.01	-214.655	58.34	1.639	97	2.374	100
27 ярус	-81.56	0.04	0.07	-236.74	65.55	1.574	97	2.927	98
28 ярус	-68.44	-0.03	0.03	-197.914	65.42	2.456	99	2.304	99
29 ярус	-62.18	-0.03	0.15	-241.2	74.22	3.176	99	4.424	97
30 ярус	-53.84	0.38	0.34	-204.52	73.67	5.339	93	3.391	90
верхн к.	-237.67	0.11	-13.67	-237.67	0	0.11	0	13.67	0



Рисунок 130 – Элементы, теряющие устойчивость (1 схема монтажа)



Рисунок 131 – Элементы, теряющие прочность (1 схема монтажа)

3. При монтаже купола по второй схеме (когда сначала возводится каркас купола, а затем ограждающие конструкции) значения усилий меньше, чем при монтаже по первой схеме, но большие, чем в начальном проектном положении каркаса. Расчетные усилия для подбора элементов каждого яруса на каждой стадии представлены в приложении 3. Проанализировав, полученные усилия, были сделаны следующие выводы:

- при монтаже стального каркаса значения усилий в элементах не превышают расчетных (без учета монтажа), а при возведении ограждающих конструкций усилия увеличиваются и превышают начальные расчетные значения;
- в элементах ярусов при монтаже увеличиваются расчетные значения усилий (их величина и процентное отклонение от начальных значений приведены в таблице 9). Среднее превышение величины продольной силы – 29,8%, поперечной силы – 48,3%, изгибающего момента – 42,06%;
- до 17 яруса включительно максимальные усилия в элементах наблюдаются на 27-28 стадиях монтажа. А начиная с 18-го яруса максимальные усилия возникают при возведении непосредственно самого этого яруса, а так же яруса, который возводится следующим. На этих стадиях элементы находятся уже в положении близком к горизонтальному, что способствует увеличению влияния снеговой нагрузки и нагрузки от собственного веса;
- с 18-ой стадии монтажа элементы начинают терять общую устойчивость. График потери устойчивости при первой схеме монтажа представлен на рисунке 132. В положение, в котором нет элементов, потерявших устойчивость, купол приходит на 29 стадии;
- график показывает, что количество элементов, выходящих из строя, нельзя подчинить какому-либо математическому закону. Это говорит о том, что при проектировании сетчатых куполов, монтируемых навесным способом, необходимо рассчитывать их

при помощи компьютерных программ, прорабатывая схему, как можно, более детально;

- после перерасчета конструкции с учетом стадии монтажа общий вес каркаса увеличился на 3,3т;
- значения максимальных перемещений каркаса уменьшились с 14,77см до 14,09см;
- стоимость строительства увеличилась на 2138,7 т.р. (с 545230,99т.р. до 547368,7 т.р.), что составляет 0,4% от начальной стоимости строительства.

Таблица 9 – Усилия при второй схеме монтажа

	Начальные расчетные значения			Расчетные значения с учетом 1-ой схемы монтажа					
	N	Q	M	N	Отклонение, %	Q	Отклонение, %	M	Отклонение, %
1 ярус	-476.88	3.27	8.26	-496.83	4.02	4.69	30	9.74	15
2 ярус	-458.29	17	-33.71	-477.59	4.04	19.023	11	33.71	0
3 ярус	-454.94	-14.1	-24.48	475.46	195.68	17.433	19	32.38	24
4 ярус	-428.51	15.37	27.44	-443.96	3.48	17.357	11	27.44	0
5 ярус	-464.72	12.25	22.13	495.504	193.79	15.375	20	25.976	15
6 ярус	-456.91	-14.76	24.49	-466.99	2.16	16.662	11	28.35	0
7 ярус	-467.53	11.11	-19.79	-475.14	1.6	13.962	20	23.246	15
8 ярус	-452.81	-13.18	-21.22	-458.31	1.2	14.958	12	21.22	0
9 ярус	-461.17	-10.59	-17.69	-465.62	0.96	12.762	17	20.195	12
10 ярус	-447.76	10.91	18.95	-449.44	0.37	12.358	12	18.95	0
11 ярус	-434.29	9.23	14.65	-435.25	0.22	11.287	18	17.154	15
12 ярус	-414.34	8.32	12.35	-415.31	0.23	9.322	11	12.35	0
13 ярус	-398.2	-7	11.11	-398.46	0.07	8.736	20	13.096	15
14 ярус	-378.75	7.44	-10.37	-378.82	0.02	8.215	9	11.132	7
15 ярус	-358.26	-9.47	-14.07	-358.26	0	10.025	6	14.07	0
16 ярус	-328.74	-8.37	10.16	-381.16	13.75	9.748	14	12.66	20
17 ярус	-286.77	-4.09	5.39	-348.28	17.66	5.328	23	4.76	25
18 ярус	-249.31	4.26	4.94	-383.8	35.04	4.701	9	5.66	13
19 ярус	-249.47	0.18	-0.64	-369.85	32.55	3.47	95	5.075	87
20 ярус	-249.47	0.18	-0.04	-350.32	28.79	3.448	95	3.855	99
21 ярус	-204.53	0.15	0.02	-318.14	35.71	2.346	94	3.148	99
22 ярус	-190.35	-0.12	0.06	-259.34	26.6	2.392	95	2.638	98
23 ярус	-152.03	-0.08	0.01	-210.76	27.87	1.673	95	2.27	100
24 ярус	-152.03	0.08	0.01	-198.56	23.43	1.731	95	1.757	99
25 ярус	-108.52	0.07	-0.01	-168.54	35.61	1.202	94	1.516	99
26 ярус	-89.42	0.05	-0.01	-149.41	40.15	1.237	96	1.167	99
27 ярус	-81.56	0.04	0.07	-150.94	45.97	0.81	95	1.174	94

Окончание таблицы 9

	Начальные расчетные значения			Расчетные значения с учетом 1-ой схемы монтажа					
	N	Q	M	N	Отклонение, %	Q	Отклонение, %	M	Отклонение, %
28 ярус	-68.44	-0.03	0.03	-121.88	43.85	0.704	96	0.822	96
29 ярус	-62.18	-0.03	0.15	-119.5	47.97	0.634	95	0.795	81
30 ярус	-53.84	0.38	0.34	-93.857	42.64	1.977	81	0.99	66
верхн к.	-237.67	0.11	-13.67	-292.5	18.75	7.092	98	15.378	11



Рисунок 132– Элементы, теряющие устойчивость(2 схема монтажа)

4. Результаты исследования, представленные в данной работе показывают, как важно учитывать этапы монтажа конструкции. При строительстве объектов, особенно уникальных, важен каждый этап жизни конструкции, от заготовки отправочных элементов до эксплуатации. Все нужно продумывать и учитывать на этапе проектирования. Так рассмотренные схемы монтажа вызывают существенно разные значения усилия в элементах каркаса, что отражается на конечной стоимости строительства. Сравнительный анализ усилий приведен в таблице 10, а среднее процентное отклонение величины продольной силы – 34,7%, поперечной силы – 21,8%, изгибающего момента – 27,2%;. При этом стоимость возведения каркаса по второй схеме дешевле на 17662 т.р.

Таблица 10 – Сравнение усилий при разных схемах монтажа

	Значения усилий при 2-й схеме монтажа			Расчетные значения с учетом 1-ой схемы монтажа					
	N	Q	M	N	Отклонение, %	Q	Отклонение, %	M	Отклонение, %
1 ярус	-496.83	4.69	9.74	-609.85	18.53	14.45	68	39.14	75
2 ярус	-477.59	19.023	33.71	-592.41	19.38	18.042	5	33.71	0
3 ярус	475.46	17.433	32.38	-580.75	181.87	16.543	5	30.661	6

Окончание таблицы 10

	Значения усилий при 2-й схеме монтажа			Расчетные значения с учетом 1-ой схемы монтажа					
	N	Q	M	N	Отклонение, %	Q	Отклонение, %	M	Отклонение, %
4 ярус	-443.96	17.357	27.44	-543.75	18.35	16.563	5	27.44	0
5 ярус	495.50	15.375	25.976	-571.11	186.76	14.695	5	24.807	5
6 ярус	-466.99	16.662	28.35	-552.46	15.47	15.918	5	24.49	2
7 ярус	-475.14	13.962	23.246	-559.54	15.08	13.365	4	22.258	4
8 ярус	-458.31	14.958	21.22	-532.98	14.01	14.357	4	21.22	0
9 ярус	-465.62	12.762	20.195	-540.05	13.78	12.256	4	19.384	4
10 ярус	-449.44	12.358	18.95	-514.98	12.73	11.831	4	18.95	0
11 ярус	-435.25	11.287	17.154	-501.18	13.15	10.859	4	16.528	4
12 ярус	-415.31	9.322	12.35	-473.16	12.23	8.901	5	12.35	0
13 ярус	-398.46	8.736	13.096	-453.75	12.19	8.395	4	12.628	4
14 ярус	-378.82	8.215	11.132	-462.73	18.13	8.095	1	11.036	1
15 ярус	-358.26	10.025	14.07	-472.42	24.16	9.78	3	14.08	0
16 ярус	-381.16	9.748	12.66	-513.44	25.76	10.725	9	12.265	3
17 ярус	-348.28	5.328	4.76	-492.09	29.22	5.21	2	8.316	13
18 ярус	-383.8	4.701	5.66	-540.32	28.97	4.541	4	8.519	34
19 ярус	-369.85	3.47	5.075	-528.15	29.97	4.03	14	8.434	40
20 ярус	-350.32	3.448	3.855	-508.34	31.09	3.324	4	6.84	44
21 ярус	-318.14	2.346	3.148	-453.39	29.83	3.465	32	6.919	55
22 ярус	-259.34	2.392	2.638	-396.59	34.61	2.826	15	5.434	51
23 ярус	-210.76	1.673	2.27	-322.09	34.57	2.502	33	4.738	52
24 ярус	-198.56	1.731	1.757	-318.01	37.56	2.222	22	3.732	53
25 ярус	-168.54	1.202	1.516	-253.03	33.39	1.704	29	3.375	55
26 ярус	-149.41	1.237	1.167	-214.65	30.4	1.639	25	2.374	51
27 ярус	-150.94	0.81	1.174	-236.74	36.24	1.574	49	2.927	60
28 ярус	-121.88	0.704	0.822	-197.914	38.42	2.456	71	2.304	64
29 ярус	-119.5	0.634	0.795	-241.2	50.46	3.176	80	4.424	82
30 ярус	-93.857	1.977	0.99	-204.52	54.11	5.339	63	3.391	71
верхн к.	-292.5	7.092	15.378	-237.67	23.07	0.11	98	13.67	12

5. Графики, представленные на рисунках 133-135, позволяют наиболее ярко понять разницу в расчетных усилиях трех рассматриваемых случаях.

Усилия поперечной силы и изгибающего момента принимались по модулю, чтобы оценить максимальные значения усилий.

При оценке величины продольной силы важно учитывать сжимается элемент или растягивается, поэтому в данном случае необходимо рассматривать значение, не пренебрегая знаком. Таким образом, можно заметить, что при монтаже с учетом 2-ой схемы монтажа элементы 3-го и 5-го яруса испытывают усилия растяжения больше, чем сжатия.

На представленных графиках видно, что усилия от продольной силы, возникающие с учетом 1-ой схемы монтажа, существенно выше двух других.

Однако максимальные значения поперечной силы и изгибающего момента для обоих рассмотренных случаев монтажа имеют близкие значения.

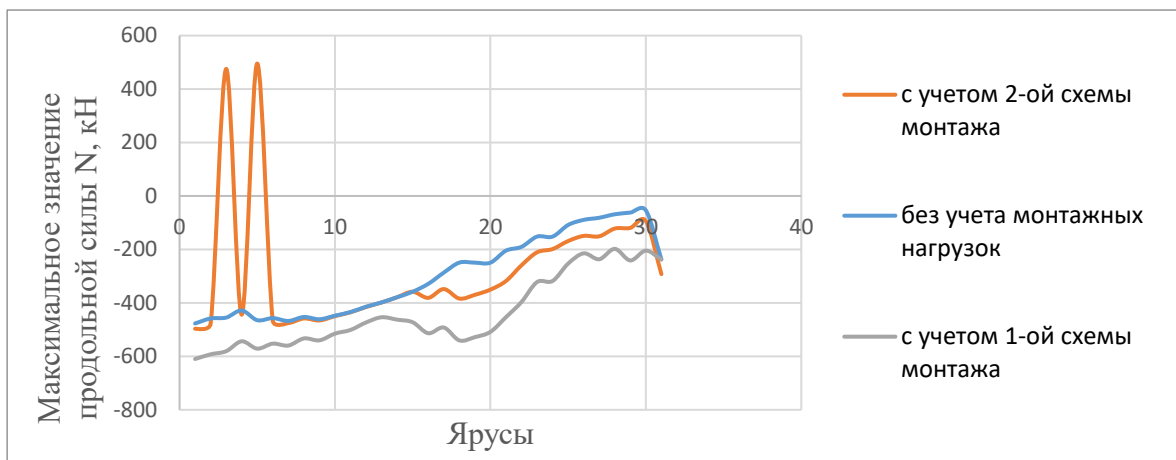


Рисунок 133– Графики максимальных значений продольной силы

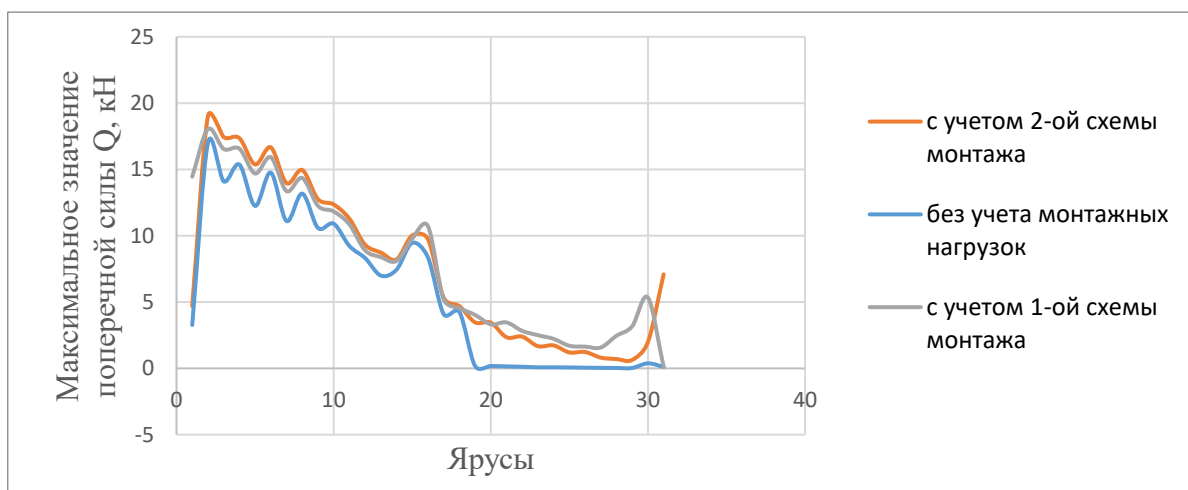


Рисунок 133– Графики максимальных значений поперечной силы

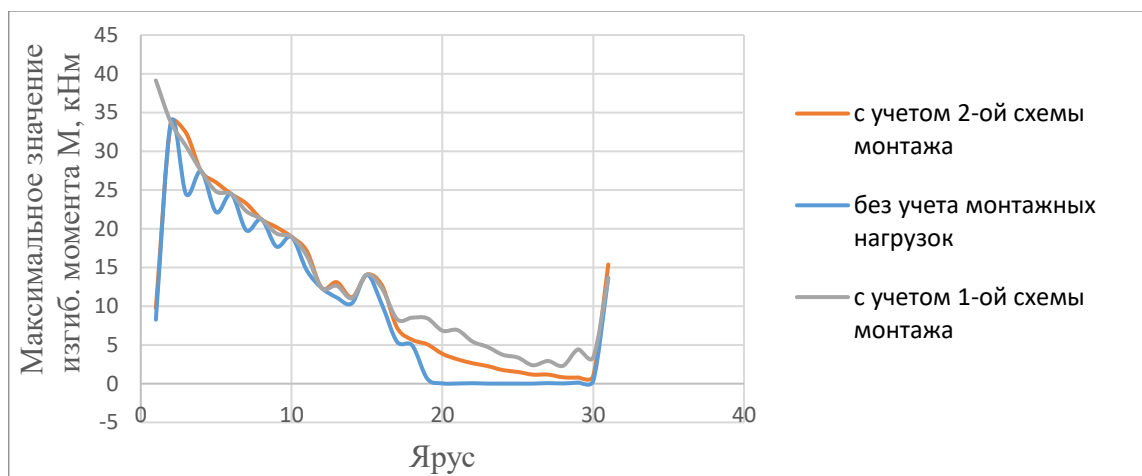


Рисунок 133– Графики максимальных значений изгибающих моментов

6. Второй метод монтажа является менее затратным. Подобранные сечения обеспечивают прочность и устойчивость сооружения. Но стоит

помнить, что при малейшем изменении схемы монтажа необходим перерасчет каркаса. Так, например, если каркас будет еще не до конца возведен, а монтаж ограждающих конструкций уже начнется, то это будет иная расчетная схема, которую будет необходимо разобрать как можно более детально.

3. Прогрессирующее обрушение

3.1 Прогрессирующее обрушение элементов стального каркаса

Рассмотрим ситуацию, когда строитель не выполнил расчет каркаса на этапах монтажа, либо пренебрег тем фактом, что элементы будут терять устойчивость. В результате потери общей устойчивости элемент может «выключиться» из работы каркаса, что повлечет за собой прогрессирующее обрушение.

Строительные нормы и правила, принятые на сегодняшний день во всем мире, разработаны для снижения риска прогрессирующего обрушения.

Источники [36-39] устанавливают также общие принципы расчета и меры по обеспечению надежности строительных конструкций и оснований, по предотвращению прогрессирующего обрушения зданий и сооружений при аварийных ситуациях природного, техногенного и антропогенного характера.

Прогрессирующее (лавинообразное) обрушение – последовательное (цепное) разрушение несущих строительных конструкций, приводящее к обрушению всего сооружения или его частей вследствие начального локального повреждения.

Локальное разрушение – потеря несущей способности отдельного конструктивного элемента или группы конструктивных элементов на заданной площади локального разрушения. Ключевым элементом является элемент несущей конструкции, разрушение которого приводит к прогрессирующему обрушению всего сооружения.

Больше всего элементов, потерявших устойчивость, находится на 27-ом ярусе, следовательно, больше вероятности что «выключится» элемент именно этого яруса.

Для задания прогрессирующего обрушения используется ПК SCAD.

Расчет производится при действии на каркас постоянных нагрузок [34].

Выбирается элемент 27-го яруса (рис. 136) и заносится в отдельно созданную группу элементов.

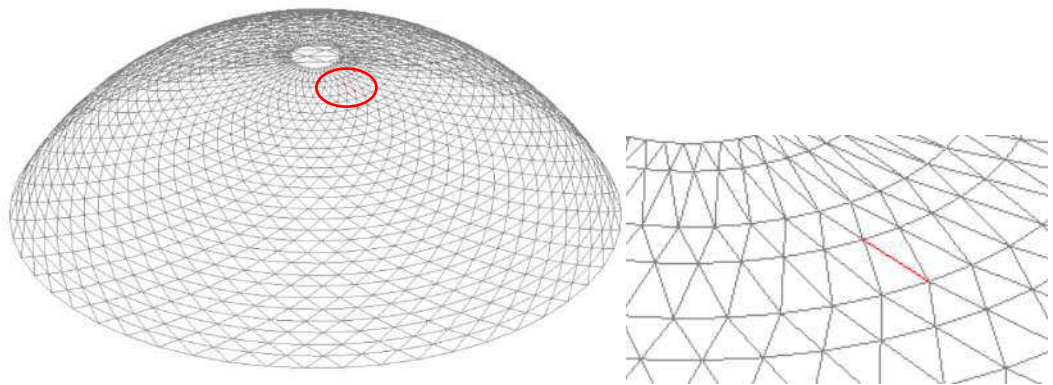


Рисунок 136 – Местоположение элемента в расчетной схеме

При обрушении нужно учесть нагрузку от веса конструкций, которые полностью или частично опираются на элемент, выключаемый из работы каркаса, а также вес самого элемента. Данное нагружение формируется, как группа нагрузок от разрушенного элемента (рис. 137).

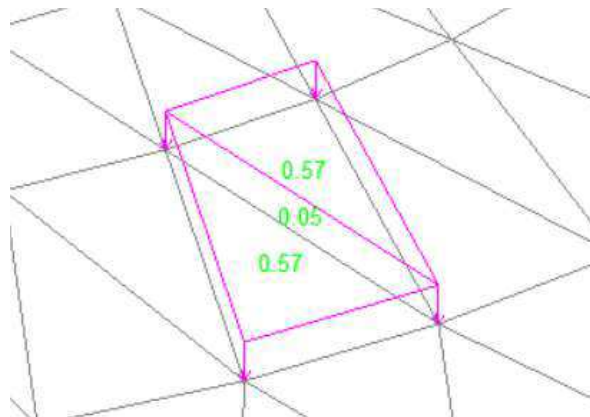


Рисунок 137 – Нагрузка от разрушившегося элемента

Прогрессирующее обрушение рассчитывается в ПК SCAD при помощи встроенного постпроцессора.

Задание параметров представлено на рисунке 138.

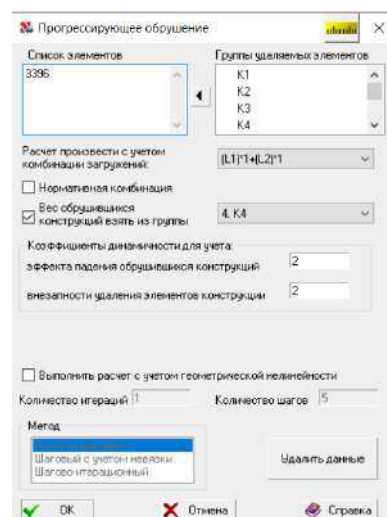


Рисунок 138 – Задание параметров прогрессирующего обрушения

Критический фактор позволяет понять, что обрушения не произойдет, если из строя выйдет один элемент каркаса (Рисунок 139). Далее, так же были подвержены обрушению элементы 2, 7, 11, 15 и 18 ярусов, критический фактор которых (при учете прогрессирующего обрушения) остался неизменным. Из этого можно сделать вывод, что если один элемент каркаса выйдет из строя, то это не приведет к обрушению.

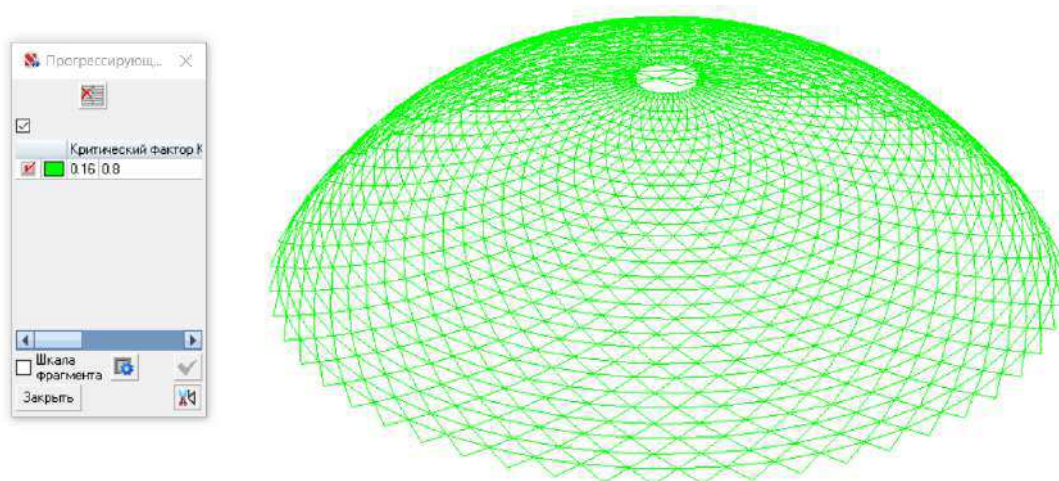


Рисунок 139 – Критический фактор при «выключении» одного элемента

Для дальнейшего исследования рассмотрим разрушения двух элементов:

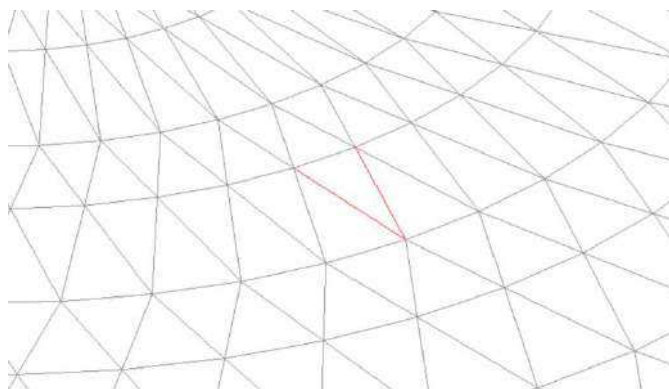


Рисунок 140 – Обрушающиеся элементы

Проведя расчет получили критический фактор, указанный на рисунке 141.

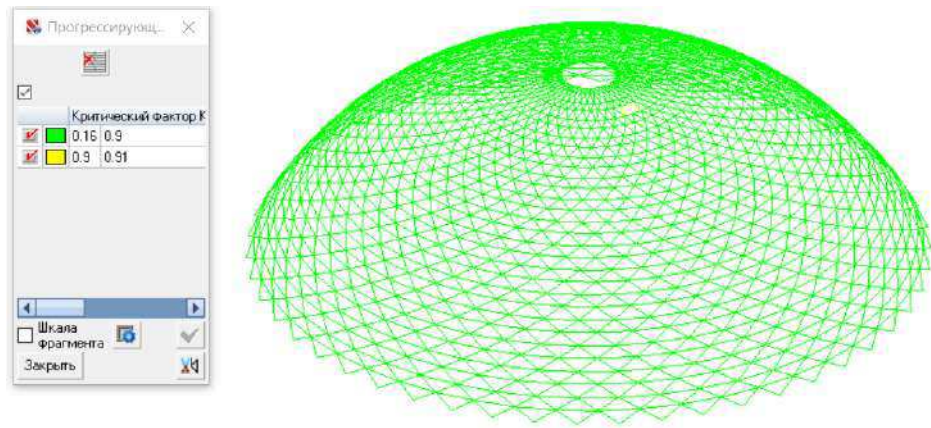


Рисунок 141 – Критический фактор при «выключении» двух элементов

При выходе из работы трех элементов, критический фактор соседних элементов становится выше единицы (Рисунок 142).

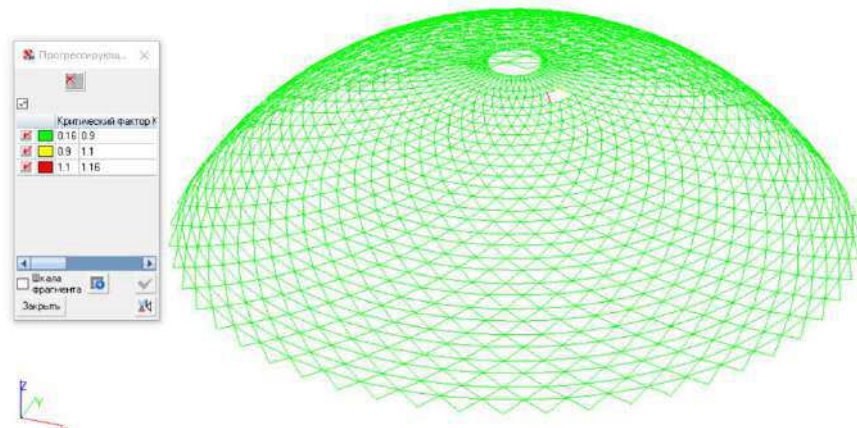


Рисунок 142 – Критический фактор при «выключении» трех элементов

Рассматривая случай, когда из работы выходит четыре элемента, получаем критический фактор, показанный на рисунке 143.

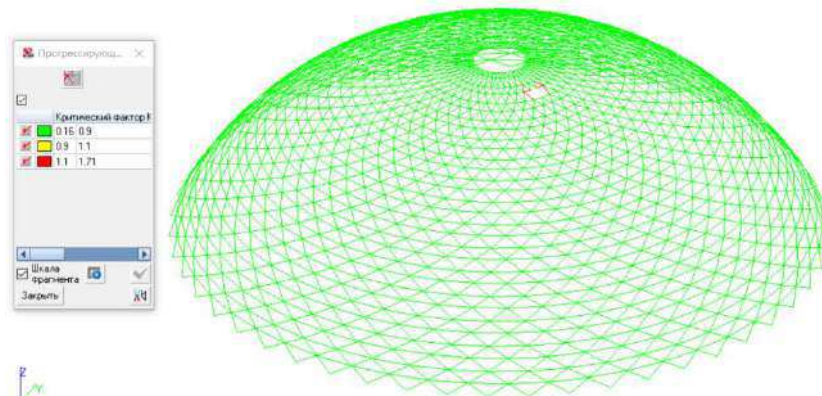


Рисунок 143 – Критический фактор при «выключении» четырех элементов

При дальнейшем выводе элементов из работы критический фактор и количество элементов с критическим фактором более 1 растет в геометрической прогрессии.

3.2 Анализ полученных результатов

В исследуемом каркасе, благодаря густоте решетки, при «выключении» из работы одного элемента прогрессирующее обрушение каркаса не происходит. Но если из работы выходят несколько элементов, то каркас начинает обрушаться по цепной реакции.

Учет монтажных нагрузок допускает перерасход материала в итоговом положении купола, так как на многих стадиях возникают усилия значительно превышающие проектные. Но этот перерасход обеспечивает дополнительную жесткость каркаса и возможность сохранить целостность каркаса при выходе одиночных элементов из работы в случае каких-либо непредвиденных обстоятельств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенной работы было исследовано напряженно-деформированное состояние элементов стального купола диаметром 100м на подготовительном этапе и на этапе монтажа.

Были проанализированы существующие конструктивные решения купольных покрытий и технологии монтажа куполов, изучены особенности учета монтажных нагрузок при проектировании несущих элементов купола.

Для исследования был спроектирован стальной купол звездчатой схемы диаметром 100м. Изначально сечения были подобраны без учета особых видов воздействий.

Исследование показало, что на этапах транспортировки, складирования и подъема укрупненных элементов в элементах будущего каркаса не возникает критических элементов, хотя расчетная схема существенно отличается от проектного положения. В итоговой схеме купола элементы преимущественно воспринимают сжатие с изгибом, а на подготовительном этапе продольные усилия в основном отсутствуют, элемент работает на изгиб.

В данном исследовании были рассмотрены два метода монтажа:

- по первой схеме: ограждающие конструкции возводились совместно с несущим каркасом здания;

- по второй схеме: изначально был возведен стальной каркас, затем возводились ограждающие конструкции.

При возведении каркаса по первой схеме элементы купола не прошли проверку не только на устойчивость, но и на прочность. Значения усилий, возникающих в элементах, превышали значения усилий в проектном положении более, чем на треть. С учетом монтажа по первой схеме общий вес каркаса увеличился на 32,3 т, а стоимость - на 19,8 млн (3,6%). Максимальные суммарные перемещения каркаса сократились с 14,8 см до 13,36 см.

При возведении каркаса по второй схеме элементы купола не прошли проверку только на устойчивость. Максимальные значения усилий, возникающие в элементах каркаса, существенно больше значений усилий в проектном положении купола, но меньше, чем при монтаже по первой схеме. С учетом монтажа по второй схеме вес каркаса увеличивается на 3,3т, а стоимость – на 2,1млн (0,4 %). Максимальные суммарные перемещения каркаса сократились с 14,8 см до 14,09 см.

Исходя из вышеперечисленного, второй метод монтажа является более выигранным, т.к. позволяет не допустить чрезмерного перерасхода материала и увеличения сметной стоимости строительства.

Исследование на прогрессирующее обрушение позволило понять, что благодаря густоте решетки, при «выключении» из работы одного элемента прогрессирующее обрушение каркаса не происходит. Но если из работы выходят несколько элементов, то каркас начинает обрушаться по цепной реакции.

Гипотеза исследования подтвердилась. Действительно, в процессе монтажа возникли усилия, которые привели к потере устойчивости и снижению прочности элементов каркаса купола.

После проведенного исследования, возвращаясь к событиям 1985 года в г.Истра, можно сделать вывод, что действительно, пренебрежение учета этапов монтажа могло привести к обрушению.

Как было указано в словах очевидцев строительства, так и в проведенном исследовании, действительно, достаточное количество элементов теряют устойчивость, что может стать причиной выхода элементов из строя.

У Истринского купола обрушилась верхняя часть, и в исследуемом каркасе можно проследить, что именно в верхней половине купола происходят основные проблемы с необеспеченностью несущей способности. Один, потерявший устойчивость элемент, почти наверняка не привел бы к обрушению. Но так как при строительстве это был не единичный случай, это привело к крушению одного из самых грандиозных большепролетных сооружений в мире.

Подобные аварии нельзя забывать, их нужно анализировать, разбирать проекты, определять ошибки. Чтобы в дальнейшем не было подобных ситуаций, которые зачастую не обходятся без человеческих жертв.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Енджиевский Л.В. История аварий и катастроф: монография / Енджиевский Л.В., Терешкова А.В. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т – 2013 – 167- 173с.;
2. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – Введ. 01.07.2015 – Москва: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 2014 – 3-4с.;
3. Лебедь Е.В., Алукаев А.Ю. Большепролетные металлические купольные покрытия и их возведение // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений – 2018 Т.14 №1 – с. 4-16;
4. Лебедь Е.В. Компьютерное исследование работы каркасов большепролетных металлических куполов при различных способах монтажа // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений – 2018 Т.14 №4 – с. 261-272;
5. Лебедь Е.В. Особенности работы каркасов большепролетных металлических куполов в процессе их возведения // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений – 2018 Т.14 №6 – с. 481-494;
6. Осипова А.В. Работа сетчатого купола при монтаже навесным способом // Молодой ученый №20(206) – с.162-163
7. Югов А.М., Бондарев А.Б. Монтажное напряженно-деформированное состояние шарнирно-стержневого покрытия склада шаров и реагентов
8. Горев В.В. Металлические конструкции. Том 2. Конструкции зданий: Учеб. для строит. вузов / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов, Г.И. Белый; Под ред. В.В. Горева. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2002 – 272-303с;
9. Казакова И.С. Пространственные металлические конструкции покрытий зданий: Учебное пособие – Вологда: ВоГТУ, 2002. – 71-93с.;
10. Липницкий М.Е. Купольные покрытия для строительства в условиях сурового климата / М.Е. Липницкий. – Л.: Стройиздат, 1981;
11. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная версия СНиП 2.01.07-85* (с Изменениям 1,2) / Москва, Стандартинформ, 2018;
12. Марчук Н.И. Строительная механика : учеб. пособие : в 3 ч. Ч. 1. Расчет плоских статически определимых стержневых систем. Основы теории и примеры расчетов / Н. И. Марчук [и др.]. – Красноярск :Сиб. федер. ун-т, 2012. – 216 с.;
13. Гофштейн Г.Е. Монтаж металлических и железобетонных конструкций: Учебник для средн. спец. учеб. заведений/Гофштейн Г.Е., Ким В.Г., Нищев В.Н., Соколова А.Д. – М.: Стройиздат, 2000 – 337-340с;

14. Швиденко В.И. Монтаж строительных конструкций: Учебное пособие для вузов по специальности «Промышленное и гражданское строительство»-М.:Высш. шк.,1987 – 379-380с;
15. Смирнов В.А. Техническая (строительная) механика: учебник для СПО / Смирнов В.А., Городецкий А.С. – 2-е изд., пер. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018 – 392-398 с;
16. Колесниченко В.Г. Расчет металлических конструкций и приспособлений при производстве монтажных работ / Колесниченко В.Г. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Будівельник, 1981 – 152 с;
17. "Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах" (утв. МПСРФ 27.05.2003 N ЦМ-943) (сизм. от 23.10.2017);
18. Vayas I. Design of Steel Structures to Eurocodes / School of Civil Engineering National Technical University of Athens Athens, Greece, 2019 – 381-389с;
19. Кочетов Б.В. Строительно-монтажный конвейер / Кочетов Б.В., Огай К.А., Клевцов К.В.: Стройиздат, 1978;
20. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – Введ. 2017-08-28. – Москва: ОАО «ЦПП», 2017. – 173 с.;
21. МДС 31-8.2002 Рекомендации по проектированию и устройству фонарей: ОАО «ЦНИИПРОМЗДАНИЙ» Москва, 2002;
22. СН 481-75 Инструкция по проектированию, монтажу и эксплуатации стеклопакетов / ЦНИИПромзданий Госстроя СССР: Москва, 1978;
23. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с Изменением N 1)– Введ. 2013-07-01. – Москва: ОАО «ЦПП», 2013;
24. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с Изменениями N 1, 2) – Введ. 2013-01-01. – Москва: ОАО «ЦПП», 2013;
25. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях – Введ. 2013-01-01. – Москва: ОАО «ЦПП», 2013;
26. ГОСТ 8732-78 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент (с Изменениями N 1, 2) – Введ. 1971-01-01. – Москва,1971;
27. ГОСТ 26020-83 Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Сортамент– Введ. 1986-01-01. – Москва,1986;
28. Руководство по перевозке автомобильным транспортом строительных конструкций / Центр, н.-и. и проектно-эксперим. ин-т организ., механиз. и технич. помощи стр-ву Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1980.— 114 с.;
29. Требования к складированию трубной продукции: Нефтегаз -2021 –Москва, 2020 – Режим доступа: <https://www.neftegaz-expo.ru>;

30. "Положение. Охрана труда при складировании материалов ПОТ РО-14000-007-98" (утв. Минэкономки РФ от 25.02.98);

31. Типовая технологическая карта (ТТК). Строповка и расстроповка грузов, разгрузочные работы и складирование матреиалов.;

32. НЦС 81-02-01-2017. Сборник № 01. Жилые здания. Государственные сметные нормативы. Укрупненные нормативы цены строительства// Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>

33. МДС 81-35.2004. Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации. – Введ. 2004-03-09. // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>;

34. Письмо Госстроя России от 03.10.2003 г. № НЗ-6292/10 ред. «О порядке определения сметной стоимости работ, выполняемых организациями, работающими по упрощенной системе налогообложения». // Режим доступа: <http://www.minstroyrf.ru>;

35. «Рекомендации по защите зданий от прогрессирующего обрушения», разработанные МНИИТЭП и НИИЖБ [1], утвержденные и введенные в действие приказом Москомархитектуры в 2005.;

36. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. М., 2006. – 34 с.;

37. СП. Аварийные воздействия. Здания и сооружения. - М., 2016г.;

38. EN 1991-1-7 (English): Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-7: General actions - Accidental actions [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC], 2006;

39. Марчук Н.И. Расчет многоэтажного здания на прогрессирующее обрушение / Марчук Н.И. ,Фроловская А.В., Прасоленко Е.В., Шириев Т.Т., Беянина Т.А.СФУ – Тенденции развития науки и образования - Самара, 2019 62-68

Приложение А – Сечения сетчатого купола без учета особых нагрузок

Конструктивный элемент	Группа унификации	Сечение для экспертизы	Результат подбора
1 ярус	1 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 194x5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 194x5
2 ярус	2 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 219x6.5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 219x6.5
3 ярус	3 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 219x6.5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 219x6.5
4 ярус	4 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 203x6.5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 203x6.5
5 ярус	5 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 203x6.5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 203x6.5
6 ярус	6 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 203x6.5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 203x6.5
7 ярус	7 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 203x6	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 203x6
8 ярус	8 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 203x6	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 203x6
9 ярус	9 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 194x6	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 194x6

Продолжение приложения А

Конструктивный элемент	Группа унификации	Сечение для экспертизы	Результат подбора
10 ярус	10 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 194x6	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 194x6
11 ярус	11 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 194x5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 194x5
12 ярус	12 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 194x5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 194x5
13 ярус	13 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 180x5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 180x5
14 ярус	14 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 180x5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 180x5
15 ярус	15 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 180x5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 180x5
16 ярус	16 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 168x5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 168x5
17 ярус	17 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 146x4.5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 146x4.5
18 ярус	18 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 127x4.5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 127x4.5

Продолжение приложения А

Конструктивный элемент	Группа унификации	Сечение для экспертизы	Результат подбора
19 ярус	19 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 127х4	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 127х4
20 ярус	20 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 108х4	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 108х4
21 ярус	21 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 102х4	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 102х4
22 ярус	22 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 95х3.5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 95х3.5
23 ярус	23 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 89х3.5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 89х3.5
24 ярус	24 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 73х4	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 73х4
25 ярус	25 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 76х3.5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 76х3.5
26 ярус	26 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 68х3	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 68х3
27 ярус	27 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 70х3	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 70х3

Окончание приложения А

28 ярус	28 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 54х3	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 54х3
29 ярус	29 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 63,5х3	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 63,5х3
30 ярус	30 ярус	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 60х3	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78 60х3
верхнее кольцо	верхнее кольцо	Двутавр нормальный (Б) по ГОСТ 26020-83 18Б1	Двутавр нормальный (Б) по ГОСТ 26020-83 18Б1

Приложение Б – Характеристики отправочных элементов сетчатого купола

Параметры сечения	Длина	Масса	ГОСТ на продукцию	Количество
194x5	3,7	86,247	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
219x6,5	6,15	209,469	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
219x6,5	3,55	120,913	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
219x6,5	6,04	205,7224	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
219x6,5	3,6	122,616	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
203x6,5	5,9	185,85	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
203x6,5	3,44	108,36	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
203x6,5	5,77	181,755	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
203x6,5	3,49	109,935	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
203x6,5	5,61	176,715	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50

Продолжение приложения Б

203x6,5	3,31	104,265	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
203x6	5,48	159,742	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
203x6	3,37	98,2355	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
203x6	5,31	154,7865	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
203x6	3,18	92,697	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
194x6	5,17	143,8294	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
194x6	3,25	90,415	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
194x6	4,98	138,5436	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
194x6	3,04	84,5728	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
194x5	4,82	112,3542	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
194x5	3,12	72,7272	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100

Продолжение приложения Б

194x5	4,63	107,9253	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
194x5	2,89	67,3659	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
180x5	4,46	96,2468	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
180x5	2,99	64,5242	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
180x5	4,25	91,715	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
180x5	2,73	58,9134	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
180x5	4,08	88,0464	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
180x5	2,86	61,7188	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
168x5	3,86	77,586	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
168x5	2,58	51,858	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
146x4,5	3,68	57,776	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50

Продолжение приложения Б

146x4,5	2,73	42,861	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
127x4,5	3,45	46,92	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
127x4,5	2,42	32,912	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
127x4	3,26	39,5438	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
127x4	2,61	31,6593	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
108x4	3,02	30,9852	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
108x4	2,27	23,2902	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
102x4	2,82	27,2694	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
102x4	2,51	24,2717	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
95x3,5	2,58	20,382	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
95x3,5	2,11	16,669	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100

Продолжение приложения Б

89x3,5	2,38	17,5644	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
89x3,5	2,42	17,8596	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
73x4	2,12	14,4372	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
73x4	1,96	13,3476	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
76x3,5	1,92	12,0192	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
76x3,5	2,37	14,8362	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
68x3	1,65	7,9365	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
68x3	1,8	8,658	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
70x3	1,45	7,192	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
70x3	2,39	11,8544	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
54x3	1,17	4,4109	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50

Окончание приложения Б

54x3	1,61	6,0697	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
63,5x3	1	4,22	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
63,5x3	2,57	10,8454	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
60x3	0,66	2,2968	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
60x3	1,32	4,5936	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
18Б1	0,5	15,4	Двутавр нормальный (Б) по ГОСТ 26020-83	50
				Итоговый вес: 287,06т,

Приложение В – Критические факторы элементов на стадиях монтажа каркаса

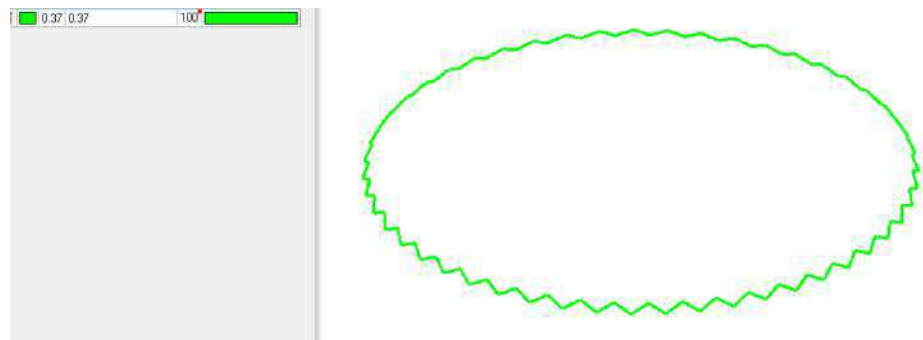


Рисунок В.1 – Проверка элементов на 1 стадии

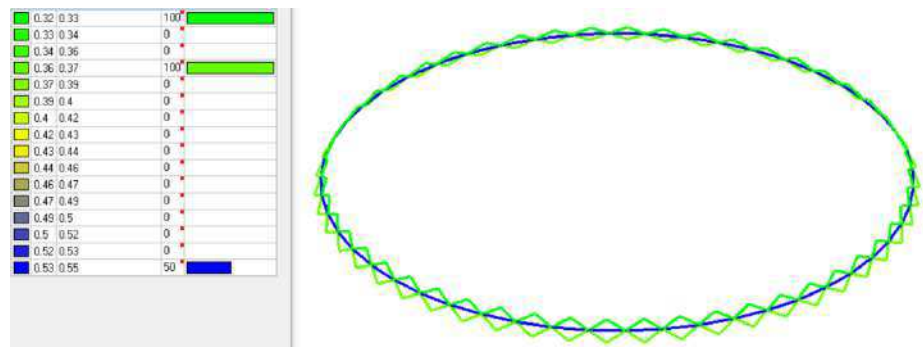


Рисунок В.2 – Проверка элементов на 2 стадии

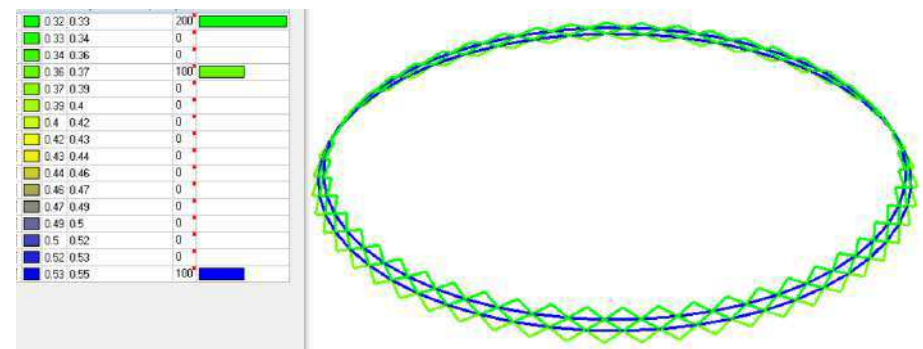


Рисунок В.3 – Проверка элементов на 3 стадии

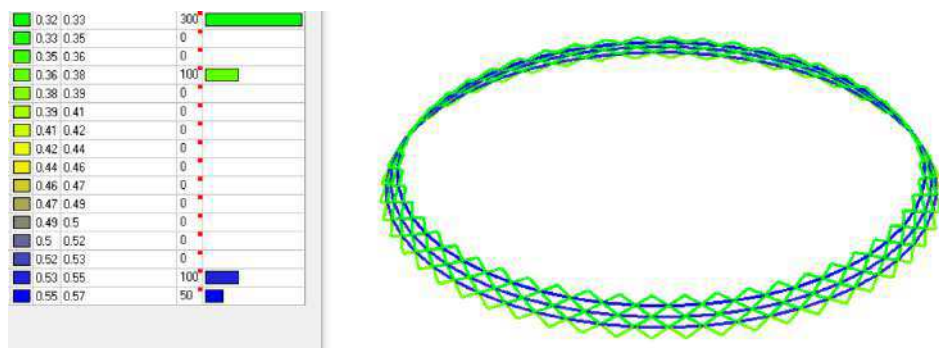


Рисунок В.4 – Проверка элементов на 4 стадии

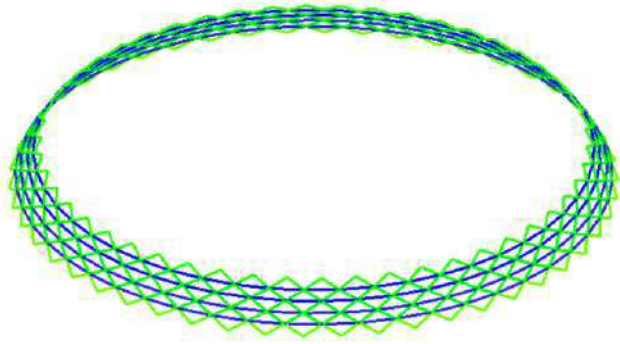
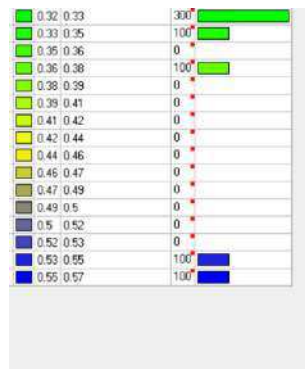


Рисунок В.5 – Проверка элементов на 5 стадии

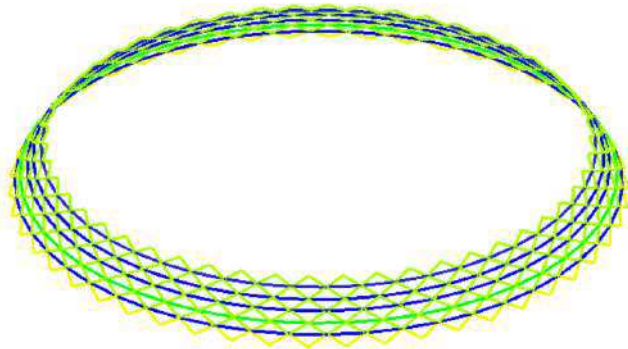
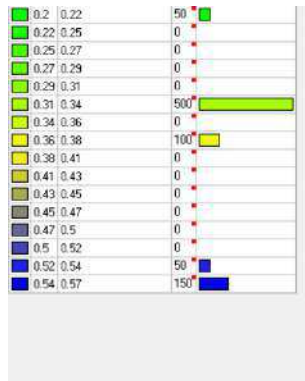


Рисунок В.6 – Проверка элементов на 6 стадии

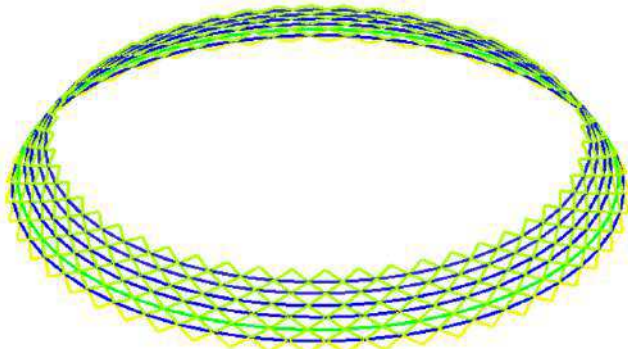


Рисунок В.7 – Проверка элементов на 7 стадии

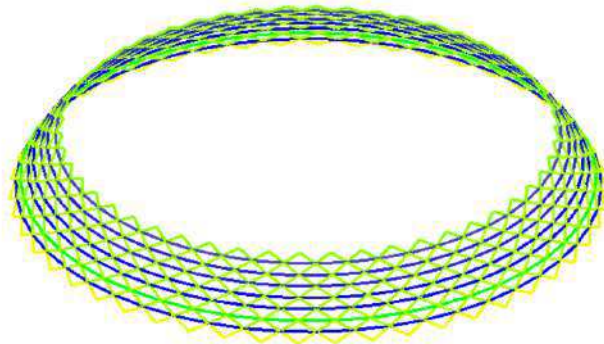
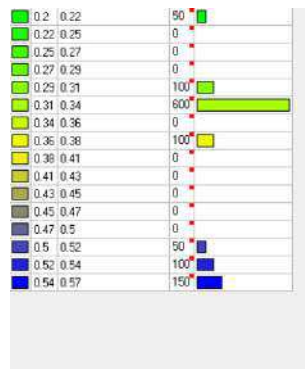


Рисунок В.8 – Проверка элементов на 8 стадии

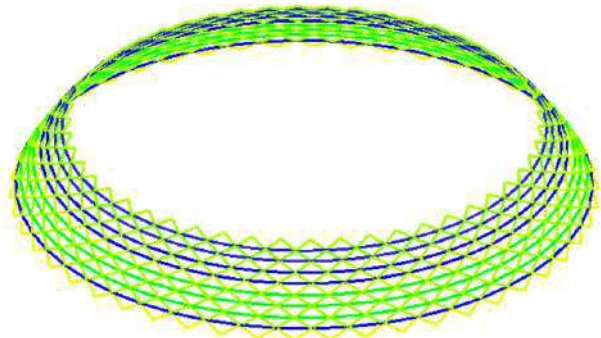
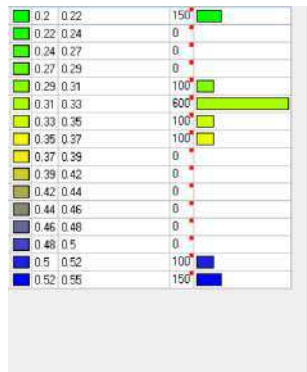


Рисунок В.9 – Проверка элементов на 9 стадии

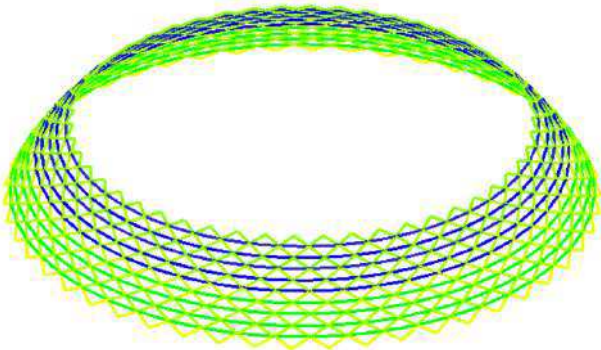


Рисунок В.10 – Проверка элементов на 10 стадии

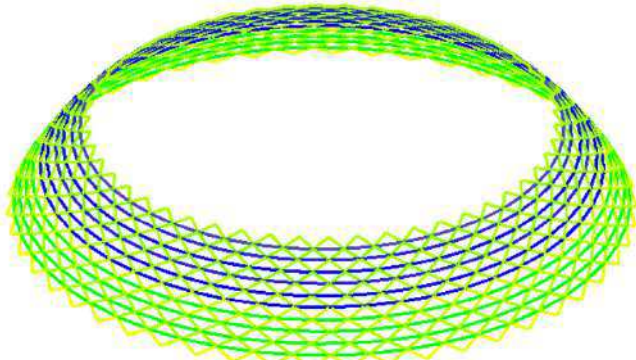
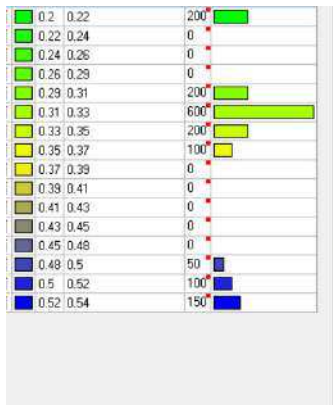


Рисунок В.11 – Проверка элементов на 11 стадии

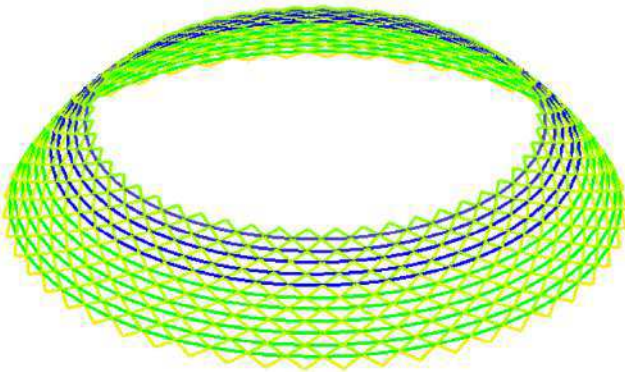
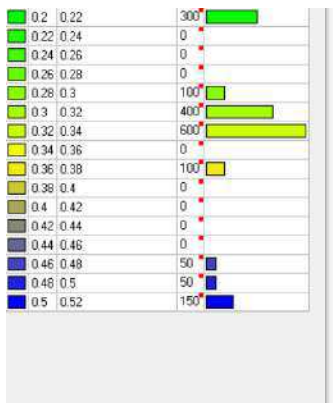


Рисунок В.12 – Проверка элементов на 12 стадии

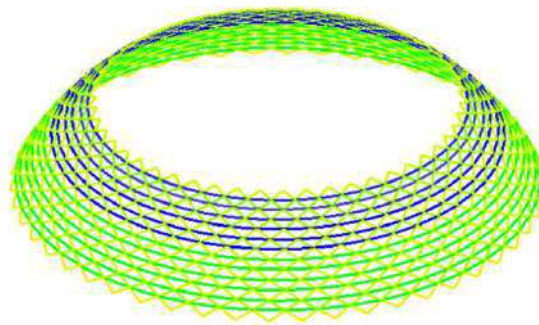
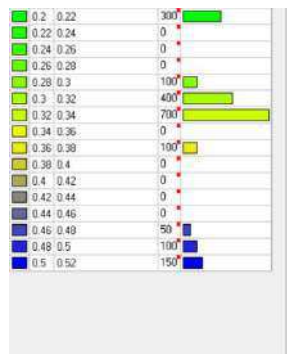


Рисунок В.13 – Проверка элементов на 13 стадии

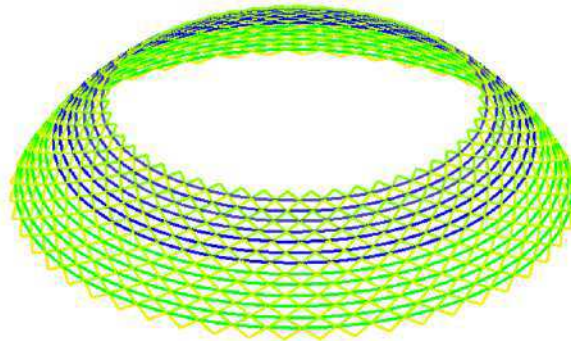
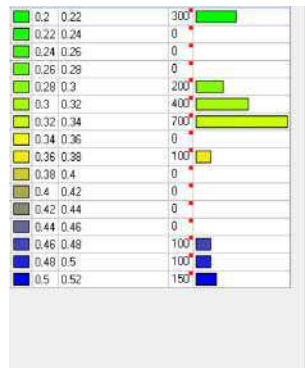


Рисунок В.14 – Проверка элементов на 14 стадии

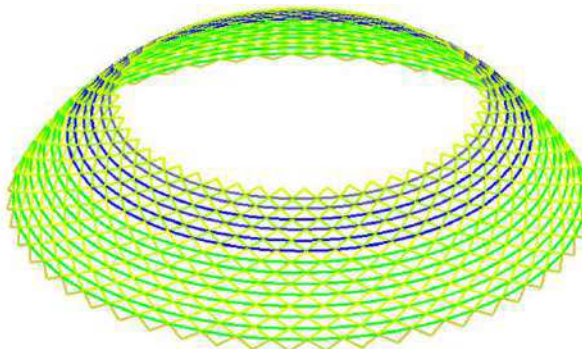
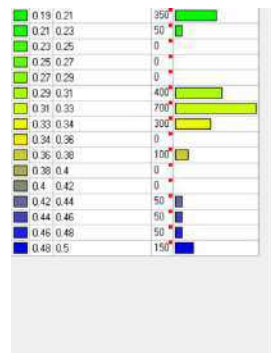


Рисунок В.15 – Проверка элементов на 15 стадии

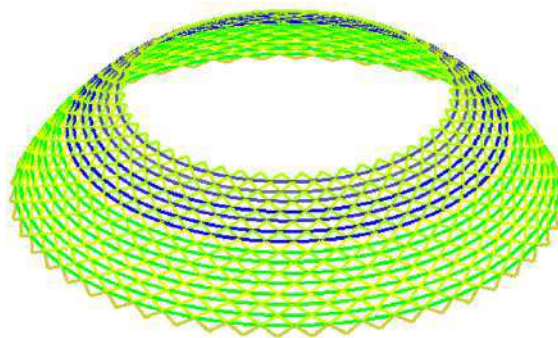
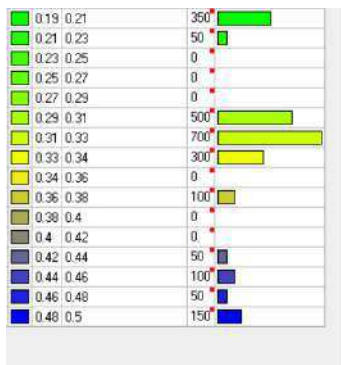


Рисунок В.16 – Проверка элементов на 16 стадии

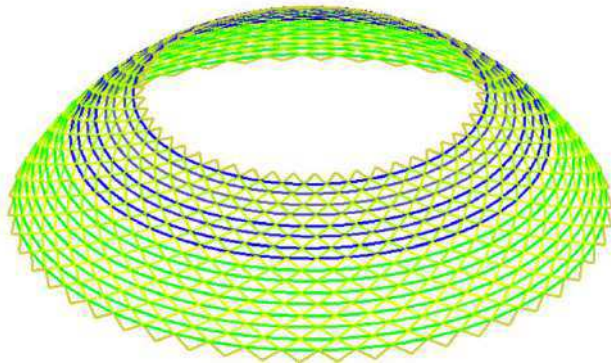


Рисунок В.17 – Проверка элементов на 17 стадии

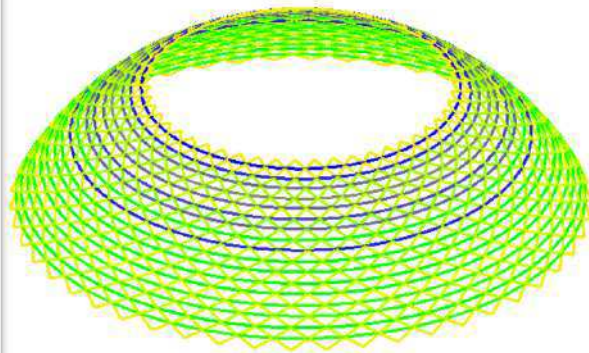


Рисунок В.18 – Проверка элементов на 18 стадии

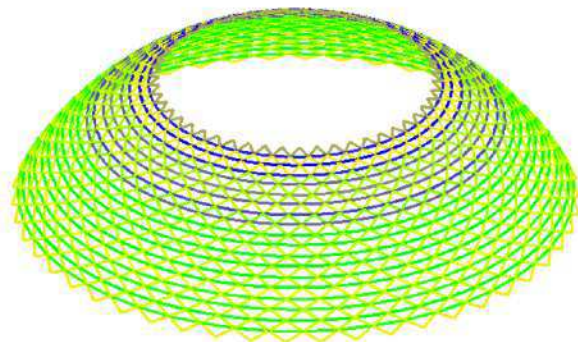
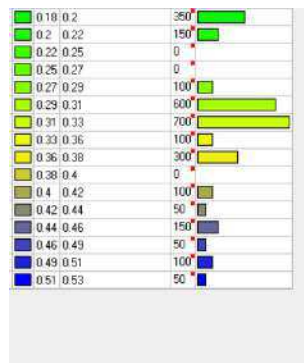


Рисунок В.19 – Проверка элементов на 19 стадии

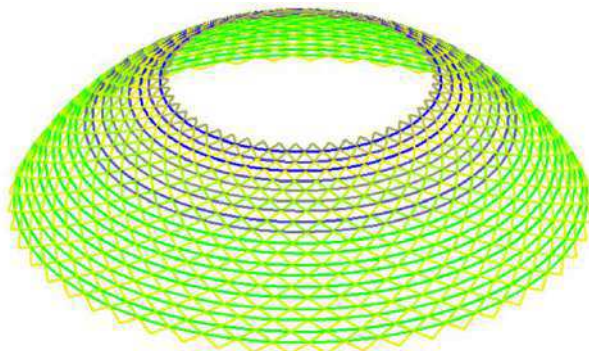


Рисунок В.20 – Проверка элементов на 20 стадии

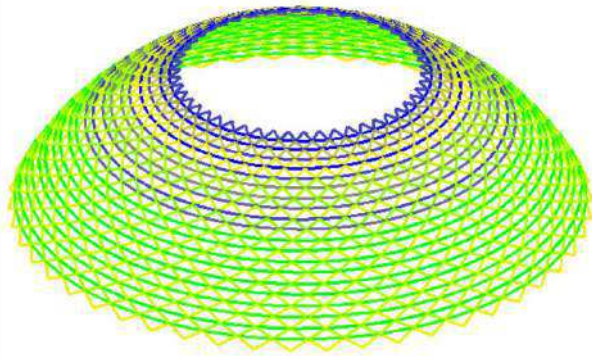
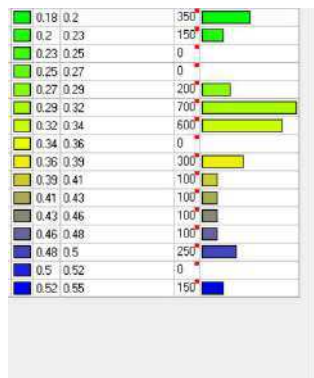


Рисунок В.21 – Проверка элементов на 21 стадии

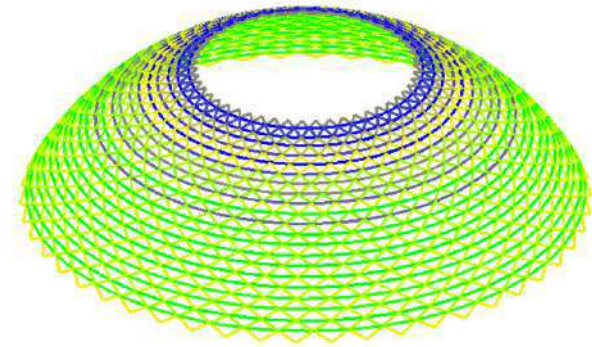
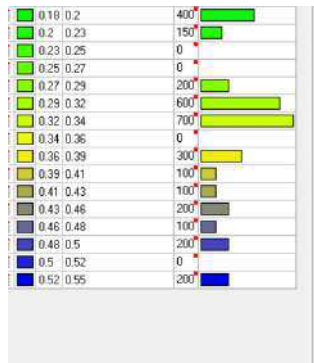


Рисунок В.22 – Проверка элементов на 22 стадии

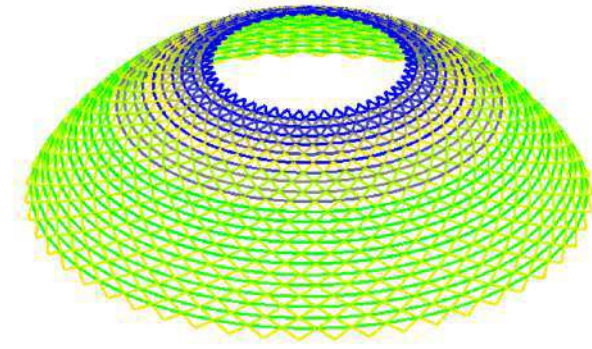
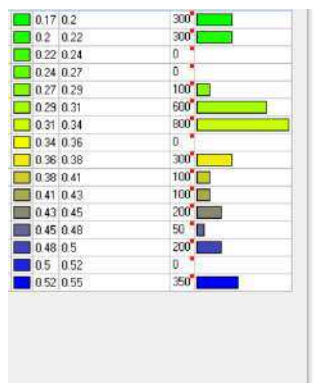


Рисунок В.23 – Проверка элементов на 23 стадии

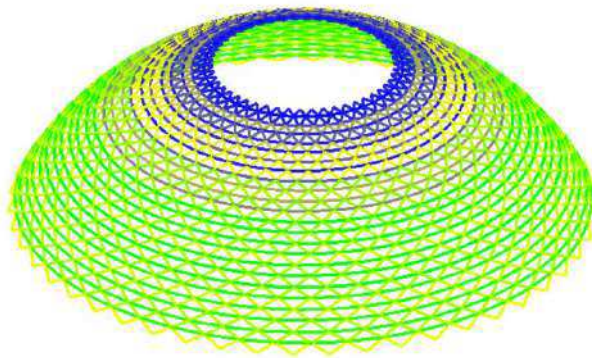
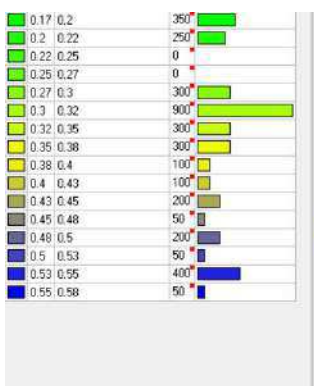


Рисунок В.24 – Проверка элементов на 24 стадии

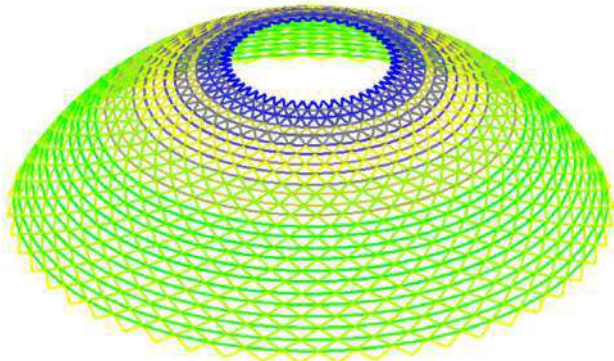


Рисунок В.25 – Проверка элементов на 25 стадии

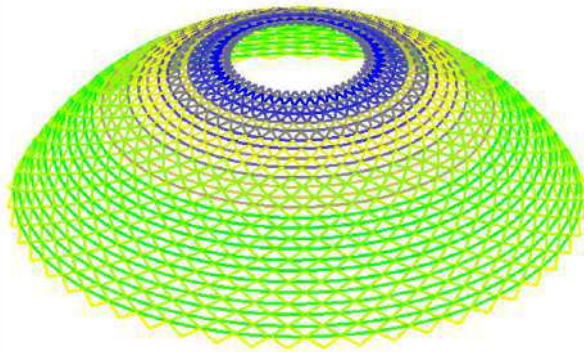


Рисунок В.26 – Проверка элементов на 26 стадии

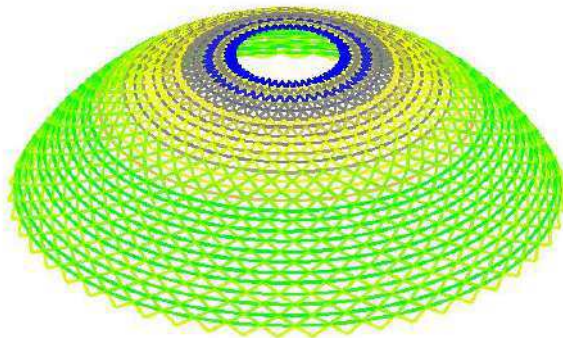
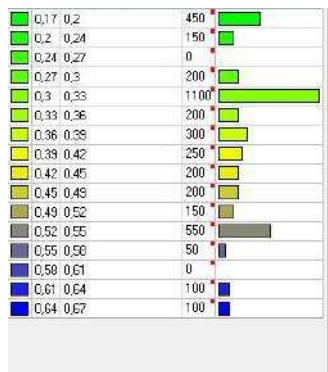


Рисунок В.27 – Проверка элементов на 27 стадии

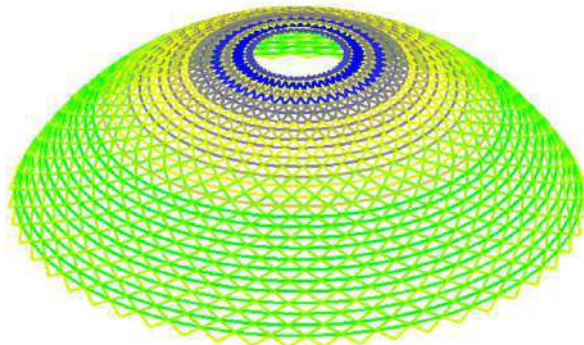


Рисунок В.28 – Проверка элементов на 28 стадии

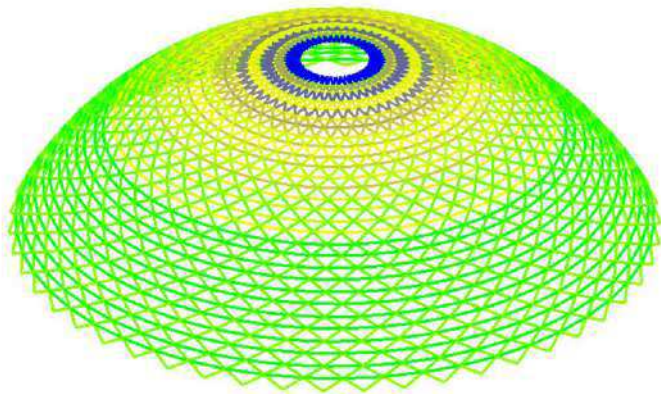
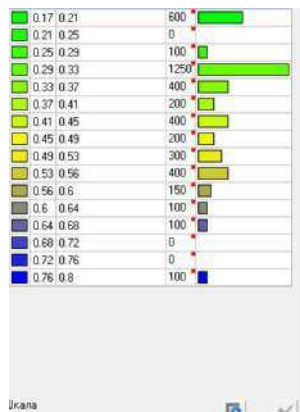


Рисунок В.29 – Проверка элементов на 29 стадии

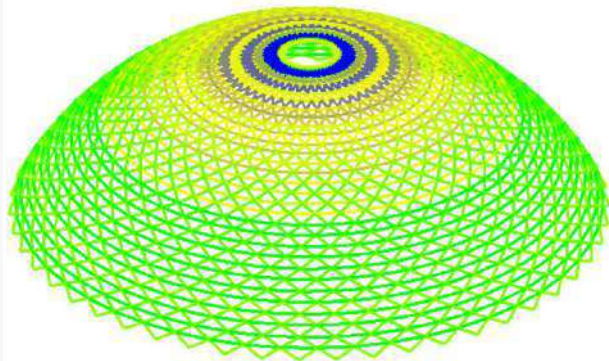
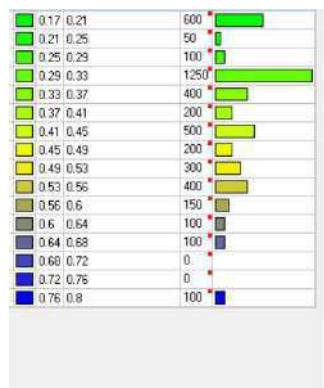


Рисунок В.30 – Проверка элементов на 30 стадии

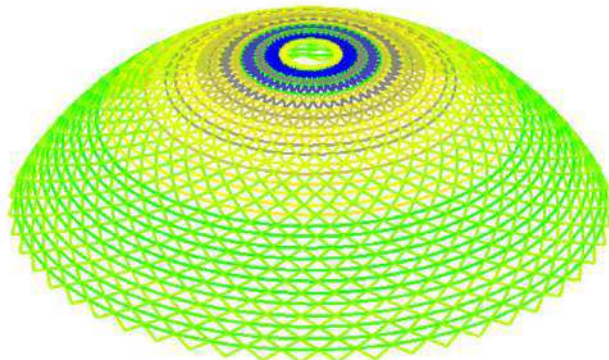
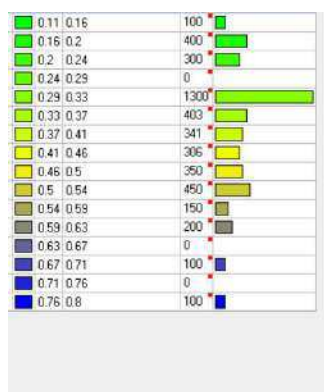


Рисунок В.31 – Проверка элементов на 31 стадии

Приложение Г – Характеристики отправочных элементов сетчатого купола, монтируемого по первой схеме

Параметры сечения	Длина	Масса	ГОСТ на продукцию	Количество
194x5.5	3.7	94.609	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
219x7	6.15	225.09	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
219x7	3.55	129.93	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
245x6.5	6.04	230.9092	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
245x6.5	3.6	137.628	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
219x6	5.9	185.968	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
219x6	3.44	108.4288	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
219x6	5.77	181.8704	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
219x6	3.49	110.0048	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
203x6.5	5.61	176.715	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50

Продолжение приложения Г

203x6.5	3.31	104.265	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
203x6.5	5.48	172.62	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
203x6.5	3.37	106.155	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
203x6	5.31	154.7865	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
203x6	3.18	92.697	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
194x6	5.17	143.8294	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
194x6	3.25	90.415	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
194x6	4.98	138.5436	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
194x6	3.04	84.5728	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
194x5.5	4.82	123.2474	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
194x5.5	3.12	79.7784	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100

Продолжение приложения Г

194x5	4.63	107.9253	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
194x5	2.89	67.3659	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
180x5	4.46	96.2468	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
180x5	2.99	64.5242	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
180x5	4.25	91.715	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
180x5	2.73	58.9134	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
194x5	4.08	95.1048	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
194x5	2.86	66.6666	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
180x5	3.86	83.2988	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
180x5	2.58	55.6764	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
159x5	3.68	69.8832	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50

Продолжение приложения Г

159x5	2.73	51.8427	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
168x5	3.45	69.345	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
168x5	2.42	48.642	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
159x5	3.26	61.9074	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
159x5	2.61	49.5639	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
152x5	3.02	54.7526	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
152x5	2.27	41.1551	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
152x4.5	2.82	46.1634	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
152x4.5	2.51	41.0887	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
133x4.5	2.58	36.7908	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
133x4.5	2.11	30.0886	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100

Продолжение приложения Г

127x4	2.38	28.8694	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
127x4	2.42	29.3546	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
114x4	2.12	23.002	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
114x4	1.96	21.266	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
102x4	1.92	18.5664	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
102x4	2.37	22.9179	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
89x3.5	1.65	12.177	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
89x3.5	1.8	13.284	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
89x3.5	1.45	10.701	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
89x3.5	2.39	17.6382	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
83x3.5	1.17	8.0262	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50

Окончание приложения Г

83x3.5	1.61	11.0446	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
102x3.5	1	8.5	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
102x3.5	2.57	21.845	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
102x3.5	0.66	5.61	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
102x3.5	1.32	11.22	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
18Б1	0.5	7.7	Двутавр нормальный (Б) по ГОСТ 26020-83	50
				Итоговый вес: 319.37т

Приложение Д – Характеристики отправочных элементов сетчатого купола, монтируемого по второй схеме

Параметры сечения	Длина	Масса	ГОСТ на продукцию	Количество
194x5	3.7	86.247	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
219x6.5	6.15	209.469	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
219x6.5	3.55	120.913	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
219x6.5	6.04	205.7224	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
219x6.5	3.6	122.616	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
203x6.5	5.9	185.85	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
203x6.5	3.44	108.36	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
203x6.5	5.77	181.755	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
203x6.5	3.49	109.935	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
203x6.5	5.61	176.715	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50

Продолжение приложения Д

203x6.5	3.31	104.265	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
203x6	5.48	159.742	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
203x6	3.37	98.2355	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
203x6	5.31	154.7865	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
203x6	3.18	92.697	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
194x6	5.17	143.8294	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
194x6	3.25	90.415	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
194x6	4.98	138.5436	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
194x6	3.04	84.5728	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
194x5	4.82	112.3542	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
194x5	3.12	72.7272	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100

Продолжение приложения Д

194x5	4.63	107.9253	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
194x5	2.89	67.3659	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
180x5	4.46	96.2468	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
180x5	2.99	64.5242	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
180x5	4.25	91.715	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
180x5	2.73	58.9134	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
180x5	4.08	88.0464	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
180x5	2.86	61.7188	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
168x5	3.86	77.586	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
168x5	2.58	51.858	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
146x4.5	3.68	57.776	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50

Продолжение приложения Д

146x4.5	2.73	42.861	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
133x4.5	3.45	49.197	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
133x4.5	2.42	34.5092	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
133x4	3.26	41.4998	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
133x4	2.61	33.2253	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
127x4	3.02	36.6326	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
127x4	2.27	27.5351	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
121x4	2.82	32.5428	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
121x4	2.51	28.9654	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
102x4	2.58	24.9486	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
102x4	2.11	20.4037	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100

Продолжение приложения Д

95x3.5	2.38	18.802	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
95x3.5	2.42	19.118	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
89x3.5	2.12	15.6456	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
89x3.5	1.96	14.4648	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
76x3.5	1.92	12.0192	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
76x3.5	2.37	14.8362	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
73x3	1.65	8.91	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
73x3	1.8	9.72	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
70x3	1.45	7.192	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
70x3	2.39	11.8544	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
57x3	1.17	4.68	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50

Окончание приложения Д

57x3	1.61	6.44	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
76x3	1	5.4	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
76x3	2.57	13.878	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
68x3	0.66	3.1746	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	50
68x3	1.32	6.3492	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	100
18Б1	0.5	7.7	Двутавр нормальный (Б) по ГОСТ 26020-83	50
				Итоговый вес: 290,39т

Приложение Е. Локальные сметные расчеты

СОГЛАСОВАНО:

УТВЕРЖДАЮ:

с _____ " _____ 2020 г.

" _____ " _____ 2020 г.

Стальной купол г.Красноярск, ул.Авиаторов,7

(наименование стройки)

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ № 1

(локальная смета)

на монтаж стального купола (без учета монтажных нагрузок)

(наименование работ и затрат, наименование объекта)

Основание:

Сметная стоимость строительных работ _____ 545230,987 тыс. руб.

Средства на оплату труда _____ 105550,487 тыс. руб.

Сметная трудоемкость _____ 257175,88 чел.час

Трудозатраты механизаторов _____ 9631,26 чел.час

Составлен(а) в текущих (прогнозных) ценах по состоянию на 4 квартал 2019г.

№ пп	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат, единица измерения	Количество	Стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.				Затраты труда рабочих, чел.-ч, не занятых обслуживанием	
				всего	эксплуатации	материалы	Всего	оплаты труда	эксплуатации	материалы	на единицу	всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Транспортировка. Погрузо-разгрузочные работы.												
1	ФССЦпг-03-32-01-030	Перевозка длинномерных грузов трубоплетевозом грузоподъемностью 12 т на расстояние: I класс груза до 30 км (1 т груза) ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР 0% от ФОТ СП 0% от ФОТ	253.33	23.2	23.2		5877.26		5877.26			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
2	ФССЦпг-03-02-01-030	Перевозка грузов автомобилями бортовыми грузоподъемностью до 5 т на расстояние: I класс груза до 30 км (1 т груза) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР 0% от ФОТ СП 0% от ФОТ	504,44	34,17	34,17		17236,71		17236,71				
3	ФССЦпг-01-01-01-015	Погрузо-разгрузочные работы при автомобильных перевозках: Погрузка металлических конструкций массой до 1 т (1 т груза) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР 0% от ФОТ СП 0% от ФОТ	757,77 253,33+504,44	22,33	22,33		16921		16921				
4	ФССЦпг-01-01-02-015	Погрузо-разгрузочные работы при автомобильных перевозках: Разгрузка металлических конструкций массой до 1 т (1 т груза) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР 0% от ФОТ СП 0% от ФОТ	757,77	22,33	22,33		16921		16921				
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах							56955,97		56955,97				
Итого прямые затраты по разделу с учетом индексов, в текущих ценах (Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62)							858896,03		858896,03				
Итого по разделу 1 Транспортировка. Погрузо-разгрузочные работы. :													
Перевозка грузов автотранспортом							348558,67						
Погрузо-разгрузочные работы							510337,36						
Итого							858896,03						
В том числе:													
Машины и механизмы							858896,03						
Итого по разделу 1 Транспортировка. Погрузо-разгрузочные работы.							858896,03						
Раздел 2. Монтаж каркаса													
5	ФЕР09-01-010-01	Устройство металлических каркасов зданий из оцинкованных профилей (т) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР (14945566,23 руб.): 90% от ФОТ СП (14115257 руб.): 85% от ФОТ	287	11550,53 1047,54	10449,45 389,8	53,54	3315002,1	300643,98	2998992,15 111872,60	15365,98	111,44	31983,28	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6	ФССЦ-07.2.03.05-0063	Основные несущие конструкции каркасов цельнометаллические, расход стали на 1 м2: от 150 до 250 кг (т) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62</i>	287	11596.48		11596.48	3328189.8			3328189.8		
7	ФЕР09-05-002-03	Электродуговая сварка при монтаже одноэтажных производственных зданий: ограждений (10 т) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР (4183550,24 руб.): 90% от ФОТ СП (3951130,78 руб.): 85% от ФОТ</i>	28.7	9125,63 4023,16	4457,53 0,23	644.94	261905.58	115464.69	127931,11 6,60	18509.78	372.86	10701.08
8	ФЕР09-07-031-01	Антикоррозийная защита металлических поверхностей (100 м2) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР (6640522,11 руб.): 90% от ФОТ СП (6271604,22 руб.): 85% от ФОТ</i>	37.68	22286,3 4006,28	14438,54 858,02	3841.48	839747.78	150956.63	544044,19 32330,19	144746.96	426.2	16059.22
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах							7744845.2	567065.3	3670967,45 144209,39	3506812.5		58743.58
Итого прямые затраты по разделу с учетом коэффициентов к итогам							8235624.8	958340.36	3770471,93 243713,87	3506812.5		58743.58
Итого прямые затраты по разделу с учетом индексов, в текущих ценах (Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62)							102901483	22827667	56858716,7 0 5805264,38	23215099		58743.58
Накладные расходы							25769639					
Сметная прибыль							24337992					
Итого по разделу 2 Монтаж каркаса :												
Строительные металлические конструкции							153009113					58743.58
Итого							153009113					58743.58
В том числе:												
Материалы							23215099					
Машины и механизмы							56858717					
ФОТ							28632932					
Накладные расходы							25769639					
Сметная прибыль							24337992					
Итого по разделу 2 Монтаж каркаса							153009113					58743.58
Раздел 3. Установка ограждающих конструкций												

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9	ФЕР09-04-010-02	Монтаж витражей, витрин: с одинарным остеклением в одноэтажных зданиях (т) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР (69225799,96 руб.): 90% от ФОТ СП (65379922,18 руб.): 85% от ФОТ	471	4694,93 4052,91	416,75 3,82	225.27	2211312	1908920.6	196289,25 1799,22	106102.17	421.3	198432.3
10	ФССЦ-01.7.15.04-0046	Винты самонарезающие: остроконечные 4,8x50 мм (100 шт) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62	23	12.28		12.28	282.44			282.44		
11	ФССЦ-01.7.15.03-0021	Болты с гайками и шайбами оцинкованные для монтажа стальных конструкций, диаметр 10-12 мм, длина 30-50 мм (т) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62	0.081	4966.37		4966.37	402.28			402.28		
12	ФССЦ-09.1.01.01-0002	Витражи из алюминиевого комбинированного профиля одинарной конструкции с двухкамерным стеклопакетом, неоткрываемые (ГОСТ 22233-2001) (м2) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62	9420	895.19		895.19	8432689.8			8432689.8		
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах							10644687	1908920.6	196289,25 1799,22	8539476.7		198432.3
Итого прямые затраты по разделу с учетом коэффициентов к итогам							11963083	3226075.8	197530,72 3040,69	8539476.7		198432.3
Итого прямые затраты по разделу с учетом индексов, в текущих ценах (Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62)							136355225	76845126	2978763,26 72429,24	56531336		198432.3
Накладные расходы							69225800					
Сметная прибыль							65379922					
Итого по разделу 3 Установка ограждающих конструкций :												
Строительные металлические конструкции							270960947					198432.3
Итого							270960947					198432.3
В том числе:												
Материалы							56531336					
Машины и механизмы							2978763.3					
ФОТ							76917556					
Накладные расходы							69225800					
Сметная прибыль							65379922					
Итого по разделу 3 Установка ограждающих конструкций							270960947					198432.3
ИТОГИ ПО СМЕТЕ:												

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Итого прямые затраты по смете в базисных ценах							18446488	2475985.9	3924212,67 146008,61	12046289		257175.88
Итого прямые затраты по смете с учетом коэффициентов к итогам							20255664	4184416.2	4024958,61 246754,55	12046289		257175.88
В том числе, справочно:												
Районный коэффициент (Красноярский край) ОЗП=30%; ЗПМ=30% (Поз. 5-12)							786598.35	742795.77	43802,58 43802,58			
Северная надбавка ОЗП=30%; ЗПМ=30% (Поз. 5-12)							1022577.9	965634.5	56943,36 56943,36			
Итого прямые затраты по смете с учетом индексов, в текущих ценах (Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62)							240115604	99672793	60696375,8 4 5877693,38	79746434		257175.88
Накладные расходы							94995438					
Сметная прибыль							89717914					
Итого по смете:												
Перевозка грузов автотранспортом							348558.67					
Погрузо-разгрузочные работы							510337.36					
Строительные металлические конструкции							423970059					257175.88
Итого							424828955					257175.88
В том числе:												
Материалы							79746434					
Машины и механизмы							60696376					
ФОТ							105550487					
Накладные расходы							94995438					
Сметная прибыль							89717914					
Временные здания и сооружения 1,8% от 424828955,44							7646921.2					
Итого							432475877					
Производство работ в зимнее время 3% от 432475876,64							12974276					
Итого							445450153					
Непредвиденные затраты 2% от 445450152,94							8909003.1					
Итого с непредвиденными							454359156					
НДС 20% от 454359156							90871831					
ВСЕГО по смете							545230987					257175.88

Составил: _____ К. А. Левченко
(должность, подпись, расшифровка)

Проверил: _____ С. А. Хиревич
(должность, подпись, расшифровка)

СОГЛАСОВАНО:

УТВЕРЖДАЮ:

" _____ " _____ 2020 г.

" _____ " _____ 2020 г.

Стальной купол г.Красноярск, ул.Авиаторов,7

(наименование стройки)

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ № 2

(локальная смета)

на монтаж стального каркаса (с учетом первой схемы монтажа)

(наименование работ и затрат, наименование объекта)

Основание:

Сметная стоимость строительных работ _____ 565031,676 тыс. руб.

Средства на оплату труда _____ 108296,776 тыс. руб.

Сметная трудоемкость _____ 262749,89 чел.час

Трудозатраты механизаторов _____ 10490,42 чел.час

Составлен(а) в текущих (прогнозных) ценах по состоянию на 4 квартал 2019г.

№ пп	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат, единица измерения	Количество	Стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.				Затраты труда рабочих, чел.-ч, не занятых обслуживанием машин	
				всего	эксплуатации машин	материалы	Всего	оплаты труда	эксплуатации машин	материалы	на единицу	всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Транспортировка. Погрузо-разгрузочные работы.												
1	ФССЦпг-03-32-01-030	Перевозка длинномерных грузов трубоплетевозом грузоподъемностью 12 т на расстояние: I класс груза до 30 км (1 т груза) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР 0% от ФОТ СП 0% от ФОТ</i>	267.58	23.2	23.2		6207.86		6207.86			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
2	ФССЦпг-03-02-01-030	Перевозка грузов автомобилями бортовыми грузоподъемностью до 5 т на расстояние: I класс груза до 30 км (1 т груза) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР 0% от ФОТ СП 0% от ФОТ	522.79	34.17	34.17		17863.73		17863.73				
3	ФССЦпг-01-01-01-015	Погрузо-разгрузочные работы при автомобильных перевозках: Погрузка металлических конструкций массой до 1 т (1 т груза) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР 0% от ФОТ СП 0% от ФОТ	790,37 267,58+522,79	22.33	22.33		17648.96		17648.96				
4	ФССЦпг-01-01-02-015	Погрузо-разгрузочные работы при автомобильных перевозках: Разгрузка металлических конструкций массой до 1 т (1 т груза) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР 0% от ФОТ СП 0% от ФОТ	790,37	22.33	22.33		17648.96		17648.96				
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах							59369.51		59369.51				
Итого прямые затраты по разделу с учетом индексов, в текущих ценах (Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62)							895292.21		895292.21				
Итого по разделу 1 Транспортировка. Погрузо-разгрузочные работы. :													
Перевозка грузов автотранспортом							362999.58						
Погрузо-разгрузочные работы							532292.63						
Итого							895292.21						
В том числе:													
Машины и механизмы							895292.21						
Итого по разделу 1 Транспортировка. Погрузо-разгрузочные работы.							895292.21						
Раздел 2. Монтаж каркаса													
5	ФЕР09-01-010-01	Устройство металлических каркасов зданий из оцинкованных профилей (т) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР (16631239,17 руб.): 90% от ФОТ СП (15707281,44 руб.): 85% от ФОТ	319.37	11550,53 1047,54	10449,45 389,8	53.54	3688892.8	334552.85	3337240,85 124490,43	17099.07	111.44	35590.59	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6	ФССЦ-07.2.03.05-0063	Основные несущие конструкции каркасов цельнометаллические, расход стали на 1 м2: от 150 до 250 кг (т) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62</i>	319.37	11596.48		11596.48	3703567.8			3703567.8		
7	ФЕР09-05-002-03	Электродуговая сварка при монтаже одноэтажных производственных зданий: ограждений (10 т) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР (4655840,09 руб.): 90% от ФОТ СП (4397182,31 руб.): 85% от ФОТ</i>	31.94	9125,63 4023,16	4457,53 0,23	644.94	291472.62	128499.73	142373,51 7,35	20599.38	372.86	11909.15
8	ФЕР09-07-031-01	Антикоррозийная защита металлических поверхностей (100 м2) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР (6954219,66 руб.): 90% от ФОТ СП (6567874,12 руб.): 85% от ФОТ</i>	39.46	22286,3 4006,28	14438,54 858,02	3841.48	879417.4	158087.81	569744,79 33857,47	151584.8	426.2	16817.85
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах							8563350.6	621140.39	4049359,15 158355,25	3892851.1		64317.59
Итого прямые затраты по разделу с учетом коэффициентов к итогам							9101202.6	1049727.3	4158624,28 267620,38	3892851.1		64317.59
Итого прямые затраты по разделу с учетом индексов, в текущих ценах (Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62)							113487232	25004503	62712054,1 4 6374717,45	25770674		64317.59
Накладные расходы							28241299					
Сметная прибыль							26672338					
Итого по разделу 2 Монтаж каркаса :												
Строительные металлические конструкции							168400868					64317.59
Итого							168400868					64317.59
В том числе:												
Материалы							25770674					
Машины и механизмы							62712054					
ФОТ							31379221					
Накладные расходы							28241299					
Сметная прибыль							26672338					
Итого по разделу 2 Монтаж каркаса							168400868					64317.59
Раздел 3. Установка ограждающих конструкций												

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9	ФЕР09-04-010-02	Монтаж витражей, витрин: с одинарным остеклением в одноэтажных зданиях (т) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР (69225799,96 руб.): 90% от ФОТ СП (65379922,18 руб.): 85% от ФОТ	471	4694,93 4052,91	416,75 3,82	225.27	2211312	1908920.6	196289,25 1799,22	106102.17	421.3	198432.3
10	ФССЦ-01.7.15.04-0046	Винты самонарезающие: остроконечные 4,8x50 мм (100 шт) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62	23	12.28		12.28	282.44			282.44		
11	ФССЦ-01.7.15.03-0021	Болты с гайками и шайбами оцинкованные для монтажа стальных конструкций, диаметр 10-12 мм, длина 30-50 мм (т) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62	0.081	4966.37		4966.37	402.28			402.28		
12	ФССЦ-09.1.01.01-0002	Витражи из алюминиевого комбинированного профиля одинарной конструкции с двухкамерным стеклопакетом, неоткрываемые (ГОСТ 22233-2001) (м2) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62	9420	895.19		895.19	8432689.8			8432689.8		
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах							10644687	1908920.6	196289,25 1799,22	8539476.7		198432.3
Итого прямые затраты по разделу с учетом коэффициентов к итогам							11963083	3226075.8	197530,72 3040,69	8539476.7		198432.3
Итого прямые затраты по разделу с учетом индексов, в текущих ценах (Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62)							136355225	76845126	2978763,26 72429,24	56531336		198432.3
Накладные расходы							69225800					
Сметная прибыль							65379922					
Итого по разделу 3 Установка ограждающих конструкций :												
Строительные металлические конструкции							270960947					198432.3
Итого							270960947					198432.3
В том числе:												
Материалы							56531336					
Машины и механизмы							2978763.3					
ФОТ							76917556					
Накладные расходы							69225800					
Сметная прибыль							65379922					
Итого по разделу 3 Установка ограждающих конструкций							270960947					198432.3
ИТОГИ ПО СМЕТЕ:												

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Итого прямые затраты по смете в базисных ценах							19267407	2530061	4305017,91 160154,47	12432328		262749.89
Итого прямые затраты по смете с учетом коэффициентов к итогам							21123655	4275803.1	4415524,49 270661,05	12432328		262749.89
В том числе, справочно:												
Районный коэффициент (Красноярский край) ОЗП=30%; ЗПМ=30% (Поз. 5-12)							807064.64	759018.3	48046,34 48046,34			
Северная надбавка ОЗП=30%; ЗПМ=30% (Поз. 5-12)							1049184	986723.79	62460,24 62460,24			
Итого прямые затраты по смете с учетом индексов, в текущих ценах (Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62)							250737749	101849630	66586109,3 1 6447146,21	82302010		262749.89
Накладные расходы							97467098					
Сметная прибыль							92052259					
Итого по смете:												
Перевозка грузов автотранспортом							362999.58					
Погрузо-разгрузочные работы							532292.63					
Строительные металлические конструкции							439361814					262749.89
Итого							440257106					262749.89
В том числе:												
Материалы							82302010					
Машины и механизмы							66586109					
ФОТ							108296776					
Накладные расходы							97467098					
Сметная прибыль							92052259					
Временные здания и сооружения 1,8% от 440257106,35							7924627.9					
Итого							448181734					
Производство работ в зимнее время 3% от 448181734,26							13445452					
Итого							461627186					
Непредвиденные затраты 2% от 461627186,29							9232543.7					
Итого с непредвиденными							470859730					
НДС 20% от 470859730,02							94171946					
ВСЕГО по смете							565031676					262749.89

Составил: _____ К. А. Левченко
(должность, подпись, расшифровка)

Проверил: _____ С. А. Хиревич
(должность, подпись, расшифровка)

СОГЛАСОВАНО:

УТВЕРЖДАЮ:

" _____ " _____ 2020 г.

" _____ " _____ 2020 г.

Стальной купол г.Красноярск, ул.Авиаторов,7

(наименование стройки)

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ № 3

(локальная смета)

на монтаж стального каркаса (с учетом второй схемы монтажа)

(наименование работ и затрат, наименование объекта)

Основание:

Сметная стоимость строительных работ _____ 547369,669 тыс. руб.

Средства на оплату труда _____ 105850,497 тыс. руб.

Сметная трудоемкость _____ 257786,61 чел.час

Трудозатраты механизаторов _____ 9726,66 чел.час

Составлен(а) в текущих (прогнозных) ценах по состоянию на 4 квартал 2019г.

№ пп	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат, единица измерения	Количество	Стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.				Затраты труда рабочих, чел.-ч, не занятых обслуживанием		
				всего	эксплуата- ции	мате- риалы	Всего	оплаты труда	эксплуата- ции	мате- риалы	на единицу	всего	
				оплаты труда	в т.ч. оплаты труда								в т.ч. оплаты труда
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Раздел 1. Транспортировка. Погрузо-разгрузочные работы.													
1	ФССЦпг-03-32-01-030	Перевозка длинномерных грузов трубоплетевозом грузоподъемностью 12 т на расстояние: I класс груза до 30 км (1 т груза) ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР 0% от ФОТ СП 0% от ФОТ	239.67	23.2	23.2		5560.34		5560.34				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	ФССЦпг-03-02-01-030	Перевозка грузов автомобилями бортовыми грузоподъемностью до 5 т на расстояние: I класс груза до 30 км (1 т груза) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР 0% от ФОТ СП 0% от ФОТ</i>	521.72	34.17	34.17		17827.17		17827.17			
3	ФССЦпг-01-01-01-015	Погрузо-разгрузочные работы при автомобильных перевозках: Погрузка металлических конструкций массой до 1 т (1 т груза) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР 0% от ФОТ СП 0% от ФОТ</i>	761,39 239,67+521,72	22.33	22.33		17001.84		17001.84			
4	ФССЦпг-01-01-02-015	Погрузо-разгрузочные работы при автомобильных перевозках: Разгрузка металлических конструкций массой до 1 т (1 т груза) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР 0% от ФОТ СП 0% от ФОТ</i>	761,39	22.33	22.33		17001.84		17001.84			
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах							57391.19		57391.19			
Итого прямые затраты по разделу с учетом индексов, в текущих ценах (Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62)							865459.14		865459.14			
Итого по разделу 1 Транспортировка. Погрузо-разгрузочные работы. :												
Перевозка грузов автотранспортом							352683.65					
Погрузо-разгрузочные работы							512775.49					
Итого							865459.14					
В том числе:												
Машины и механизмы							865459.14					
Итого по разделу 1 Транспортировка. Погрузо-разгрузочные работы.							865459.14					
Раздел 2. Монтаж каркаса												
5	ФЕР09-01-010-01	Устройство металлических каркасов зданий из оцинкованных профилей (т) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР (15122101,09 руб.): 90% от ФОТ СП (14281984,36 руб.): 85% от ФОТ</i>	290.39	11550,53 1047,54	10449,45 389,8	53.54	3354158.4	304195.14	3034415,79 113194,02	15547.48	111.44	32361.06

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6	ФССЦ-07.2.03.05-0063	Основные несущие конструкции каркасов цельнометаллические, расход стали на 1 м2: от 150 до 250 кг (т) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62</i>	290.39	11596.48		11596.48	3367501.8			3367501.8		
7	ФЕР09-05-002-03	Электродуговая сварка при монтаже одноэтажных производственных зданий: ограждений (10 т) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР (4232965,47 руб.): 90% от ФОТ СП (3997800,72 руб.): 85% от ФОТ</i>	29.039	9125,63 4023,16	4457,53 0,23	644.94	264999.17	116828.54	129442,21 6,68	18728.42	372.86	10827.48
8	ФЕР09-07-031-01	Антикоррозийная защита металлических поверхностей (100 м2) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР (6684580,64 руб.): 90% от ФОТ СП (6313215,05 руб.): 85% от ФОТ</i>	37.93	22286,3 4006,28	14438,54 858,02	3841.48	845319.36	151958.2	547653,82 32544,70	145707.34	426.2	16165.77
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах							7831978.8	572981.88	3711511,82 145745,40	3547485.1		59354.31
Итого прямые затраты по разделу с учетом коэффициентов к итогам							8327900.6	968339.37	3812076,15 246309,73	3547485.1		59354.31
Итого прямые затраты по разделу с учетом индексов, в текущих ценах (Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62)							104036303	23065844	57486108,3 4 5867097,77	23484351		59354.31
Накладные расходы							26039647					
Сметная прибыль							24593000					
Итого по разделу 2 Монтаж каркаса :												
Строительные металлические конструкции							154668951					59354.31
Итого							154668951					59354.31
В том числе:												
Материалы							23484351					
Машины и механизмы							57486108					
ФОТ							28932942					
Накладные расходы							26039647					
Сметная прибыль							24593000					
Итого по разделу 2 Монтаж каркаса							154668951					59354.31
Раздел 3. Установка ограждающих конструкций												

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9	ФЕР09-04-010-02	Монтаж витражей, витрин: с одинарным остеклением в одноэтажных зданиях (т) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62 НР (69225799,96 руб.): 90% от ФОТ СП (65379922,18 руб.): 85% от ФОТ	471	4694,93 4052,91	416,75 3,82	225.27	2211312	1908920.6	196289,25 1799,22	106102.17	421.3	198432.3
10	ФССЦ-01.7.15.04-0046	Винты самонарезающие: остроконечные 4,8x50 мм (100 шт) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62	23	12.28		12.28	282.44			282.44		
11	ФССЦ-01.7.15.03-0021	Болты с гайками и шайбами оцинкованные для монтажа стальных конструкций, диаметр 10-12 мм, длина 30-50 мм (т) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62	0.081	4966.37		4966.37	402.28			402.28		
12	ФССЦ-09.1.01.01-0002	Витражи из алюминиевого комбинированного профиля одинарной конструкции с двухкамерным стеклопакетом, неоткрываемые (ГОСТ 22233-2001) (м2) <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62	9420	895.19		895.19	8432689.8			8432689.8		
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах							10644687	1908920.6	196289,25 1799,22	8539476.7		198432.3
Итого прямые затраты по разделу с учетом коэффициентов к итогам							11963083	3226075.8	197530,72 3040,69	8539476.7		198432.3
Итого прямые затраты по разделу с учетом индексов, в текущих ценах (Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62)							136355225	76845126	2978763,26 72429,24	56531336		198432.3
Накладные расходы							69225800					
Сметная прибыль							65379922					
Итого по разделу 3 Установка ограждающих конструкций :												
Строительные металлические конструкции							270960947					198432.3
Итого							270960947					198432.3
В том числе:												
Материалы							56531336					
Машины и механизмы							2978763.3					
ФОТ							76917556					
Накладные расходы							69225800					
Сметная прибыль							65379922					
Итого по разделу 3 Установка ограждающих конструкций							270960947					198432.3
ИТОГИ ПО СМЕТЕ:												

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Итого прямые затраты по смете в базисных ценах							18534057	2481902.5	3965192,26 147544,62	12086962		257786.61
Итого прямые затраты по смете с учетом коэффициентов к итогам							20348375	4194415.2	4066998,05 249350,41	12086962		257786.61
В том числе, справочно:												
Районный коэффициент (Красноярский край) ОЗП=30%; ЗПМ=30% (Поз. 5-12)							788834.14	744570.75	44263,39 44263,39			
Северная надбавка ОЗП=30%; ЗПМ=30% (Поз. 5-12)							1025484.4	967941.97	57542,40 57542,40			
Итого прямые затраты по смете с учетом индексов, в текущих ценах (Перевод в уровень цен 4 кв. 2019 г ОЗП=23,82; ЭМ=15,08; ЗПМ=23,82; МАТ=6,62)							241256988	99910970	61330330,5 9 5939526,77	80015687		257786.61
Накладные расходы							95265447					
Сметная прибыль							89972923					
Итого по смете:												
Перевозка грузов автотранспортом							352683.65					
Погрузо-разгрузочные работы							512775.49					
Строительные металлические конструкции							425629898					257786.61
Итого							426495358					257786.61
В том числе:												
Материалы							80015687					
Машины и механизмы							61330331					
ФОТ							105850497					
Накладные расходы							95265447					
Сметная прибыль							89972923					
Временные здания и сооружения 1,8% от 426495357,61							7676916.4					
Итого							434172274					
Производство работ в зимнее время 3% от 434172274,05							13025168					
Итого							447197442					
Непредвиденные затраты 2% от 447197442,27							8943948.9					
Итого с непредвиденными							456141391					
НДС 20% от 456141391,12							91228278					
ВСЕГО по смете							547369669					257786.61

Составил: _____ К. А. Левченко
(должность, подпись, расшифровка)

Проверил: _____ С. А. Хиревич
(должность, подпись, расшифровка)

Приложение Ж. Продолжение

	29 стадия			30 стадия			31 стадия			Расчетные усилия		
	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M
1 ярус	-601.92	-4.232	8.667	-521.375	-4.469	9.275	-476.88	3.27	8.26	-609.858	14.45	39.14
2 ярус	-584.13	-16.467	-9.213	-503.81	18.042	-9.825	-458.29	17	-33.71	-592.41	18.042	33.71
3 ярус	-573.49	-15.51	-28.81	-497.01	-16.543	-30.661	-454.94	-14.1	-24.48	-580.75	16.543	30.661
4 ярус	-536.22	-14.819	-8.436	-466.19	-16.563	-9.124	-428.51	15.37	27.44	-543.75	16.563	27.44
5 ярус	-564.52	-13.364	22.542	-498.83	-14.695	-24.807	-464.72	12.25	22.13	-571.108	14.695	24.807
6 ярус	-546.97	14.228	-9.736	-485.19	-15.918	10.799	-456.91	-14.76	24.49	-552.46	15.918	24.49
7 ярус	-553.67	-12.175	20.267	-494.559	-13.365	22.258	-467.53	11.11	-19.79	-559.542	13.365	22.258
8 ярус	-527.98	-12.778	-11.016	-474.72	-14.357	-11.822	-452.81	-13.18	-21.22	-532.98	14.357	21.22
9 ярус	-534.83	-11.172	17.634	-481.56	-12.256	-19.384	-461.17	-10.59	-17.69	-540.05	12.256	19.384
10 ярус	-510.62	10.56	-11.135	-463.67	-11.831	-11.916	-447.76	10.91	18.95	-514.98	11.831	18.95
11 ярус	-496.51	-9.958	15.524	-450.44	-10.859	16.528	-434.29	9.23	14.65	-501.18	10.859	16.528
12 ярус	-469.379	-8.163	10.143	-428.17	-8.901	10.924	-414.34	8.32	12.35	-473.16	8.901	12.35
13 ярус	-450.59	-7.944	11.997	-409.49	-8.395	12.628	-398.2	-7	11.11	-453.757	8.395	12.628
14 ярус	-419.14	7.779	-10.778	-387.27	8.095	-11.036	-378.75	7.44	-10.37	-462.731	8.095	11.036
15 ярус	-407.75	-9.136	-12.959	-368.31	-9.78	-13.593	-358.26	-9.47	-14.07	-472.42	9.78	14.08
16 ярус	-373.02	8.959	11.218	-339.88	9.531	12.265	-328.74	-8.37	10.16	-513.44	10.725	12.265
17 ярус	-321.69	-4.892	-6.764	-296.62	-5.21	-7.076	-286.77	-4.09	5.39	-492.09	5.21	8.316
18 ярус	-287.35	4.212	5.133	-256.37	4.541	5.459	-249.31	4.26	4.94	-540.323	4.541	8.519
19 ярус	-279.53	-3.083	4.765	-235.612	-3.337	4.913	-249.47	0.18	-0.64	-528.154	4.03	8.434
20 ярус	-285.99	3.036	-3.571	-260.23	3.324	3.692	-249.47	0.18	-0.04	-508.34	3.324	6.84
21 ярус	-263.05	-2.208	3.012	-221.865	-2.303	3.034	-204.53	0.15	0.02	-453.394	3.465	6.919
22 ярус	-215.69	2.23	-2.664	-198.12	2.341	-2.608	-190.35	-0.12	0.06	-396.59	2.826	5.434
23 ярус	-188.6	-1.517	1.972	-152.2	-1.623	1.908	-152.03	-0.08	0.01	-322.099	2.502	4.738
24 ярус	-170.557	1.528	-1.736	-158.02	1.669	-1.696	-152.03	0.08	0.01	-318.01	2.222	3.732
25 ярус	-156.19	-1.065	1.629	-122.935	-1.157	1.396	-108.52	0.07	-0.01	-253.03	1.704	3.375
26 ярус	-119.434	1.118	-2.138	-107.81	1.167	-1.2	-89.42	0.05	-0.01	-214.655	1.639	2.374
27 ярус	-176.26	-1.178	1.991	-109.42	-0.717	1.07	-81.56	0.04	0.07	-236.74	1.574	2.927
28 ярус	-130.873	-1.637	-1.869	-120.09	0.684	-1.156	-68.44	-0.03	0.03	-197.914	2.456	2.304
29 ярус	-241.2	-3.176	-4.424	-147.41	1.514	-1.851	-62.18	-0.03	0.15	-241.2	3.176	4.424
30 ярус				-204.52	5.339	-3.391	-53.84	0.38	0.34	-204.52	5.339	3.391
верхн.к.							-237.67	0.11	-13.67	-237.67	0.11	13.67

Приложение 3. Усилия в элементах, возникающие при монтаже по второй схеме

	1 стадия			2 стадия			3 стадия			4 стадия		
	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M
1 ярус	-49.753	-0.946	1.707	-71.638	-1.256	2.552	-91.952	-1.112	2.465	-108.816	-1.256	2.483
2 ярус	-63.363	2.582	-2.146	-81.891	2.493	2.6	-91.985	-2.483	-2.508	-103.951	-3.383	-3.248
3 ярус	-3.74	-2.27	-3.74	-55.613	-2.116	-3.384	-57.267	-1.992	-3.079	-77.52	-2.65	-4.236
4 ярус	53.574	-1.526	-0.939	-53.965	1.51	-1.092	-54.818	1.937	-2.066	-70.606	1.761	2.291
5 ярус	47.367	-1.794	-2.509	-47.141	-1.895	-2.85	-47.624	-1.911	-3.167	-48.388	-1.647	-2.34
6 ярус	45.544	1.386	-835	-45.857	1.378	-0.845	-46.308	1.353	-0.872	-46.806	-1.339	-0.947
7 ярус	-39.2	-1.482	-1.657	-39.505	-1.494	-1.973	-39.928	-1.533	-2.059	-40.338	-1.646	-2.43
8 ярус	-38.009	1.075	-0.794	-38.31	1.084	-0.794	-38.725	1.091	-0.79	-39.12	1.086	-0.782
9 ярус	-32.383	-1.238	-1.518	-32.664	-1.243	-1.524	-33.054	-1.25	-1.533	-33.442	-1.263	-1.551
10 ярус	-31.226	0.836	-0.822	-31.5	0.842	-0.825	-31.876	0.852	-0.83	-32.252	0.862	-0.831
11 ярус	-26.378	-0.993	1.203	-26.63	-0.988	-1.21	-26.981	-1.004	-1.22	-27.331	-1.01	-1.227
12 ярус	-25.543	0.686	-0.675	-25.774	0.687	-0.677	-26.106	0.689	-0.68	-26.44	0.692	-0.684
13 ярус	-21.596	-0.812	-0.907	-21.805	-0.815	-0.912	-22.109	-0.818	-0.92	-22.426	-0.824	-0.928
14 ярус	-20.896	0.615	-0.562	-21.105	0.615	-0.563	-21.401	0.616	-0.565	-21.702	0.617	-0.567
15 ярус	-17.539	-0.739	-0.729	-17.709	-0.742	-0.733	-18.006	-0.745	-0.738	-18.298	-0.749	-0.743
16 ярус	-16.31	0.667	-0.518	-16.483	-0.447	-0.583	-16.743	0.671	-0.585	-17.006	0.674	-0.588
17 ярус	-13.525	-0.476	-0.461	-13.7	-0.447	-0.462	-13.945	-0.479	-0.465	-14.191	-0.481	-0.468
18 ярус	-12.977	0.401	-0.359	-13.143	0.401	-0.361	-13.373	0.403	-0.364	-13.604	0.405	-0.366
19 ярус	-11.1	-0.365	-0.344	-11.263	-0.367	-0.346	-11.49	-0.369	-0.35	-11.715	-0.372	-0.353
20 ярус	-10.904	0.313	-0.267	-11.051	0.315	-0.269	-11.256	0.317	-0.271	-11.458	0.319	-0.273
21 ярус	-9.648	-0.283	-0.25	-9.791	-0.284	-0.251	-9.993	0.286	-0.254	-10.195	-0.285	-0.256
22 ярус	-9.675	0.264	-0.227	-9.8	0.265	-0.228	-9.977	0.267	-0.23	-10.154	0.268	-0.232
23 ярус	-8.901	-0.239	-0.212	-9.027	-0.24	-0.214	-9.206	-0.242	-0.216	-9.387	-0.243	-0.217
24 ярус	-9.144	0.229	-0.172	-9.25	0.23	-0.173	-9.403	0.213	-0.174	-9.555	0.232	-0.175
25 ярус	10.371	-0.206	-0.159	10.492	-0.207	-0.159	10.672	-0.208	-0.161	9.321	-0.209	-0.162
26 ярус	10.455	0.223	-0.169	10.549	0.224	-0.17	10.681	0.225	-0.171	-9.893	0.226	-0.171
27 ярус	22.401	-0.155	-0.155	22.497	-0.155	-0.155	22.65	-0.158	-0.156	-10.79	-0.156	-0.157
28 ярус	24.439	0.315	-0.375	24.482	0.315	-0.379	24.559	0.315	-0.379	-12.303	0.315	-0.379
29 ярус	34.214	-0.233	-0.372	34.238	-0.234	-0.372	34.279	-0.234	-0.373	-14.725	-0.234	-0.373
30 ярус	-13.535	-0.179	0.265	-13.715	-0.179	0.267	-13.981	-0.181	0.269	-14.254	-0.182	0.271
верхн.к.	-52.391	-2.254	4.265	-191.364	-2.27	4.282	-191.705	-2.293	4.315	-192.113	-2.316	4.347

Приложение 3.Продолжение

	5 стадия			6 стадия			7 стадия			8 стадия		
	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M
1 ярус	-126.189	-1.378	2.716	-151.047	-1.618	3.231	-177.51	-1.877	3.794	-199.9	-2.089	4.252
2 ярус	-120.337	-4.299	-3.831	-144.01	-5.453	-4.393	-169.35	-6.568	-4.879	-190.91	7.463	-5.272
3 ярус	-96.761	-3.171	-5.291	-122.202	-4.005	-6.96	-148.78	-5.016	-8.933	-171.74	-5.918	-10.63
4 ярус	-78.129	-1.669	2.035	-104.82	2.989	-2.977	-131.27	4.464	-3.982	-153.26	-5.516	-4.511
5 ярус	-54.474	-1.614	-1.989	-87.466	-2.904	4.468	-120.45	-3.686	-5.788	-146.19	-4.352	-7.158
6 ярус	-47.861	1.688	-2.344	-112.524	2.165	3.704	-114.8	1.928	3.354	-135.15	2.561	3.913
7 ярус	-40.875	-1.659	-2.791	-65.244	-1.342	-1.845	-127.44	-1.343	1.865	-117.54	-2.368	4.451
8 ярус	-39.542	1.042	-0.777	-40.1	1.014	-1.149	-105.23	2.258	-3.625	-172.51	2.758	4.693
9 ярус	-33.836	-1.314	-1.662	-34.239	-1.507	-2.311	-35.889	-1.509	-2.935	-96.25	-1.146	-1.512
10 ярус	-32.6	0.868	-0.821	-33.035	0.858	-0.796	-33.772	0.821	-0.793	-35.813	0.807	-1.177
11 ярус	-27.72	-1.016	-1.232	-28.105	-1.031	-1.254	-28.53	-1.11	-1.474	-29.949	-1.327	-2.155
12 ярус	-26.812	0.639	-0.688	-27.183	0.7	-0.687	-27.6	0.692	-0.676	-28.09	0.664	-0.656
13 ярус	-22.776	-0.829	-0.936	-23.133	-0.833	-0.939	-23.544	-0.839	-0.942	-23.95	-0.853	-0.962
14 ярус	-22.038	0.618	-0.57	-22.38	0.621	-0.573	-22.768	0.625	-0.576	-23.177	-0.482	-0.575
15 ярус	-18.616	-0.753	-0.75	-18.936	-0.757	-0.757	-19.293	-0.761	-0.762	-19.655	-0.764	-0.764
16 ярус	-17.298	0.677	-0.591	-17.594	0.68	-0.594	-17.929	0.684	-0.598	-18.273	0.688	-0.603
17 ярус	-14.465	-0.483	-0.472	-14.742	-0.485	-476	-15.053	-0.487	-0.48	-15.37	-0.49	-0.484
18 ярус	-13.858	0.408	-0.369	-14.114	0.411	-0.373	-14.397	0.413	-0.376	-14.69	0.416	-0.379
19 ярус	-11.961	-0.375	-0.357	-12.207	-0.378	-0.361	-12.478	-0.381	-0.365	-12.76	-0.384	-0.369
20 ярус	-11.679	0.321	-0.276	-11.904	0.323	-0.278	-12.153	0.326	-0.281	-12.409	0.328	-0.283
21 ярус	-10.417	-0.29	-0.259	-10.639	-0.292	-0.261	-10.884	-0.294	-0.264	-11.141	-0.297	-0.267
22 ярус	-10.35	0.27	-0.233	-10.547	0.272	-0.235	-10.765	0.274	-0.238	-10.99	0.277	-0.24
23 ярус	-9.586	-0.245	-0.219	-9.787	-0.246	-0.221	-10.01	-0.248	-0.224	-10.245	-0.25	-0.226
24 ярус	-9.722	0.234	-0.176	-9.89	-0.075	-0.178	-10.076	0.237	-0.179	-10.269	0.239	-0.181
25 ярус	-9.504	-0.21	-0.163	-9.688	-0.211	-0.164	11.458	-0.212	-0.166	11.682	-0.213	-0.167
26 ярус	-10.036	0.227	-0.173	-10.181	0.228	-0.174	11.261	0.229	-0.175	11.427	0.231	-0.176
27 ярус	-10.959	-0.157	-0.158	23.173	0.0158	-0.159	23.356	-0.158	-0.16	23.558	-0.159	-0.161
28 ярус	-12.441	0.316	-0.38	24.845	0.316	-0.38	24.938	0.317	-0.381	25.048	0.317	-0.381
29 ярус	34.405	-0.235	-0.373	34.486	-0.235	-0.374	34.591	-0.236	-0.374	34.71	-0.237	-0.375
30 ярус	-14.558	-0.183	0.274	-14.864	-0.184	0.276	-15.215	-0.186	0.28	-15.578	-0.188	0.283
верхн.к.	-192.61	-2.341	4.383	-193.194	-2.366	4.424	-193.85	-2.397	4.478	-194.54	-2.43	4.534

Приложение 3.Продолжение

	9 стадия			10 стадия			11 стадия			12 стадия		
	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M
1 ярус	-223.76	-2.309	4.728	-248.26	-2.532	5.21	-274.33	-2.769	5.723	-300.91	-2.988	6.195
2 ярус	-213.93	8.427	-5.699	-237.55	-9.427	-6.141	-262.67	-10.473	-6.613	-288.44	-11.449	-7.05
3 ярус	-196.26	-6.889	-12.45	-221.5	-7.874	-14.31	-248.3	-8.921	-16.29	-275.34	-9.898	-18.134
4 ярус	-176.82	6.525	-4.94	-201.2	-7.523	-5.352	-227.13	-8.588	-5.807	-253.51	9.59	-6.245
5 ярус	-173.17	-5.2	-8.66	-201.48	-6.143	-10.251	-231.58	-7.171	-11.978	-261.62	-8.129	-13.597
6 ярус	-162.39	-4.046	4.659	-190.38	-5.37	5.363	-220.43	-6.644	6.061	-250.98	-7.801	6.679
7 ярус	-133.652	-3.121	5.097	-166.09	-3.87	6.023	-200.49	-4.869	7.641	-234.87	-5.926	9.481
8 ярус	-176.45	2.434	4.187	-145.182	3.231	4.791	-180.24	4.287	-5.896	-215.6	-5.744	-6.943
9 ярус	-163.92	-1.182	1.664	-155.7	-2.686	4.715	-148.7	-3.546	5.181	-191.01	-4.306	-6.739
10 ярус	-121.04	2.152	-3.551	-212.31	2.636	4.919	-222.58	2.06	4.073	-185.46	3.074	4.68
11 ярус	-32.29	-1.327	-2.747	-120.62	1.241	-2.259	-208.53	-1.001	2.417	-206.162	-2.782	5.802
12 ярус	-30.181	0.642	-0.67	-44.21	0.664	-1.331	-159.6	2.67	-4.35	-267.013	3.265	6.464
13 ярус	-25.046	-0.943	-1.188	-27.6	-1.216	-2.098	-52.698	-1.246	-2.939	-170.04	1.659	-3.133
14 ярус	-23.63	0.618	-0.557	-25.028	0.599	-0.545	-28.22	0.583	-1.002	-63.71	0.607	-1.847
15 ярус	-20.061	-0.771	-0.763	-20.51	-0.795	-0.797	-23.131	-0.957	-1.199	-26.661	-1.398	-2.453
16 ярус	-18.67	0.697	-0.608	-19.213	-0.458	-0.61	-20.536	0.717	0.631	-23.08	0.692	-0.62
17 ярус	-15.741	-0.491	-0.486	-16.15	-0.493	-0.486	-17.098	-0.501	-0.491	-19.279	-0.546	-0.565
18 ярус	-15.017	0.42	-0.384	-15.38	0.425	-0.389	-15.948	0.432	-0.394	-17.011	0.437	-0.394
19 ярус	-13.085	-0.387	-0.374	-13.43	-0.391	-0.379	-13.941	-0.395	-0.384	-14.711	-0.398	-0.384
20 ярус	-12.7	0.331	-0.286	-13.005	0.334	-0.29	-13.412	0.338	-0.294	-13.79	0.343	-0.299
21 ярус	-11.434	-0.299	-0.27	-11.74	-0.302	-0.274	-12.136	-0.305	-0.278	-12.52	-0.309	-0.283
22 ярус	-11.246	0.279	-0.242	-11.51	0.282	-0.245	-11.839	0.285	-0.248	-12.161	0.288	-0.252
23 ярус	-10.513	-0.252	-0.228	-10.79	-0.254	-0.231	-11.125	-0.256	-0.234	-11.457	-0.259	-0.238
24 ярус	-10.494	0.241	-0.183	-10.73	0.243	-0.185	-11.008	0.245	-0.187	-11.29	0.248	-0.189
25 ярус	11.936	-0.214	-0.169	12.2	-0.216	-0.171	12.512	-0.217	-0.173	12.836	0.175	-0.219
26 ярус	11.62	0.232	-0.178	11.816	0.234	-0.18	12.024	0.236	-0.182	12.251	0.237	-0.182
27 ярус	23.789	-0.16	-0.163	24.03	-0.161	-0.165	24.312	-0.162	-0.167	24.602	-0.162	-0.167
28 ярус	25.175	0.317	-0.382	25.31	0.318	-0.382	25.453	0.318	-0.383	25.62	0.319	-0.382
29 ярус	34.86	-0.238	-0.376	35.045	-0.239	-0.377	35.145	-0.241	-0.378	35.26	-0.239	-0.377
30 ярус	-16.01	-0.19	0.288	-16.48	-0.193	0.294	-17.009	-0.197	0.301	-17.206	-0.194	0.295
верхн.к.	-195.37	-2.474	4.611	-196.3	-2.525	4.696	-197.44	-2.578	4.804	-197.84	-2.525	4.714

Приложение 3.Продолжение

	13 стадия			14 стадия			15 стадия			16 стадия		
	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M
1 ярус	-328.22	-3.227	6.712	-350.14	-3.416	7.119	-374.12	-3.616	7.551	-393.9	-3.779	7.905
2 ярус	-314.73	-12.511	-7.526	-336.1	13.334	-7.9	-359.5	-14.236	-8.295	-378.6	-14.982	-8.619
3 ярус	-303.31	-10.969	-20.158	-325.77	-11.818	-21.763	-349.96	-12.725	-23.476	-369.69	-13.47	-24.88
4 ярус	-280.456	4.018	-6.72	-302.34	-11.539	-7.095	-326.21	-12.471	-7.491	-345.68	-13.246	-7.815
5 ярус	-292.81	-9.149	-15.311	-317.81	-9.948	-16.717	-344.78	-10.827	-18.217	-366.66	-11.55	-19.45
6 ярус	-282.332	-9.034	7.332	-307.38	-10.024	7.848	-334.26	-11.084	8.402	-356.28	-11.974	8.851
7 ярус	-270.26	-7.082	11.498	-298.54	-7.991	13.068	-328.96	-8.953	14.718	-353.76	-9.74	16.01
8 ярус	-251.14	-7.107	-7.729	-279.67	-8.133	-8.293	-310.42	5.92	-8.91	-335.28	-10.118	-9.436
9 ярус	-232.3	-5.363	-8.557	-264.87	-6.326	-10.058	-299.63	-7.394	-11.702	-328.31	-8.263	-13.057
10 ярус	-213.405	4.221	-5.88	-246.54	-4.885	-7.075	-282.041	6.168	-7.982	-311.02	-7.151	-8.638
11 ярус	-171.24	-3.771	6.081	-209.01	-4.452	6.564	-248.703	-5.42	-8.008	-281.27	-6.354	9.373
12 ярус	-280.705	2.431	5.268	-244.84	3.396	5.658	-223.26	4.521	6.623	-256.54	5.233	7.49
13 ярус	-281.8	1.04	3.434	-281.12	-2.52	5.626	-230.79	-3.362	5.697	-213.54	-3.842	5.813
14 ярус	-209.52	2.977	-5.034	-318.82	3.514	6.373	-334.81	2.595	5.161	-295.55	3.7	5.446
15 ярус	-79.159	-1.391	-3.546	-206.9	1.57	-3.334	-330.95	-1.677	4.755	-336.414	-4.162	7.68
16 ярус	-29.74	-0.703	-1.488	-70.45	-1.018	-2.653	-223.35	3.03	-4.401	-353.51	3.544	6.905
17 ярус	-22.61	-0.737	-1.03	-27.01	-1.068	-1.958	-69.4	-1.032	-2.602	-200.27	1.419	-2.329
18 ярус	-19.487	0.422	-0.376	-23.351	0.411	-0.375	-31.18	-0.475	-0.948	-64.72	-0.449	-1.482
19 ярус	-16.953	-0.4	-0.377	-19.78	-0.413	-0.39	-25.95	-0.528	-0.646	-33.72	-0.784	-1.408
20 ярус	-14.971	0.352	-0.303	-17.11	0.353	-0.304	-21.47	0.351	-0.295	-26.65	0.342	-0.304
21 ярус	-13.312	-0.311	-0.285	-15.254	-0.313	-0.284	-19.67	-0.314	-0.28	-24.674	-0.325	-0.293
22 ярус	-12.552	0.292	-0.256	-13.305	0.296	-0.26	-15.94	0.302	-0.263	-19.49	0.308	-0.264
23 ярус	-11.871	-0.262	-0.242	-12.689	-0.265	-0.245	-14.79	-0.267	-0.248	-18.05	-0.27	-0.247
24 ярус	-11.611	0.251	-0.191	-11.935	0.253	-0.194	-12.7	0.256	-0.196	-15.342	0.259	-0.199
25 ярус	13.205	-0.221	-0.177	13.551	0.222	-0.179	13.936	-0.224	-0.182	-14.842	-0.226	-0.185
26 ярус	12.519	0.239	-0.184	12.772	0.241	-0.185	13.056	0.243	-0.188	13.301	0.245	-0.191
27 ярус	24.933	-0.164	-0.169	25.247	-0.165	-0.171	25.608	-0.166	-0.173	25.924	-0.167	-0.175
28 ярус	25.803	0.32	-0.383	25.979	0.32	-0.383	26.179	0.321	-0.384	26.356	0.322	-0.385
29 ярус	35.526	-0.24	-0.377	35.78	-0.241	-0.378	36.073	-0.242	-0.379	36.32	0.126	-0.38
30 ярус	-17.753	-0.197	0.3	-18.313	0.233	0.305	-18.924	-0.203	0.311	-19.997	0.373	0.317
верхн.к.	-198.96	-2.56	4.78	-200.117	-2.604	4.865	-201.44	-2.645	4.952	-202.78	-2.694	5.055

Приложение 3.Продолжение

	17 стадия			18 стадия			19 стадия			20 стадия		
	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M
1 ярус	-415.47	-1.689	8.279	-431.731	-4.099	8.562	-449.48	-4.248	8.864	-460.29	-4.338	9.043
2 ярус	-399.402	15.792	-8.964	-415.05	-16.408	-9.226	-432.18	-17.07	-9.502	-442.6	-17.467	-9.666
3 ярус	-391.68	-14.265	-26.386	-408.245	-14.87	-27.53	-426.07	-15.519	-28.755	-436.85	-15.911	-29.5
4 ярус	-366.8	14.057	-8.16	-382.61	-14.707	-8.422	-399.62	-15.383	-8.701	-409.88	-15.792	-8.866
5 ярус	-390.32	-12.324	-20.769	-408.65	-12.91	-21.774	427.724	-13.545	-22.851	442.08	-13.926	-23.502
6 ярус	-380.49	-12.927	9.326	-398.58	-13.652	9.689	-417.83	-14.43	10.077	-429.37	-14.898	10.306
7 ярус	-380.46	-10.598	17.484	-400.32	-11.254	18.608	-421.455	-11.958	19.815	-434.06	-12.382	20.541
8 ярус	-362.33	-11.111	-10.002	-382.79	-11.87	-10.43	-404.4	-12.682	-10.889	-417.25	13.154	-11.159
9 ярус	-359.09	-9.159	-14.492	-381.94	-9.87	-15.617	-406.05	-10.631	-16.82	-420.32	-11.088	-17.543
10 ярус	-342.09	-8.182	-9.35	-365.15	-9.004	-9.916	-389.55	-9.892	-10.533	-403.94	-10.425	-10.899
11 ярус	-316.29	-7.389	11.055	-342.27	-8.15	12.3	-369.53	-8.985	13.563	-385.53	-9.486	14.344
12 ярус	-292.16	5.819	8.337	-318.57	6.215	8.921	-346.42	-6.815	9.537	-363.22	-7.362	9.898
13 ярус	-255.62	-4.545	6.813	-286.74	-5.425	8.04	-319.45	-6.321	9.455	-338.65	-6.844	10.235
14 ярус	-238.63	5.042	-6.659	-257.67	5.809	-7.93	-292.75	6.521	-8.888	-313.174	6.889	-9.354
15 ярус	-278.88	-4.408	6.224	-221.91	-4.983	6.596	-256.8	-6.249	-8.914	-280.8	-7.114	-10.003
16 ярус	-381.16	2.577	4.934	-340.67	4.127	5.535	-281.48	6.035	-7.577	-248.4	6.992	-8.751
17 ярус	-340.19	-1.075	3.274	-348.28	-2.664	5.587	-295.55	-3.187	4.615	-254.76	-3.443	-4.553
18 ярус	-231.88	2.379	-3.304	-363.51	2.415	5.028	-383.8	1.526	3.362	-350.88	2.44	3.478
19 ярус	-76.764	-0.894	-2.392	-222.28	0.956	-2.003	-369.7	0.919	3.116	-369.85	-2.062	4.586
20 ярус	-35.37	-0.427	-0.876	-57.56	-0.521	-1.583	-231.99	1.954	-2.711	-337.65	1.997	3.58
21 ярус	-32.11	0.257	-0.53	-40.675	-0.689	-1.181	-70.774	-0.845	-2.146	-192.77	0.585	-1.318
22 ярус	-24.54	0.305	-0.266	-29.93	0.319	-0.289	-39.006	-0.376	-0.655	-48.99	-0.496	-1.187
23 ярус	-23.29	-0.268	-0.251	-28.78	-0.282	-0.275	-36.88	-0.39	-0.448	-44.136	-0.567	-0.895
24 ярус	-19.23	0.265	-0.203	-23.218	0.277	0.213	-28.756	0.292	0.248	-33.194	0.305	-0.246
25 ярус	-18.869	-0.228	-0.188	-23.191	-0.229	-0.193	-29.391	-0.228	-0.215	-34.396	-0.242	-0.232
26 ярус	-14.744	0.248	-0.193	-17.054	0.251	-0.191	-20.252	0.256	-0.199	-23.45	0.263	-0.21
27 ярус	26.334	-0.169	-0.178	26.692	-0.17	-0.181	27.104	-0.173	-0.187	27.545	-0.183	-0.203
28 ярус	26.589	0.065	-0.386	26.802	0.323	-0.386	27.04	0.324	-0.387	27.26	0.326	-0.389
29 ярус	36.66	-0.245	-0.38	36.98	-0.246	-0.381	37.367	-0.248	-0.383	37.689	0.283	-0.385
30 ярус	-24.572	0.477	0.324	-29.171	0.582	0.329	-35.666	0.729	0.338	-40.748	0.845	0.371
верхн.к.	-204.16	-2.738	5.153	-205.39	-2.775	5.23	-207.37	-2.844	5.376	-209.437	2.94	0.056

Приложение 3.Продолжение

	21 стадия			22 стадия			23 стадия			24 стадия		
	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M
1 ярус	-472.31	-4.434	9.234	-478.235	-4.484	9.327	-484.95	-4.538	9.428	-489.79	-4.575	9.498
2 ярус	-454.164	-17.897	-9.842	-459.833	-18.119	-9.928	-466.24	-18.36	-10.019	-470.95	-18.522	-10.08
3 ярус	448.805	-16.334	-30.295	455.407	-16.552	-30.708	462.53	-16.79	-31.155	467.44	-16.95	-31.46
4 ярус	-421.212	-16.233	-9.043	-426.84	-16.46	-9.13	-433.2	-16.706	-9.223	-437.45	-16.871	-9.286
5 ярус	457.47	-14.337	-24.203	464.324	-14.548	-24.563	473.434	-14.778	-24.954	479.56	-14.932	-25.217
6 ярус	-441.963	-15.404	10.54	-448.28	-15.662	10.677	-455.372	-15.943	10.826	-459.791	-16.132	10.926
7 ярус	-447.83	-12.839	21.324	-454.74	-13.072	21.723	-462.463	-13.325	22.157	-467.67	-13.496	22.449
8 ярус	-431.16	-13.691	-11.447	-438.142	-13.964	-11.588	-445.92	14.239	-11.739	-450.59	-14.451	-11.854
9 ярус	-435.8	-11.58	-18.322	-443.497	-11.83	-18.717	-452.017	-12.102	-19.147	-457.22	-12.284	-19.435
10 ярус	-419.67	10.981	-11.29	-427.38	-11.289	-11.498	-435.79	-11.605	-11.725	-441.195	-11.815	-11.876
11 ярус	-402.74	-10.024	15.185	-411.295	-10.296	15.61	-420.66	-10.592	16.072	-426.23	-10.79	16.382
12 ярус	-381.4	-7.954	10.27	-390.38	8.237	10.475	-399.97	7.506	10.7	-406.07	-8.789	10.85
13 ярус	-359.48	-7.424	11.116	-369.73	-7.712	11.551	-380.45	-8.024	12.023	-387.41	-8.3232	12.338
14 ярус	-335.082	7.284	-9.872	-345.75	7.487	-10.147	-357.26	7.712	-10.454	-364.497	7.862	-10.659
15 ярус	-306.71	-8.03	-11.18	-318.061	-8.478	-11.763	-331.59	-8.958	-12.407	-340.44	-9.277	12.869
16 ярус	-274.017	7.863	9.953	-287.221	8.275	10.562	-301.514	8.731	11.215	-310.92	9.038	11.649
17 ярус	-227.03	-3.937	-5.305	-241.68	-4.247	-5.709	-257.39	-4.596	-6.179	-267.66	-4.823	-6.497
18 ярус	-307.56	3.434	4.168	-288.67	3.763	4.514	-270.27	4.065	4.902	-258.55	4.257	5.139
19 ярус	-321.64	-2.333	3.764	-293.75	-2.467	3.718	-266.53	-2.714	4.083	-250.163	-2.957	4.378
20 ярус	-350.32	1.514	2.476	-327.6	2.093	2.566	-298.914	2.662	2.944	-282.267	2.947	3.265
21 ярус	-318.143	-0.802	2.289	-315.425	-1.627	3.047	-279.84	-1.754	2.556	-253.09	-1.818	2.514
22 ярус	-182.002	1.3	-1.876	-252.896	1.286	1.933	-259.34	1.069	1.36	-236.632	1.598	-1.761
23 ярус	-60.043	-0.718	-1.628	-127.98	0.469	-0.93	-210.765	-1.224	2.27	-205.509	-1.329	1.891
24 ярус	-40.76	-0.342	-0.365	-48.141	-0.419	-0.634	-139.66	1.232	1.596	-198.192	0.782	1.25
25 ярус	-41.79	-0.3	-0.314	-47.35	-0.393	-0.546	-59.79	-0.5	-0.997	-105.329	0.324	-0.565
26 ярус	-28.031	0.274	-0.232	-31.013	0.281	-0.245	-36.21	0.298	-0.414	-43.459	-0.319	-0.461
27 ярус	-30.808	-0.197	-0.225	-34.59	-0.21	-0.238	47.209	-0.277	-0.403	-46.416	-0.314	-0.485
28 ярус	27.61	0.137	-0.392	28.2	0.334	-0.392	34.618	0.335	-0.387	-34.331	0.312	-0.38
29 ярус	-41.506	0.338	-0.387	-45.479	-0.371	-0.388	-51.466	0.427	-0.383	-56.744	-0.468	-0.378
30 ярус	-47.994	1.009	0.438	-52.735	1.115	0.482	-59.86	1.275	0.548	-66.018	1.411	0.605
верхн.к.	-212.62	3.448	6.852	-215.23	-3.765	7.536	-217.84	-4.264	8.562	-221.95	4.707	9.468

Приложение 3.Продолжение

	25 стадия			26 стадия			27 стадия			28 стадия		
	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M
1 ярус	-492.65	-4.605	9.563	-494.61	-4.624	9.603	-496.46	-4.647	9.653	-496.83	-4.657	9.673
2 ярус	-473.64	-18.658	-10.134	-475.51	-18.74	-10.163	-477.25	18.814	-10.197	-477.59	-18.885	-10.21
3 ярус	470.97	-17.081	-31.71	473.257	-17.162	-31.86	475.46	-17.261	-32.051	-472.95	-17.303	-32.13
4 ярус	-440.17	-17.01	-9.335	-441.95	-17.091	-9.36	-443.64	17.174	-9.392	-443.965	-17.235	-9.404
5 ярус	484.62	-15.058	-25.434	487.7	-15.136	-25.57	491.458	-15.23	-25.726	493.01	-15.268	-25.792
6 ярус	-462.83	-16.286	11.01	-462.73	-16.38	11.057	-466.61	-16.493	11.118	-466.99	-16.54	11.142
7 ярус	-470.44	-13.633	22.684	-472.58	-13.718	22.83	-474.7	-13.82	23.001	-475.142	-13.86	23.071
8 ярус	-453.85	-14.608	-11.946	-455.86	-14.7	-12.002	-457.897	-14.818	-12.069	-458.31	-14.864	-12.1
9 ярус	-460.89	-12.43	-19.67	-462.96	-12.518	-19.81	-465.16	-12.624	-19.975	-465.62	-12.66	-20.042
10 ярус	-444.96	-11.982	-11.996	-446.84	-12.085	-12.07	-448.97	-12.206	-12.156	-449.44	-12.253	-12.19
11 ярус	-430.2	-10.945	16.625	-432.42	-11.04	16.774	-434.78	-11.152	16.95	-435.25	-11.196	17.017
12 ярус	-409.71	-8.957	10.968	-412.06	-9.06	11.04	-414.68	-9.181	11.125	-415.31	-9.228	11.157
13 ярус	-391.49	-8.394	12.583	-393.58	-8.49	12.732	-396.512	-8.608	12.907	-397.77	-8.65	12.973
14 ярус	-369.17	7.979	-10.818	-372.58	8.051	-10.916	-376.42	8.135	-11.029	-377.74	8.166	-11.071
15 ярус	-346.88	-9.525	13.245	-350.79	-9.678	13.477	-355.2	-9.856	13.747	-356.715	-9.922	13.848
16 ярус	-317.69	9.275	11.985	-321.83	9.421	12.192	-326.45	9.589	12.432	-328.006	9.652	12.521
17 ярус	-274.92	-4.99	-6.739	-279.31	-5.098	-6.887	-284.179	-5.219	-7.058	-285.79	-5.263	-7.12
18 ярус	-249.7	4.405	5.313	-245.5	4.497	5.42	-246.322	4.603	5.543	-247.94	4.64	5.588
19 ярус	-238.24	-3.138	4.632	-230.96	-3.244	4.776	-224.61	-3.364	4.936	-222.384	-3.407	4.992
20 ярус	-271.23	3.119	3.478	-264.72	3.221	3.598	-257.23	3.342	3.734	-254.56	3.385	3.782
21 ярус	-235.93	-1.97	2.679	-226.38	-2.083	2.842	-215.69	-2.211	3.017	-211.91	-2.253	3.073
22 ярус	-218.65	1.897	-2.213	-209.16	2.047	-2.374	-199.43	2.19	-2.517	-196.161	2.239	-2.569
23 ярус	-182.09	-1.399	1.624	-166.86	-1.426	1.626	-151.771	-1.555	1.797	-147.07	-1.61	1.871
24 ярус	-198.56	-0.509	1.005	-183.22	1.005	1.045	-164.77	1.355	1.193	-159.59	1.59	-1.58
25 ярус	-168.54	-0.486	1.169	-160.14	-0.897	1.516	-130.07	-0.989	1.244	-121.32	-1.053	1.257
26 ярус	-97.011	0.666	-0.754	-149.41	0.674	1.017	-147.32	0.619	0.732	-127.8	0.887	-0.754
27 ярус	-55.02	-0.364	-0.71	-88.821	-0.232	-0.484	-150.94	-0.482	0.945	-139.29	-0.687	1.174
28 ярус	-37.447	0.238	-0.418	-40.008	-0.223	-0.539	-80.425	0.683	-0.822	-121.88	0.704	0.706
29 ярус	-62.06	0.524	-0.423	-67.56	0.572	-0.546	-75.067	0.634	-0.782	-79.48	0.605	-0.592
30 ярус	-72.08	1.55	0.668	-78.483	1.697	0.731	-88.71	-0.499	0.813	-92.29	1.977	0.838
верхн.к.	-225.85	5.135	10.443	-228.99	5.581	11.41	-225.05	6.255	12.677	-232.84	6.565	-13.201

Приложение 3.Продолжение

	29 стадия			30 стадия			Расчетные усилия		
	N	Q	M	N	Q	M	N	Q	M
1 ярус	-494.98	-4.69	9.74	-476.88	3.27	8.26	-496.83	4.69	9.74
2 ярус	-475.74	-19.023	-10.265	-458.29	17	-33.71	-477.59	19.023	33.71
3 ярус	-470.954	-17.433	-32.38	-454.94	-14.1	-24.48	475.46	17.433	32.38
4 ярус	-442.29	-17.357	-9.449	-428.51	15.37	27.44	-443.965	17.357	27.44
5 ярус	495.504	-15.375	-25.976	-464.72	12.25	22.13	495.504	15.375	25.976
6 ярус	-465.624	-16.662	11.209	-456.91	-14.76	24.49	-466.99	16.662	835
7 ярус	-473.81	-13.962	23.246	-467.53	11.11	-19.79	-475.142	13.962	23.246
8 ярус	-457.16	14.958	-12.158	-452.81	-13.18	-21.22	-458.31	14.958	21.22
9 ярус	-464.8	-12.762	-20.195	-461.17	-10.59	-17.69	-465.62	12.762	20.195
10 ярус	-448.93	12.358	12.262	-447.76	10.91	18.95	-449.44	12.358	18.95
11 ярус	-434.63	-11.287	17.154	-434.29	9.23	14.65	-435.25	11.287	17.154
12 ярус	-414.69	-9.322	11.224	-414.34	8.32	12.35	-415.31	9.322	12.35
13 ярус	-398.46	-8.736	13.096	-398.2	-7	11.11	-398.46	8.736	13.096
14 ярус	-378.82	8.215	-11.132	-378.75	7.44	-10.37	-378.82	8.215	11.132
15 ярус	-358.2	-10.025	14.013	-358.26	-9.47	-14.07	-358.26	10.025	14.07
16 ярус	-328.91	9.748	12.66	-328.74	-8.37	10.16	-381.16	9.748	12.66
17 ярус	-286.85	-5.328	-7.208	-286.77	-4.09	5.39	-348.28	5.328	476
18 ярус	-249.241	4.701	5.66	-249.31	4.26	4.94	-383.8	4.701	5.66
19 ярус	-219.194	-3.47	5.075	-249.47	0.18	-0.64	-369.85	3.47	5.075
20 ярус	-250.63	3.448	3.855	-249.47	0.18	-0.04	-350.32	3.448	3.855
21 ярус	-208.414	-2.346	3.148	-204.53	0.15	0.02	-318.143	2.346	3.148
22 ярус	-191.64	2.392	-2.638	-190.35	-0.12	0.06	-259.34	2.392	2.638
23 ярус	-140.49	-1.673	1.97	-152.03	-0.08	0.01	-210.765	1.673	2.27
24 ярус	-153.58	1.731	-1.757	-152.03	0.08	0.01	-198.56	1.731	1.757
25 ярус	-111.04	-1.202	1.448	-108.52	0.07	-0.01	-168.54	1.202	1.516
26 ярус	-102.22	1.237	-1.167	-89.42	0.05	-0.01	-149.41	1.237	1.167
27 ярус	-101.63	-0.81	1.07	-81.56	0.04	0.07	-150.94	0.81	1.174
28 ярус	-113.49	0.702	0.592	-68.44	-0.03	0.03	-121.88	0.704	0.822
29 ярус	-119.5	-0.487	0.795	-62.18	-0.03	0.15	-119.5	0.634	0.795
30 ярус	-93.857	-1.54	-0.99	-53.84	0.38	0.34	-93.857	1.977	0.99
верхн.к.	-292.502	7.092	-15.378	-237.67	0.11	-13.67	-292.502	7.092	15.378

Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального купаса купола диаметром 100м

Актуальность:

25 января 1985г в г.Истре обрушился купол Высоковольтного испытательного стенда. Это было поистине уникальное здание. Его диаметр составлял 236,5м, а высота – 118,4м.

При поиске причин данной трагедии были выявлены ошибки при изготовлении и монтаже элементов купола. Было установлено, что некоторые стержни теряли свою устойчивость в процессе монтажа и выходили из пространственной работы конструкции купола.

Чтобы исключить подобную ситуацию в дальнейшем целесообразно учитывать процесса монтажа на стадии проектирования. Таким образом, в современных стандартах указывается необходимость учета монтажных нагрузок. Особенно этот момент важен, когда речь идет об уникальных зданиях и сооружениях. Из-за нестандартных решений эти объекты должны наиболее тщательно рассчитываться.

Научная новизна исследования:

Влияние монтажных нагрузок на стальные каркасы зданий и сооружений рассматривалось в работах Е.В. Лебеда, А.В. Осиповой, А.М. Югова. В их исследованиях были проанализированы общие принципы работы стальных куполов, проведен анализ НДС элементов каркасов во время монтажа, а также изучены перемещения узлов при монтажных нагрузках.

В отличие от вышеперечисленных работ, в данном исследовании рассмотрены этапы жизни здания от транспортировки элементов с завода до полного возведения каркаса, чтобы проследить, какое напряженно–деформированное состояние возникает в элементах стального каркаса звездчатого купола в период монтажа навесным способом, а также при транспортировке и складировании элементов. В работе проанализирована работа каркаса купола при двух схемах монтажа:

- при первой схеме ограждающие конструкции возводятся одновременно с несущим каркасом;*
- по второй схеме монтаж ограждающих конструкций происходит после завершения работ по устройству несущего каркаса.*

Цель выпускной квалификационной работы:

исследовать напряженно–деформированное состояние элементов стального купола диаметром 100м на подготовительном этапе и на этапе монтажа.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разобрать существующие конструктивные решения купольных покрытий;*
- проанализировать существующие технологии монтажа куполов;*
- изучить особенность учета монтажных нагрузок при проектировании несущих элементов купола;*
- разработать конструктивные решения сетчатого купола без учета особых видов воздействий;*
- определить влияние процесса транспортировки, складирования и монтажа на напряженно–деформированное состояние элементов конструкции;*
- разработать конструктивные решения сетчатого купола с учетом монтажных нагрузок;*
- проанализировать полученные результаты.*

Гипотеза исследования:

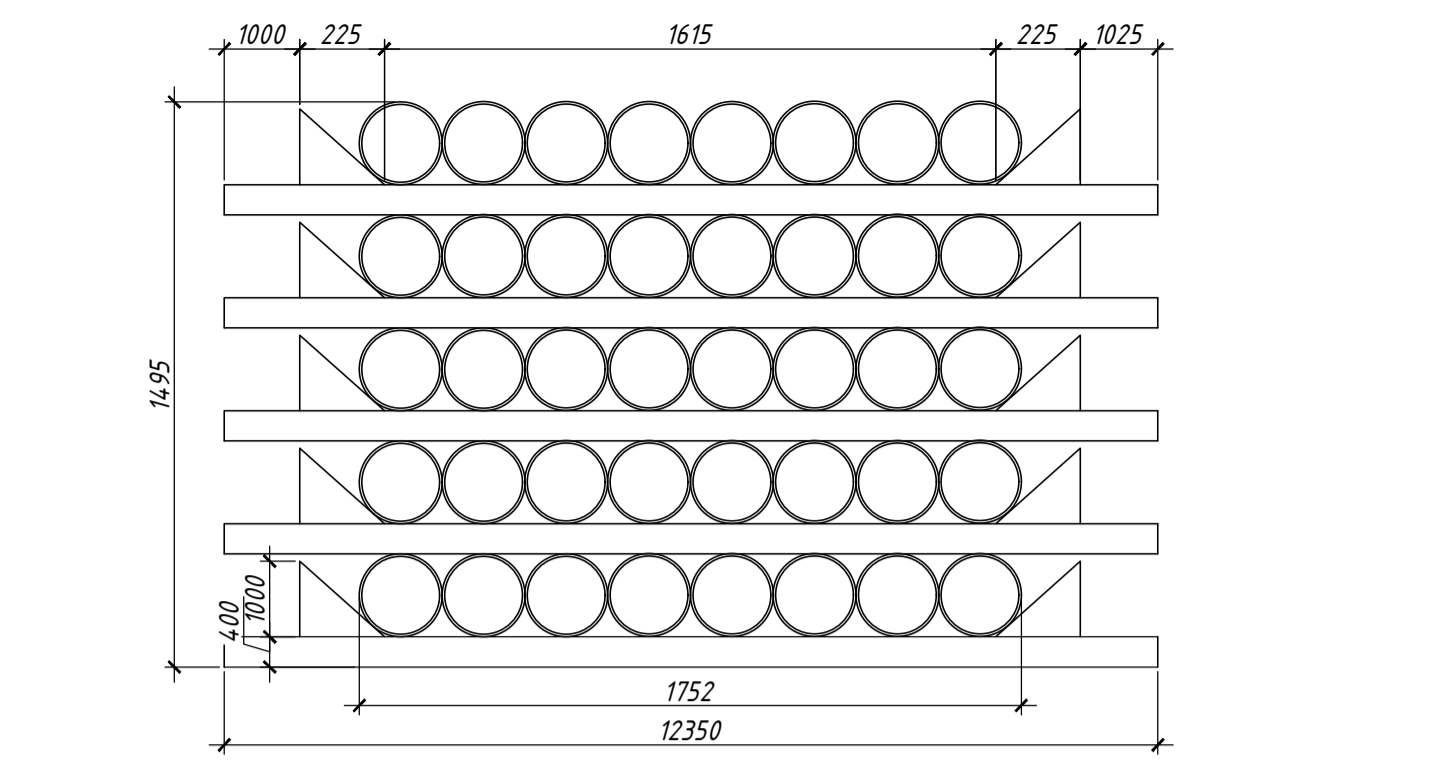
В процессе монтажа усилия в элементах превышают усилия в проектом положении, что может привести к потере устойчивости и снижению прочности.

Практическая значимость:

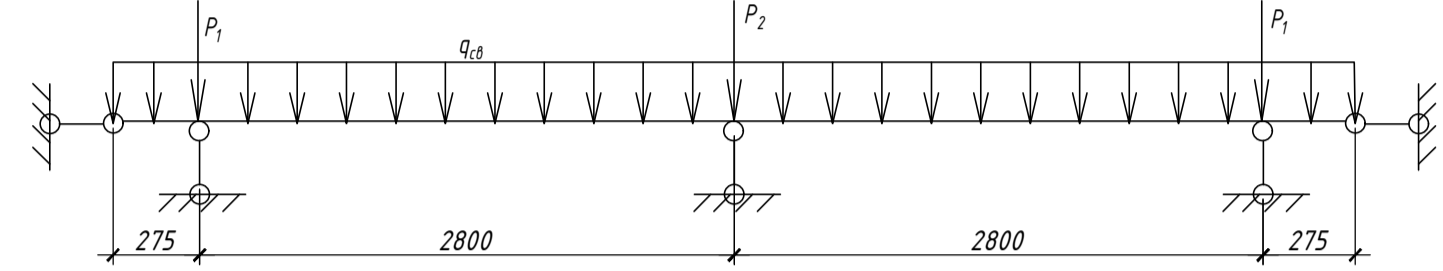
Результат данной работы поможет оценить, в каких случаях при возведении зданий несущая способность элементов может быть снижена. Это позволит сконцентрировать внимание проектировщиков на учете особых нагрузок (в частности возникающих при монтаже и на подготовительном этапе).

ВКР 08.05.01–2020									
ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно–строительный институт									
Изм.	Кол.Ил.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100м	Стадия	Лист	Листов
Выполнил	Львено КА						у	1	14
Консультант	Фролова АВ								
Эксподиректор	Фролова АВ								
Н.к.к.т.р.оль	Фролова АВ					Актуальность, научная новизна, цель и задачи, гипотеза, практическая значимость	Кафедра СКВС		
Зав.кафедрой	Лебедев СВ								

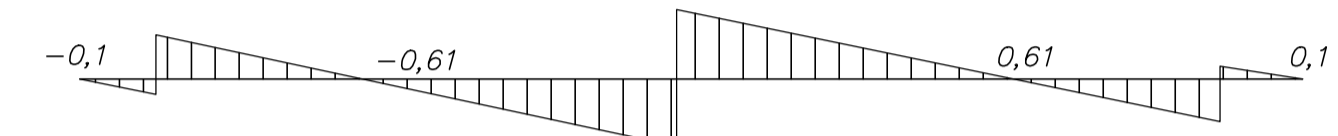
Схема транспортировки и складирования труб большого сечения



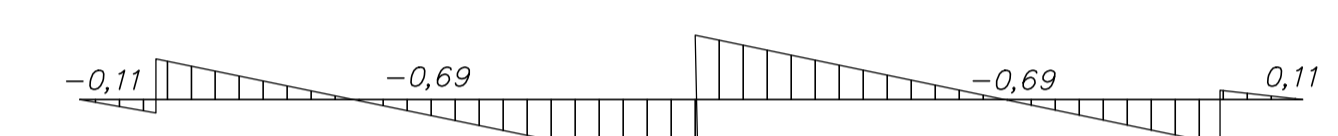
Расчетная схема работы труб большого диаметра при транспортировке и хранении



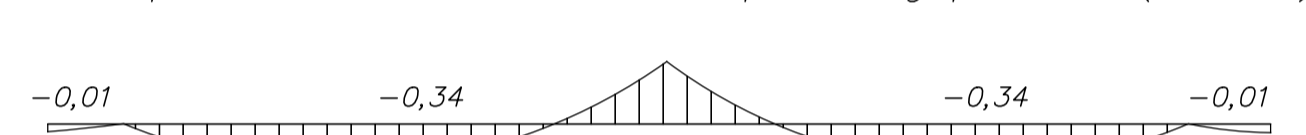
Эпюра поперечных сил при складировании (Q, кН)



Эпюра поперечных сил при транспортировке (Q, кН)



Эпюра изгибающих моментов при складировании (M, кНм)



Эпюра изгибающих моментов при транспортировке (M, кНм)

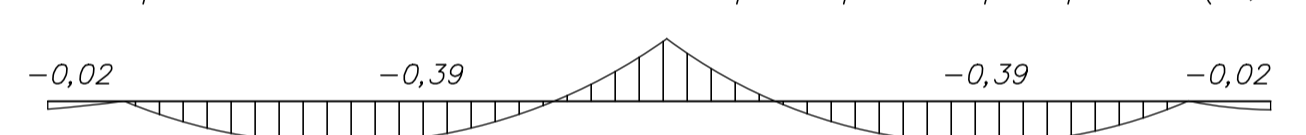
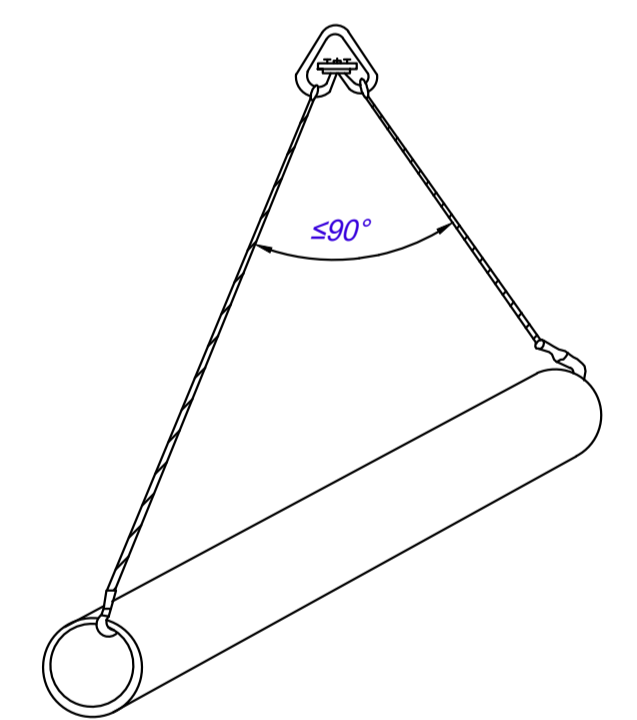
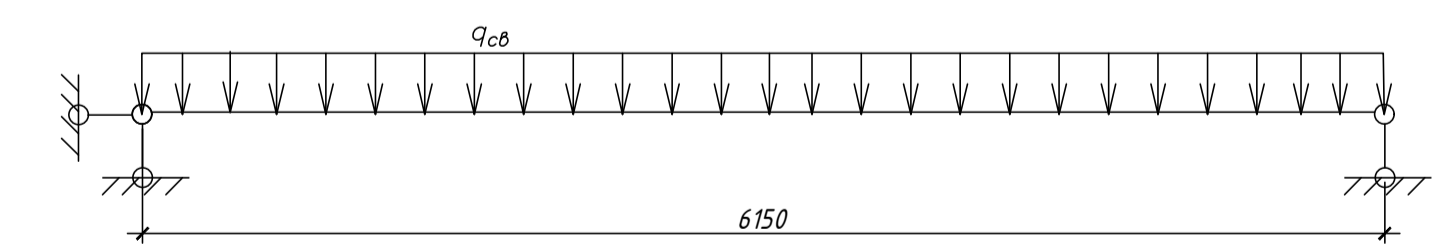


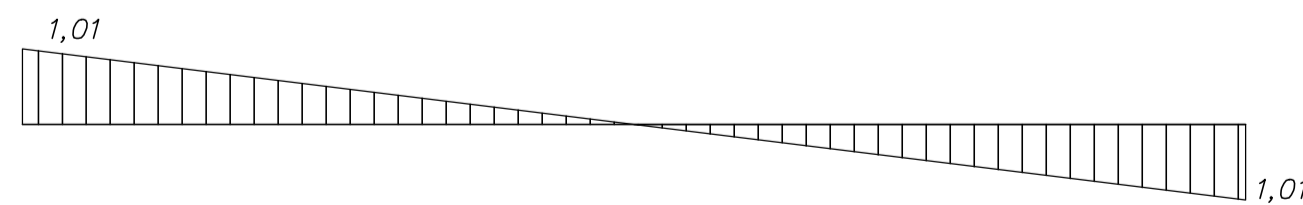
Схема строповки труб большого диаметра



Расчетная схема работы труб большого диаметра при подъеме



Эпюра поперечных сил при подъеме (Q, кН)



Эпюра изгибающих моментов при подъеме (M, кНм)

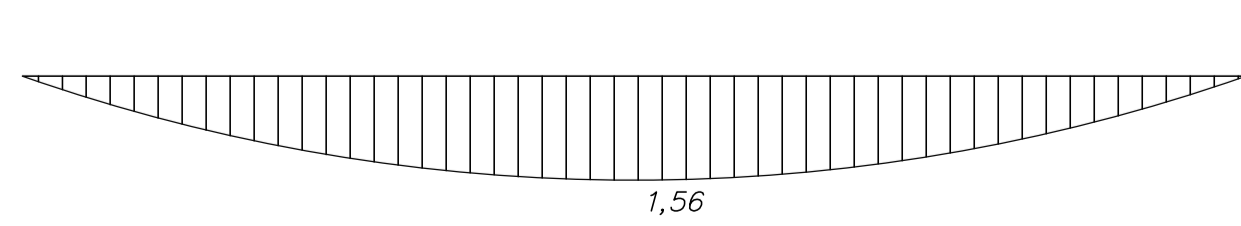
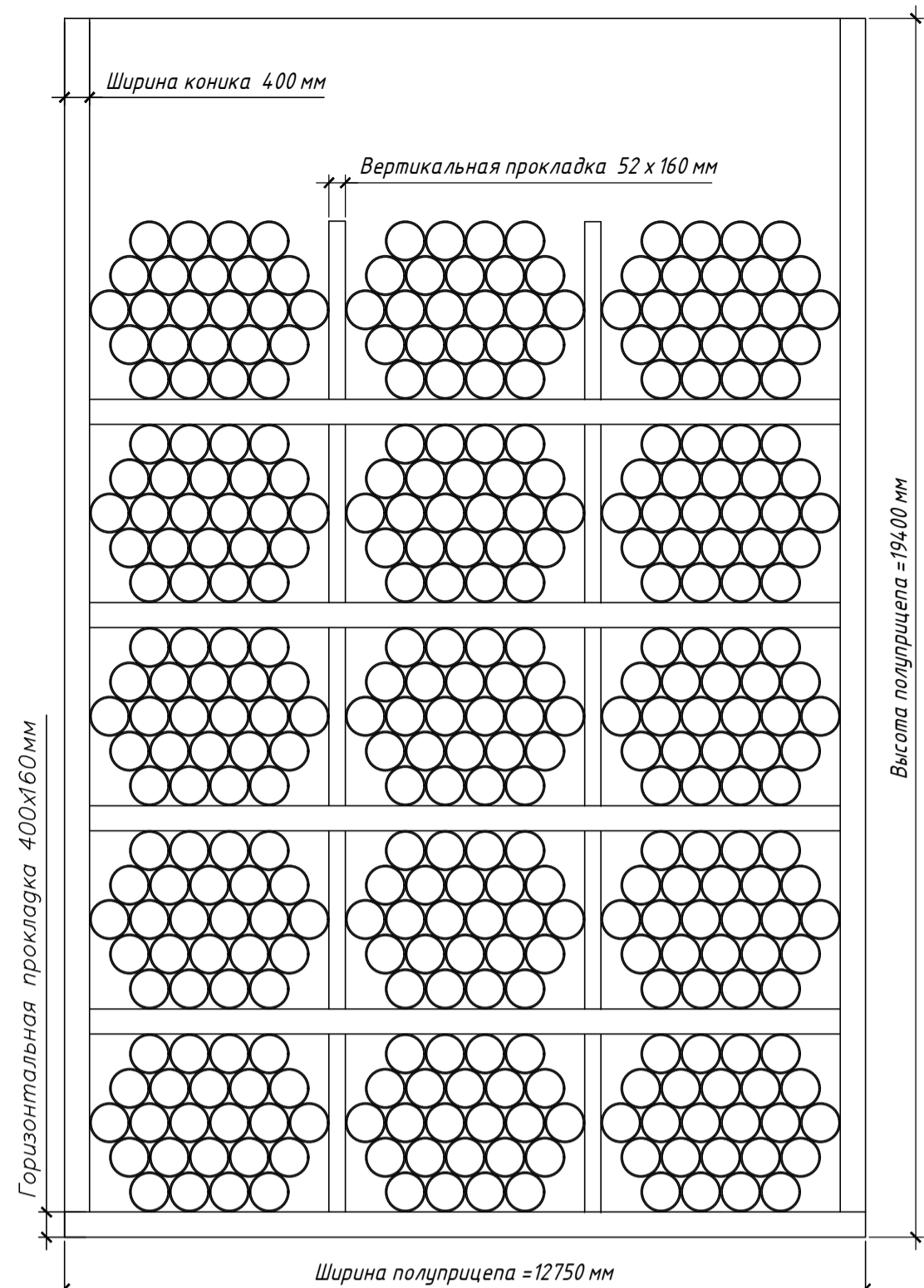
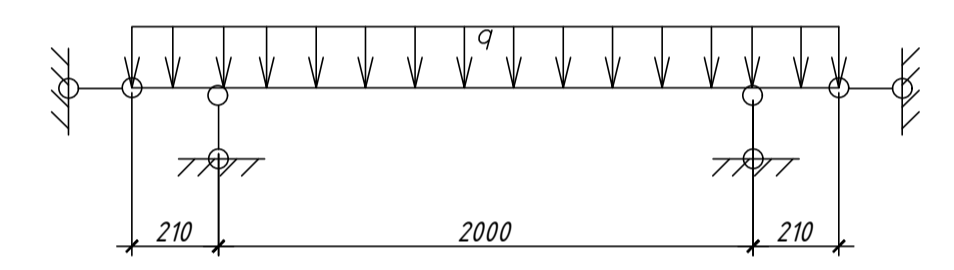


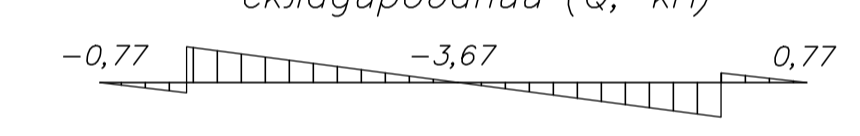
Схема транспортировки труб малого диаметра (менее 140 мм)



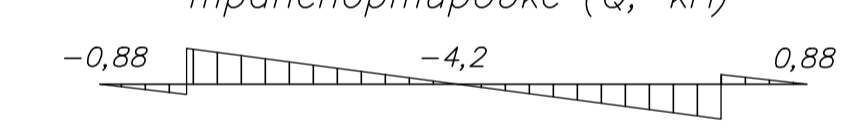
Расчетная схема работы труб малого диаметра при транспортировке и хранении



Эпюра поперечных сил при складировании (Q, кН)



Эпюра поперечных сил при транспортировке (Q, кН)



Эпюра изгибающих моментов при складировании (M, кНм)



Эпюра изгибающих моментов при транспортировке (M, кНм)

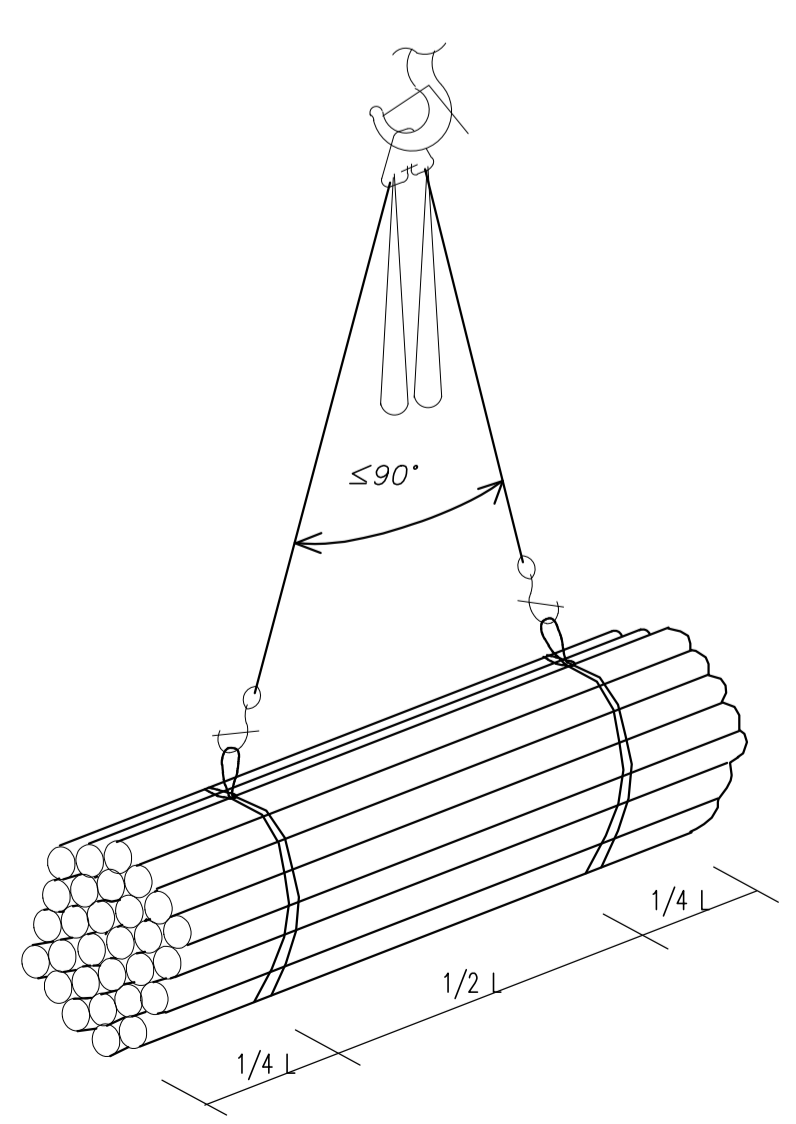
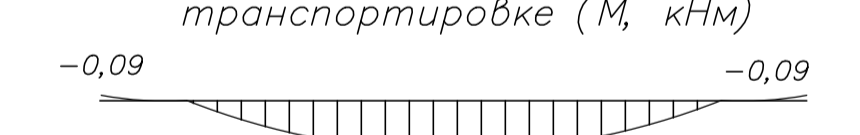


Схема строповки укрупненного элемента купола (2-30 ярус)

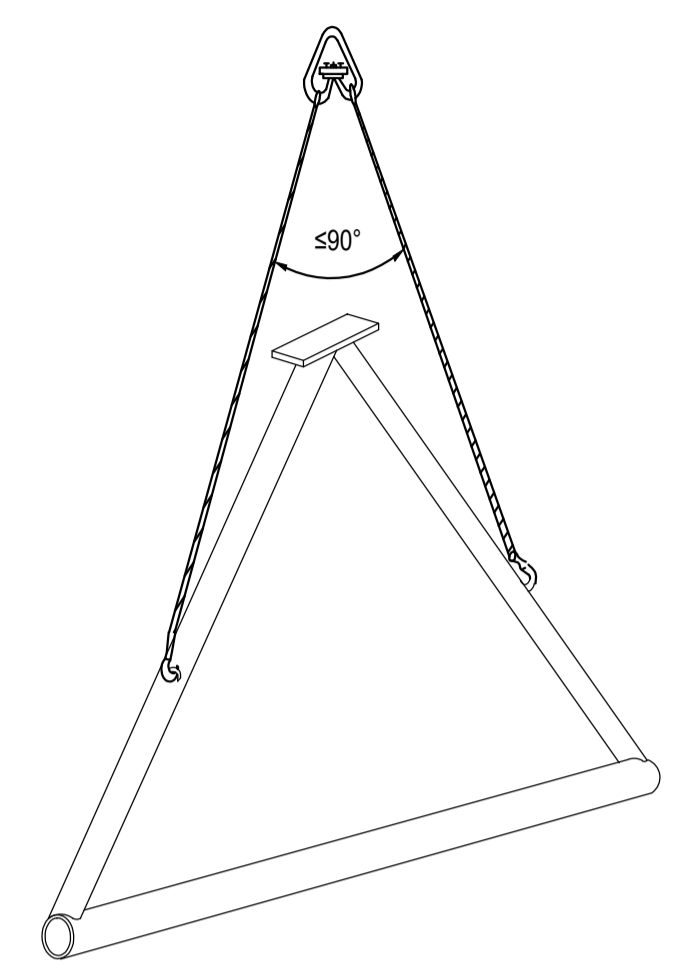
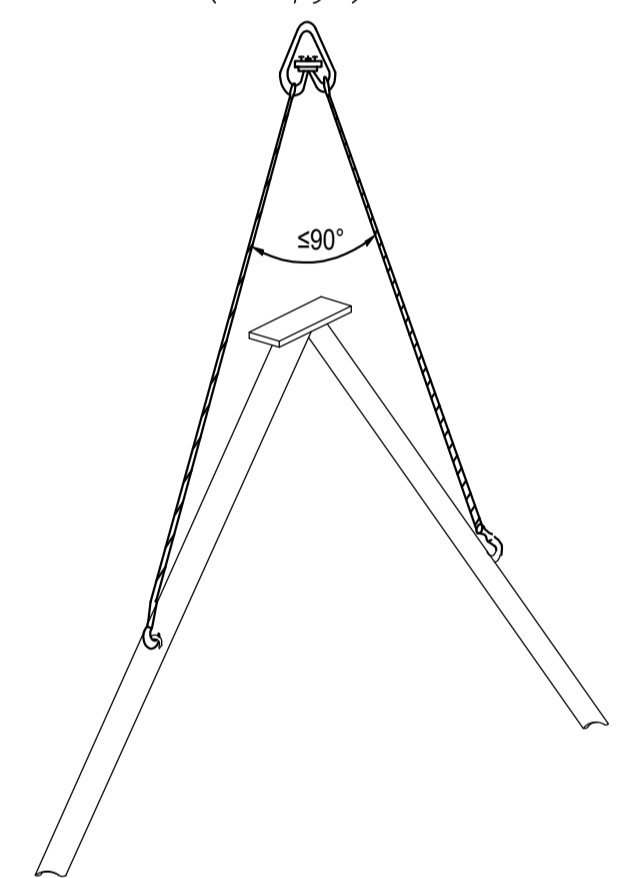
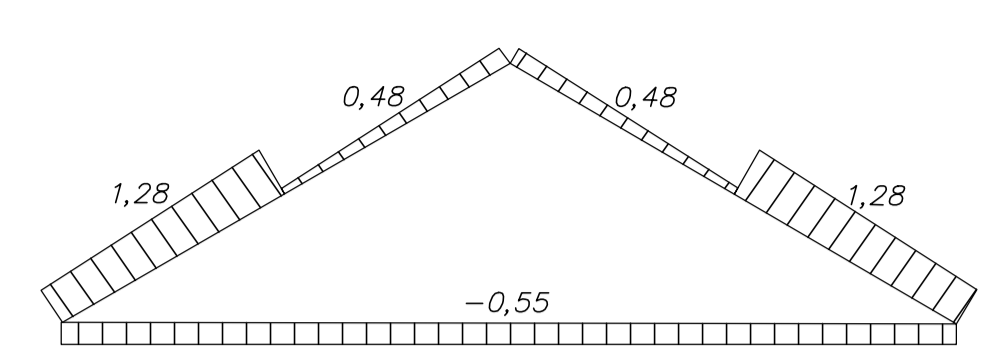


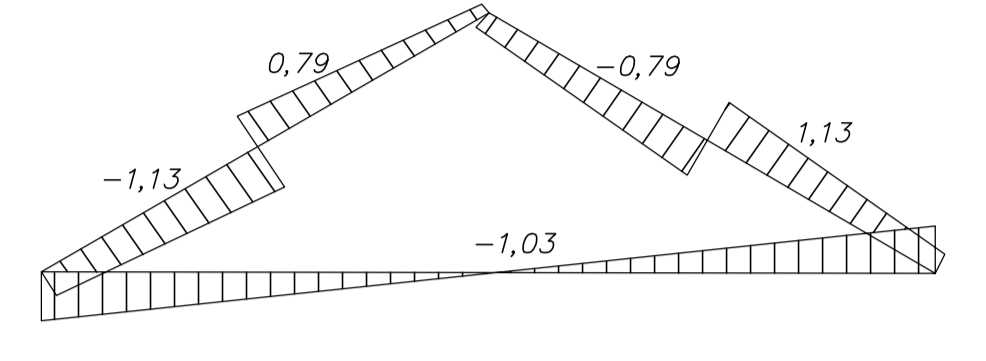
Схема строповки укрупненного элемента купола (1 ярус)



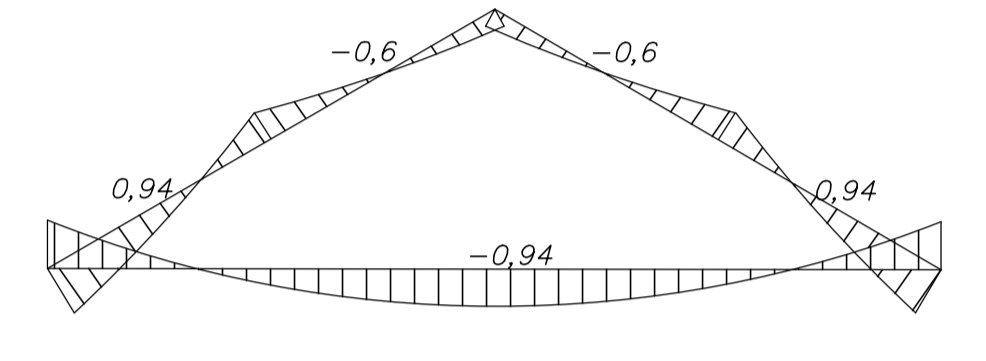
Эпюра продольных сил при подъеме (N, кН)



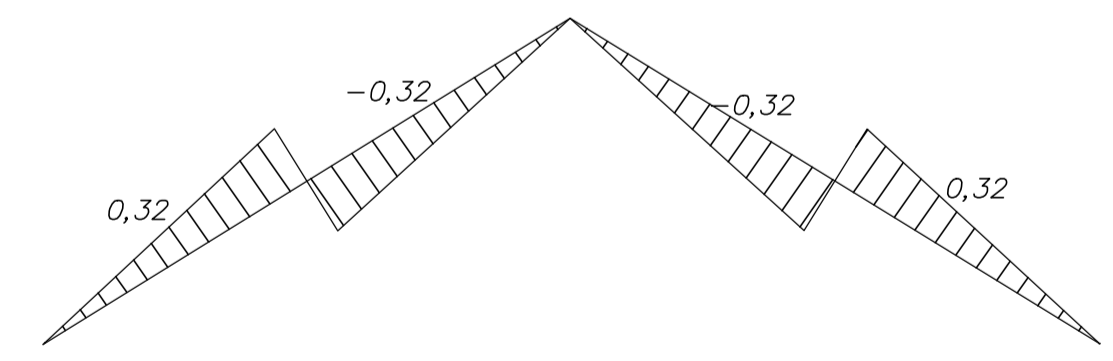
Эпюра поперечных сил при подъеме (Q, кН)



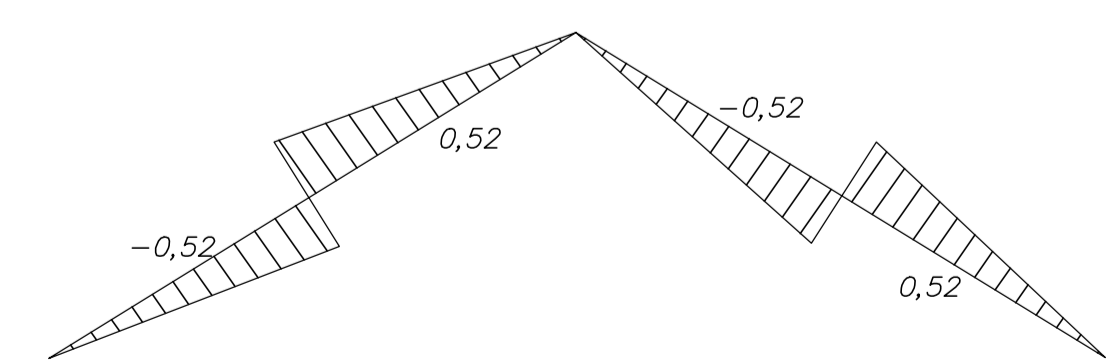
Эпюра изгибающих моментов при подъеме (M, кНм)



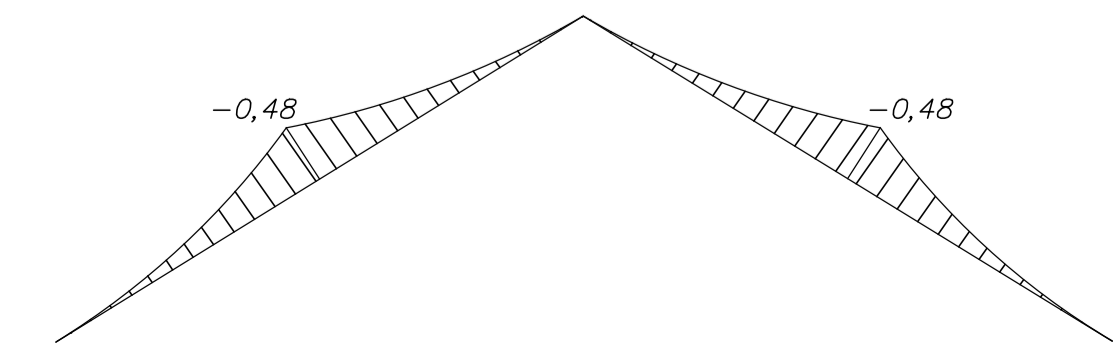
Эпюра продольных сил при подъеме (N, кН)



Эпюра поперечных сил при подъеме (Q, кН)



Эпюра изгибающих моментов при подъеме (M, кНм)

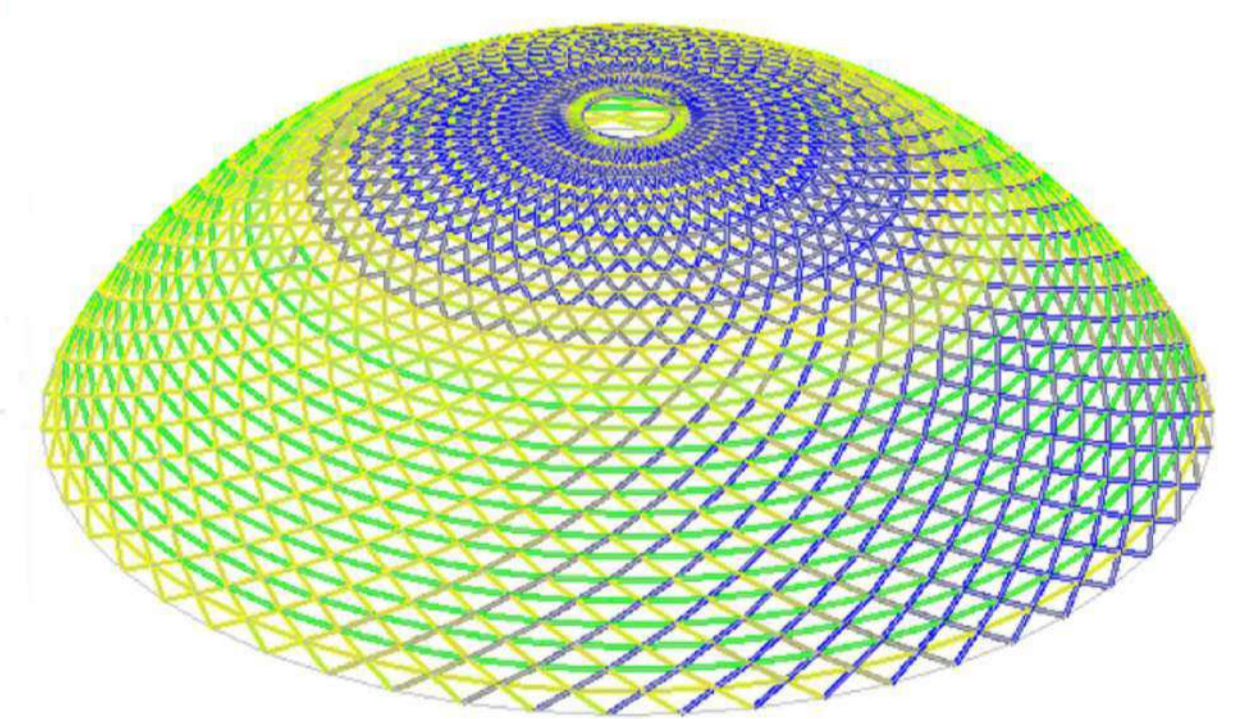


Ведомость элементов сетчатого купола

Марка элемента	Сечение		Усилия для прикрепления			Наименование или марка металла	Примечание
	Эскиз	Поз	Состав	Q, кН	N, кН		
K1	I		I 18Б1	0,11	-237,67	13,67	S345
C1	O		O 194x5	3,27	-476,68	8,26	09Г2С
C2	O		O 219x6,5	17,0	-458,29	33,71	09Г2С
C3	O		O 219x6,5	14,1	-454,94	24,48	09Г2С
C4	O		O 203x6,5	15,37	-428,51	27,44	09Г2С
C5	O		O 203x6,5	12,25	-464,72	22,13	09Г2С
C6	O		O 203x6,5	14,76	-456,91	24,49	09Г2С
C7	O		O 203x6	11,11	-467,53	19,79	09Г2С
C8	O		O 203x6	13,18	-452,81	21,22	09Г2С
C9	O		O 194x6	10,59	-461,17	17,69	09Г2С
C10	O		O 194x6	10,91	-447,76	16,95	09Г2С
C11	O		O 194x5	9,23	-434,29	14,64	09Г2С
C12	O		O 194x5	8,32	-414,34	12,38	09Г2С
C13	O		O 180x5	7,00	-398,2	11,11	09Г2С
C14	O		O 180x5	7,44	-378,75	10,37	09Г2С
C15	O		O 180x5	9,47	-358,26	14,07	09Г2С
C16	O		O 168x5	8,37	-328,74	10,16	09Г2С
C17	O		O 146x4,5	4,09	-286,77	5,39	09Г2С
C18	O		O 127x4,5	4,26	-249,31	4,94	09Г2С
C19	O		O 127x4	0,18	-249,47	0,64	09Г2С
C20	O		O 108x4	0,18	-249,47	0,04	09Г2С
C21	O		O 102x4	0,15	-204,53	0,02	09Г2С
C22	O		O 95x3,5	0,12	-190,35	0,06	09Г2С
C23	O		O 89x3,5	0,08	-152,03	0,01	09Г2С
C24	O		O 73x4	0,08	-152,03	0,01	09Г2С
C25	O		O 76x3,5	0,07	-108,52	0,01	09Г2С
C26	O		O 68x3	0,05	-89,42	0,01	09Г2С
C27	O		O 70x3	0,04	-81,56	0,07	09Г2С
C28	O		O 54x3	0,03	-68,44	0,03	09Г2С
C29	O		O 63,5x3	0,03	-62,18	0,15	09Г2С
C30	O		O 60x3	0,38	-53,94	0,34	09Г2С

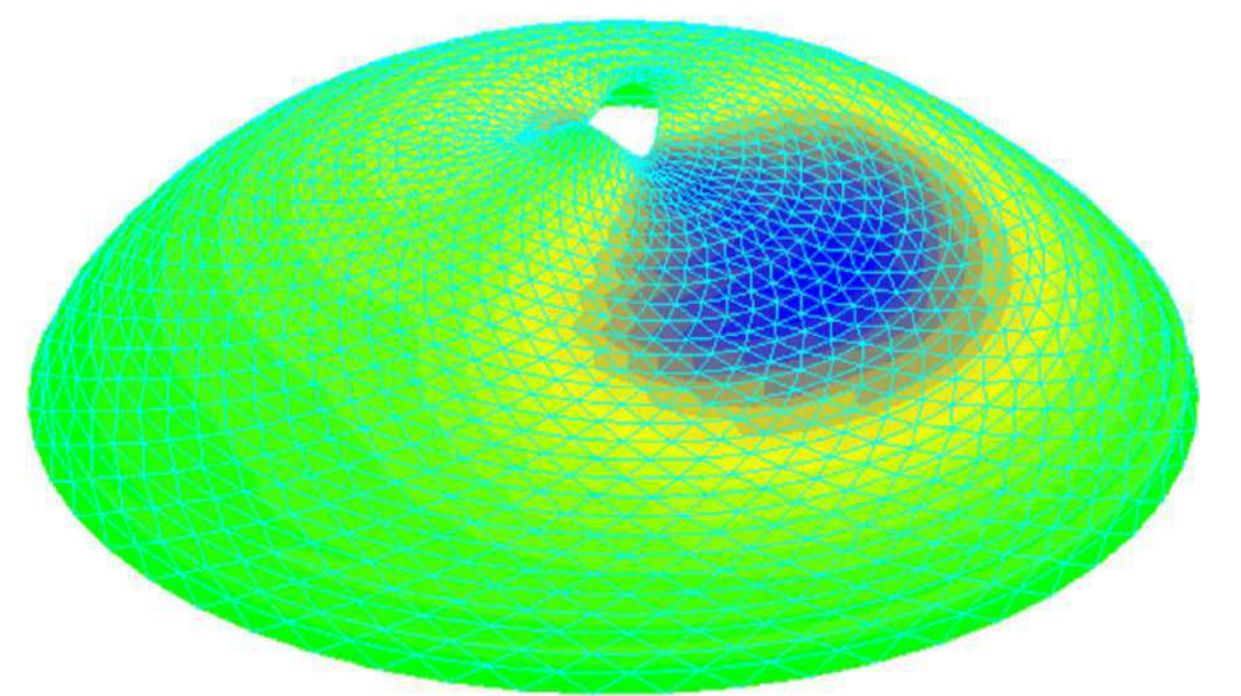
Результаты экспертизы сечений (критический фактор)

Критический фактор	Класс	
0.16	0.22	577
0.22	0.27	16
0.27	0.32	4
0.32	0.37	4
0.37	0.42	0
0.42	0.48	223
0.48	0.53	212
0.53	0.58	1153
0.58	0.63	256
0.63	0.68	236
0.68	0.73	132
0.73	0.79	180
0.79	0.84	236
0.84	0.89	445
0.89	0.94	620
0.94	0.99	206



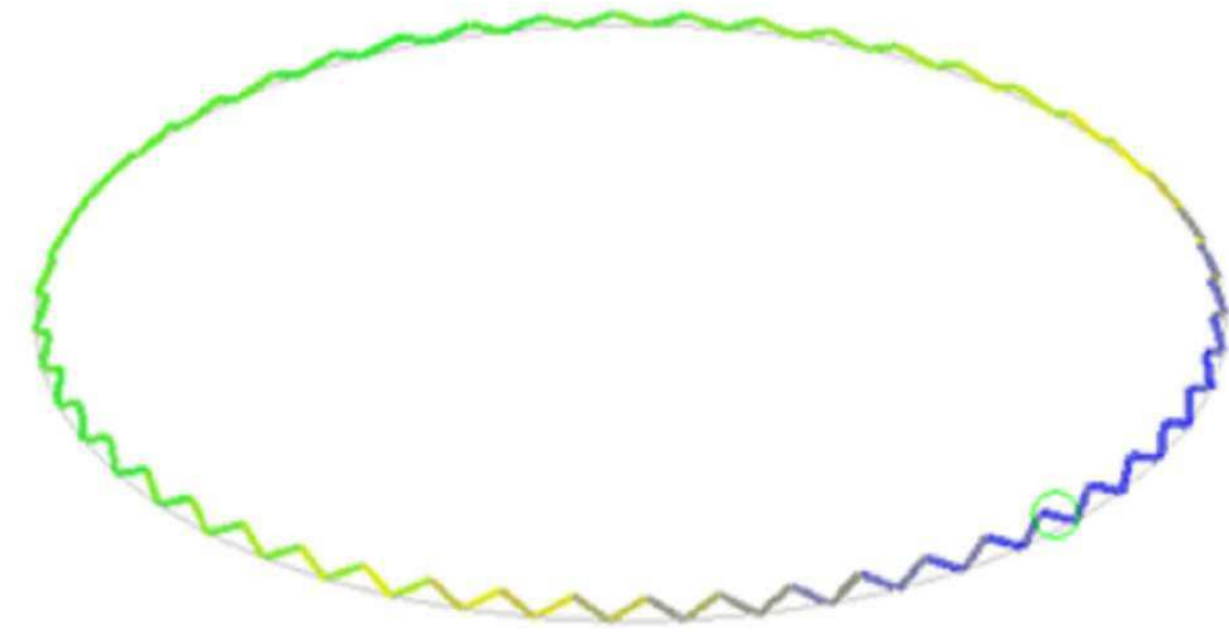
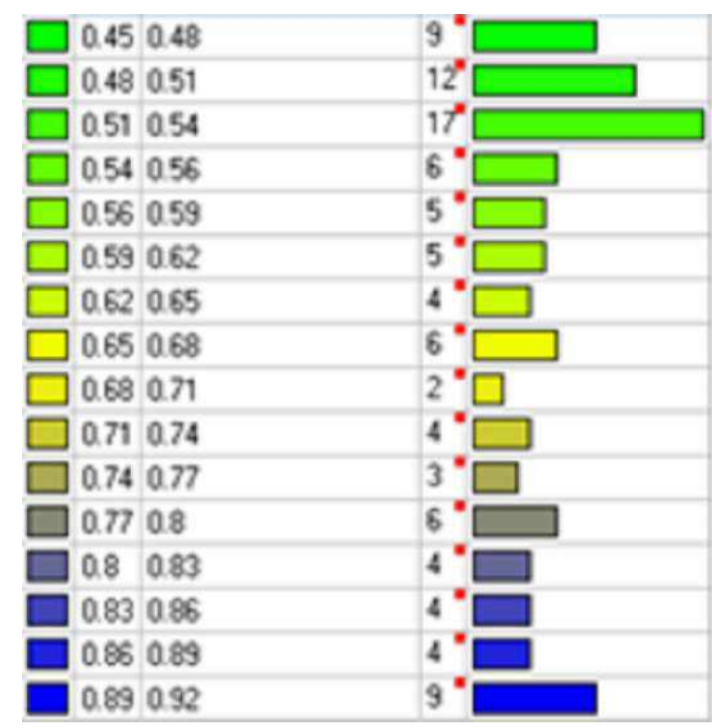
Деформированная схема (максимальные суммарные перемещения), см

см	см
0	0.92
0.92	1.85
1.85	2.77
2.77	3.69
3.69	4.62
4.62	5.54
5.54	6.46
6.46	7.39
7.39	8.31
8.31	9.23
9.23	10.16
10.16	11.08
11.08	12
12	12.93
12.93	13.85
13.85	14.77

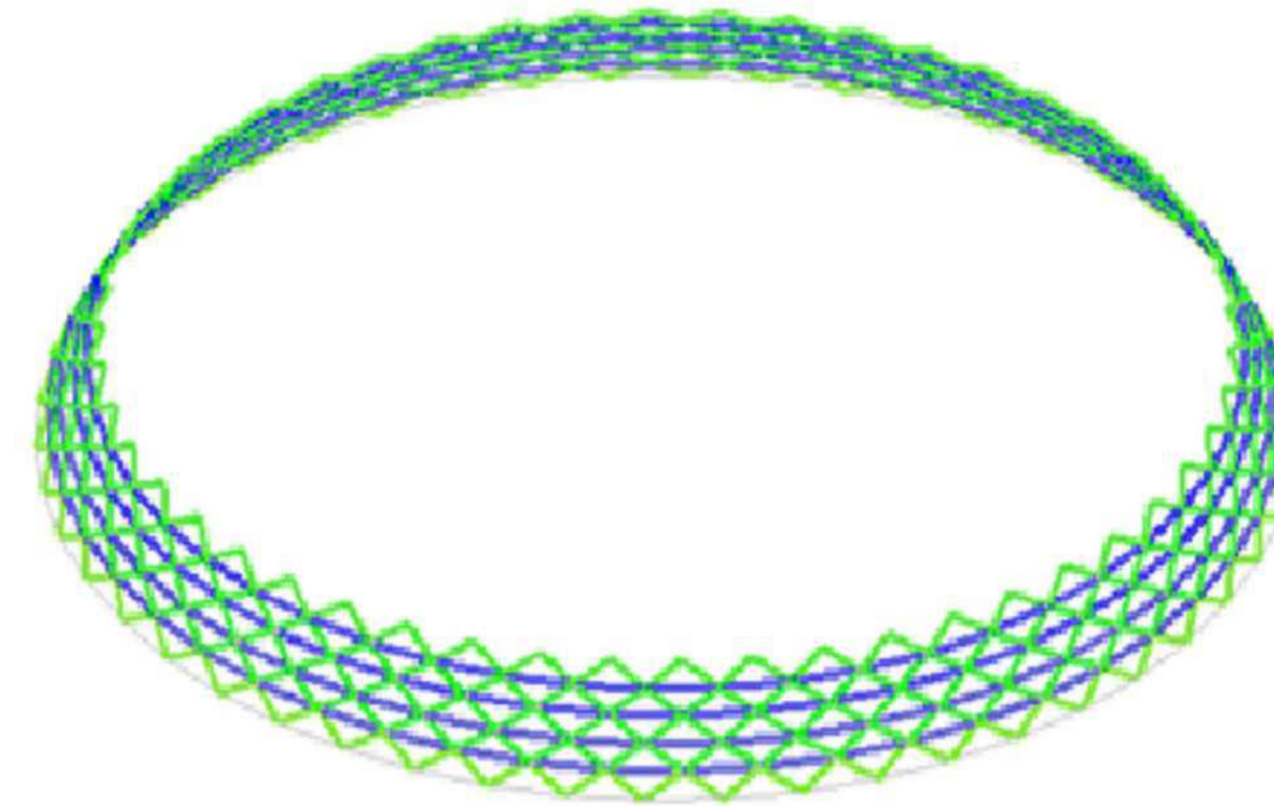


ВКР 08.05.01-2020					
ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет"					
Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол.Ил.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Выполнил	Львенов КА				
Консультант	Фролова АВ				
Эксподитор	Фролова АВ				
Нач.кабинета	Фролова АВ				
Зав.кабинетом	Давыдов СВ				
Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100 м			Статия	Лист	Листов
Критический фактор			у	3	
Перемещения. Схема и усилия в элементах при транспортировке хранения и подъеме			Кафедра СКВС		

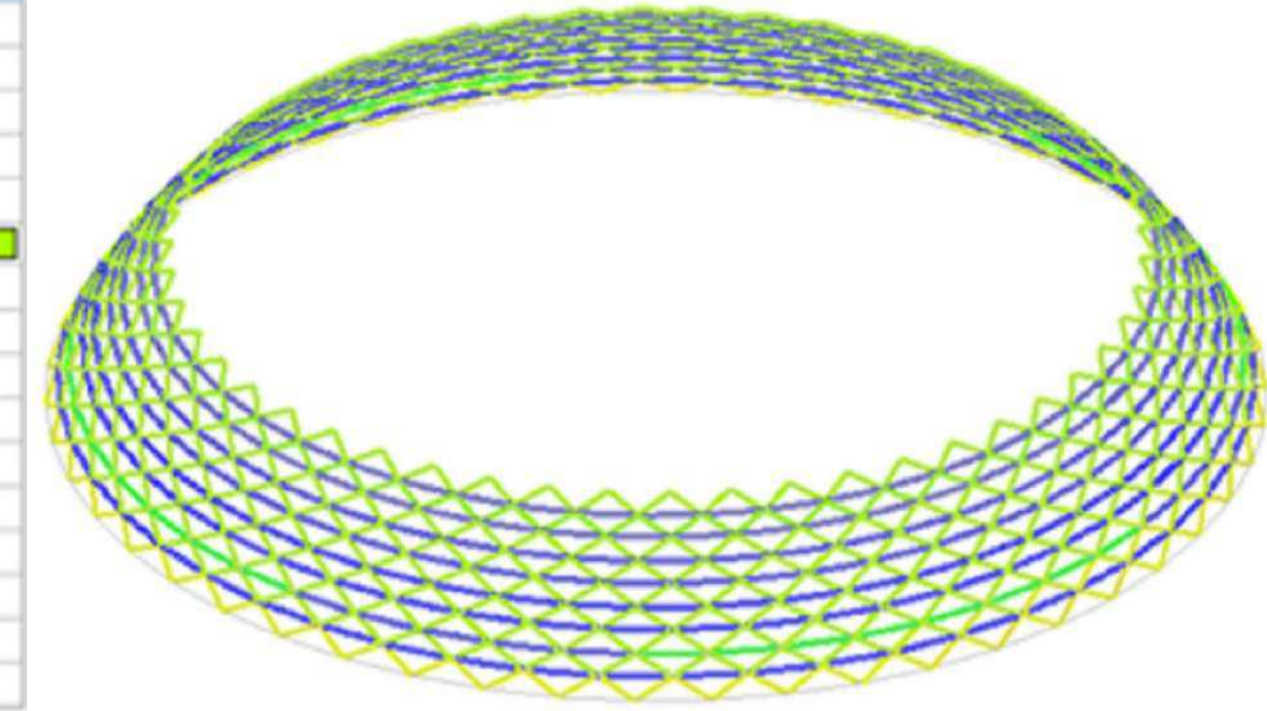
Проверка элементов купола 1 стадия, 1 схема



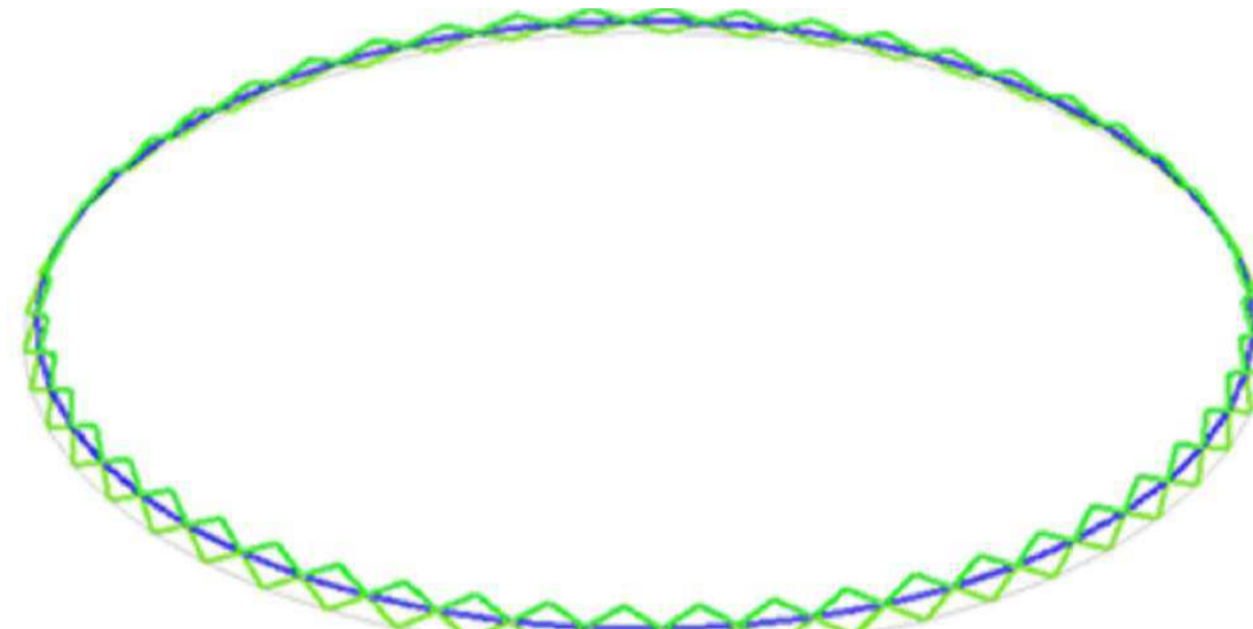
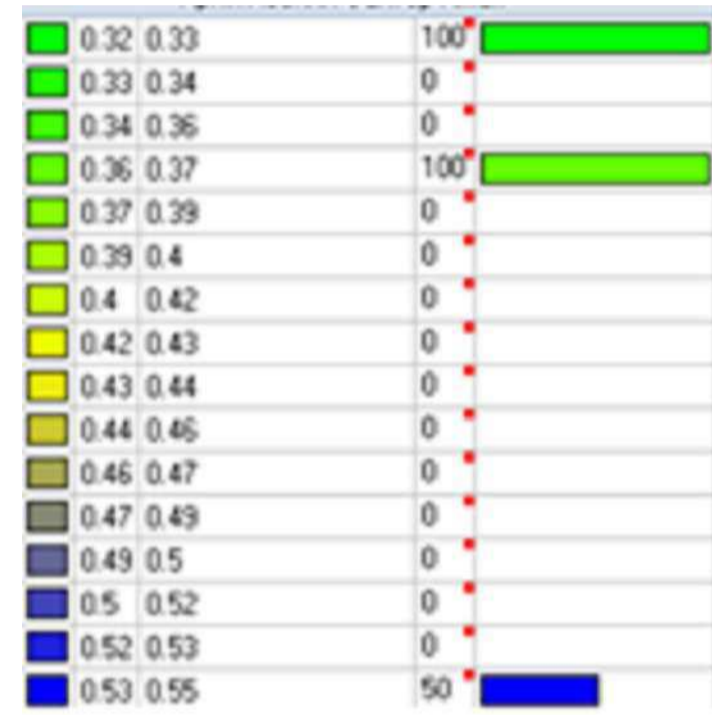
Проверка элементов купола 5 стадия, 1 схема



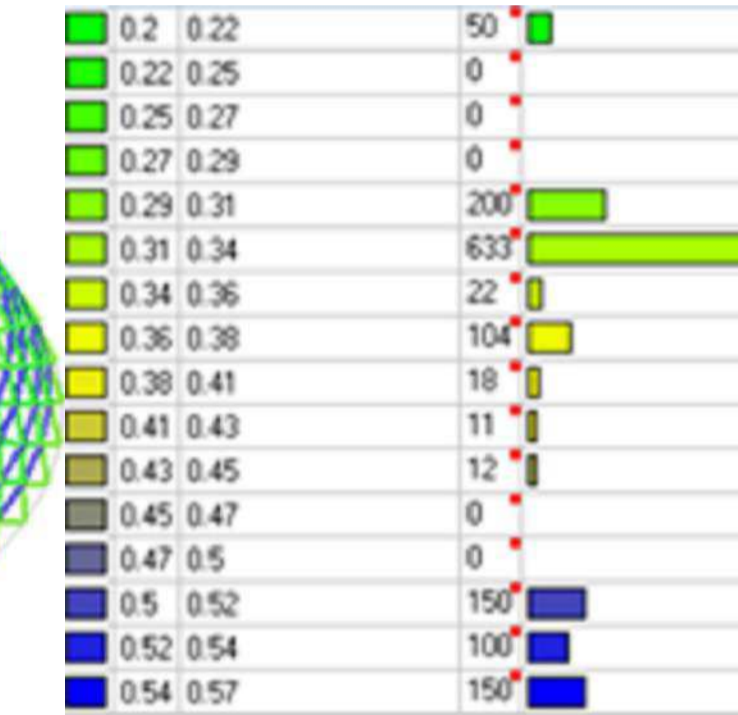
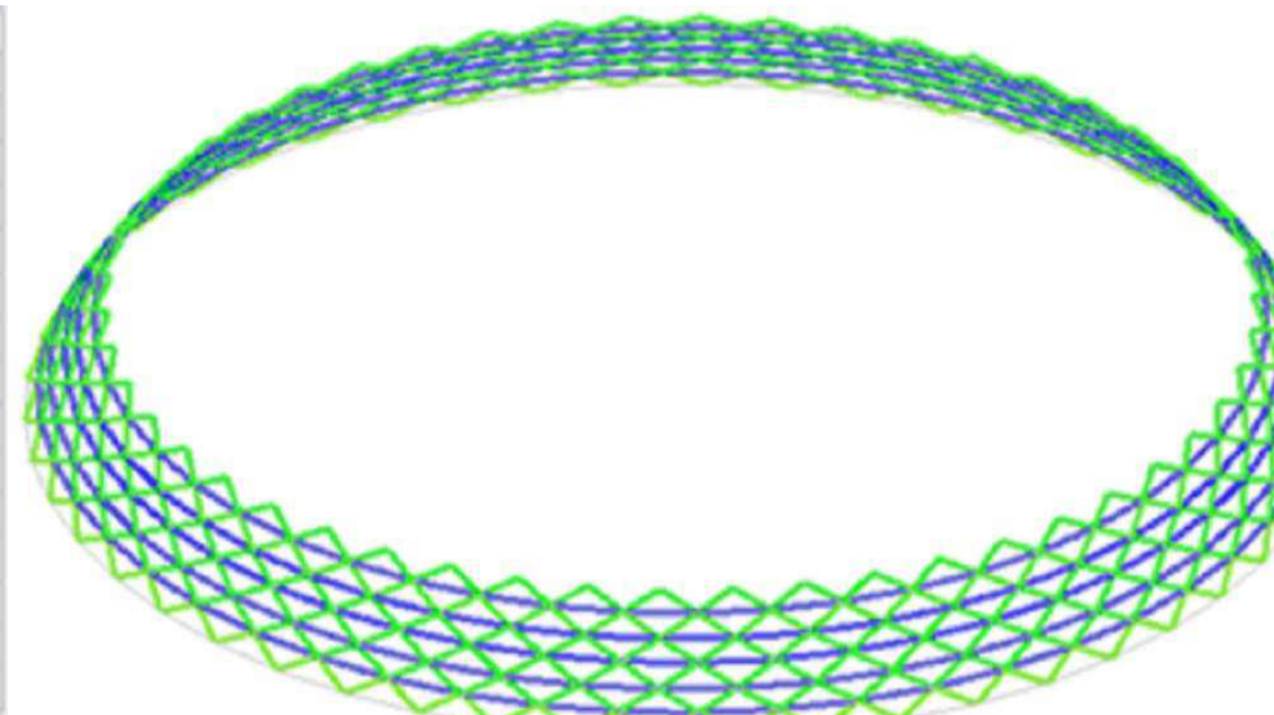
Проверка элементов купола 9 стадия, 1 схема



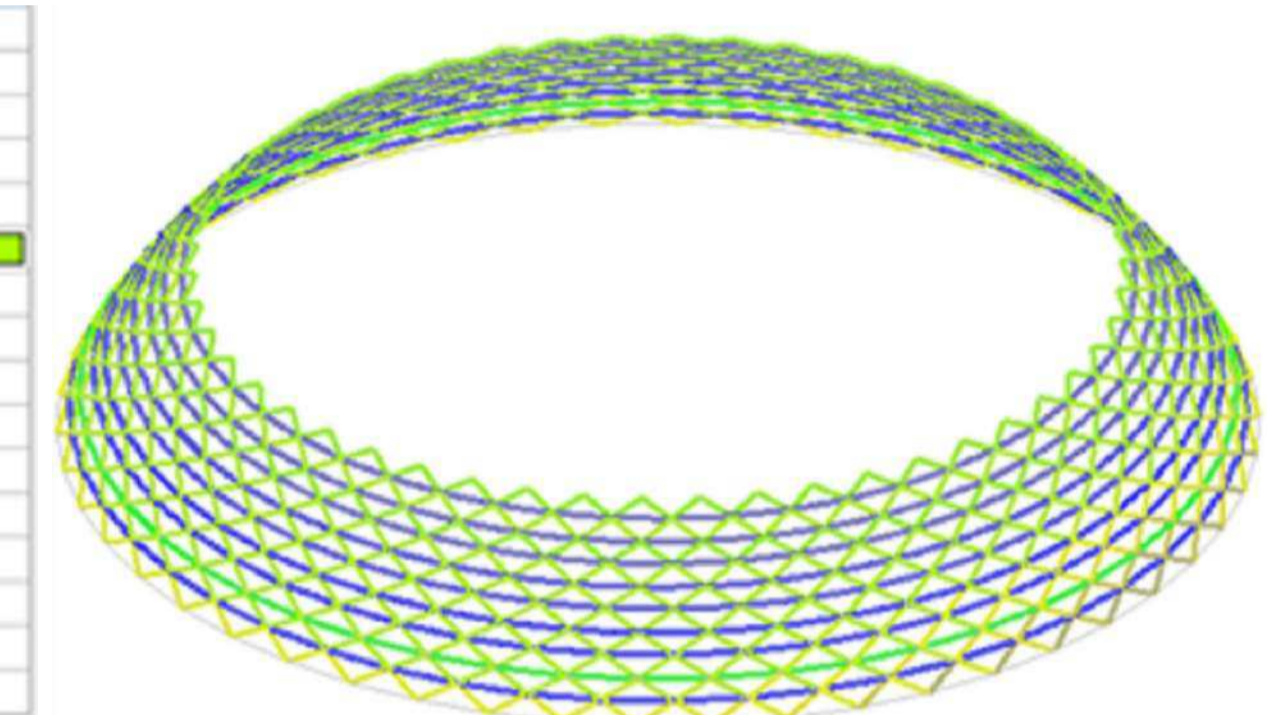
Проверка элементов купола 2 стадия, 1 схема



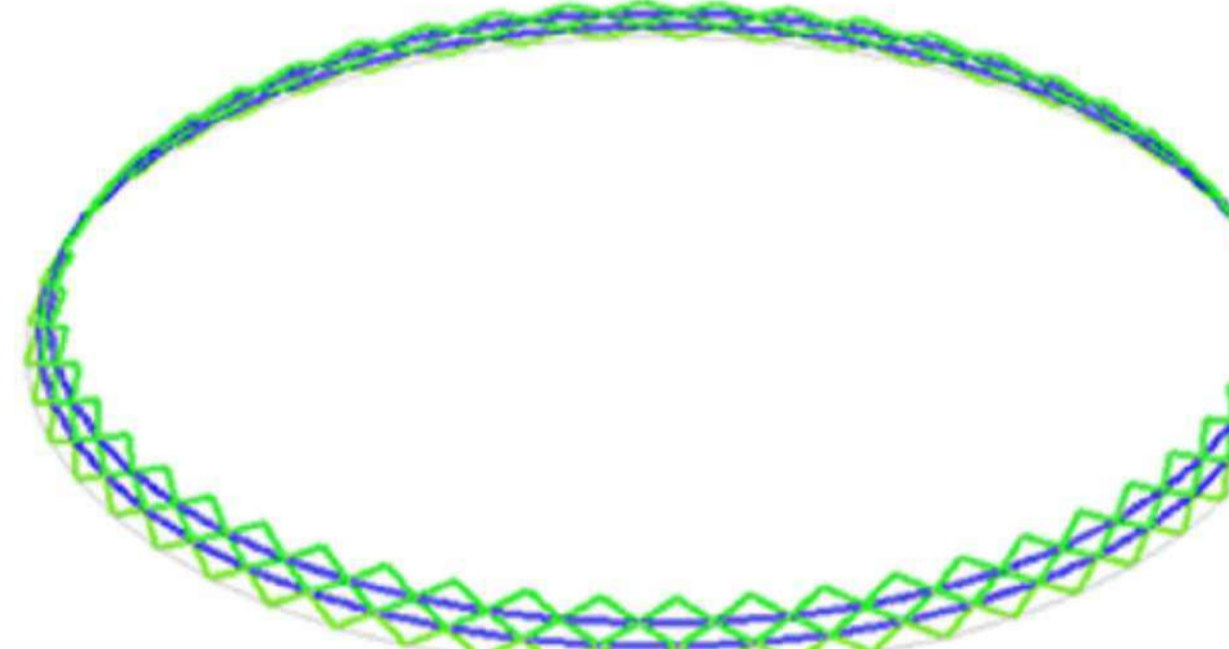
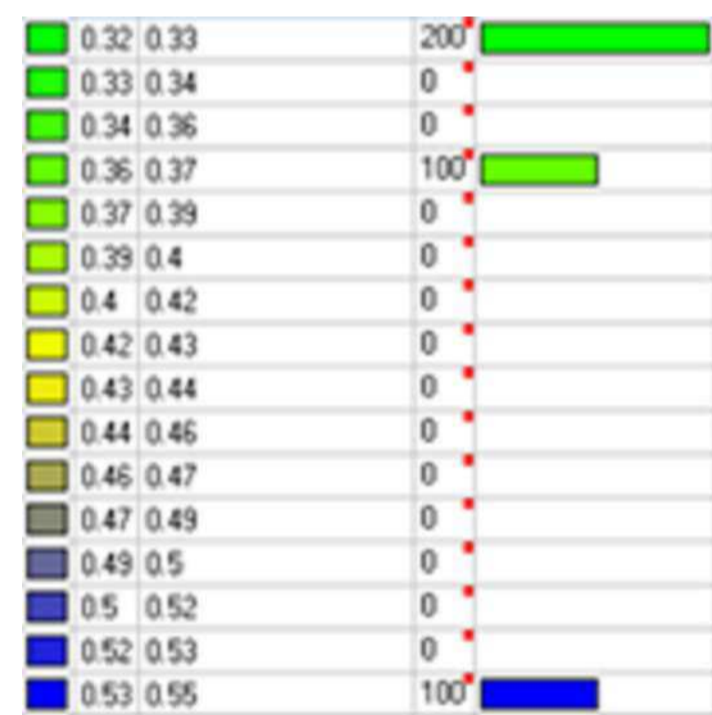
Проверка элементов купола 6 стадия, 1 схема



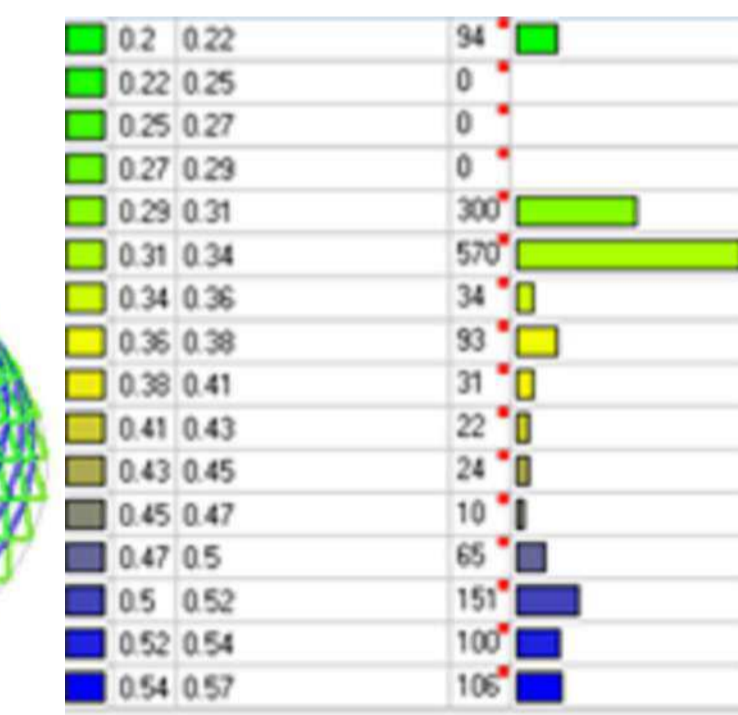
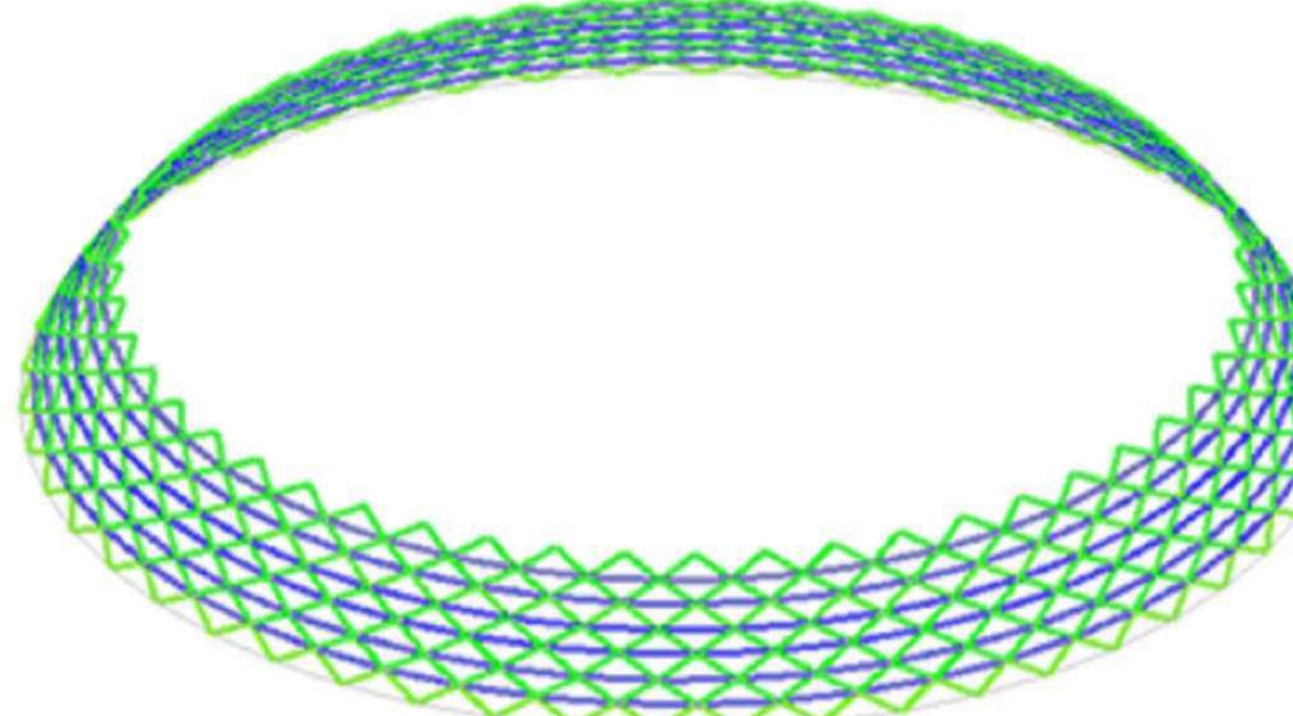
Проверка элементов купола 10 стадия, 1 схема



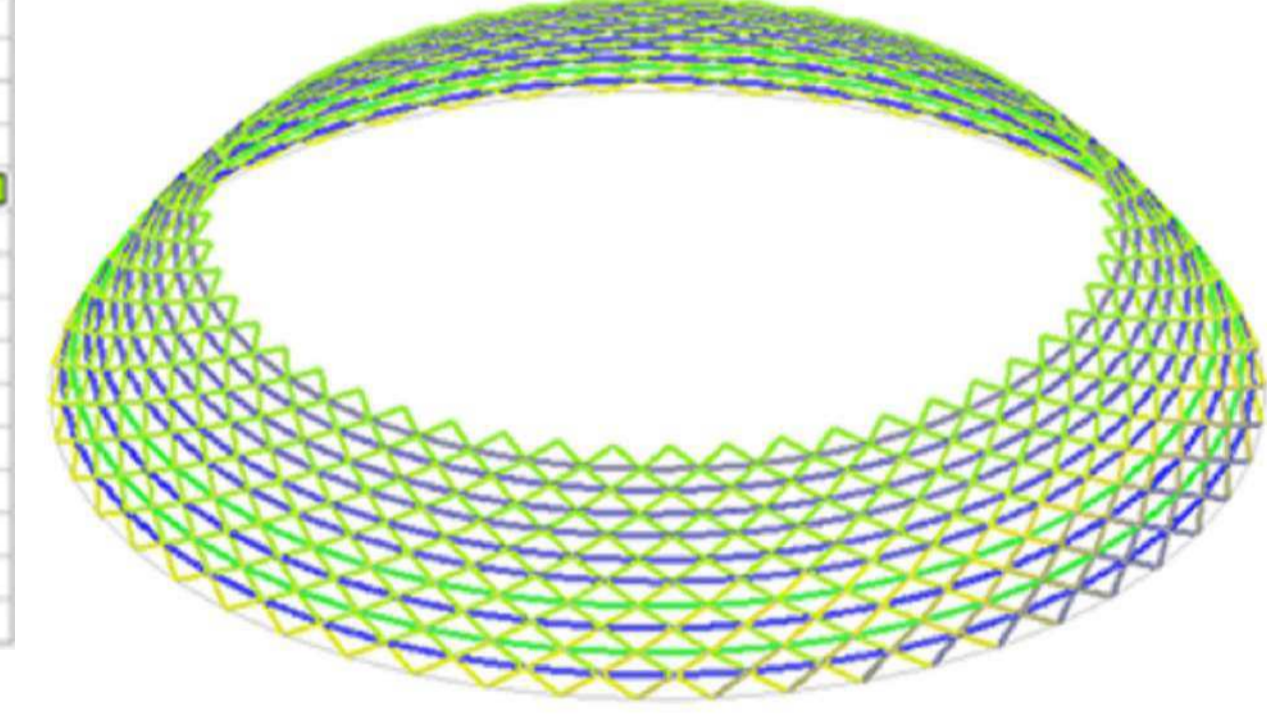
Проверка элементов купола 3 стадия, 1 схема



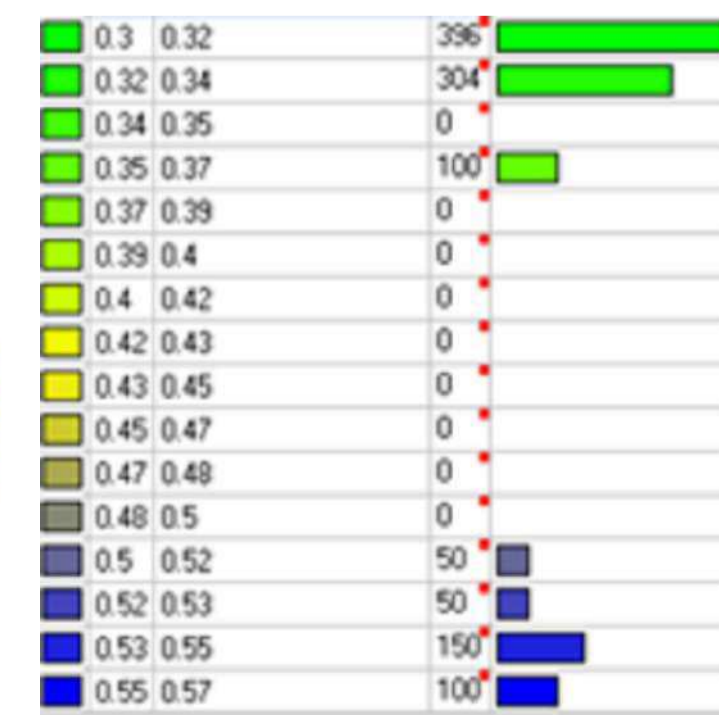
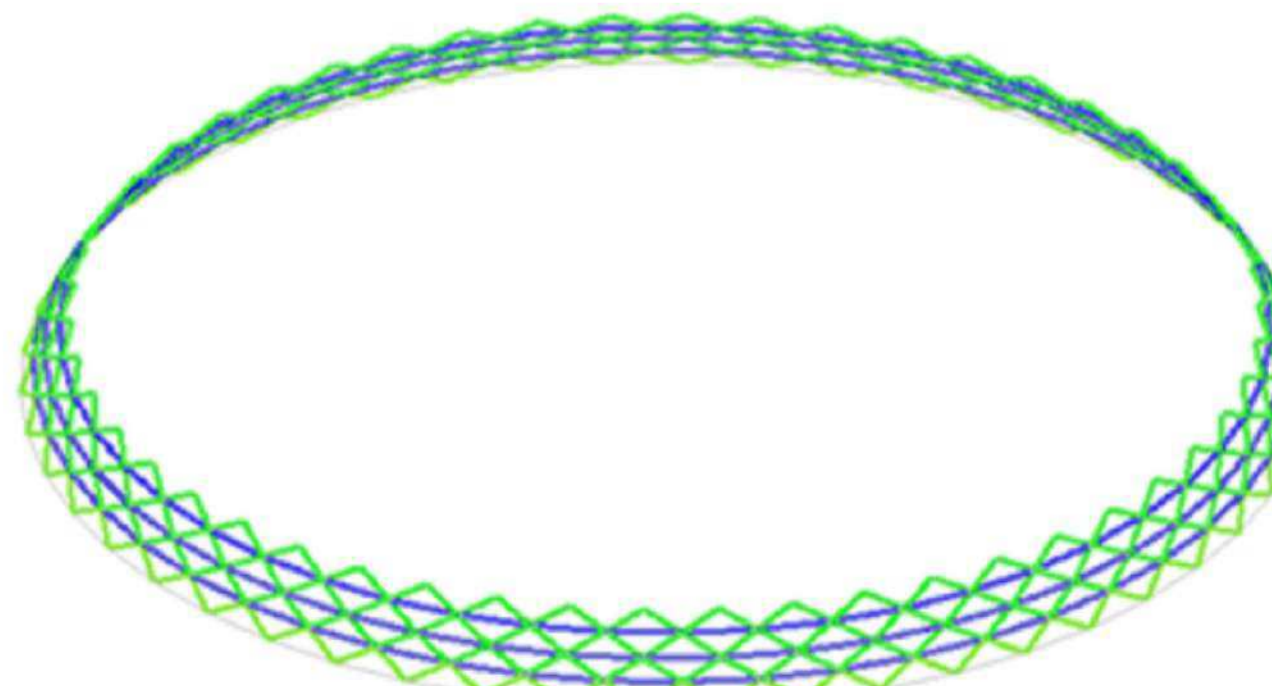
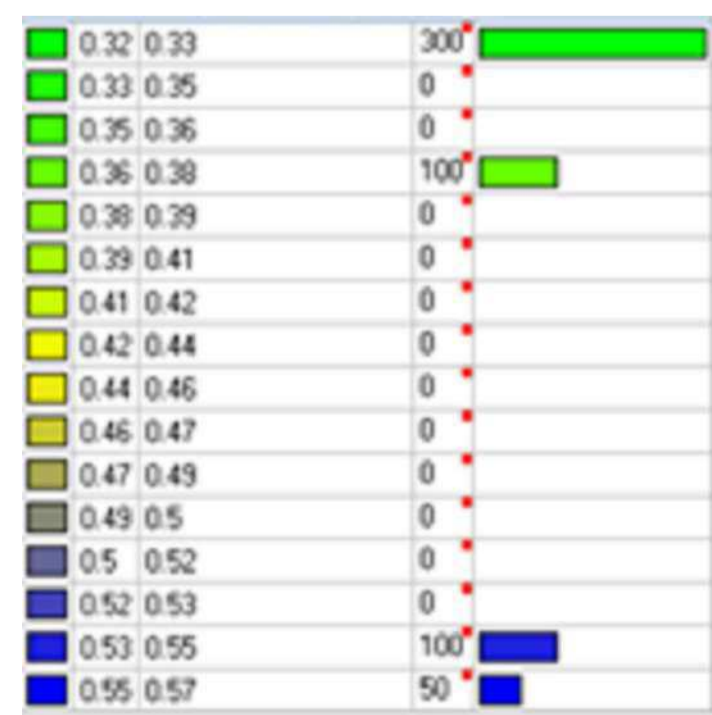
Проверка элементов купола 7 стадия, 1 схема



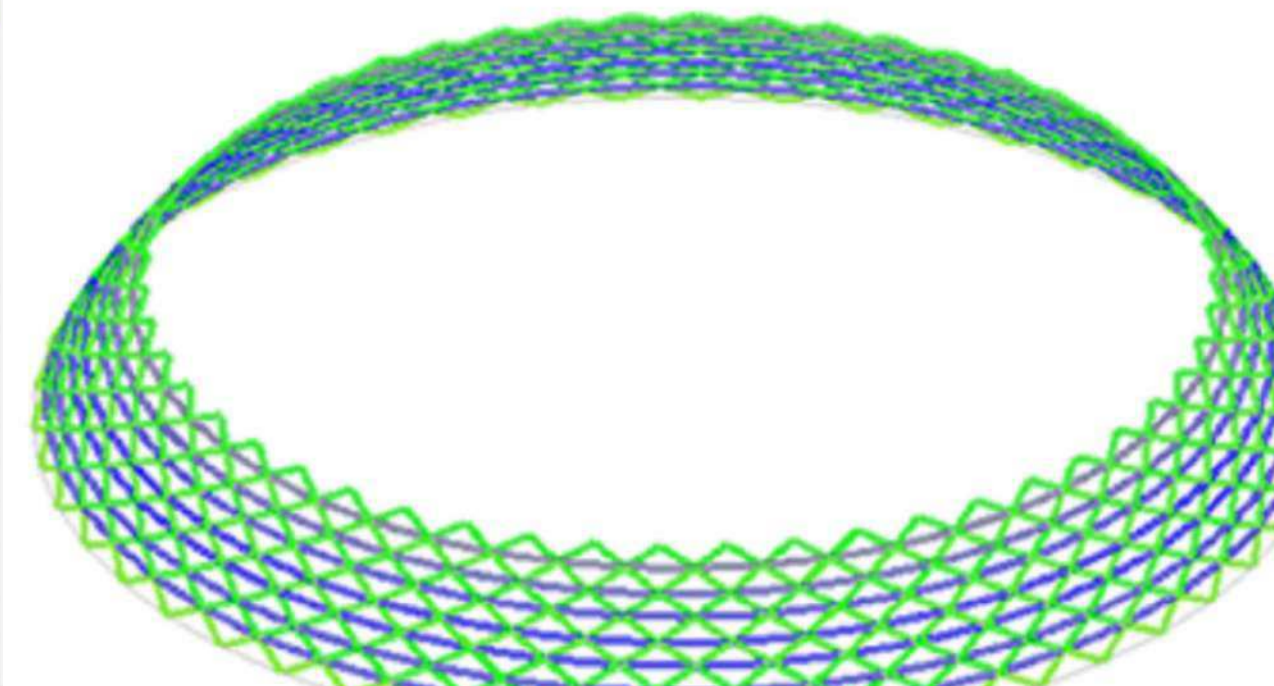
Проверка элементов купола 11 стадия, 1 схема



Проверка элементов купола 4 стадия, 1 схема



Проверка элементов купола 8 стадия, 1 схема

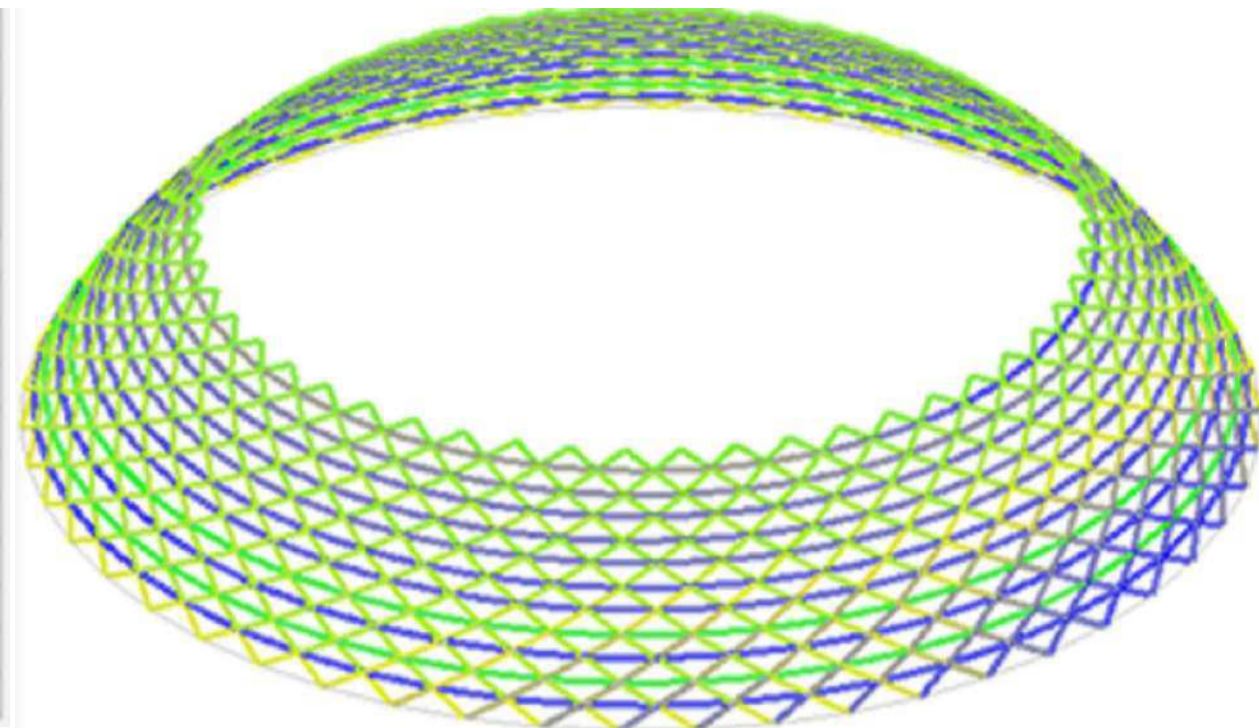
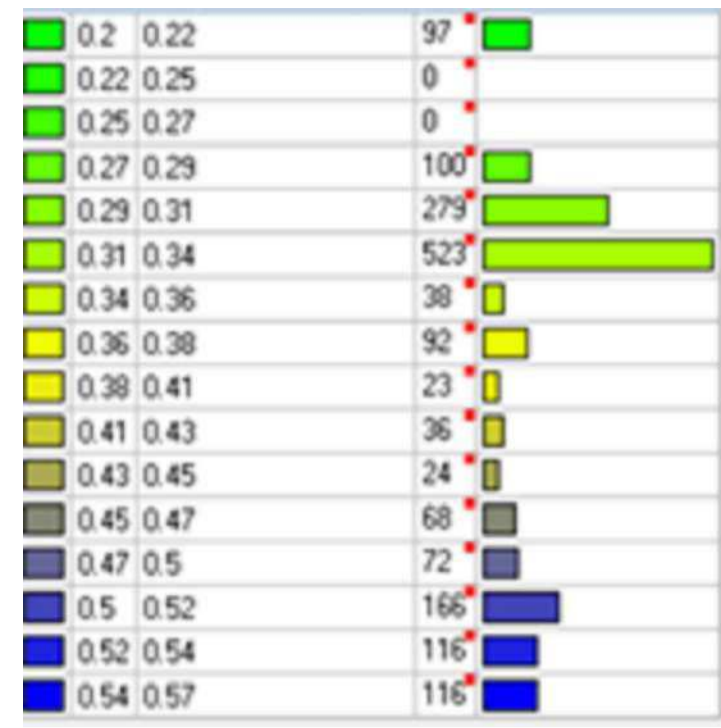


Примечания

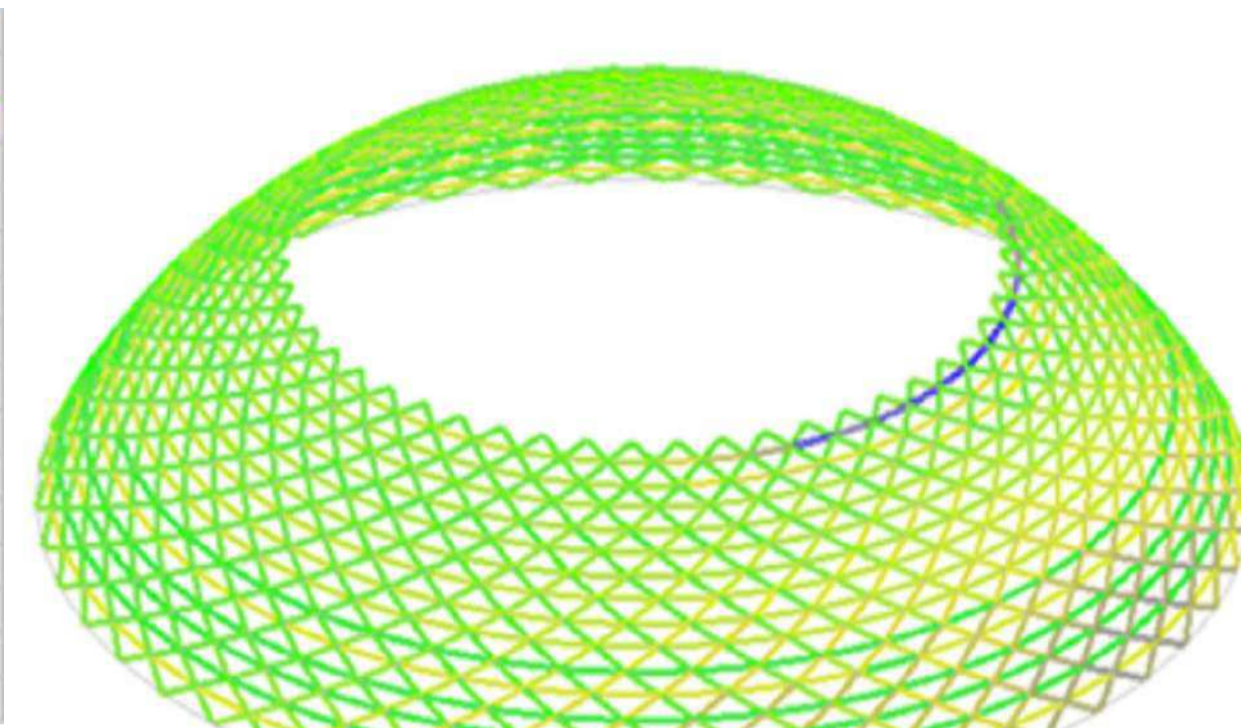
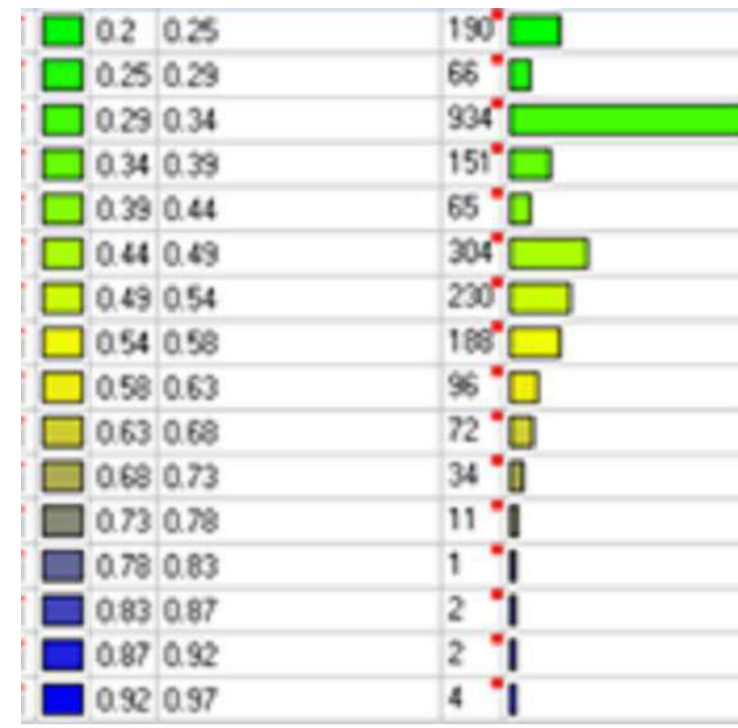
1. Сечения элементов см. л.3.
2. При первой схеме монтажа одновременно со стальным каркасом монтируются ограждающие конструкции.

						ВКР 08.05.01-2020			
						ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт			
Изм.	Кол.Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100м	Стадия	Лист	Листов
							у	4	
Выполнил	Львено КА						Проверка элементов каркаса при монтаже по первой схеме	Кафедра СКВС	
Консультант	Фролова АВ								
Эксперт	Фролова АВ								
Контроль	Фролова АВ								
Зав.кафедрой	Давыдов СВ								

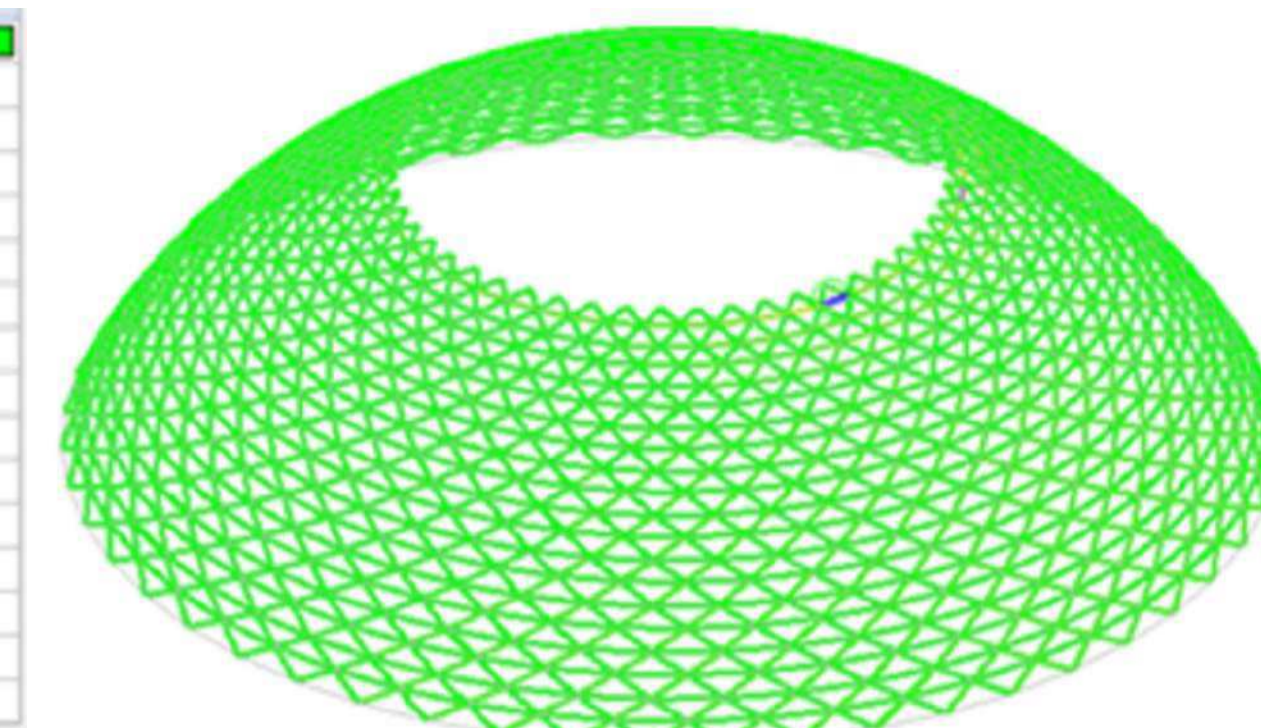
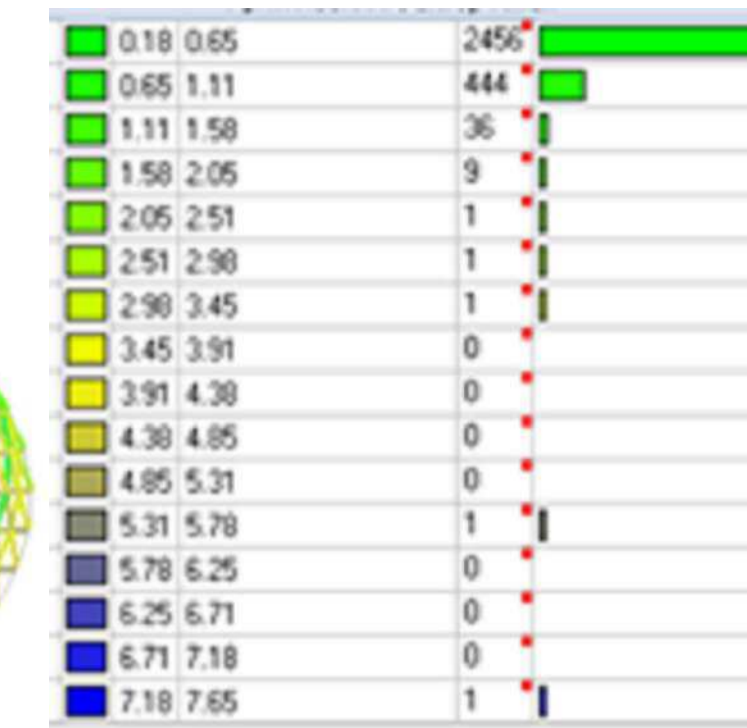
Проверка элементов купола 12 стадия, 1 схема



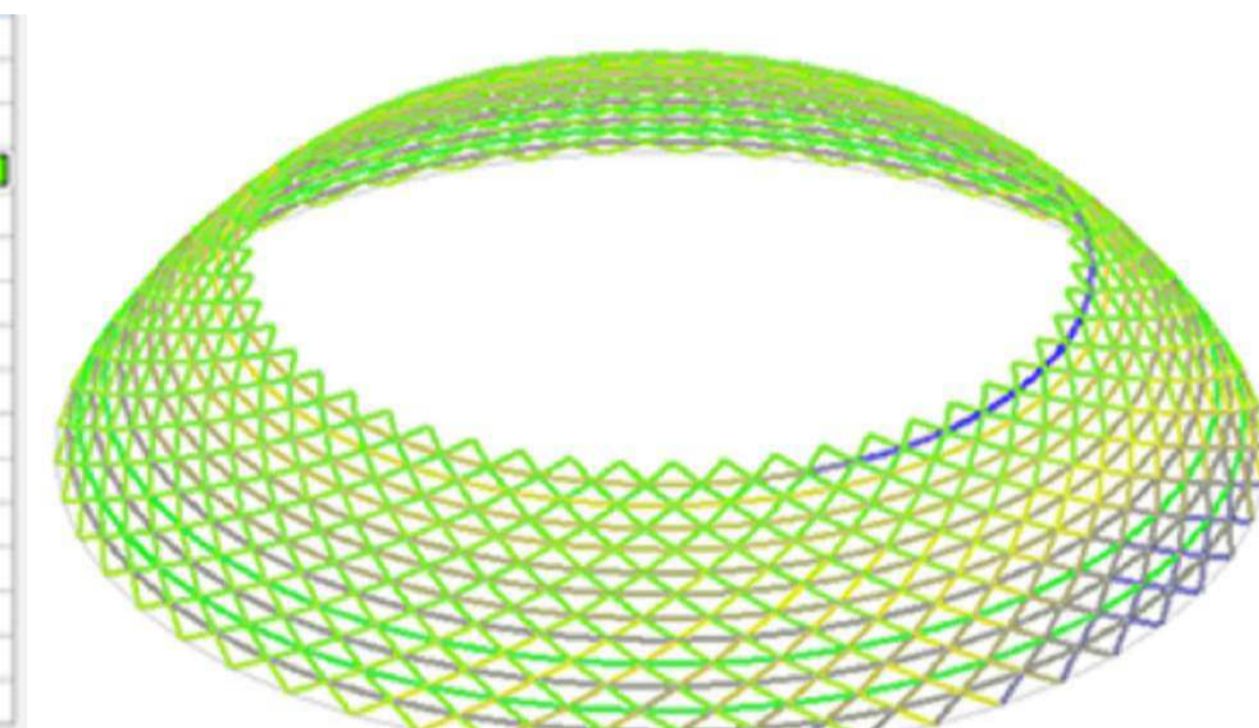
Проверка элементов купола 16 стадия, 1 схема



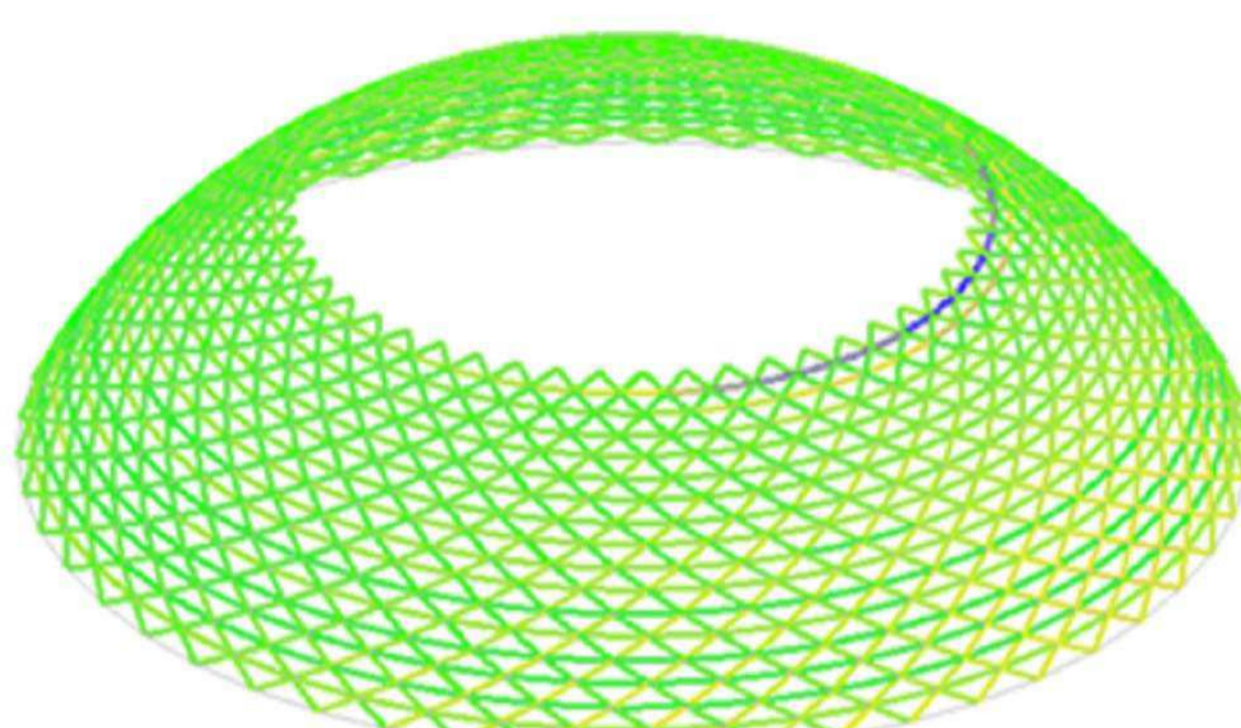
Проверка элементов купола 20 стадия, 1 схема



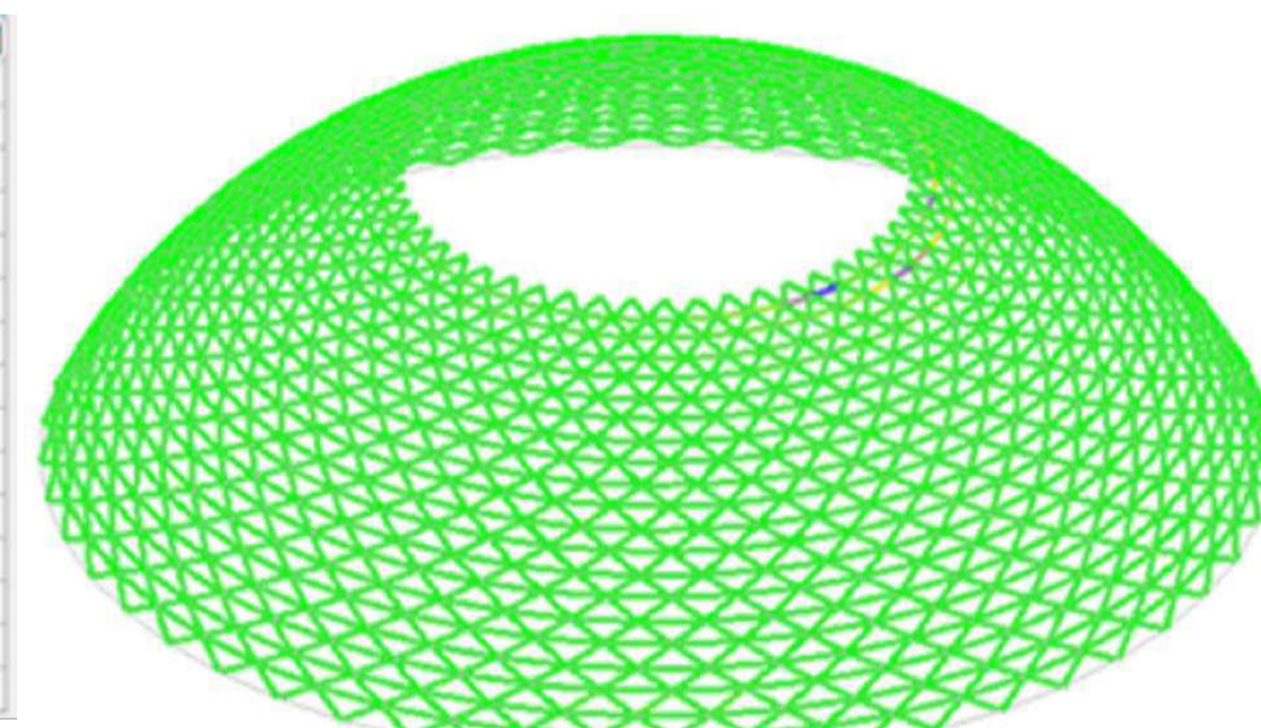
Проверка элементов купола 13 стадия, 1 схема



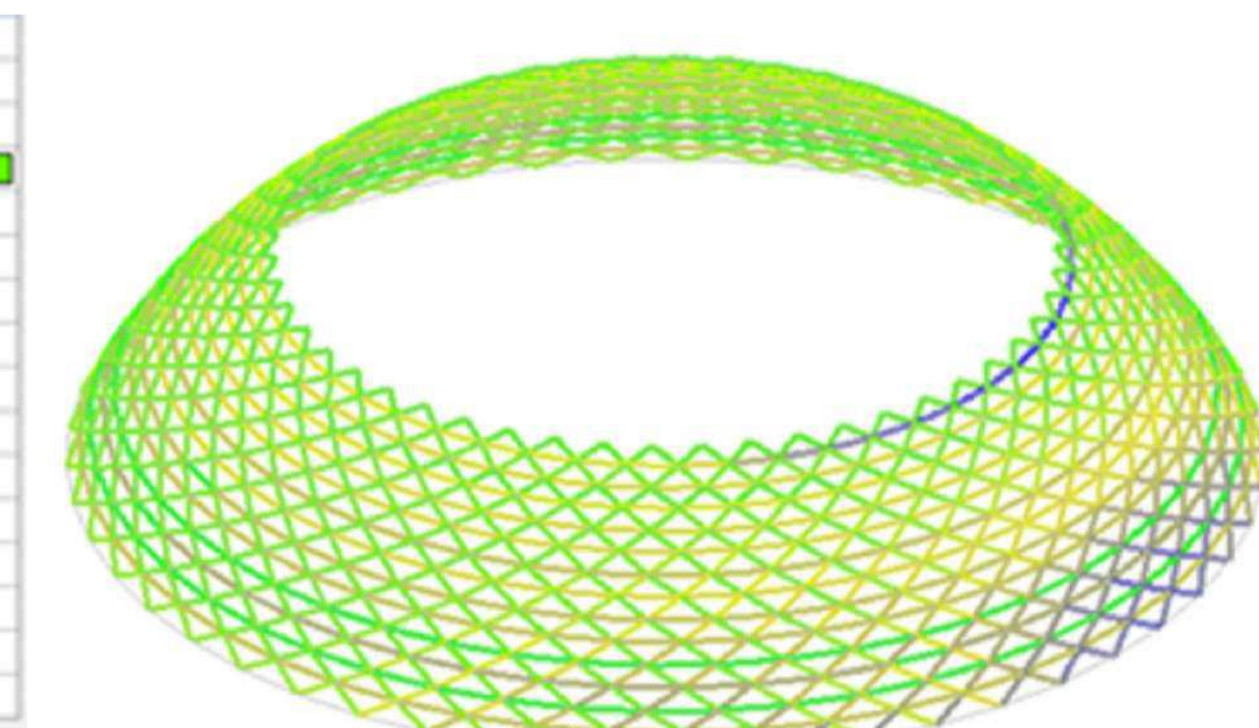
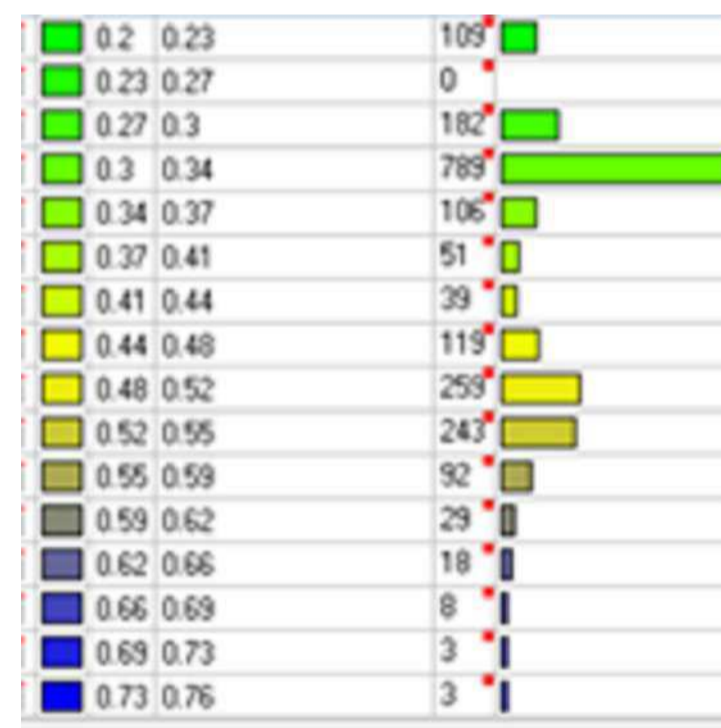
Проверка элементов купола 17 стадия, 1 схема



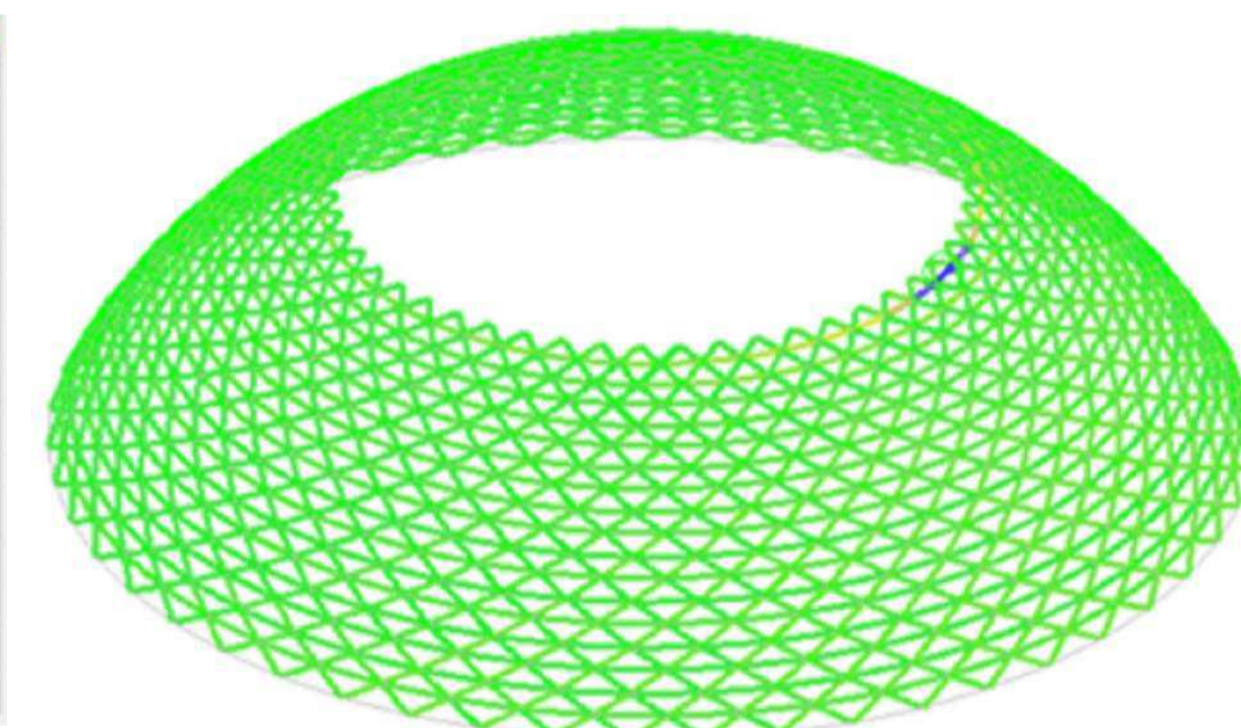
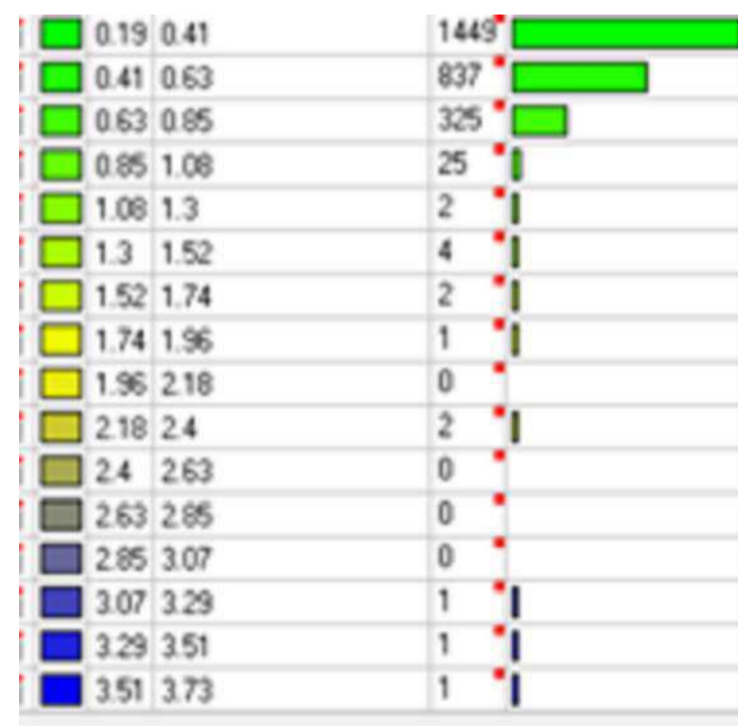
Проверка элементов купола 21 стадия, 1 схема



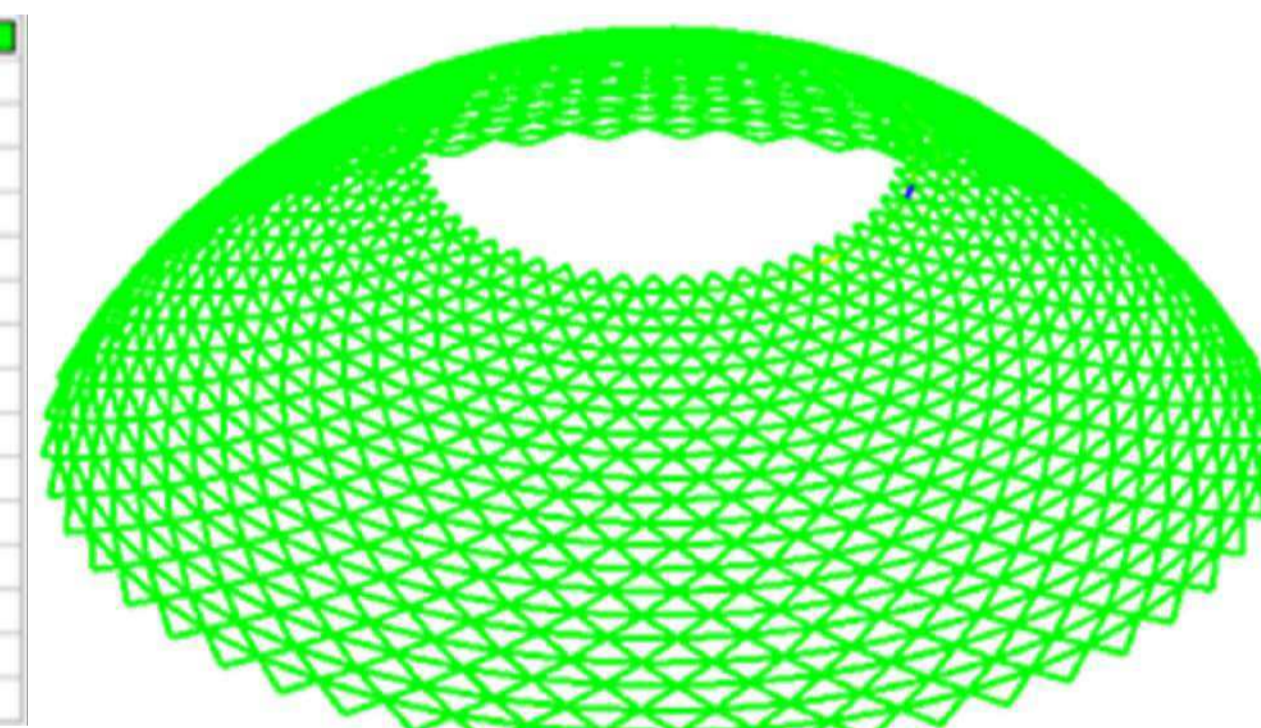
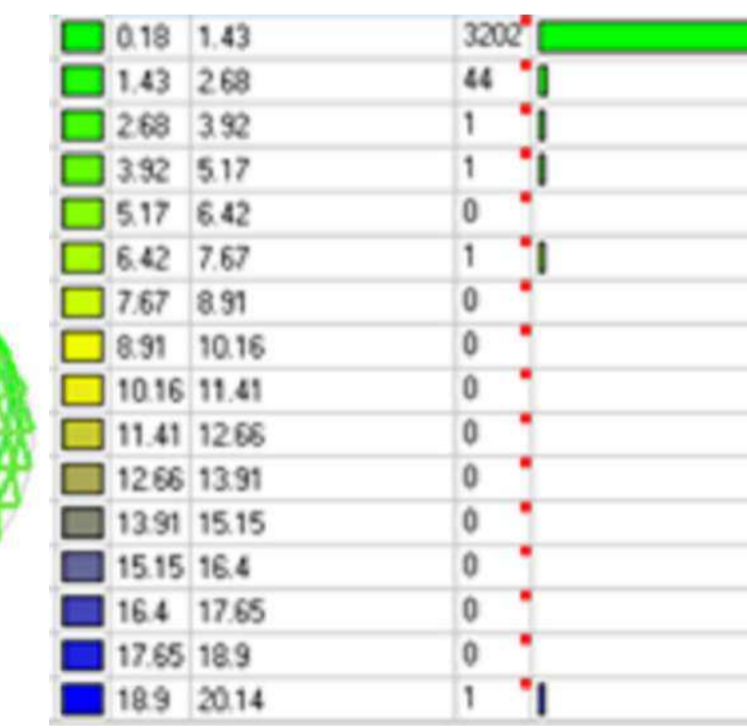
Проверка элементов купола 14 стадия, 1 схема



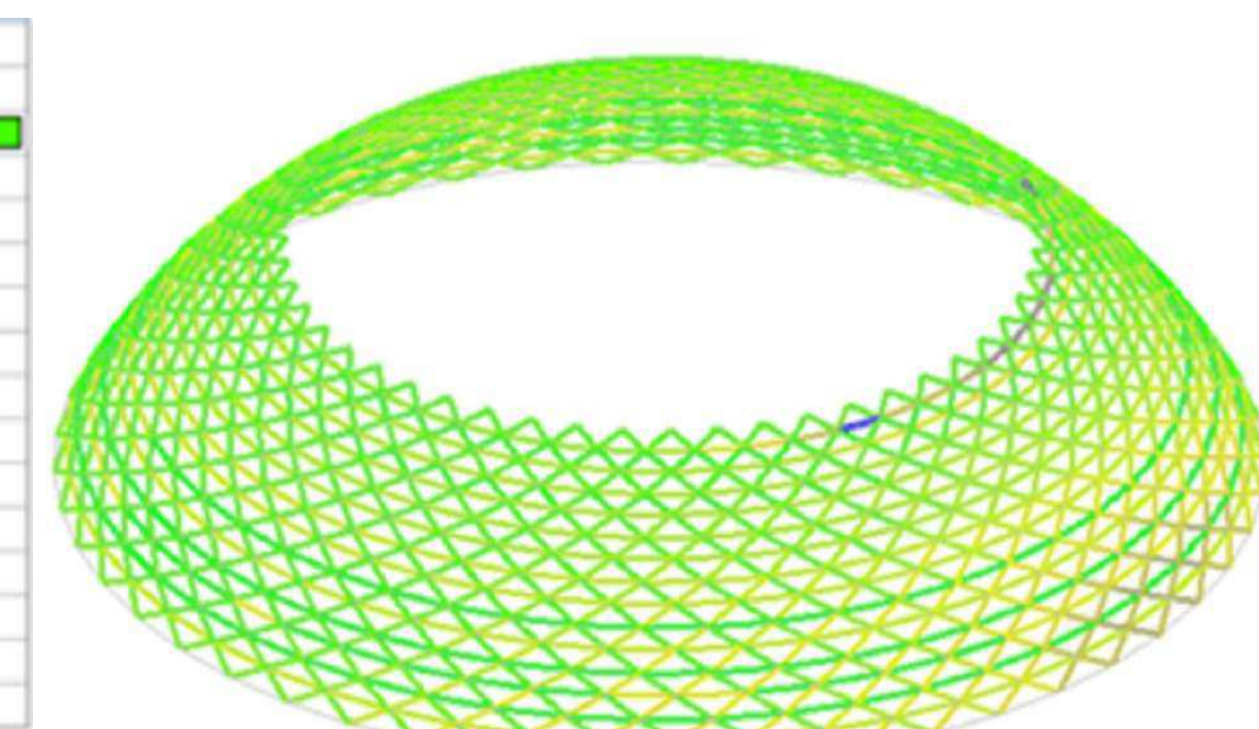
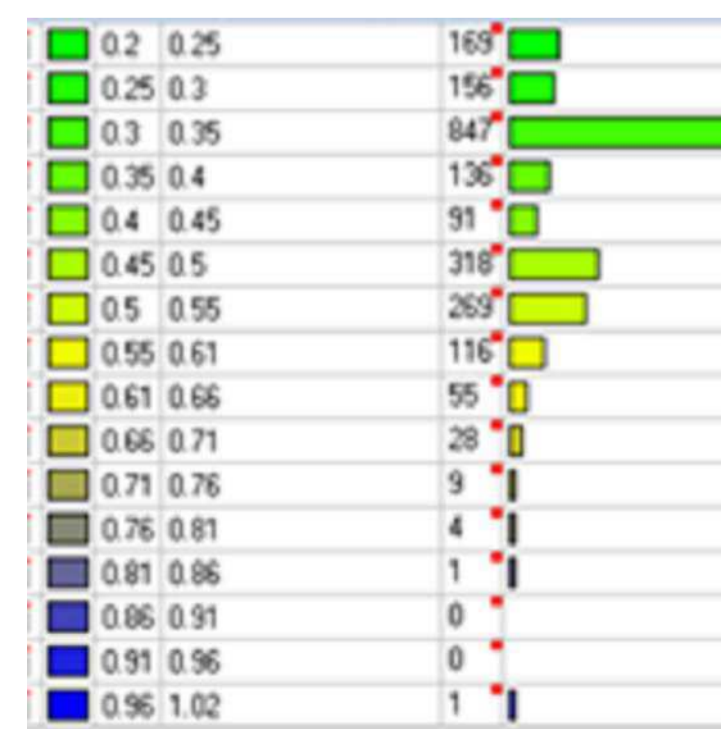
Проверка элементов купола 18 стадия, 1 схема



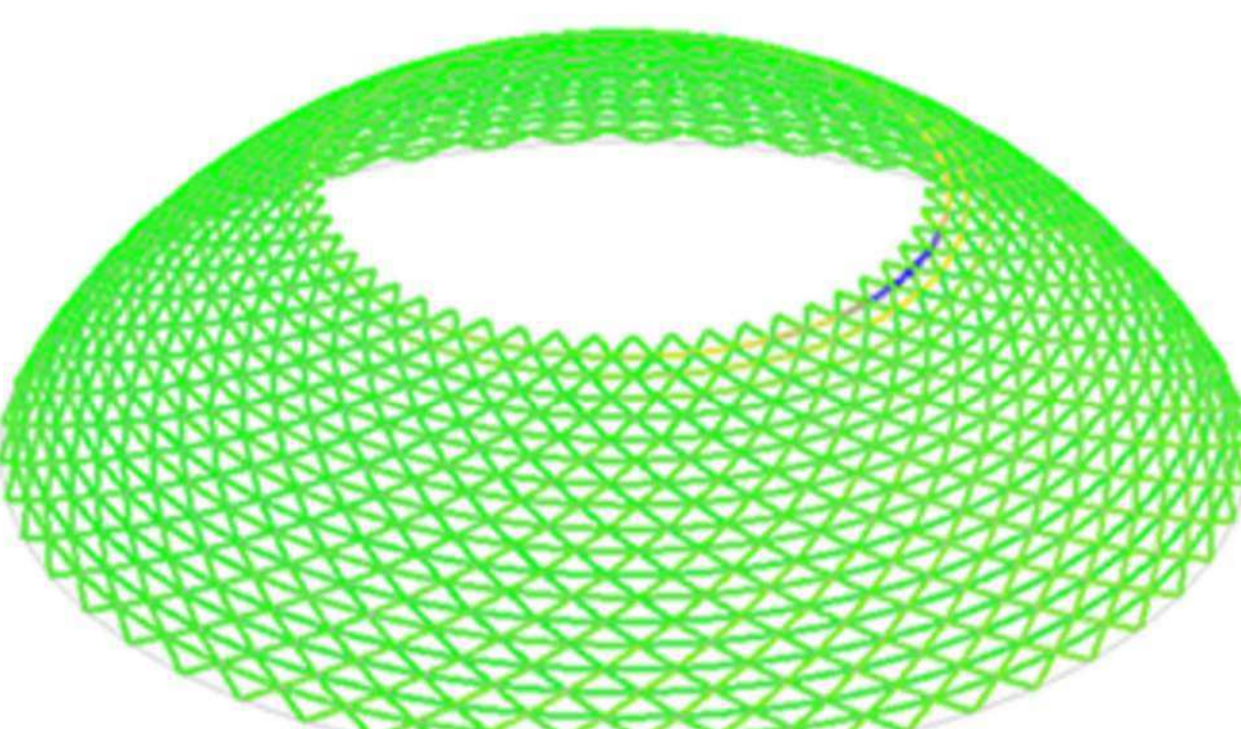
Проверка элементов купола 22 стадия, 1 схема



Проверка элементов купола 15 стадия, 1 схема



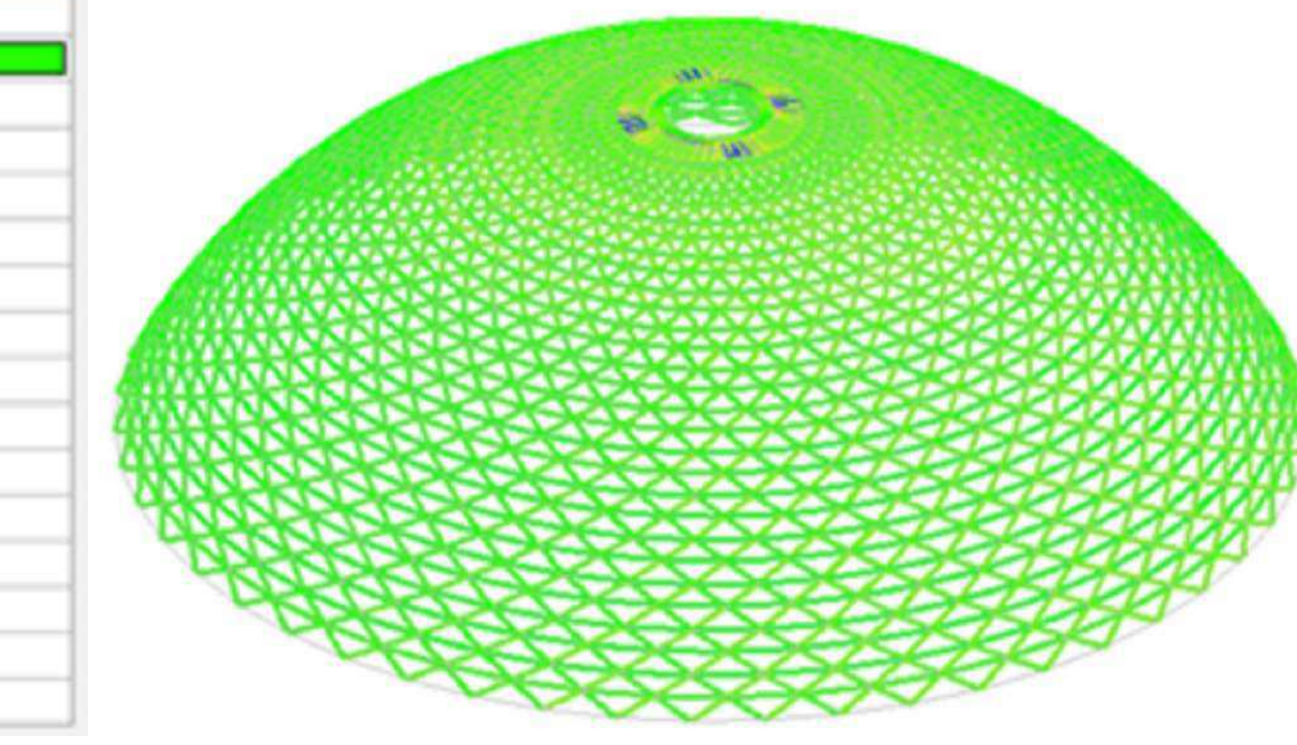
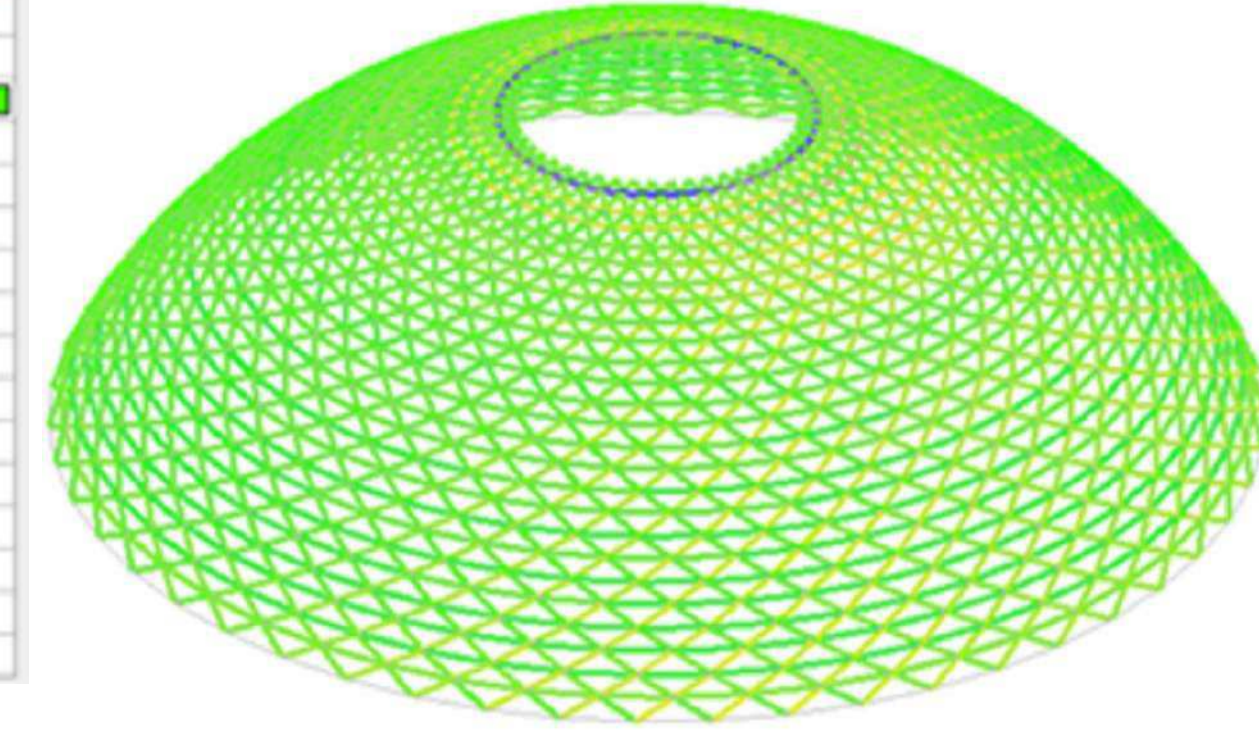
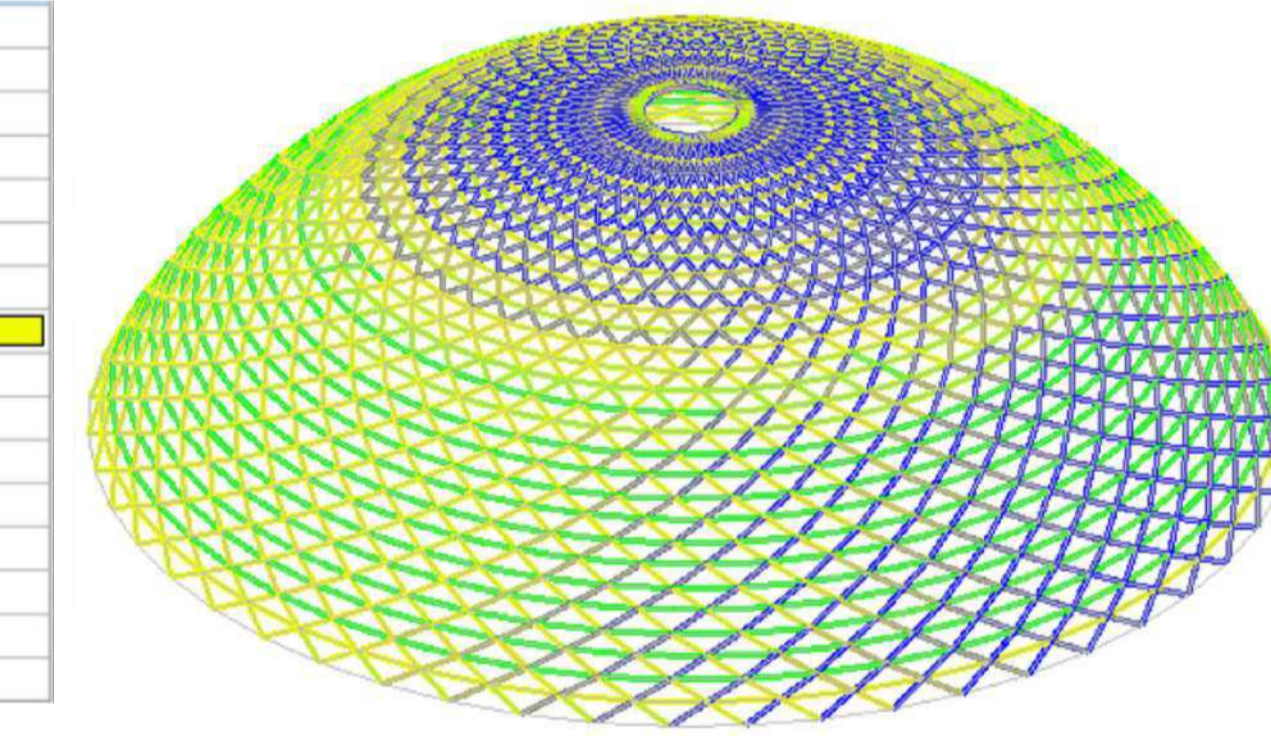
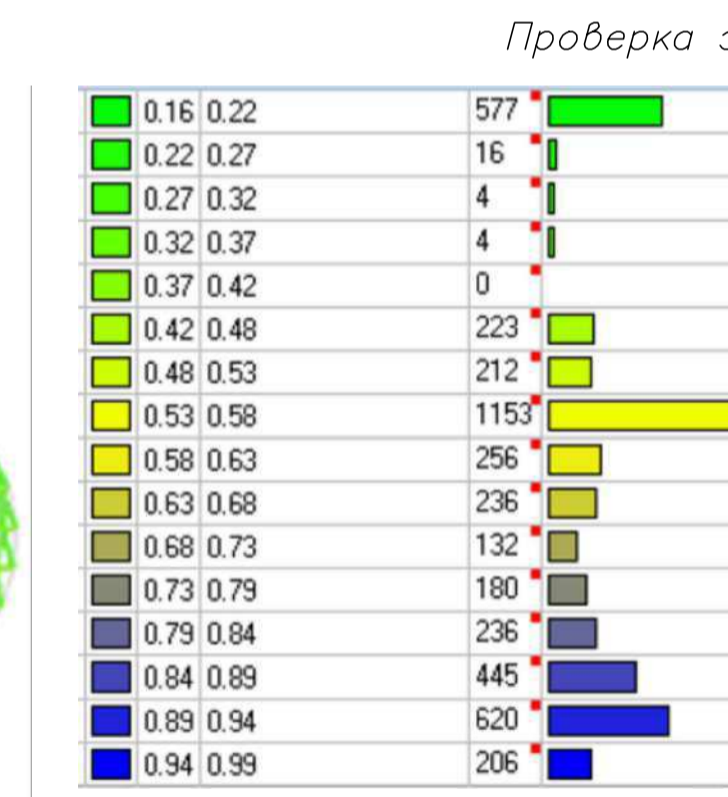
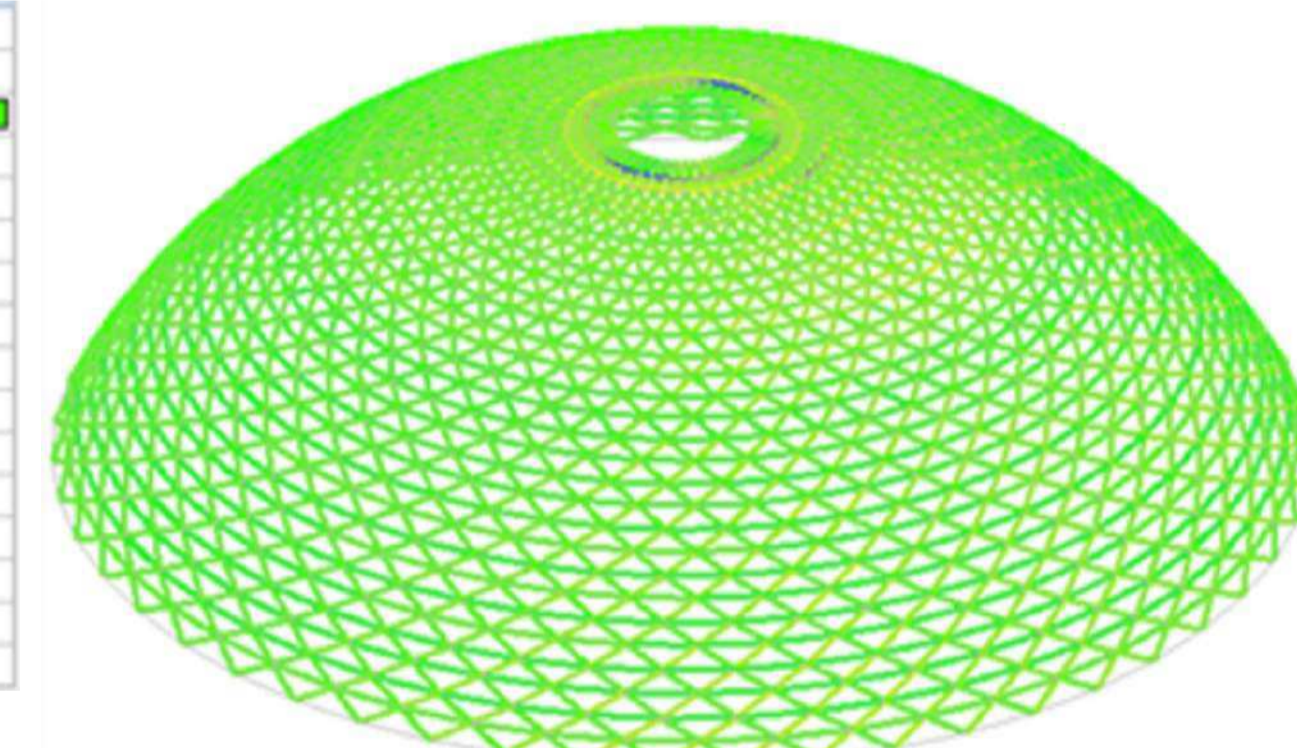
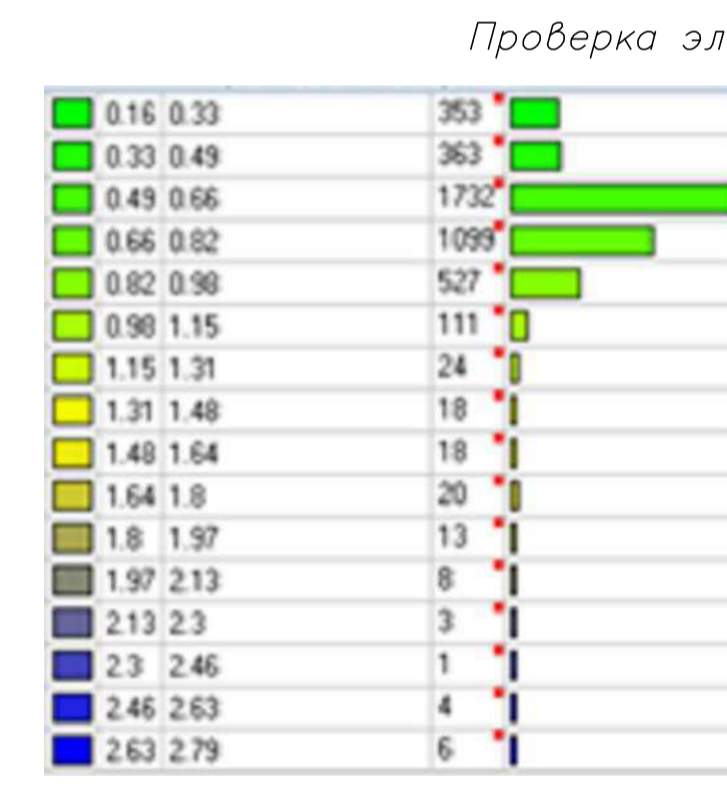
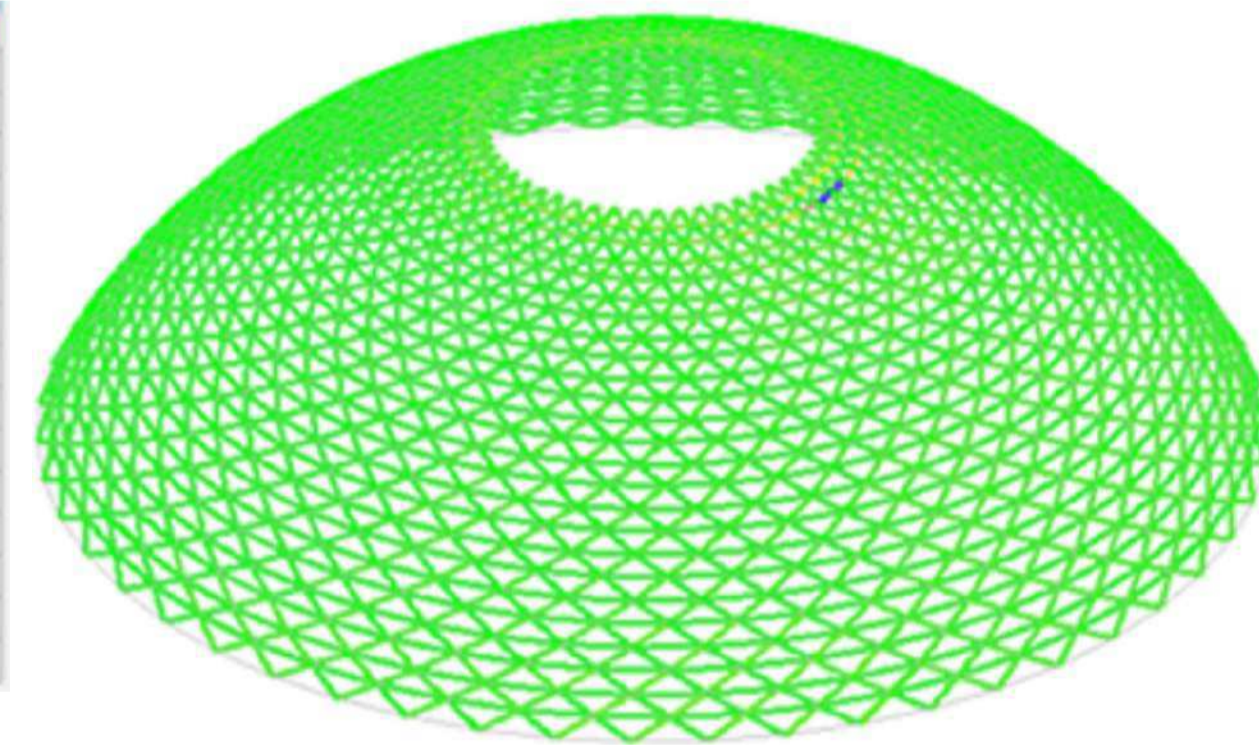
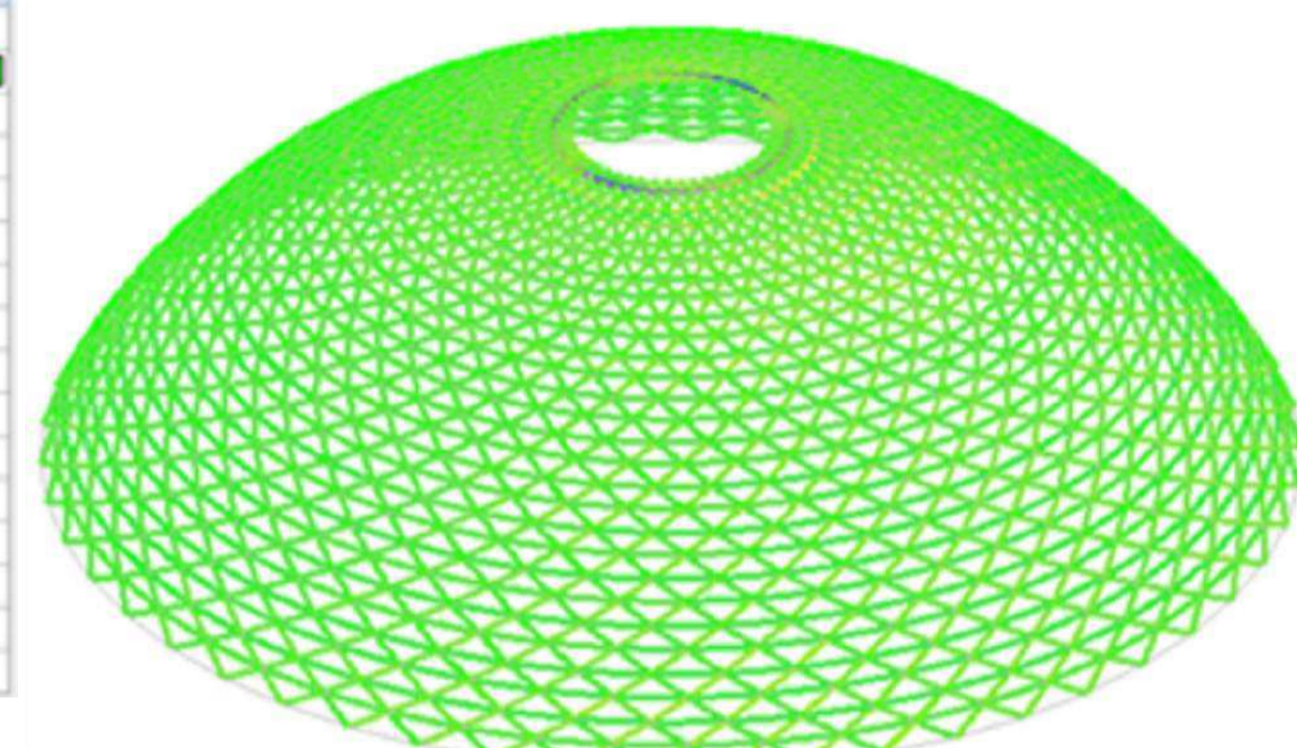
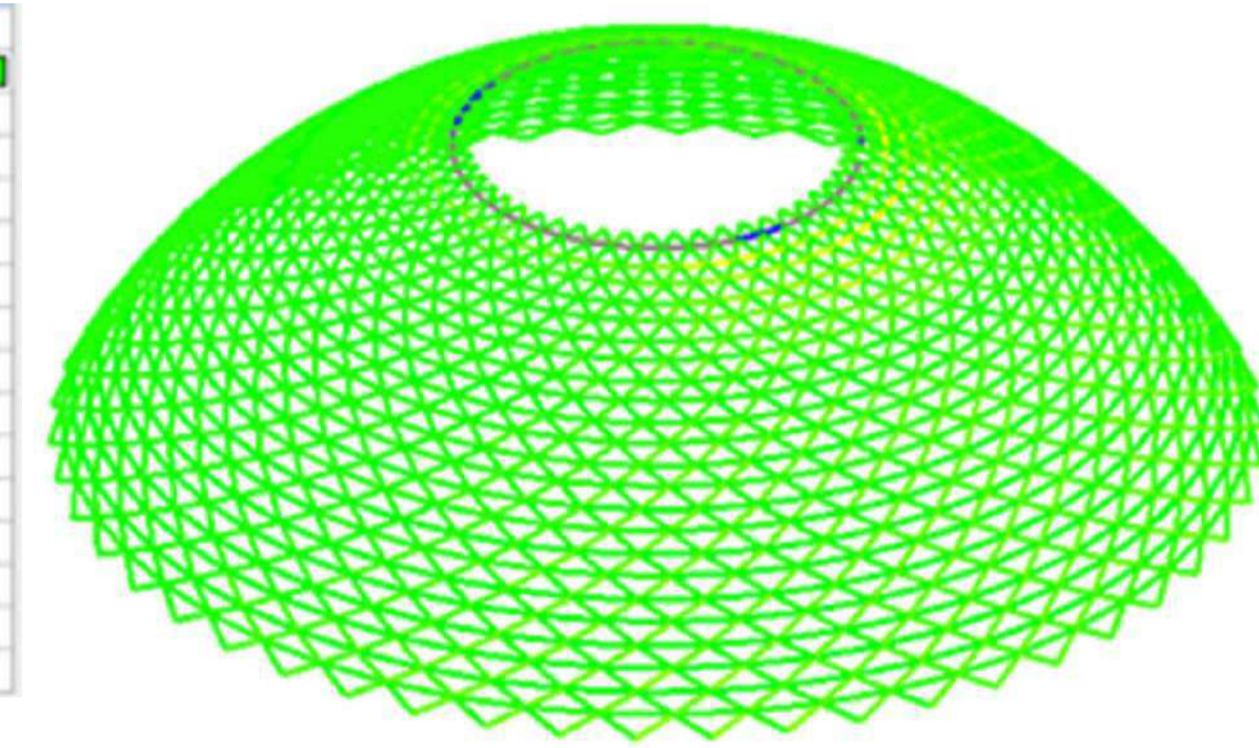
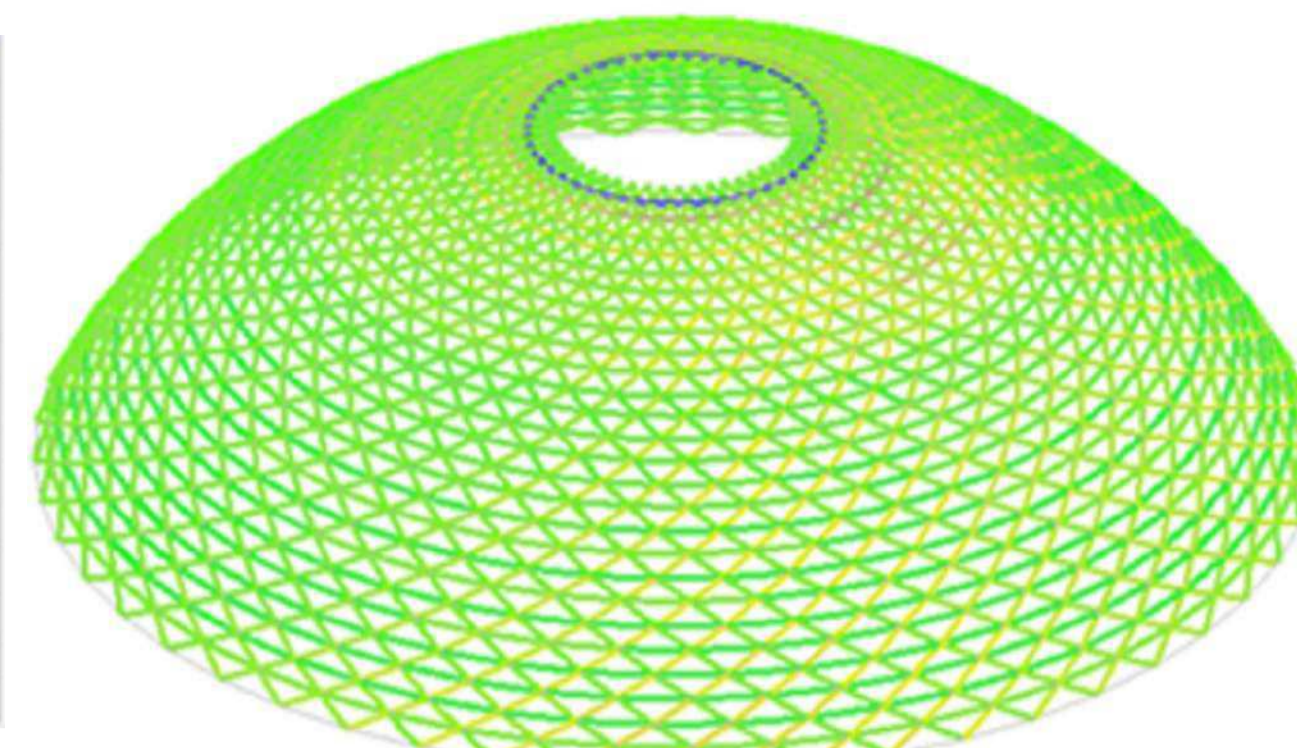
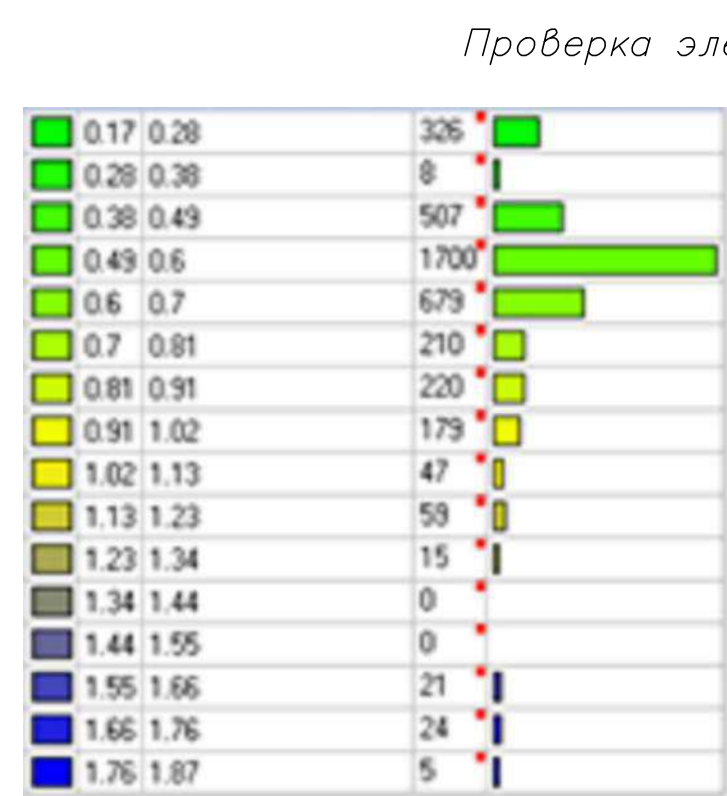
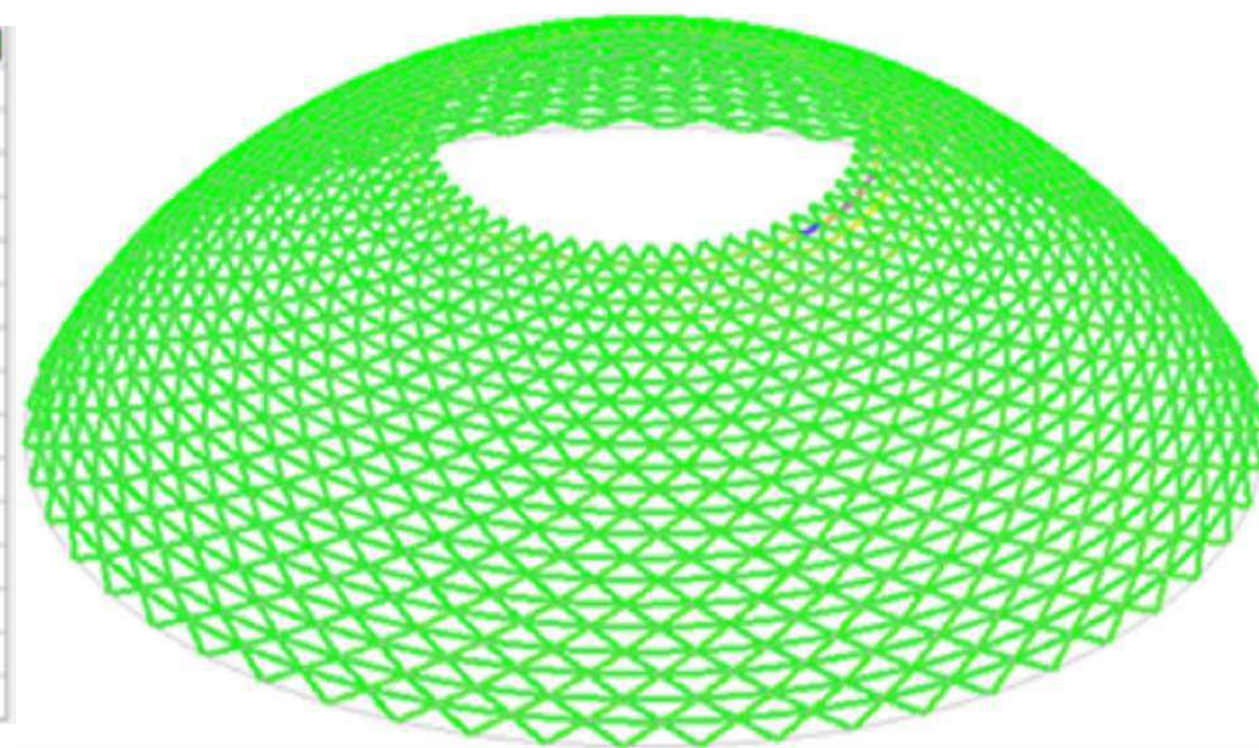
Проверка элементов купола 19 стадия, 1 схема



Примечания:

1. Сечения элементов см. л.3.
2. При первой схеме монтажа одновременно со стальным каркасом монтируются ограждающие конструкции.

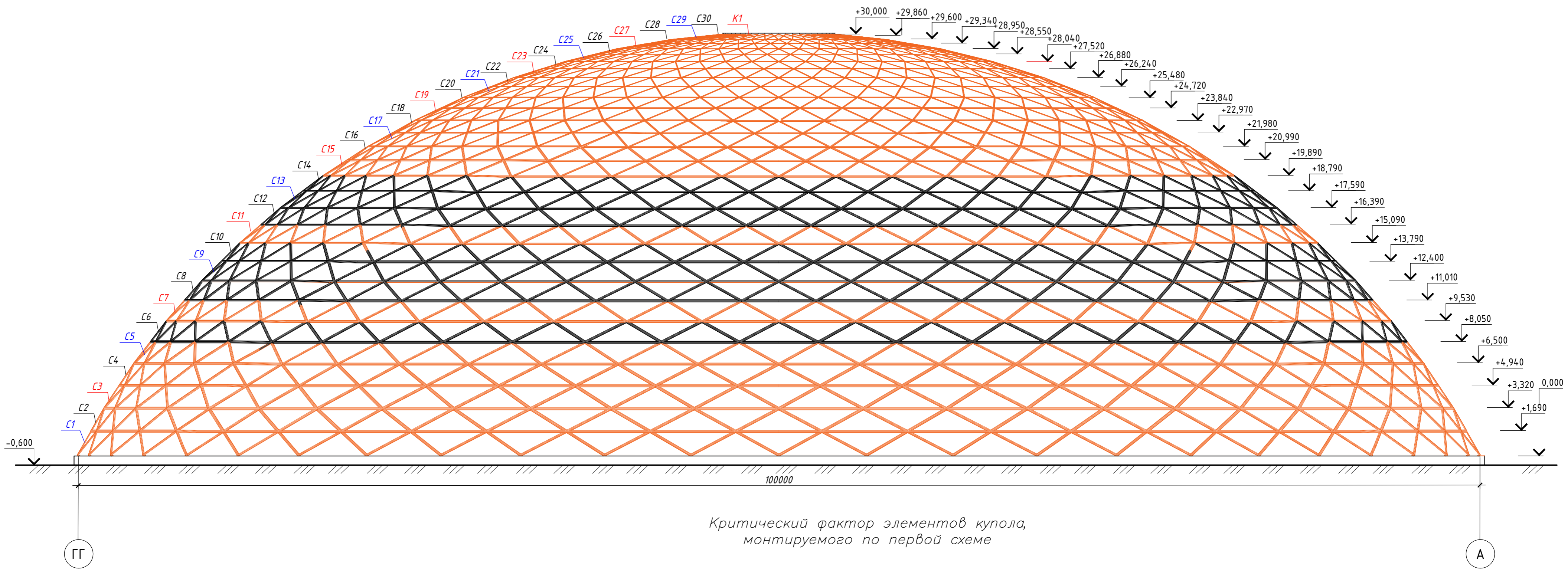
					ВКР 08.05.01-2020				
					ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт				
Изм.	Кол.Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100м	Стадия	Лист	Листов
							у	5	
Выполнил	Львено КА						Проверка элементов каркаса при монтаже по первой схеме	Кафедра СКВС	
Утвердил	Фролова АВ								
Утвердил	Фролова АВ								
Зав.кафедрой	Давыдов СВ								



Примечания:
 1. Сечения элементов см. л.3.
 2. При первой схеме монтажа одновременно со стальным каркасом монтируются ограждающие конструкции.

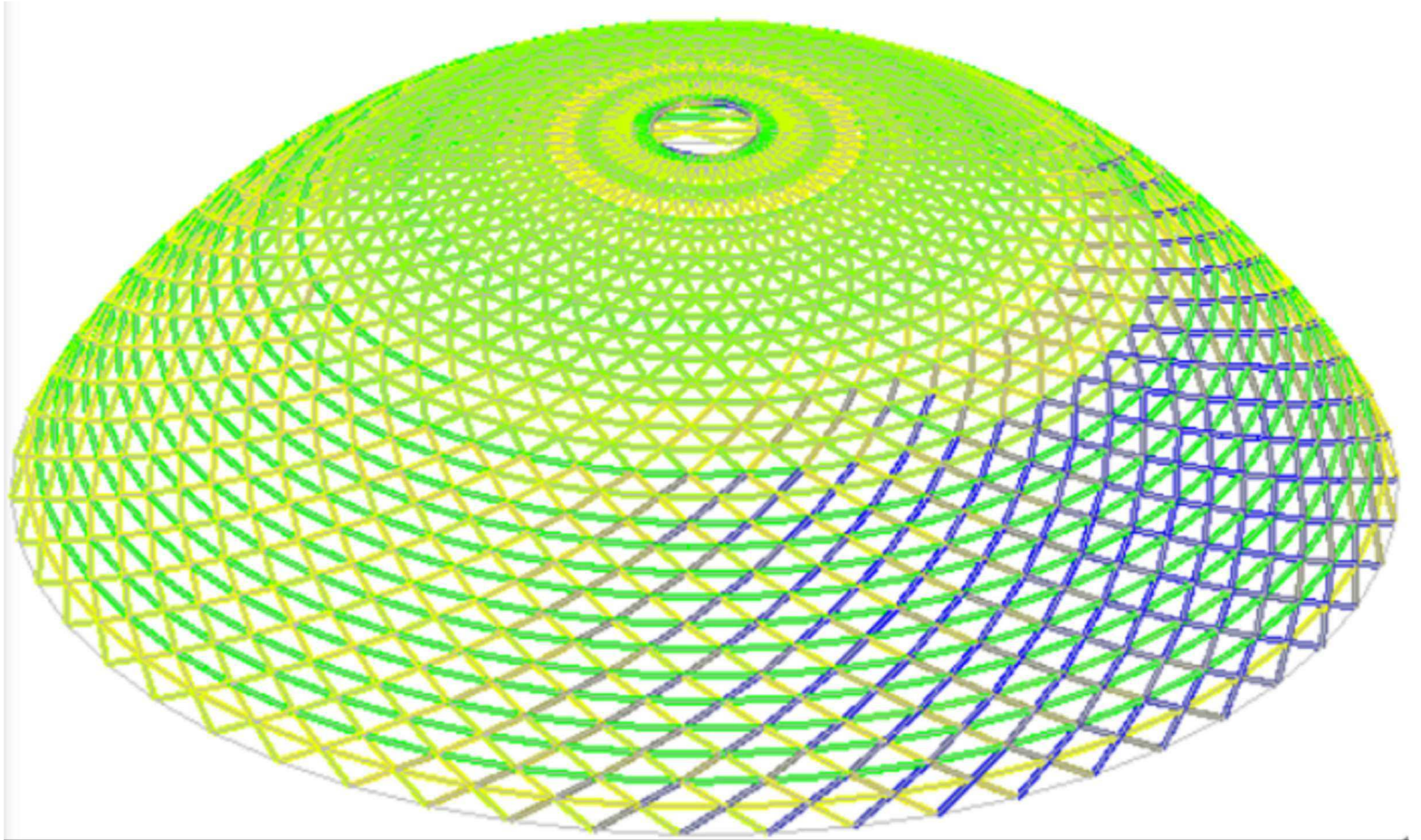
				ВКР 08.05.01-2020		
				ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт		
Изм.	Кол.И.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	
Выполнил	Львено КА					Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100м
Утвердил	Фролова АВ					
Утвердил	Фролова АВ					
Утвердил	Фролова АВ					
Зав.кафедрой	Давыдов СВ					Проверка элементов каркаса при монтаже по первой схеме
				Стадия	Лист	Листов
				у	6	
				Кафедра СКВС		

Сетчатый купол, монтируемый по первой схеме



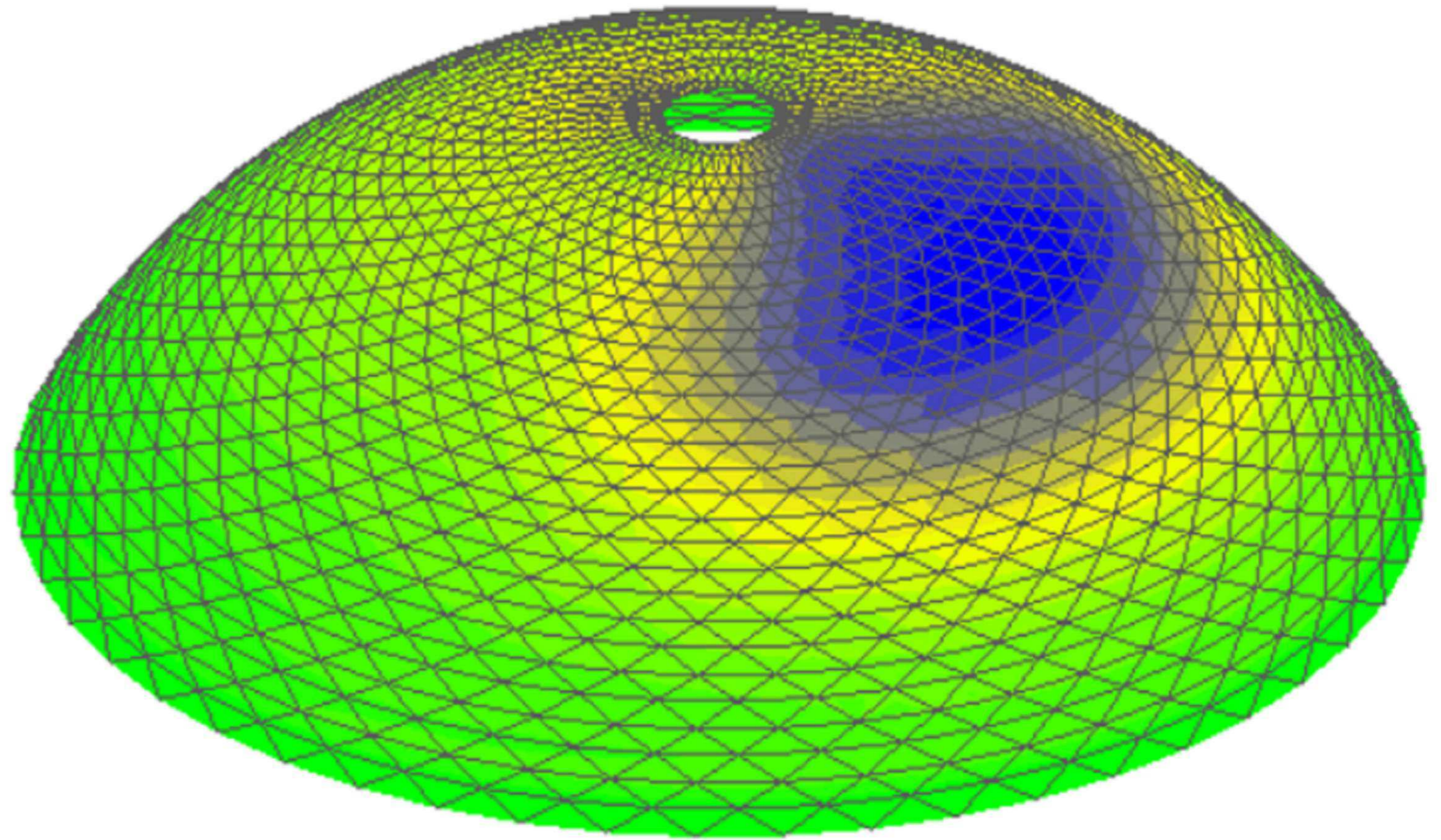
Критический фактор элементов купола, монтируемого по первой схеме

0.15	0.2	622
0.2	0.26	81
0.26	0.31	16
0.31	0.36	130
0.36	0.41	1174
0.41	0.46	467
0.46	0.52	607
0.52	0.57	656
0.57	0.62	195
0.62	0.67	74
0.67	0.72	87
0.72	0.77	72
0.77	0.83	75
0.83	0.88	88
0.88	0.93	104
0.93	0.98	52



Перемещения купола, монтируемого по первой схеме

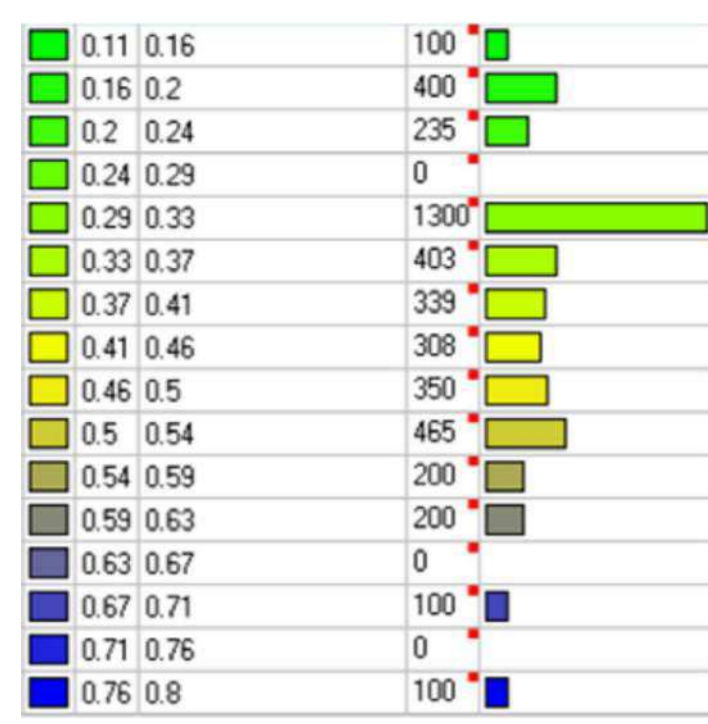
Суммарное перемещение	
CM	CM
0	0.77
0.77	1.55
1.55	2.32
2.32	3.09
3.09	3.86
3.86	4.64
4.64	5.41
5.41	6.18
6.18	6.95
6.95	7.73
7.73	8.5
8.5	9.27
9.27	10.05
10.05	10.82
10.82	11.59
11.59	12.36



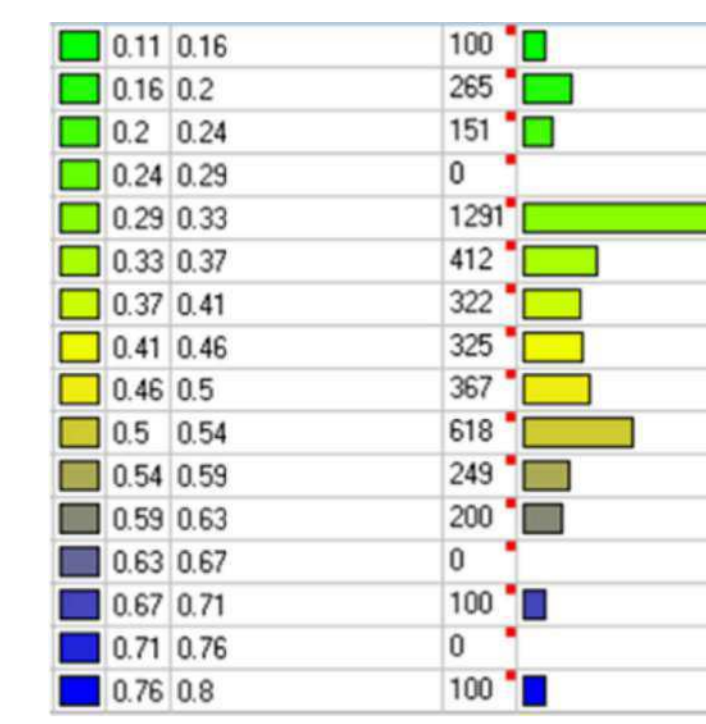
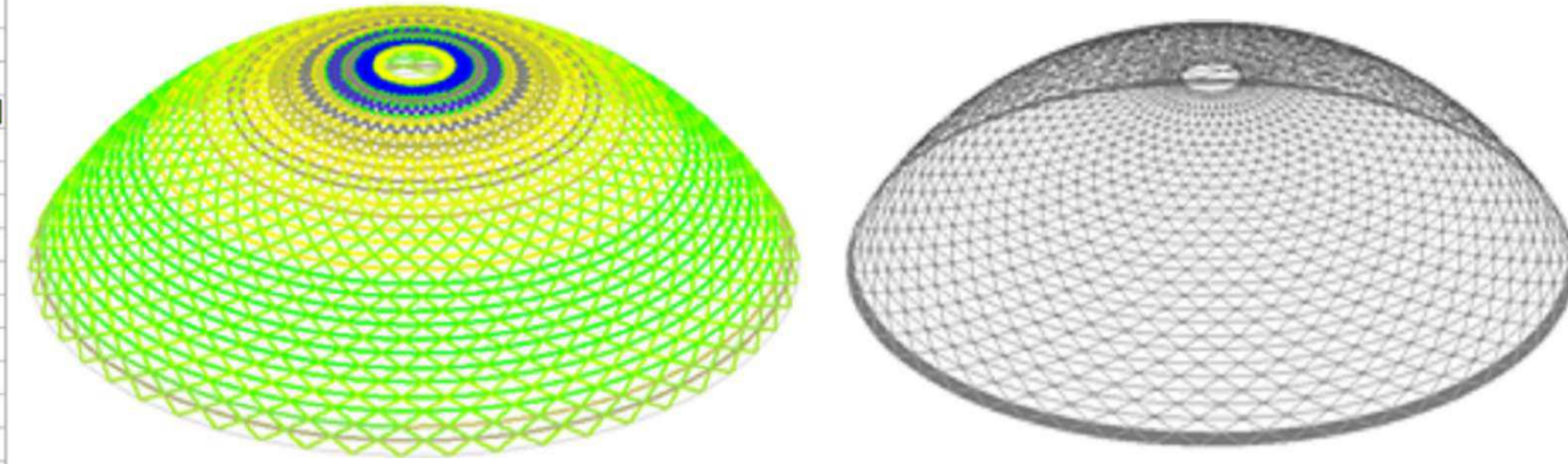
Примечание:

1. Смотреть совместно с листом б.
2. Красным цветом выделены элементы, сечение которых увеличилось после учета монтажа по первой схеме

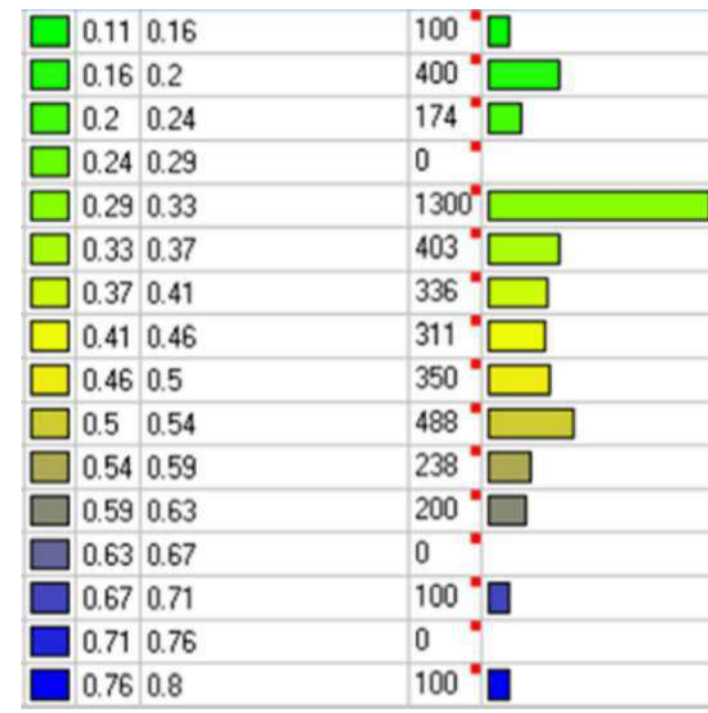
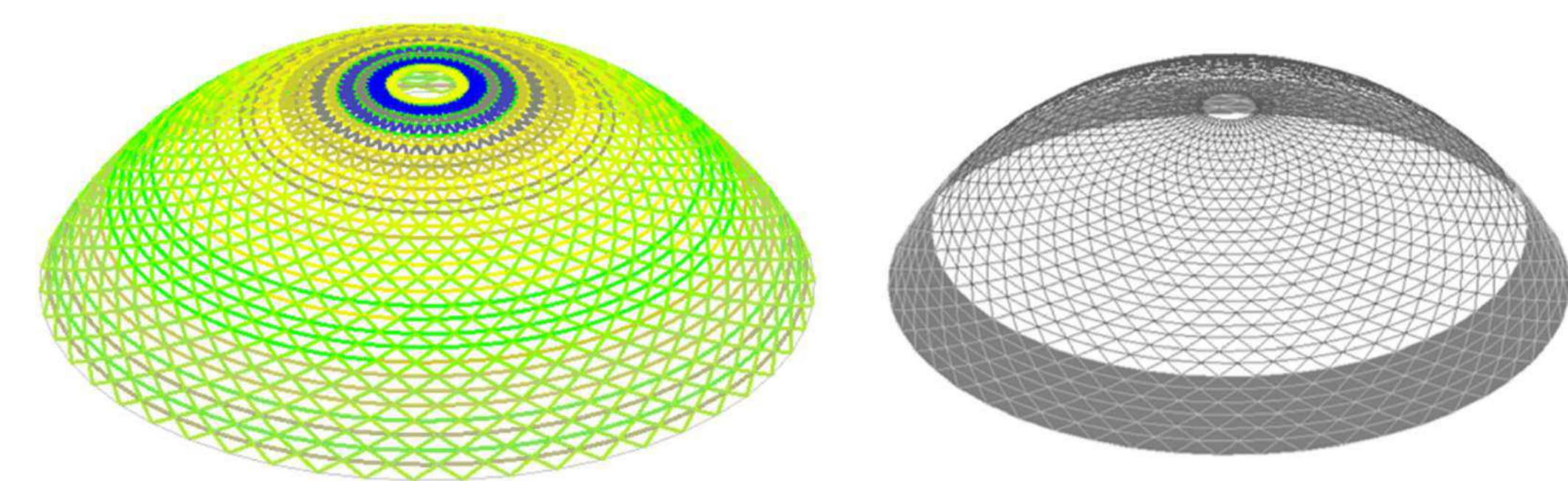
ВКР 08.05.01-2020					
ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол.Ил.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Выполнил	Львено АА				
Консультант	Фролова АВ				
Экспедитор	Фролова АВ				
Н.Контроль	Фролова АВ				
Заб.карьером	Дерябин СВ				
Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100м				Страница	Лист
Сетчатый купол, монтируемый по первой схеме				у	7
				Кафедра СКВС	



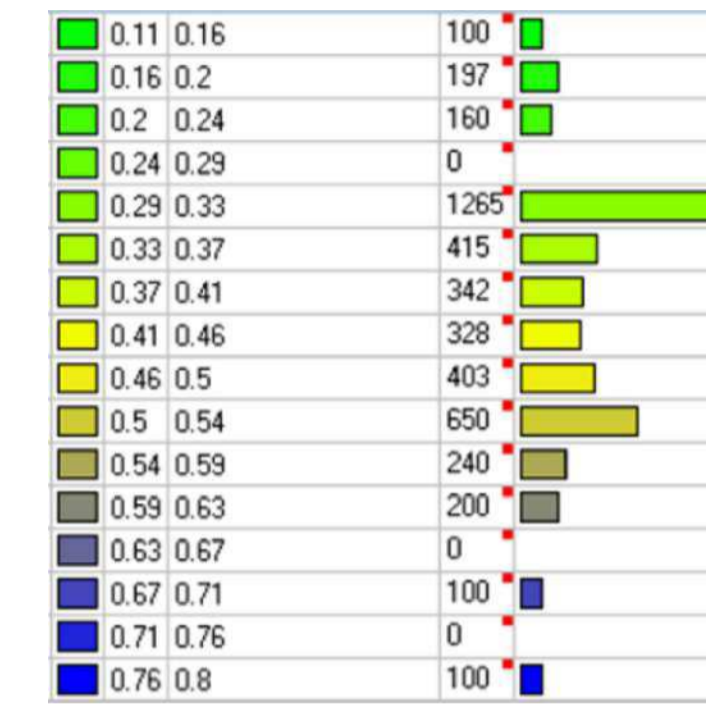
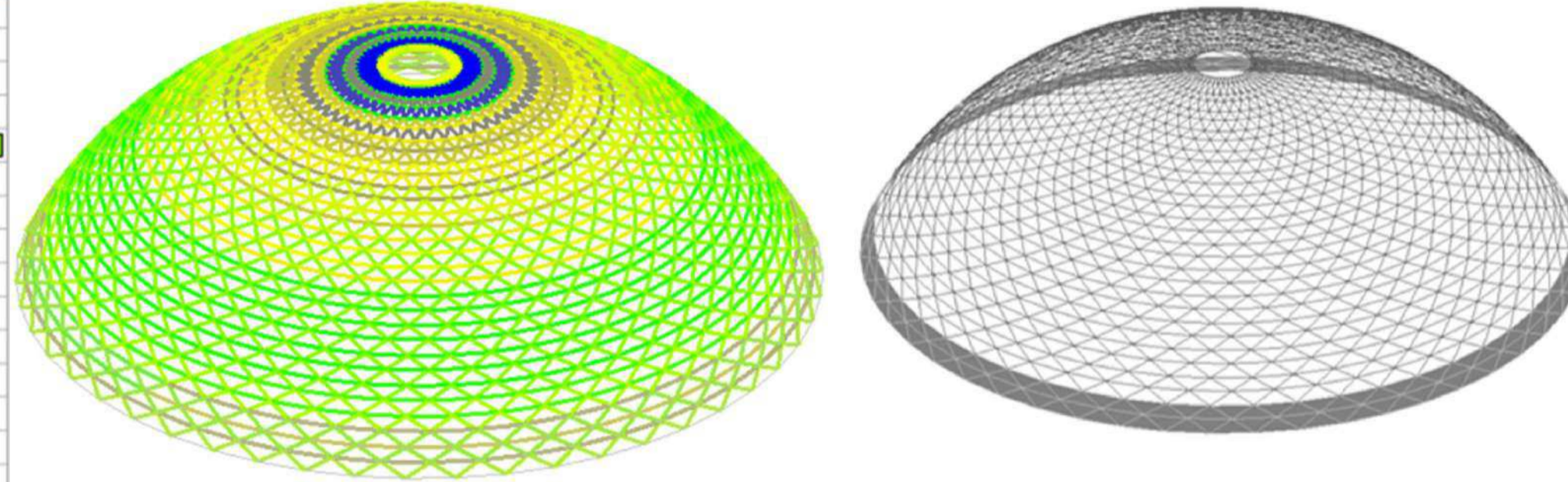
Проверка элементов купола 1 стадия, 2 схема



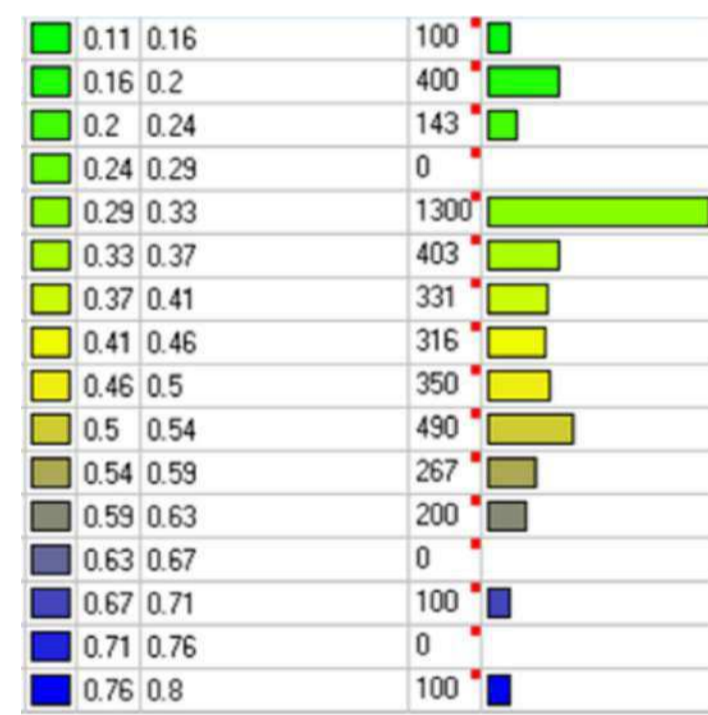
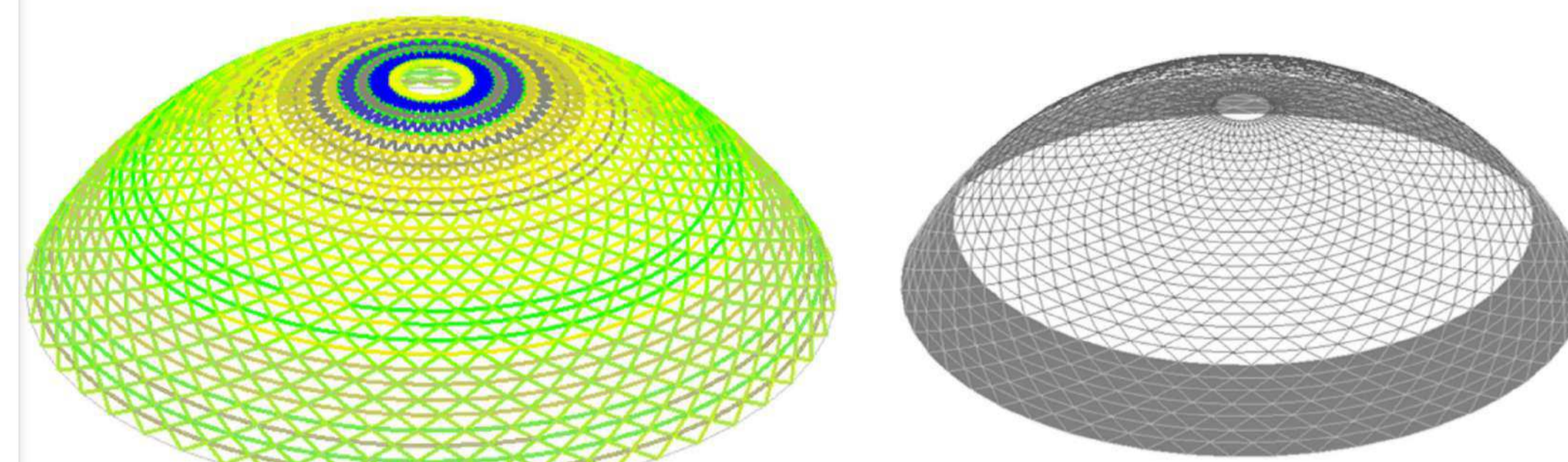
Проверка элементов купола 6 стадия, 2 схема



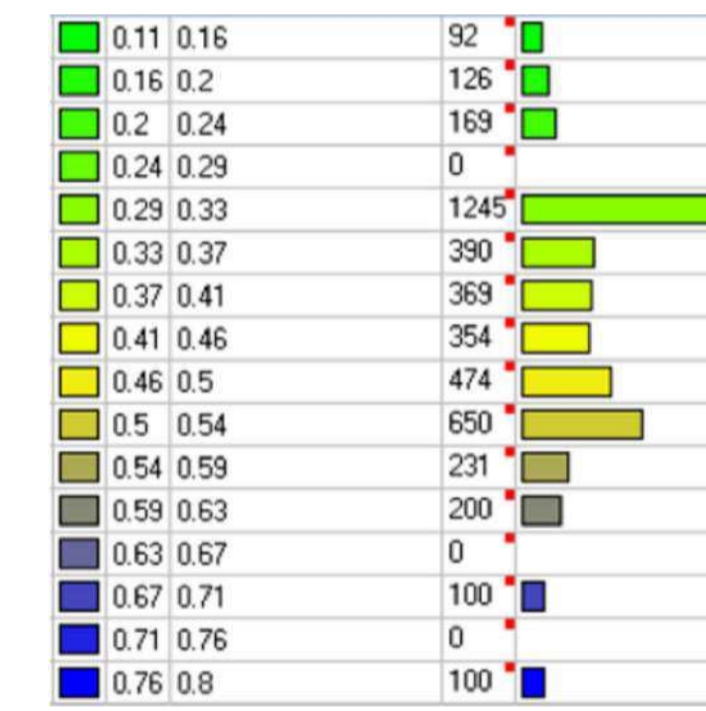
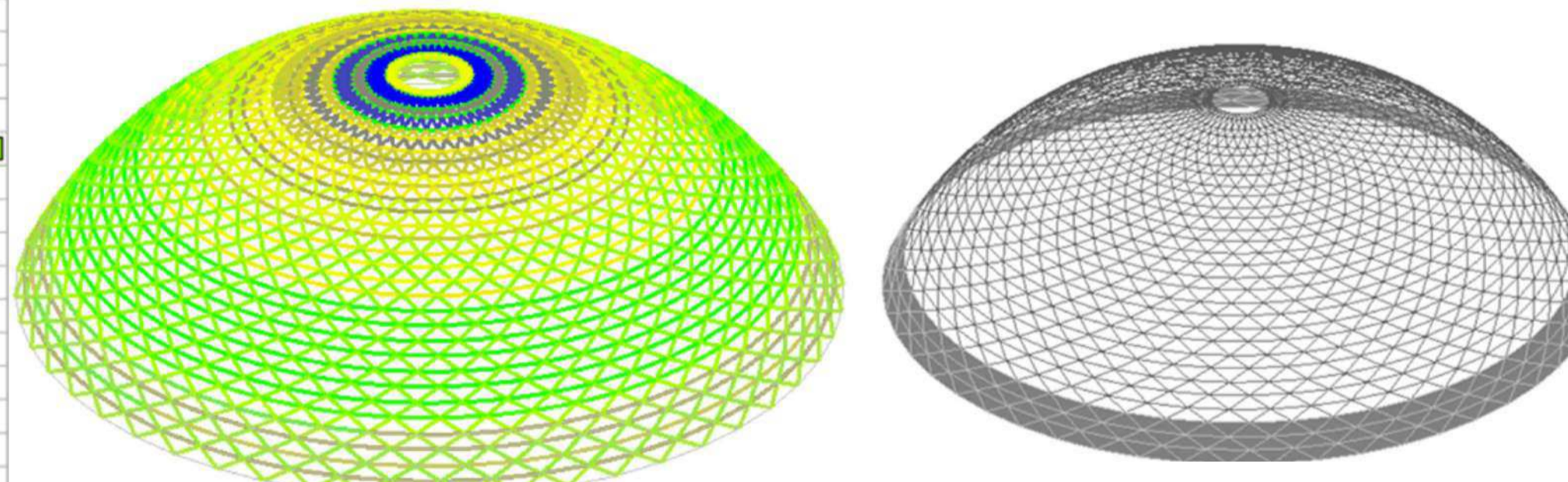
Проверка элементов купола 2 стадия, 2 схема



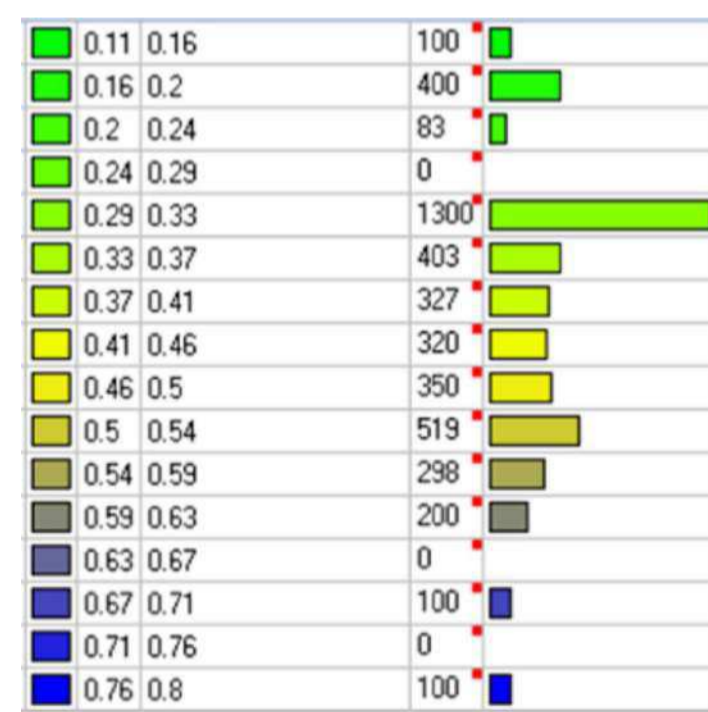
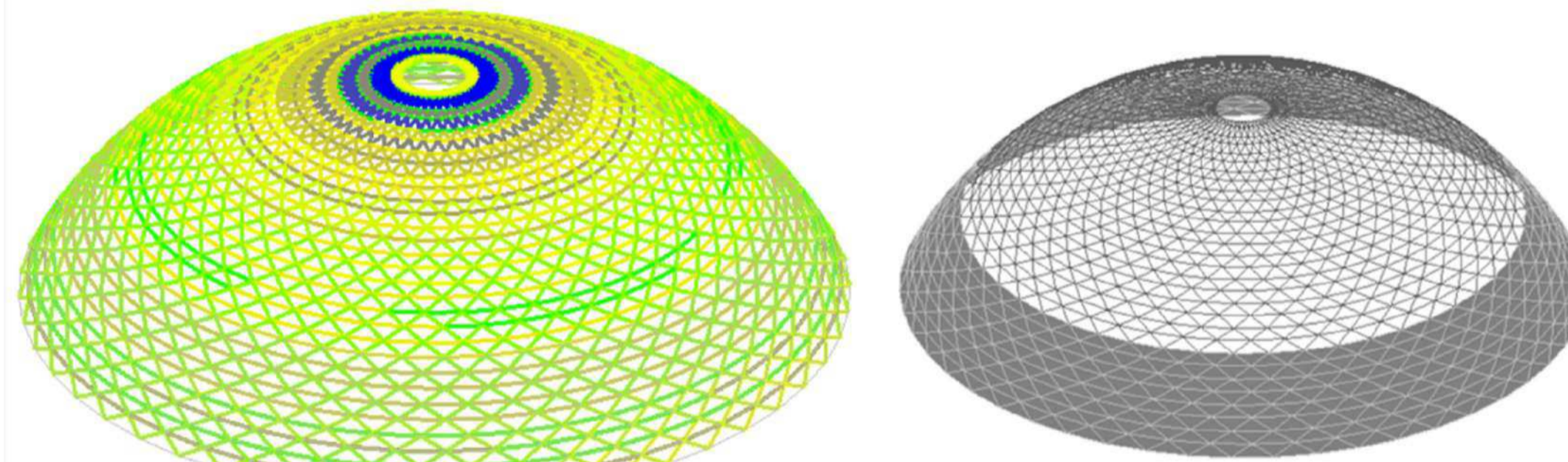
Проверка элементов купола 7 стадия, 2 схема



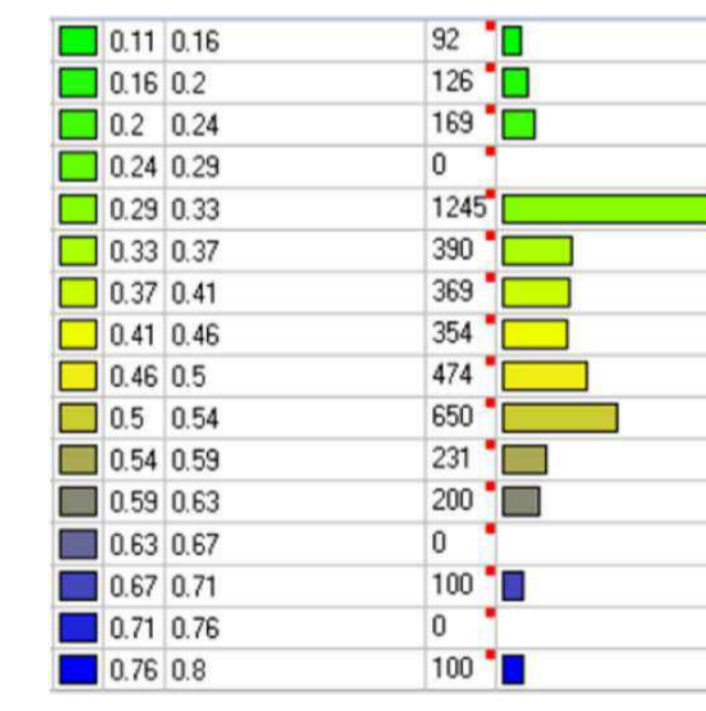
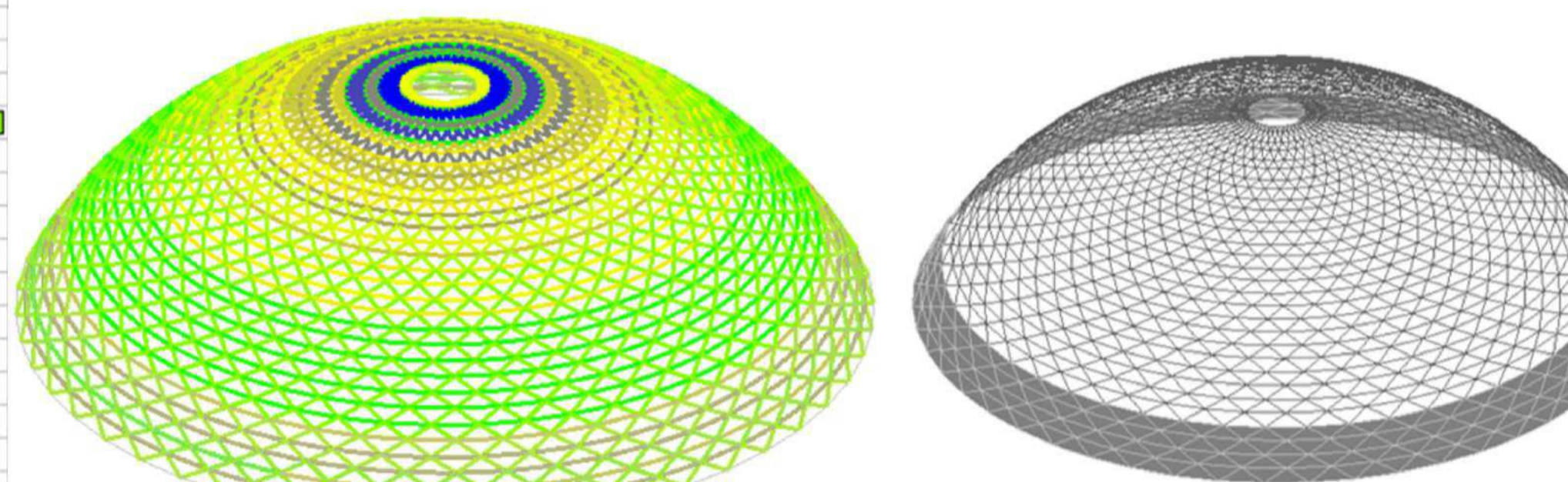
Проверка элементов купола 3 стадия, 2 схема



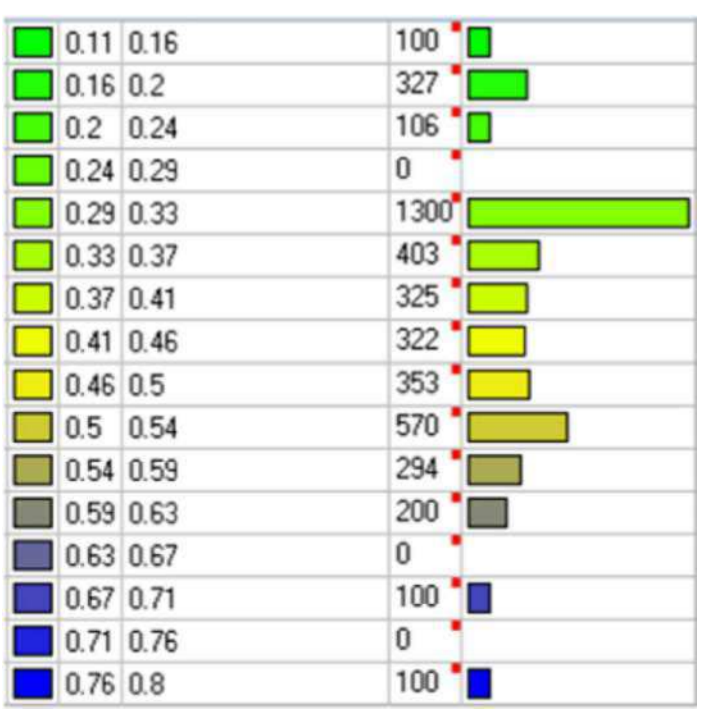
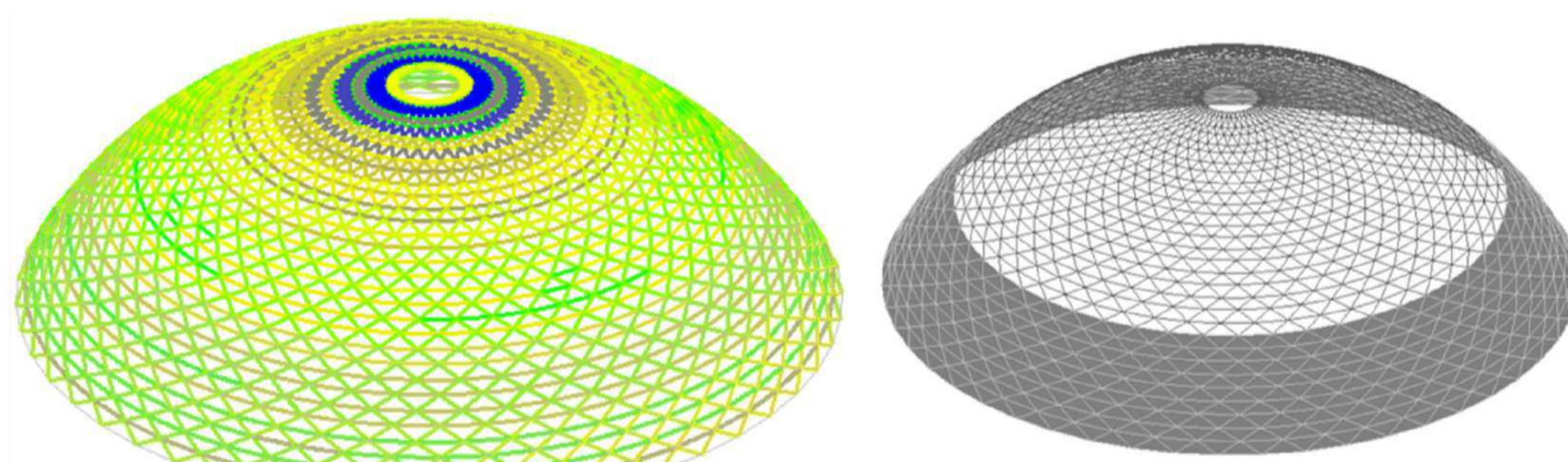
Проверка элементов купола 8 стадия, 2 схема



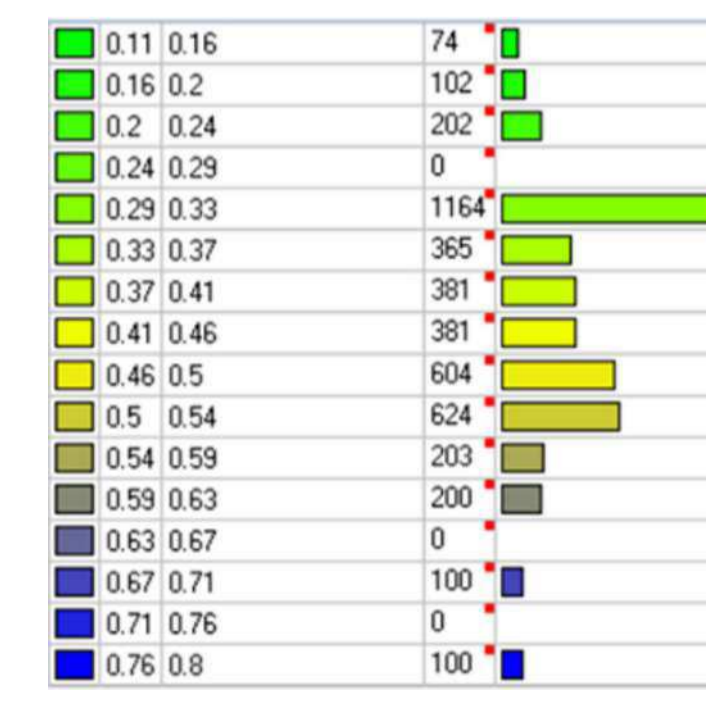
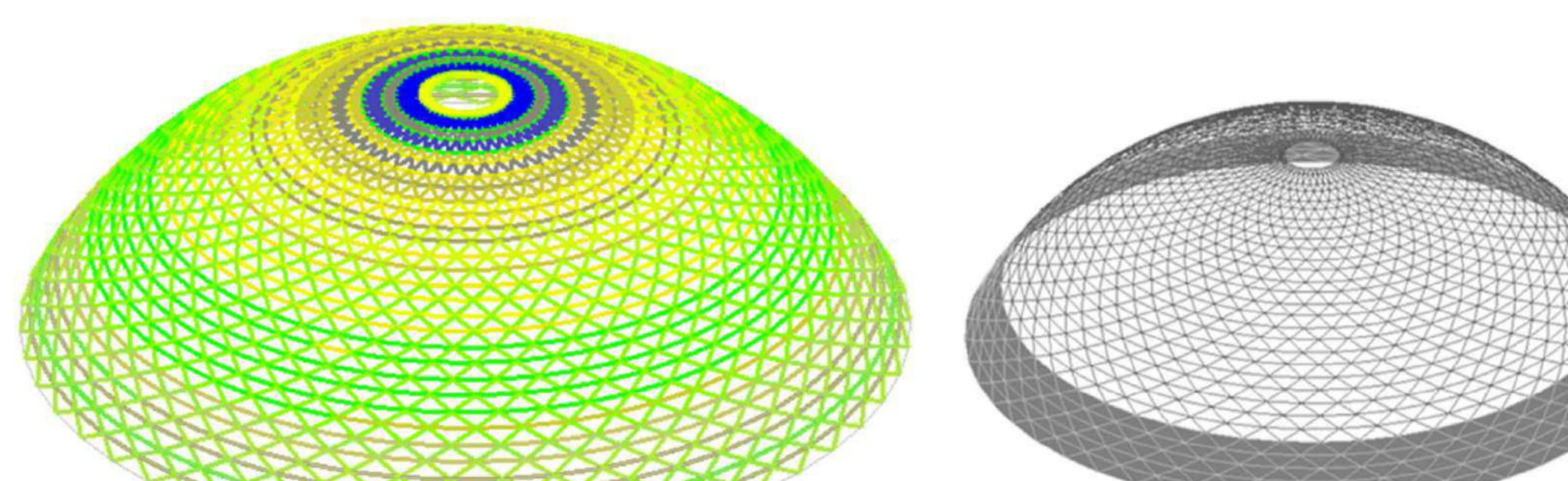
Проверка элементов купола 4 стадия, 2 схема



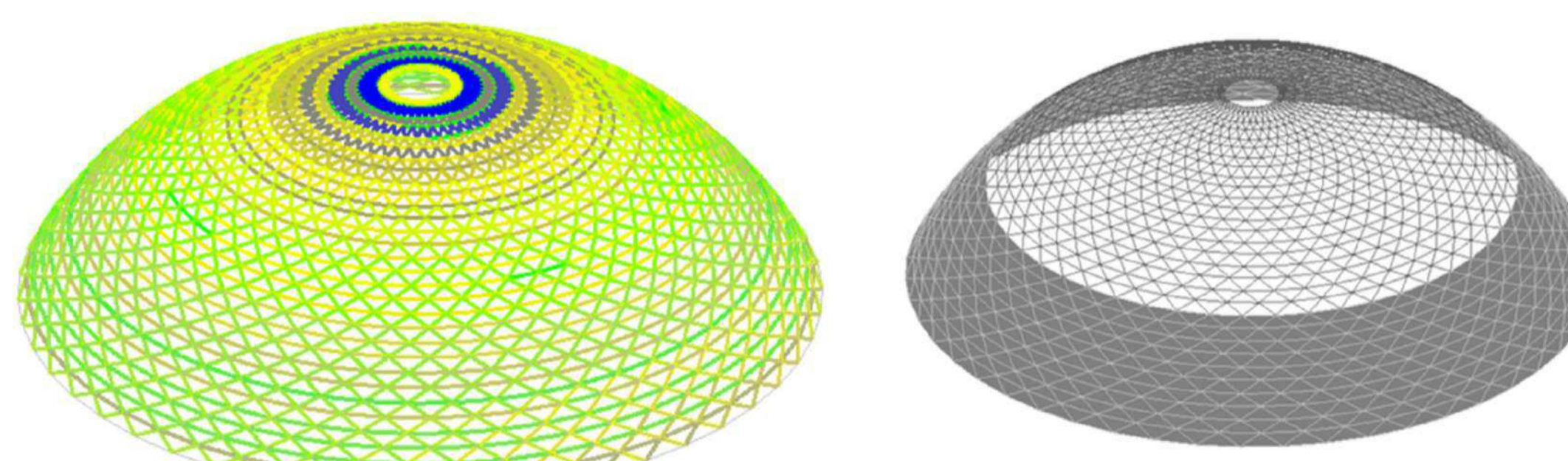
Проверка элементов купола 9 стадия, 2 схема



Проверка элементов купола 5 стадия, 2 схема



Проверка элементов купола 10 стадия, 2 схема

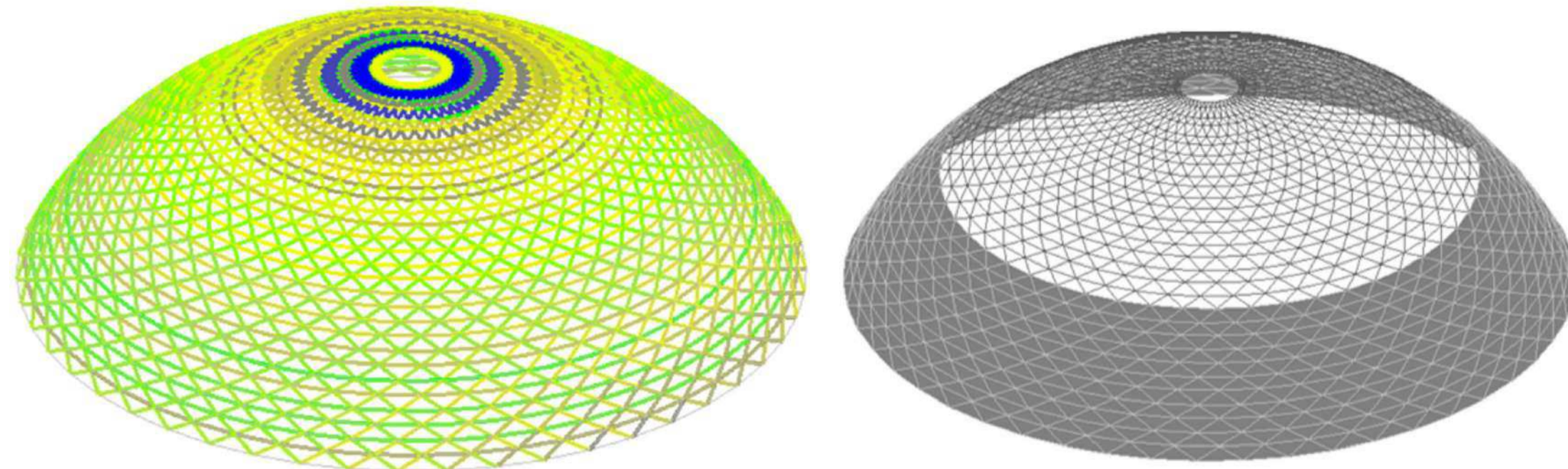
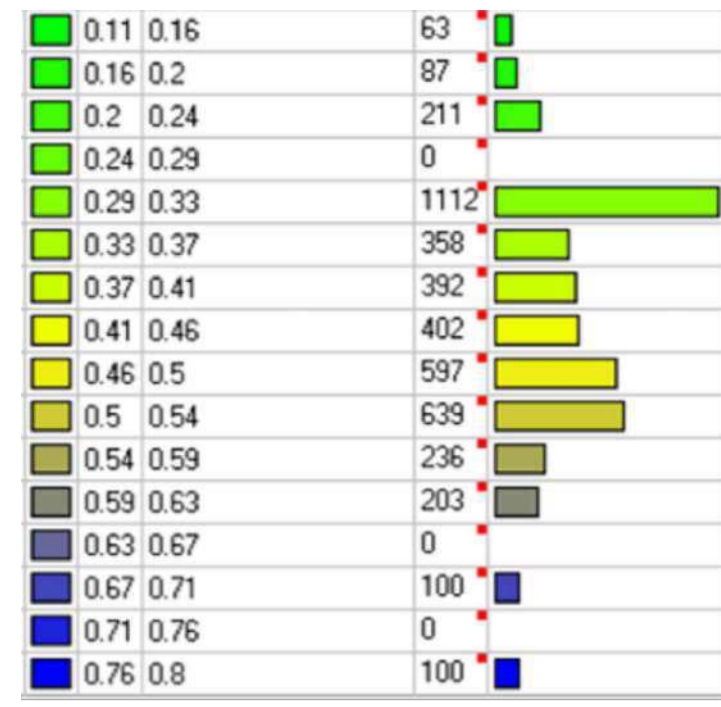


Примечания:

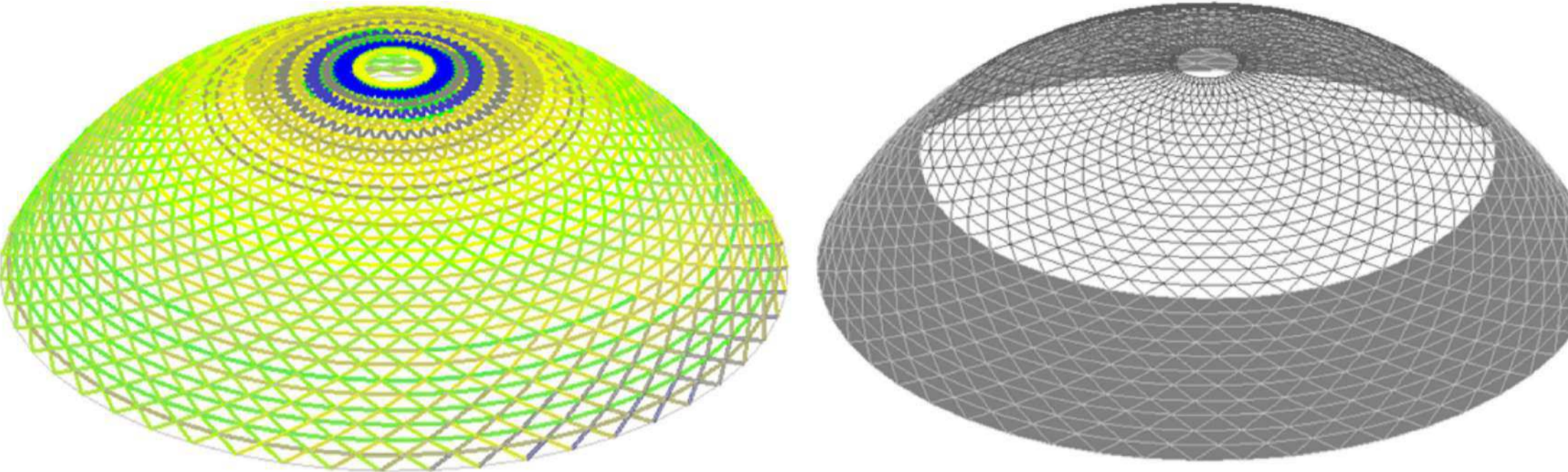
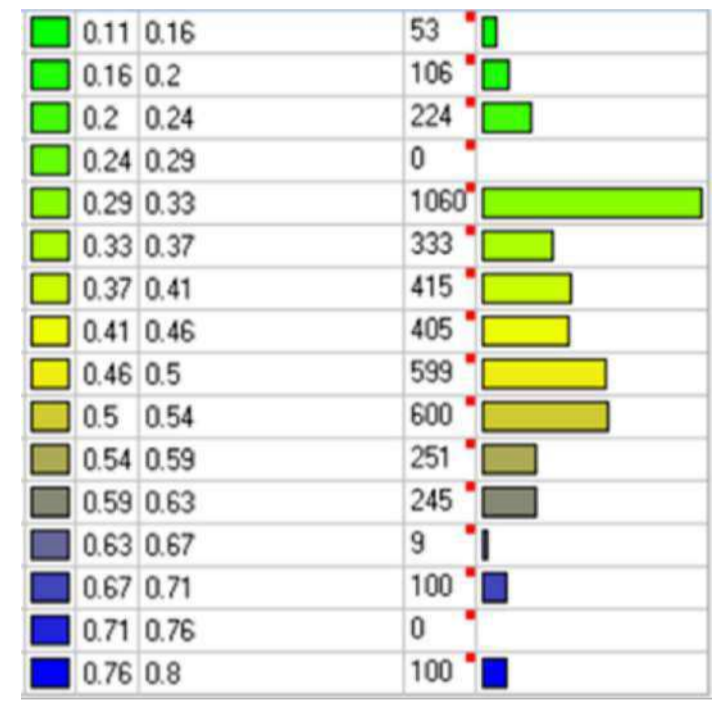
1. Сечения элементов см. л.3.
2. При второй схеме монтажа ограждающие конструкции возводятся после завершения установки каркаса.
3. При монтаже стального каркаса критический фактор не превышает 1 (прил. 1)

					ВКР 08.05.01-2020				
					ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт				
Изм.	Кол.Изм.	Лист	№ док	Подпись	Дата	Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100м	Стадия	Лист	Листов
Выполнил		Львенов КА					у	8	
Консультант		Фролова АВ							
Утвердил		Фролова АВ							
Начальник		Фролова АВ				Проверка элементов каркаса при монтаже по второй схеме			Кафедра СКВС
Зав.кафедрой		Левин СВ							

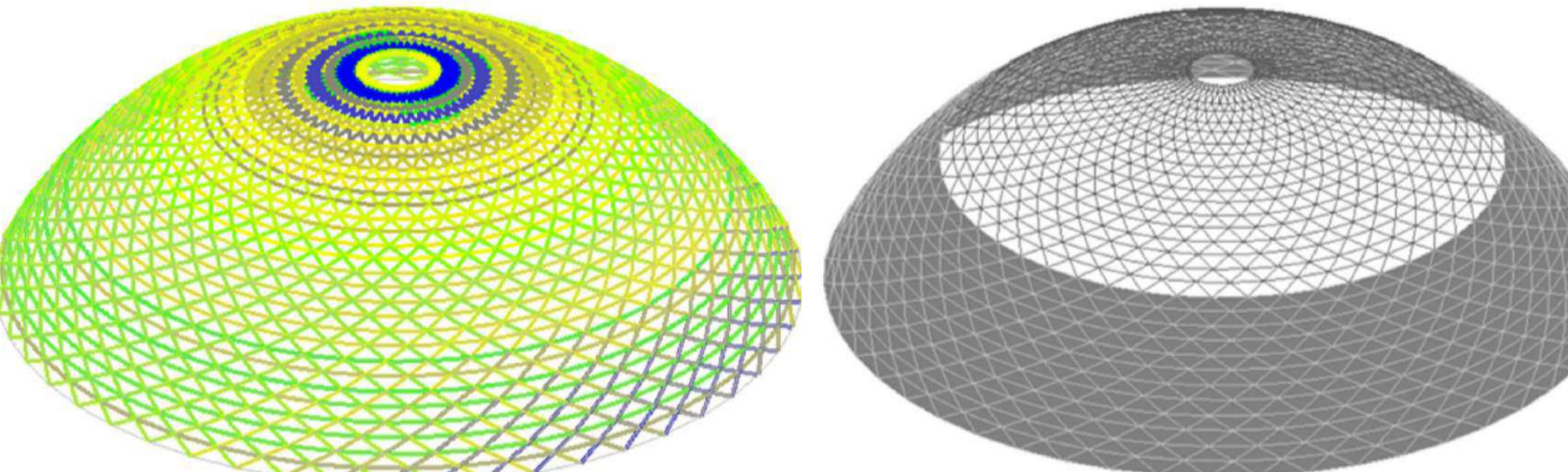
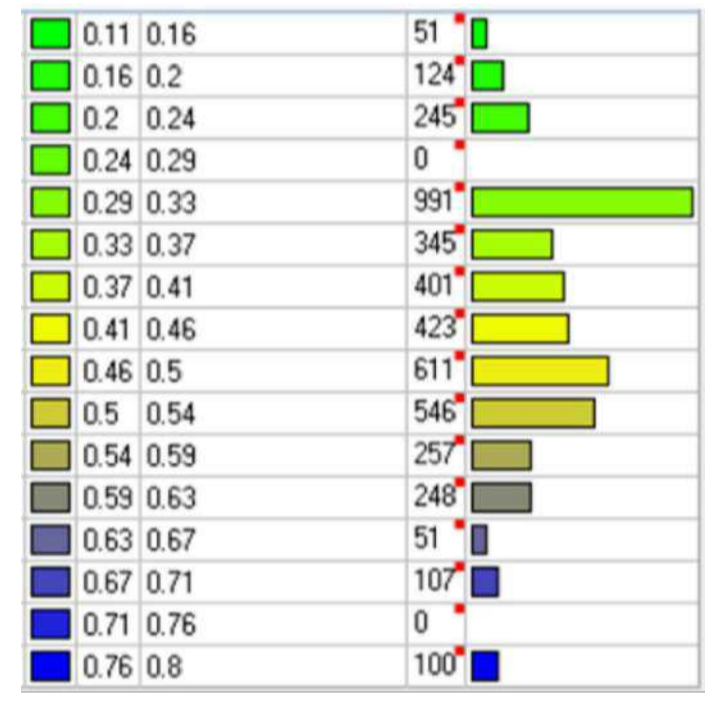
Проверка элементов купола 11 стадия, 2 схема



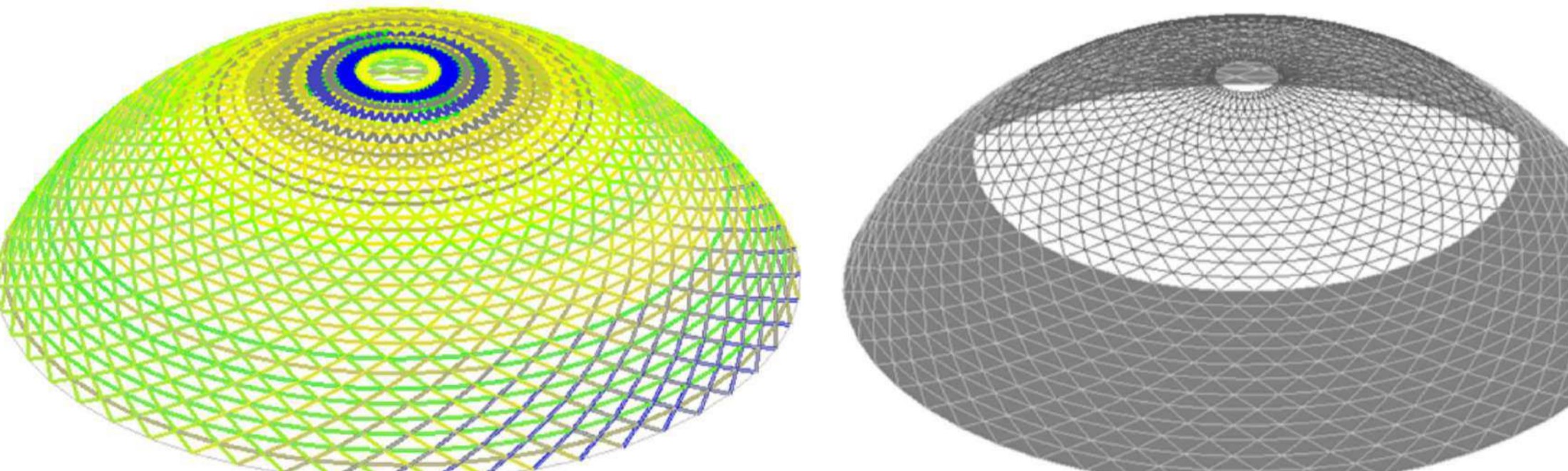
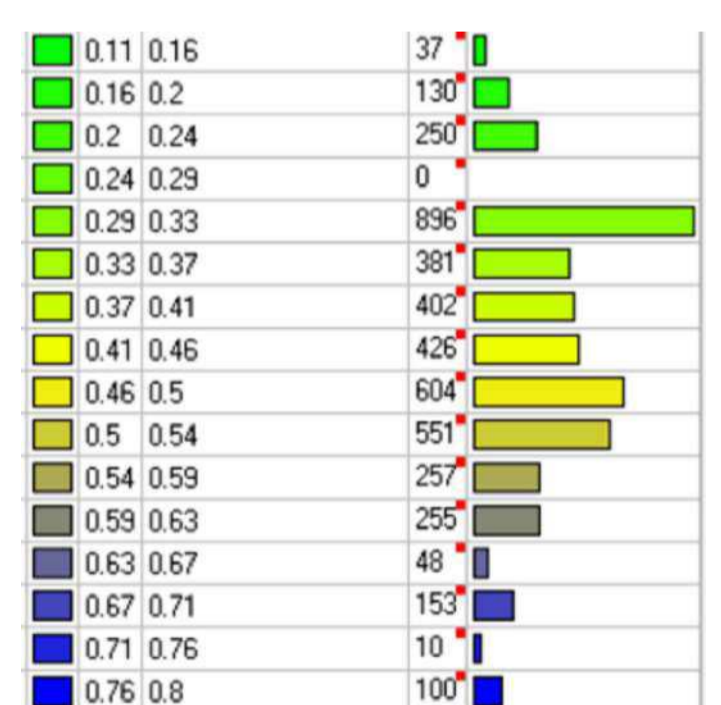
Проверка элементов купола 12 стадия, 2 схема



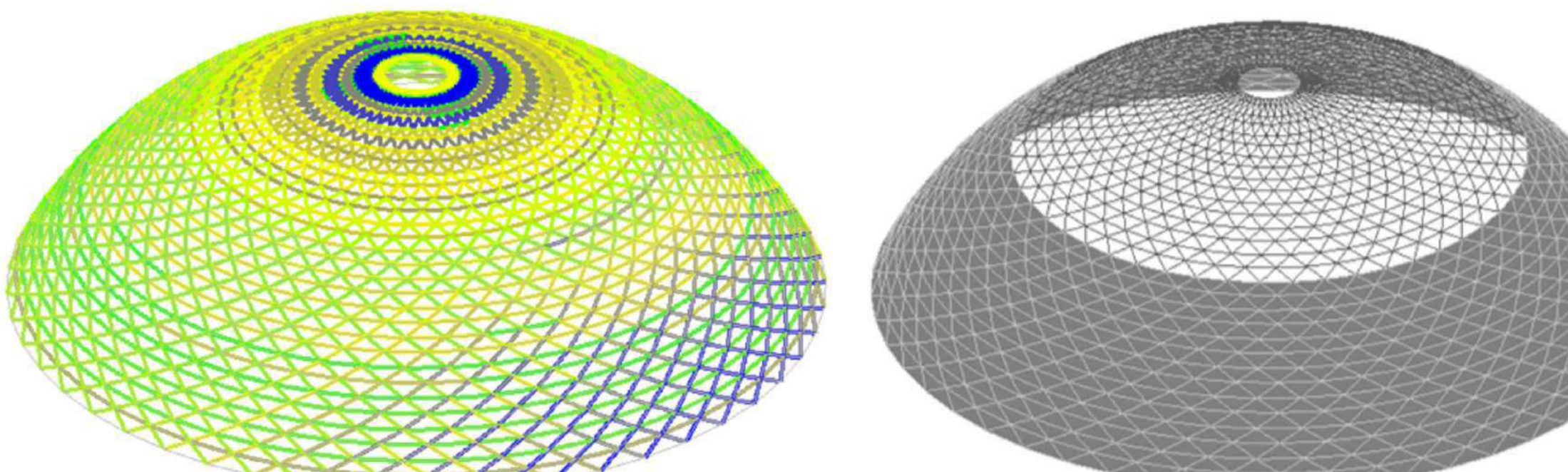
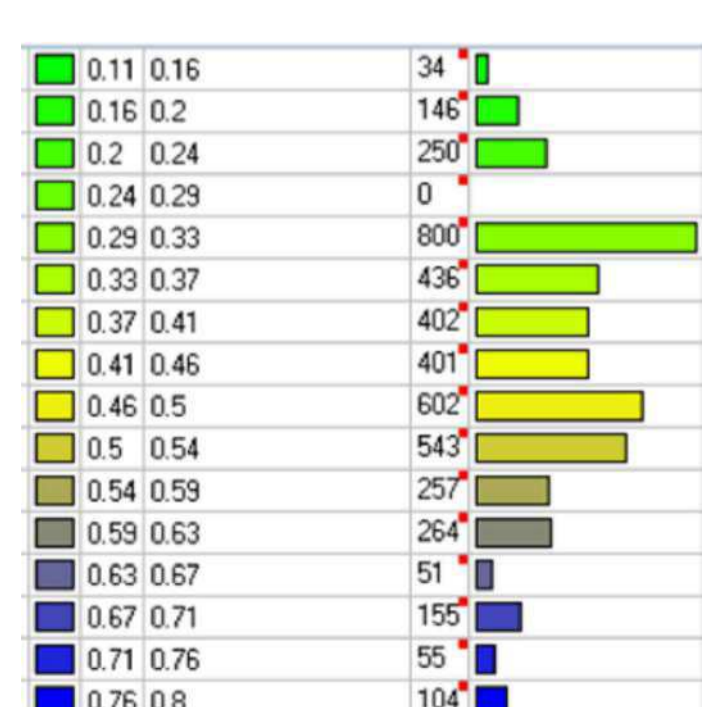
Проверка элементов купола 13 стадия, 2 схема



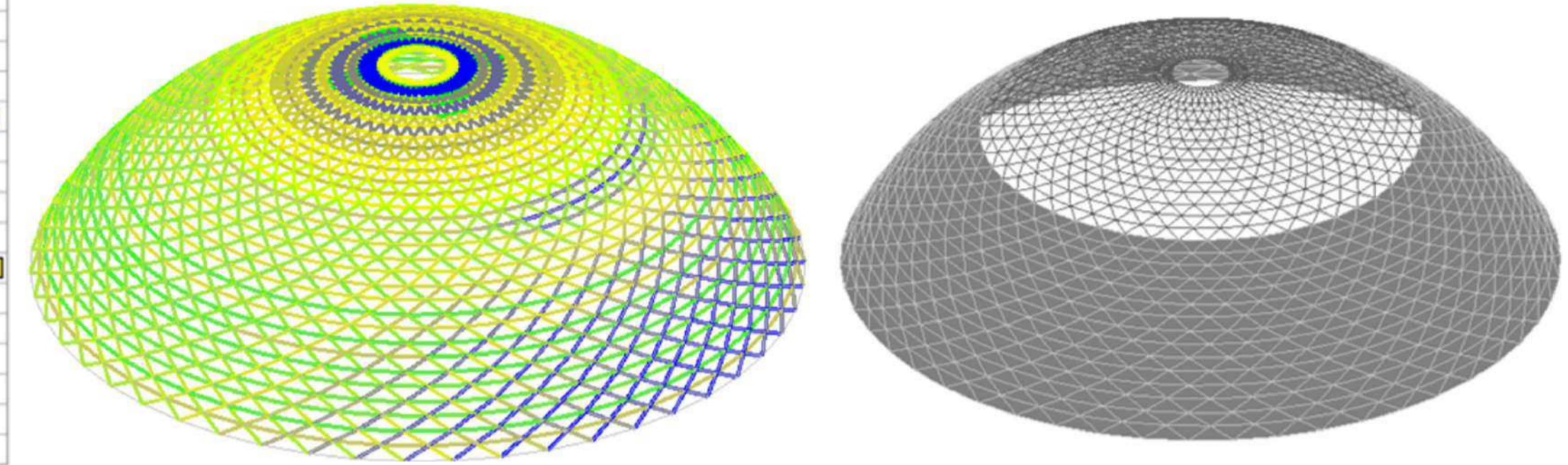
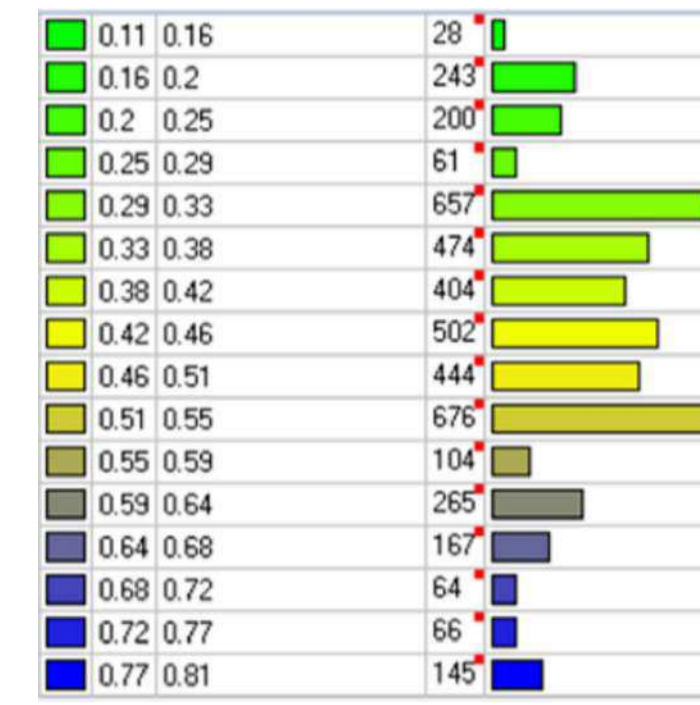
Проверка элементов купола 14 стадия, 2 схема



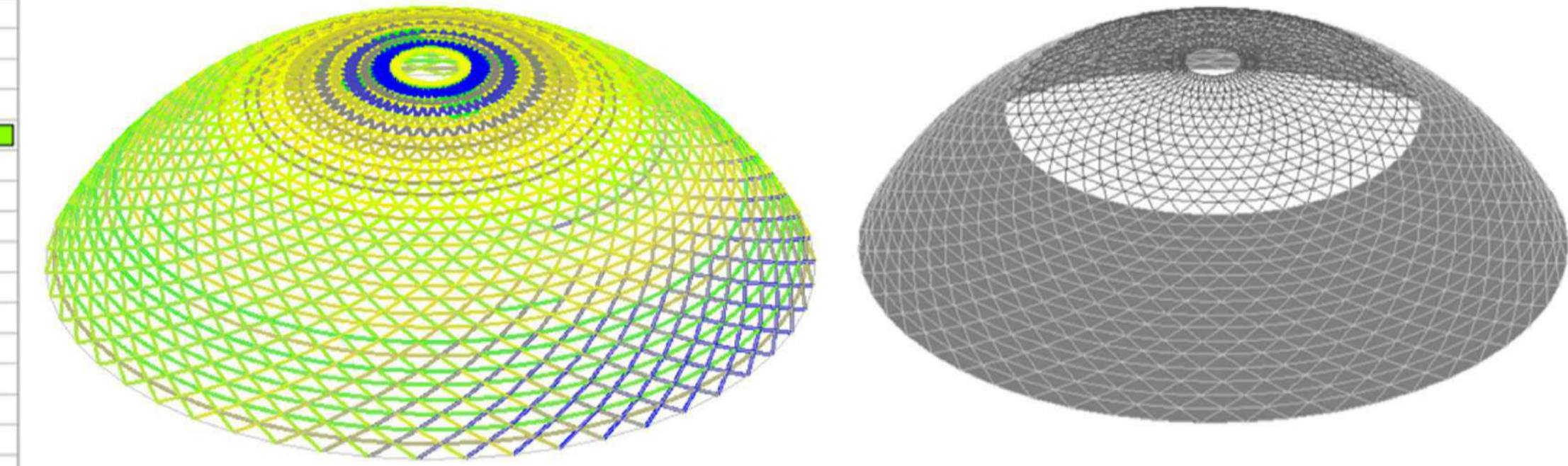
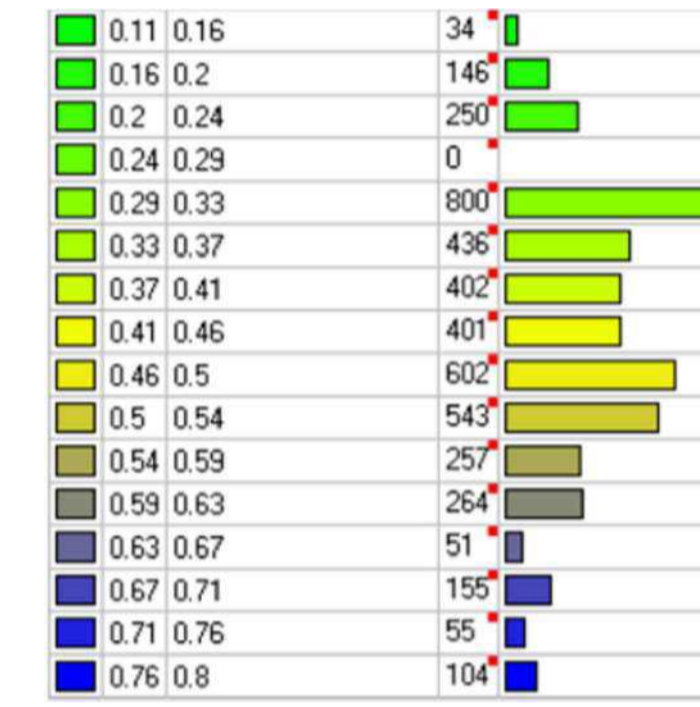
Проверка элементов купола 15 стадия, 2 схема



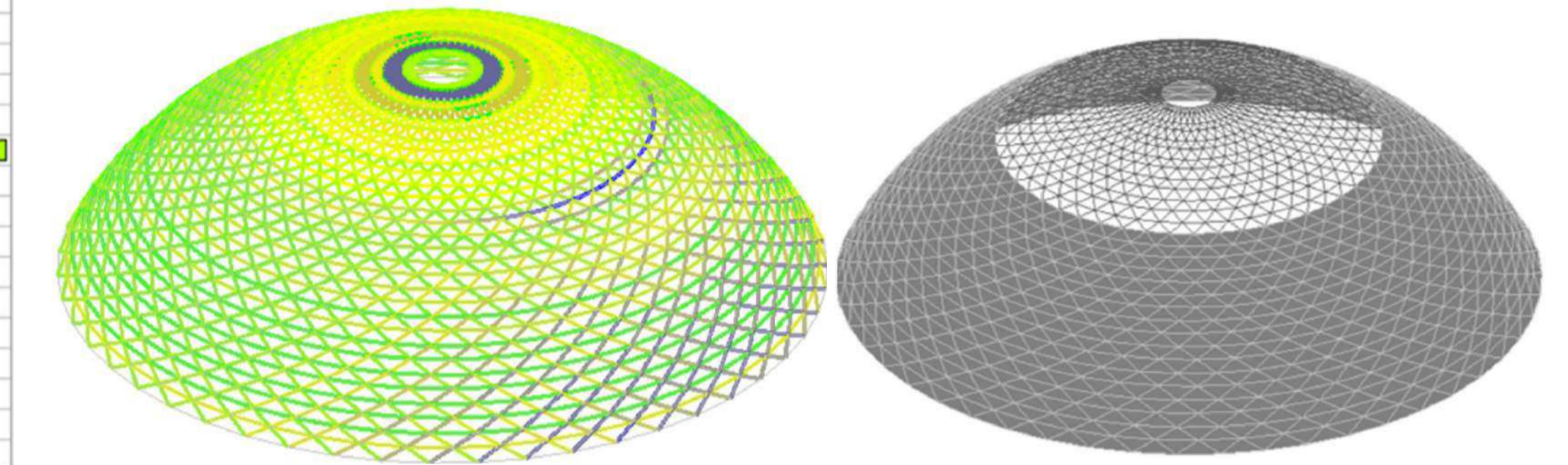
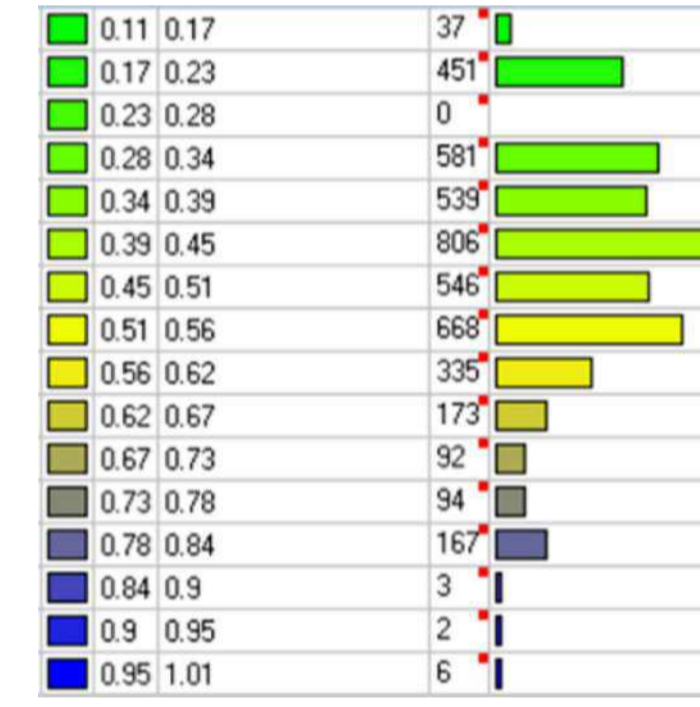
Проверка элементов купола 16 стадия, 2 схема



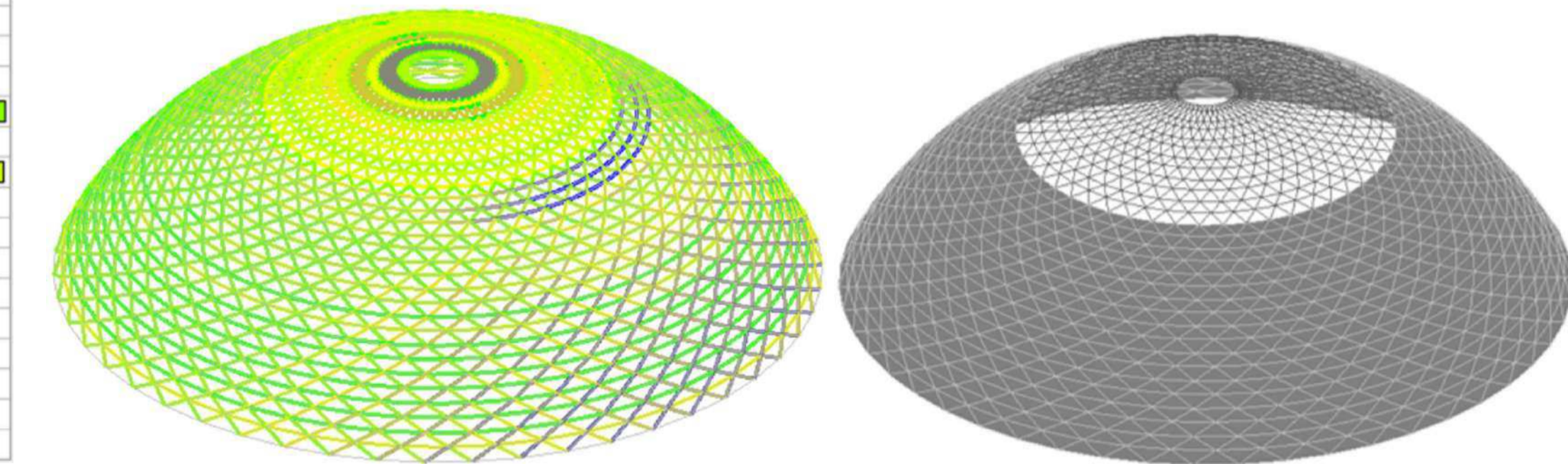
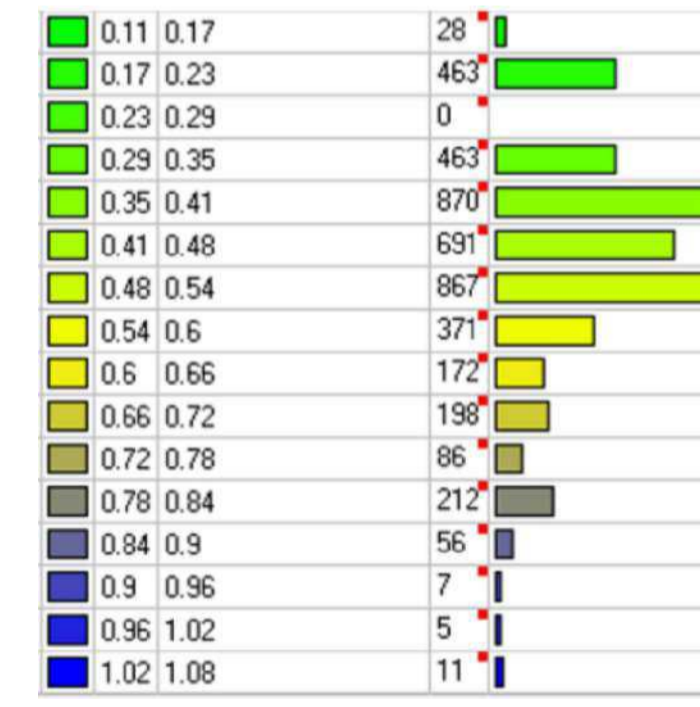
Проверка элементов купола 17 стадия, 2 схема



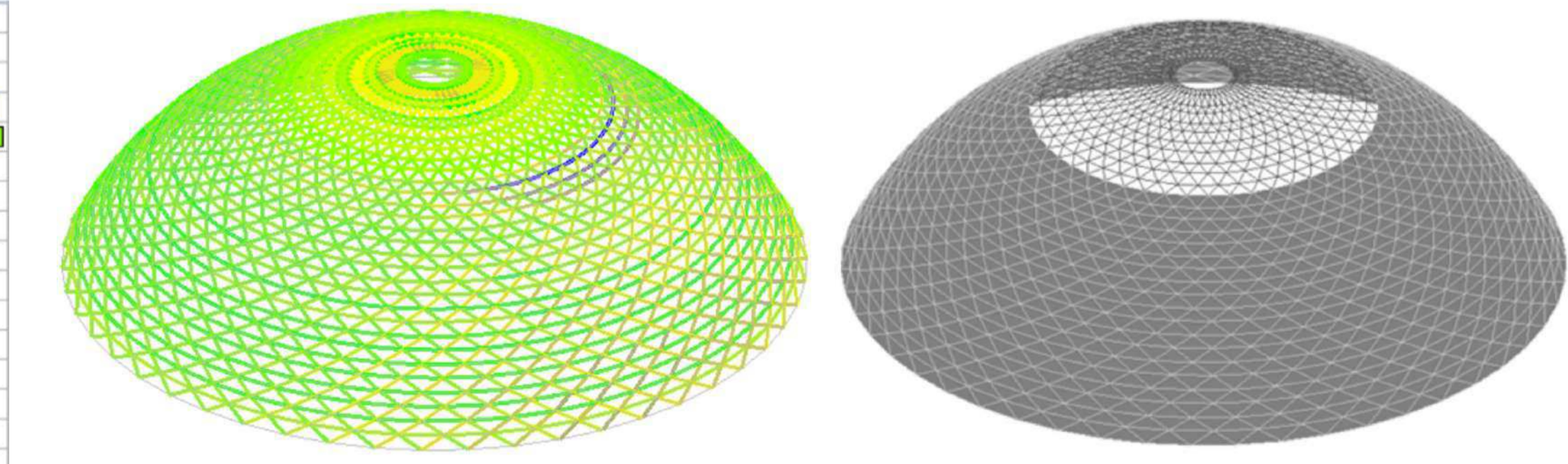
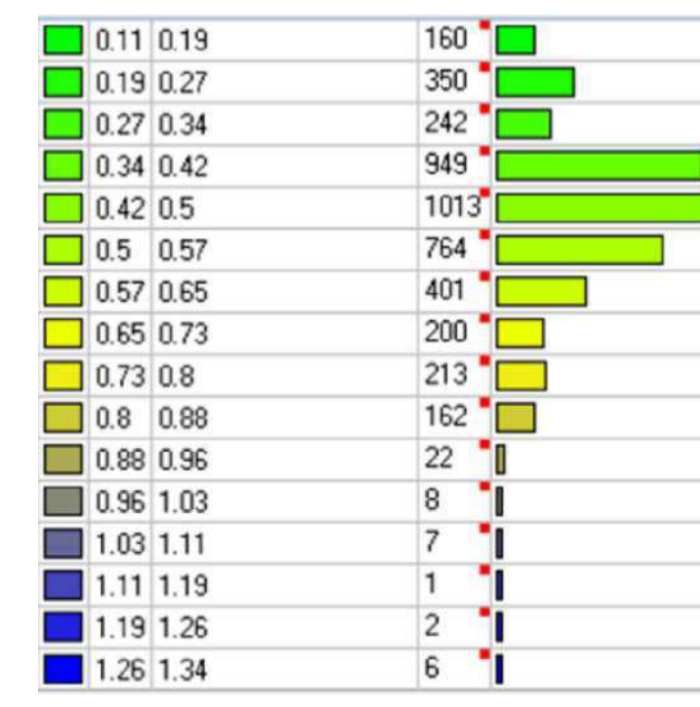
Проверка элементов купола 18 стадия, 2 схема



Проверка элементов купола 19 стадия, 2 схема



Проверка элементов купола 20 стадия, 2 схема

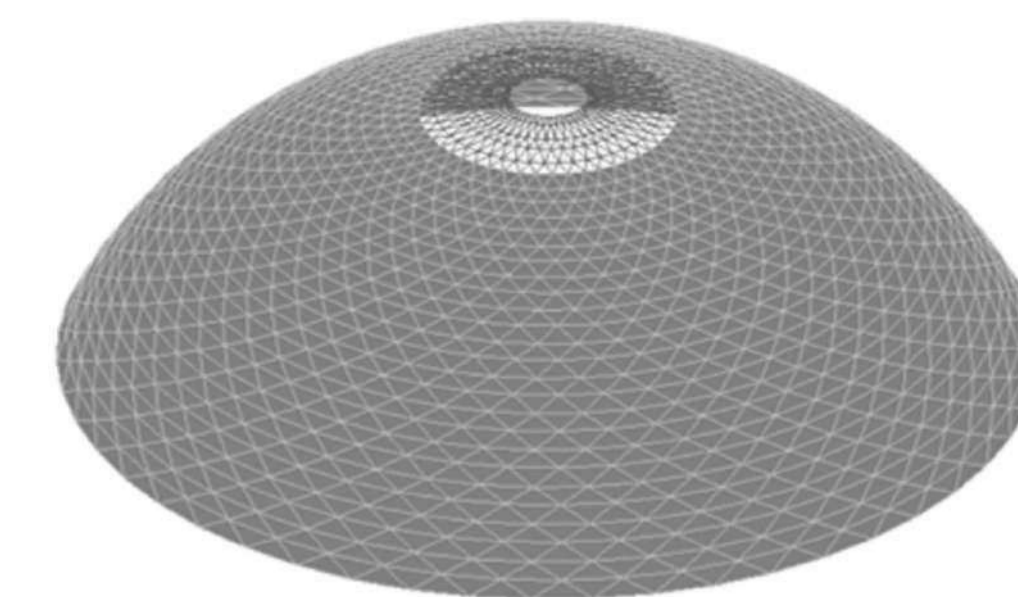
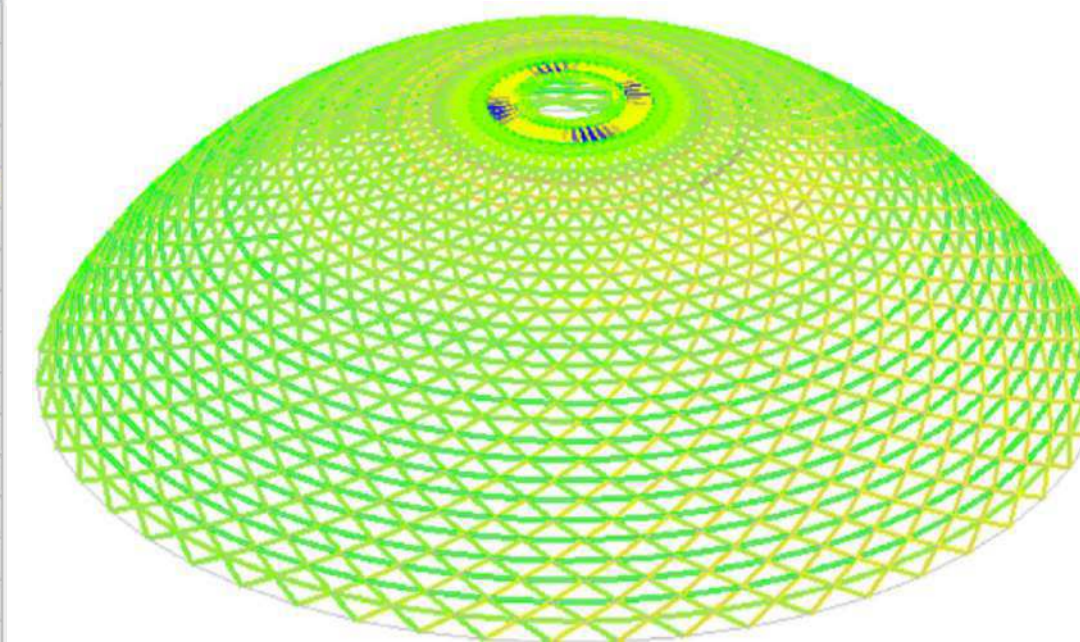
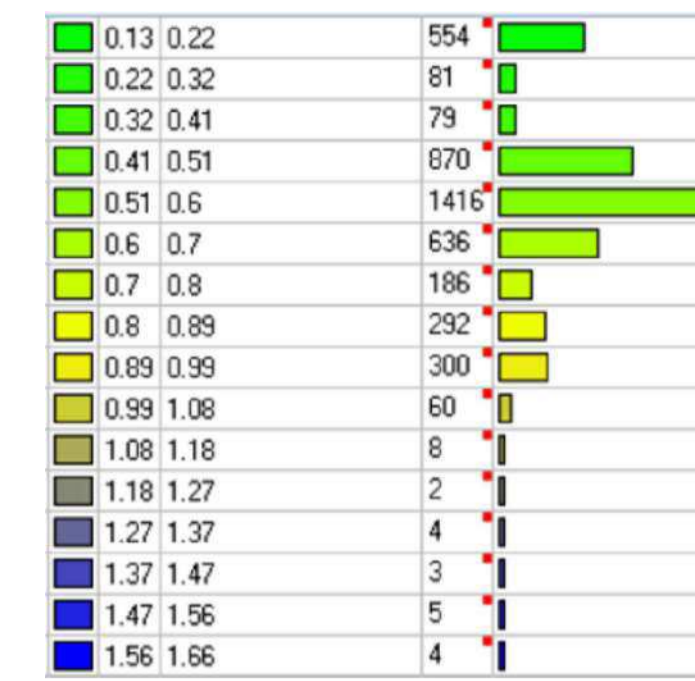
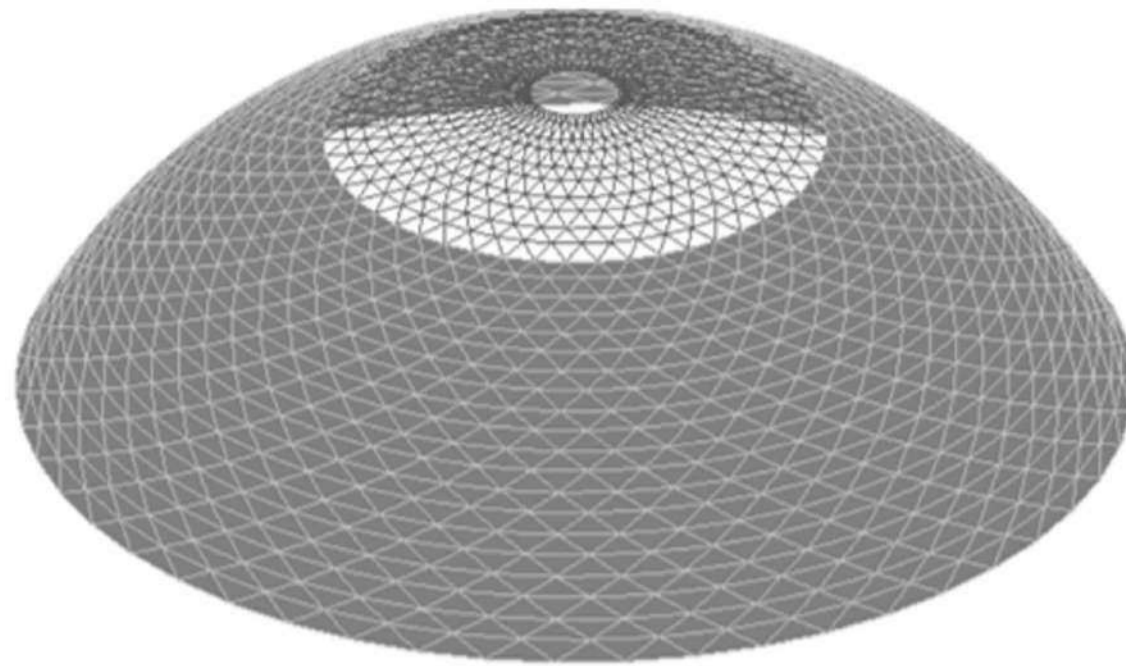
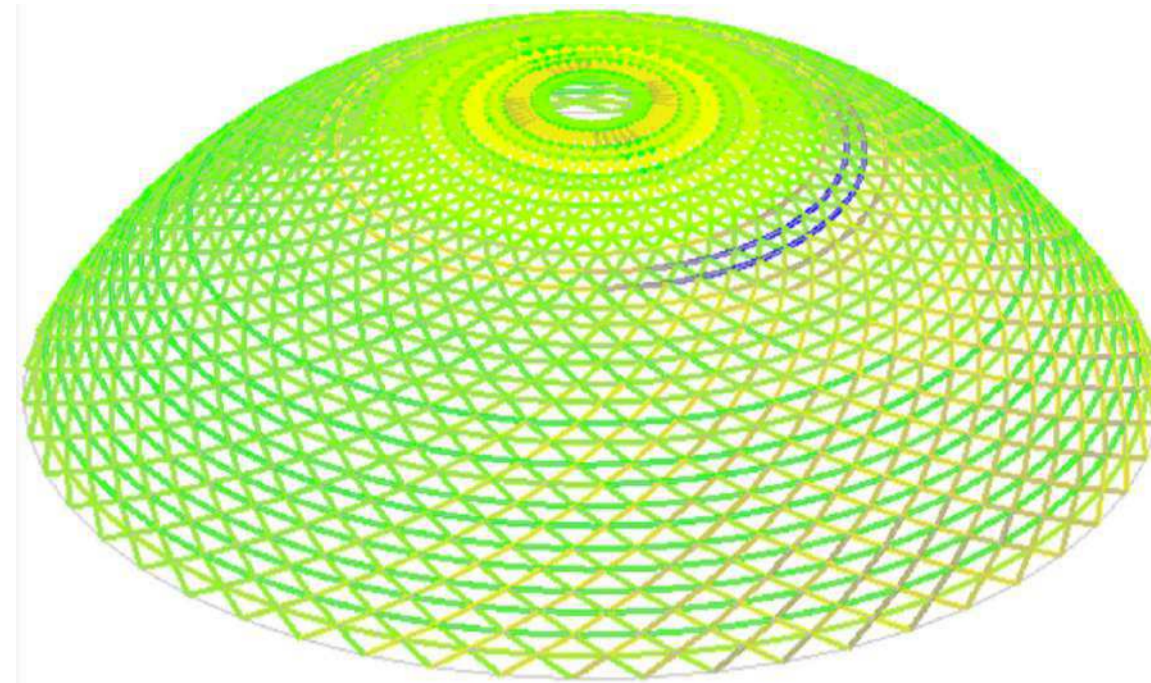
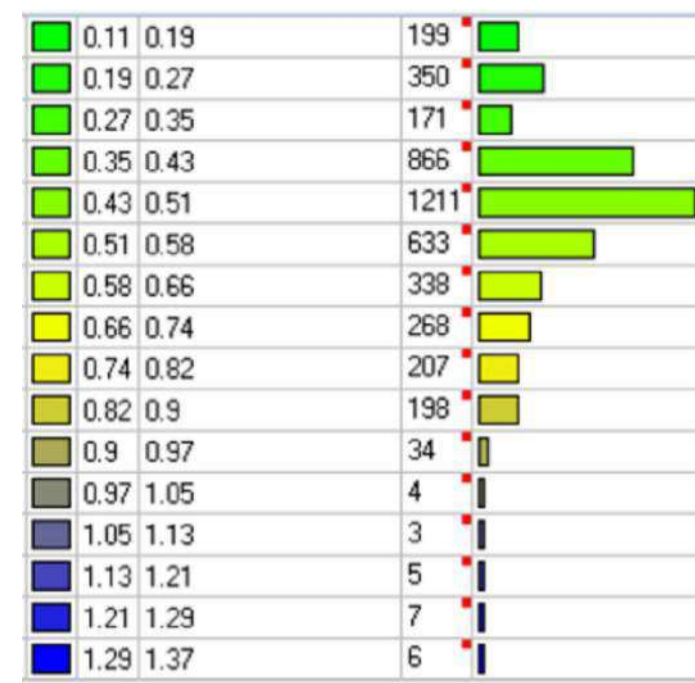


Примечания

1. Сечения элементов см. л.3.
2. При второй схеме монтажа ограждающие конструкции возводятся после завершения установки каркаса.
3. При монтаже стального каркаса критический фактор не превышает 1 (прил. 1)

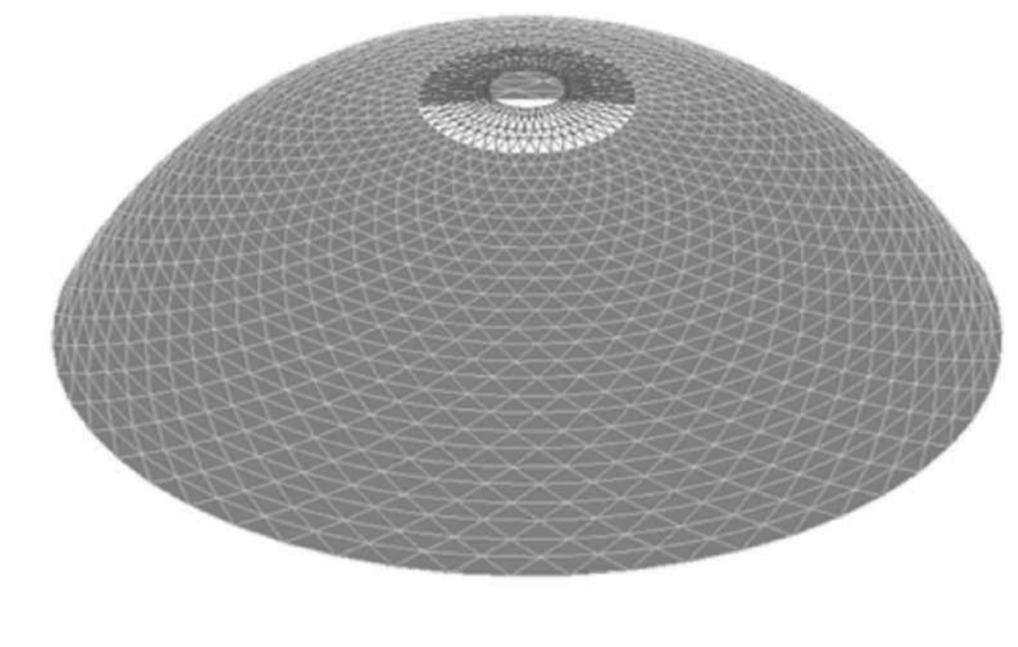
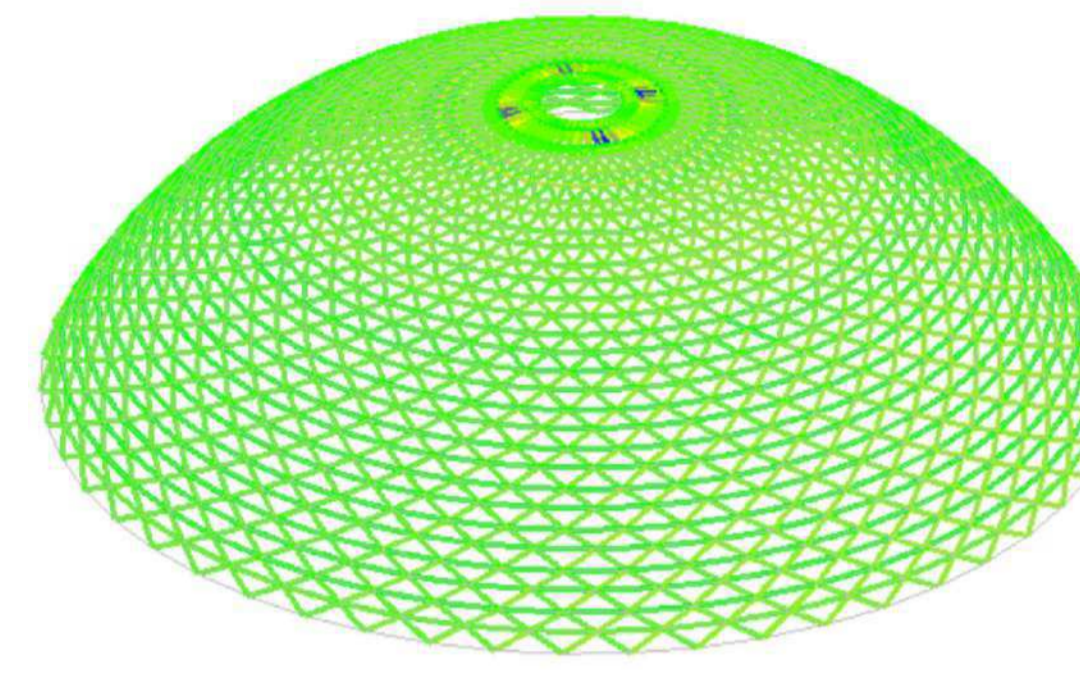
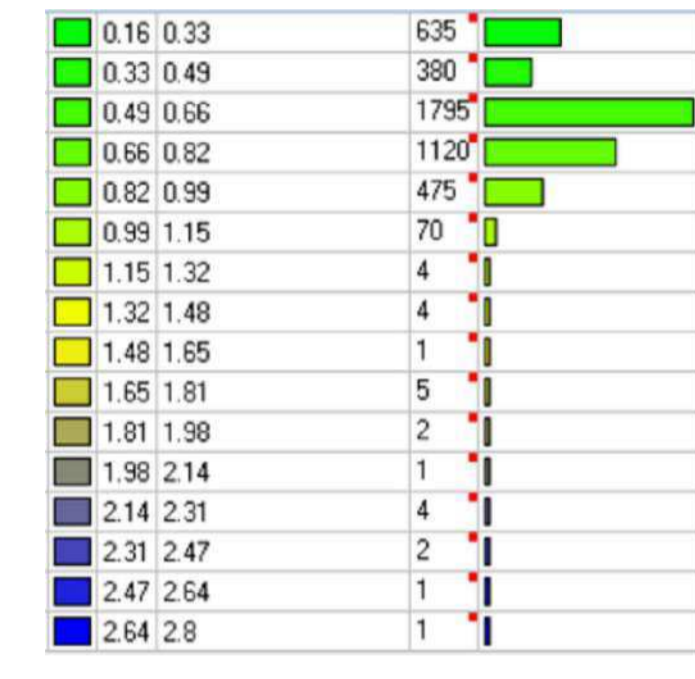
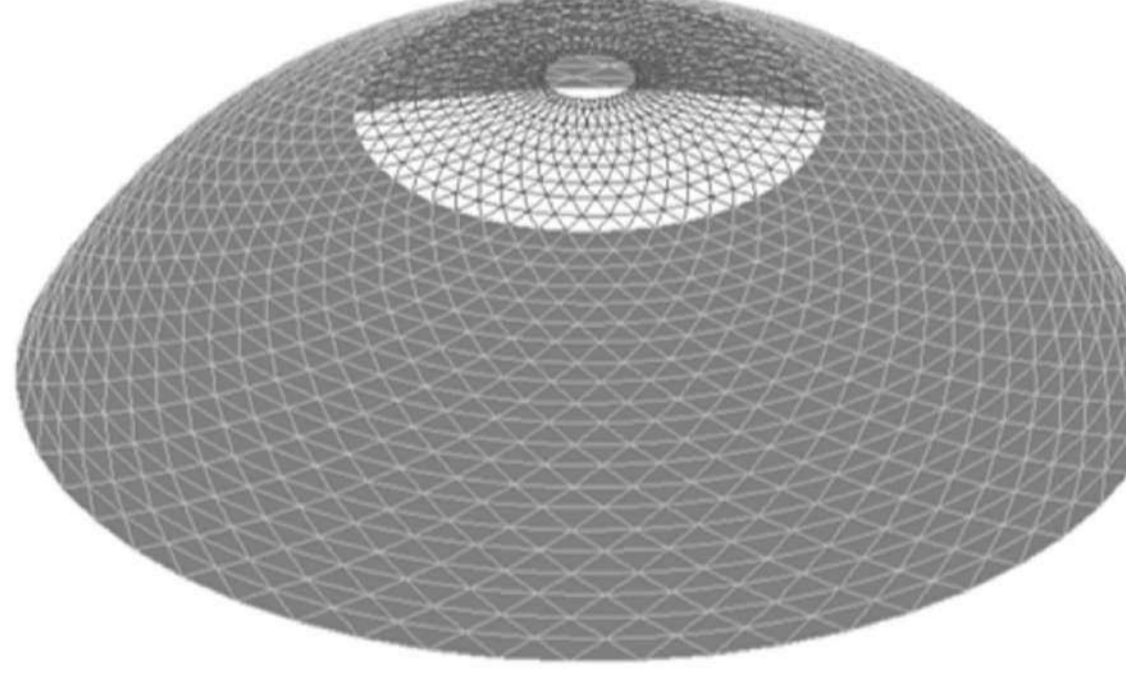
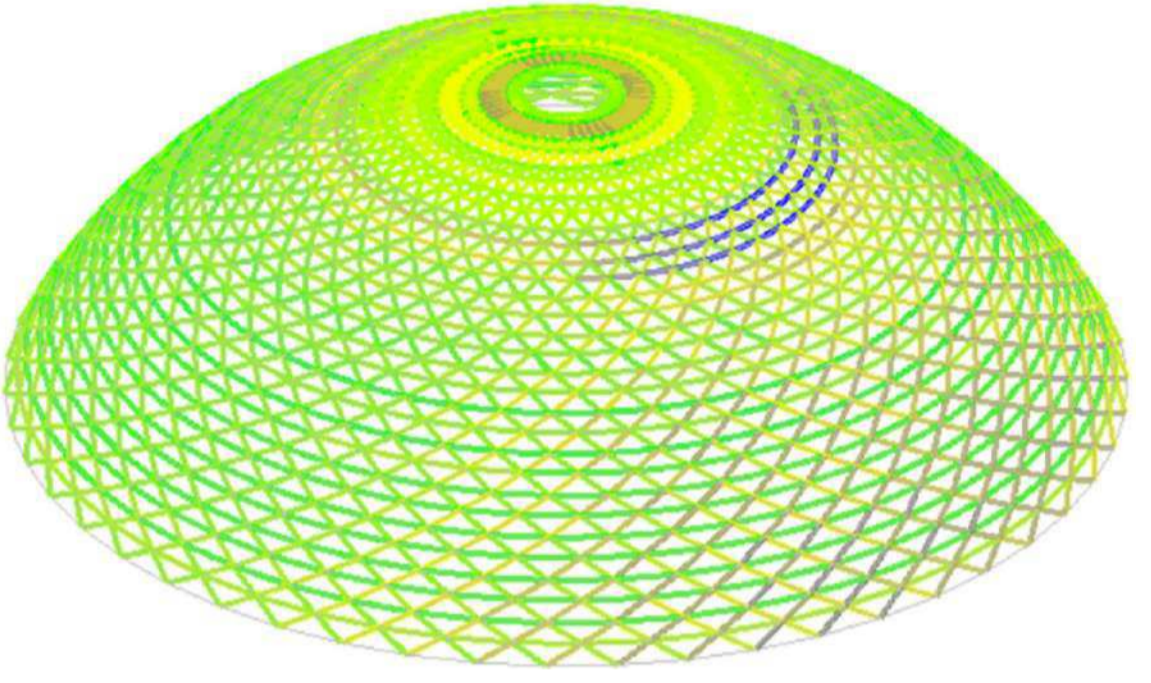
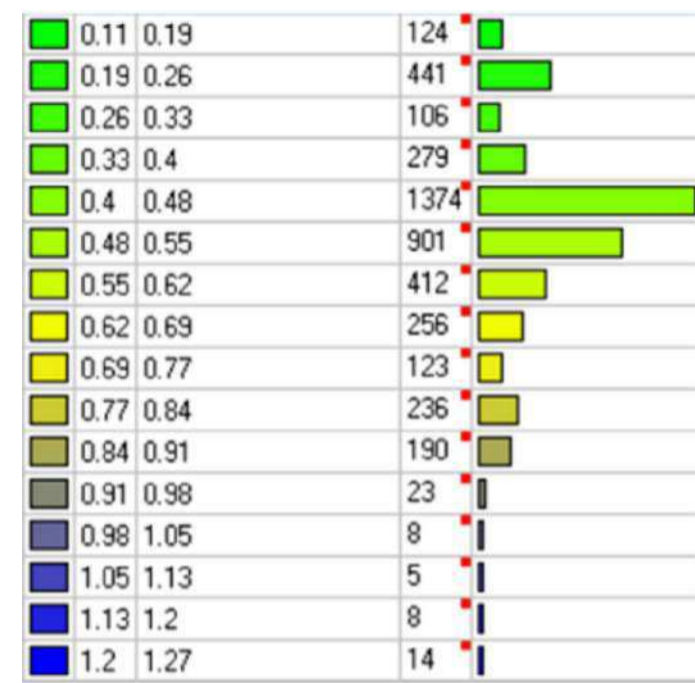
					ВКР 08.05.01-2020				
					ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт				
Изм.	Кол.Изм.	Лист	№ док	Подпись	Дата	Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100м	Стадия	Лист	Листов
Выполнил		Львено КА					у	9	
Консультант		Фролова АВ							
Экспедитор		Фролова АВ							
Н.контр.оп.		Фролова АВ				Проверка элементов каркаса при монтаже по второй схеме			Кафедра СКВС
Зав.карьерой		Львено СВ							

Проверка элементов купола 21 стадия, 2 схема



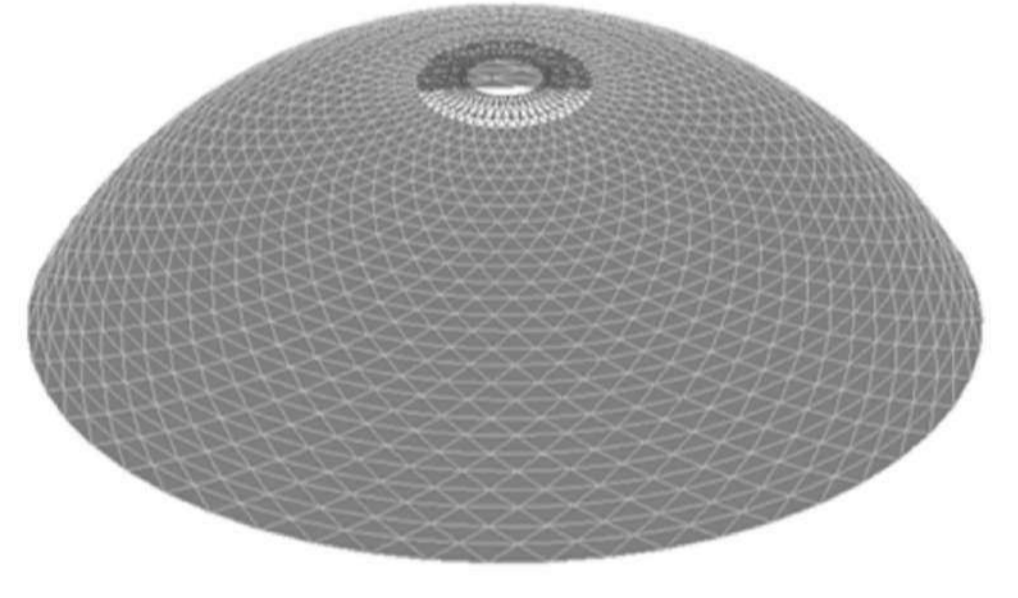
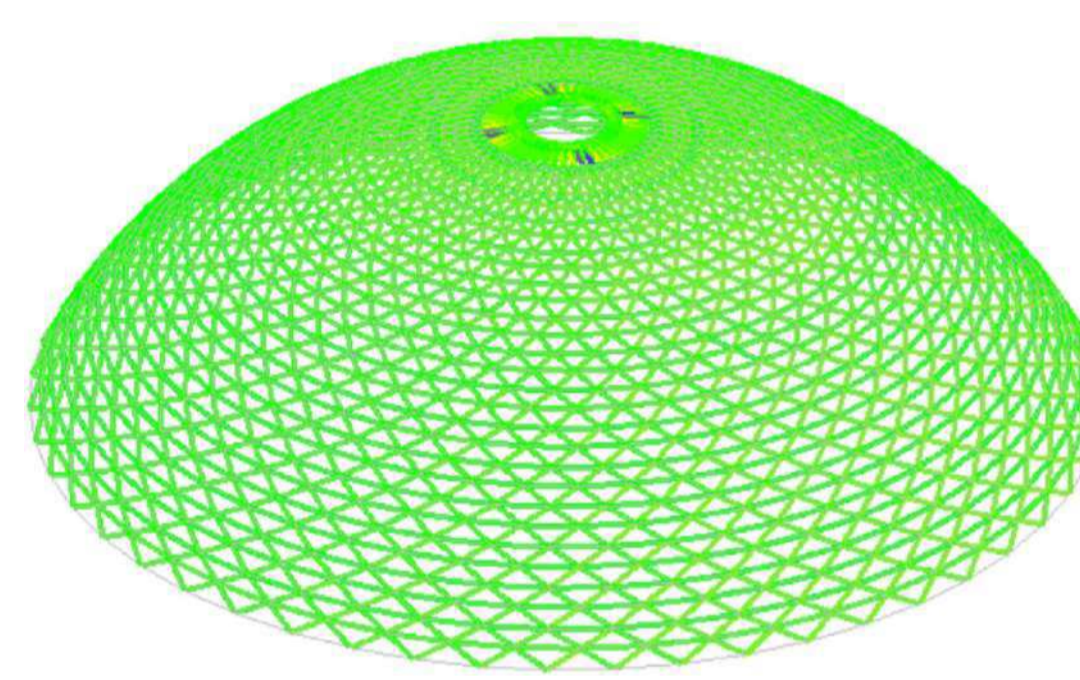
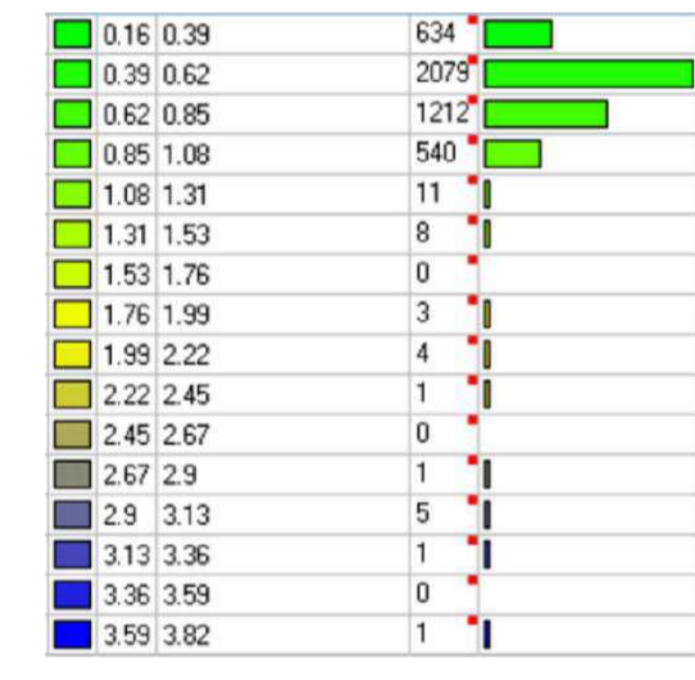
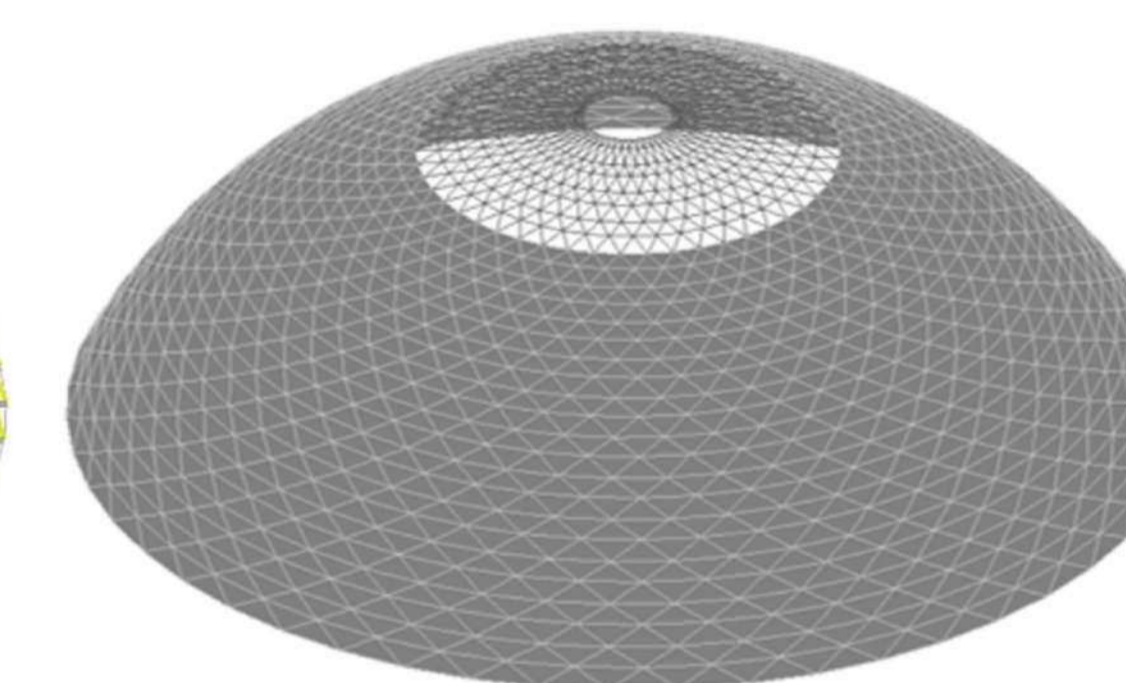
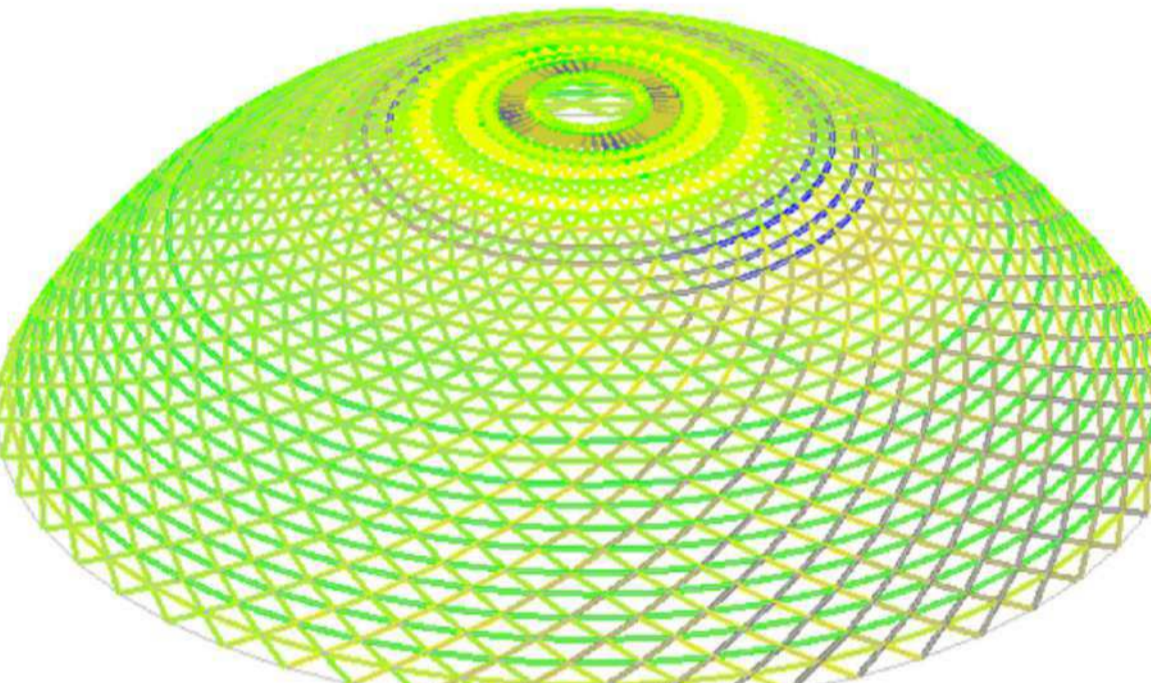
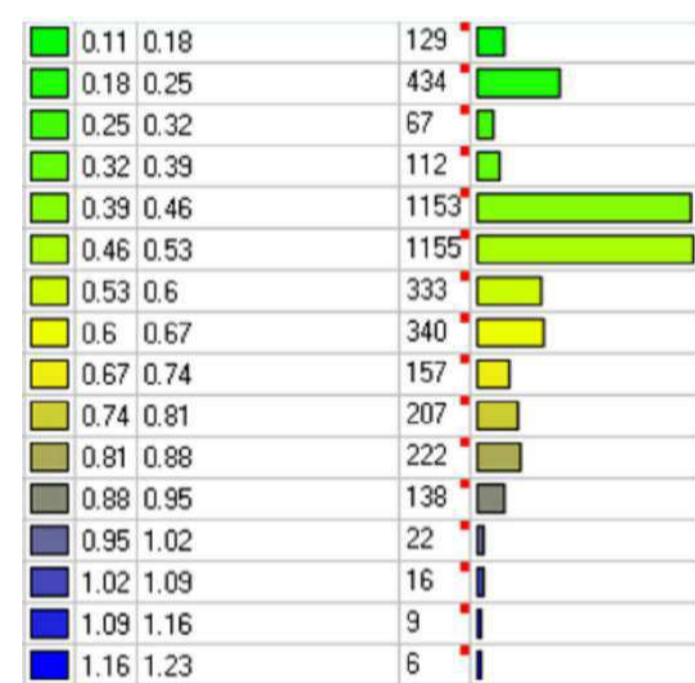
Проверка элементов купола 26 стадия, 2 схема

Проверка элементов купола 22 стадия, 2 схема



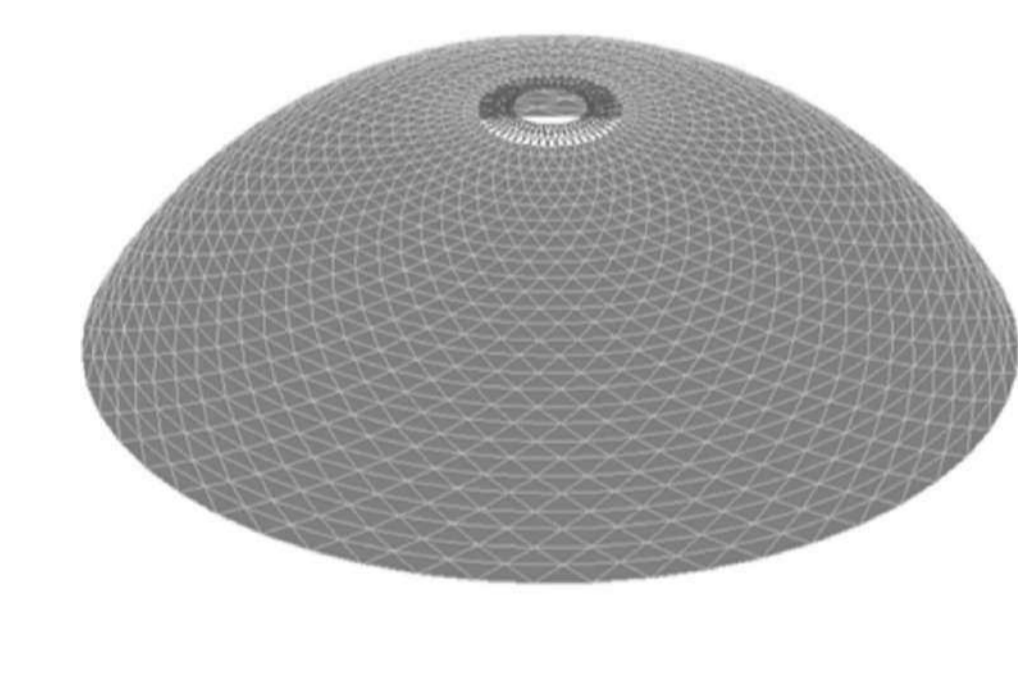
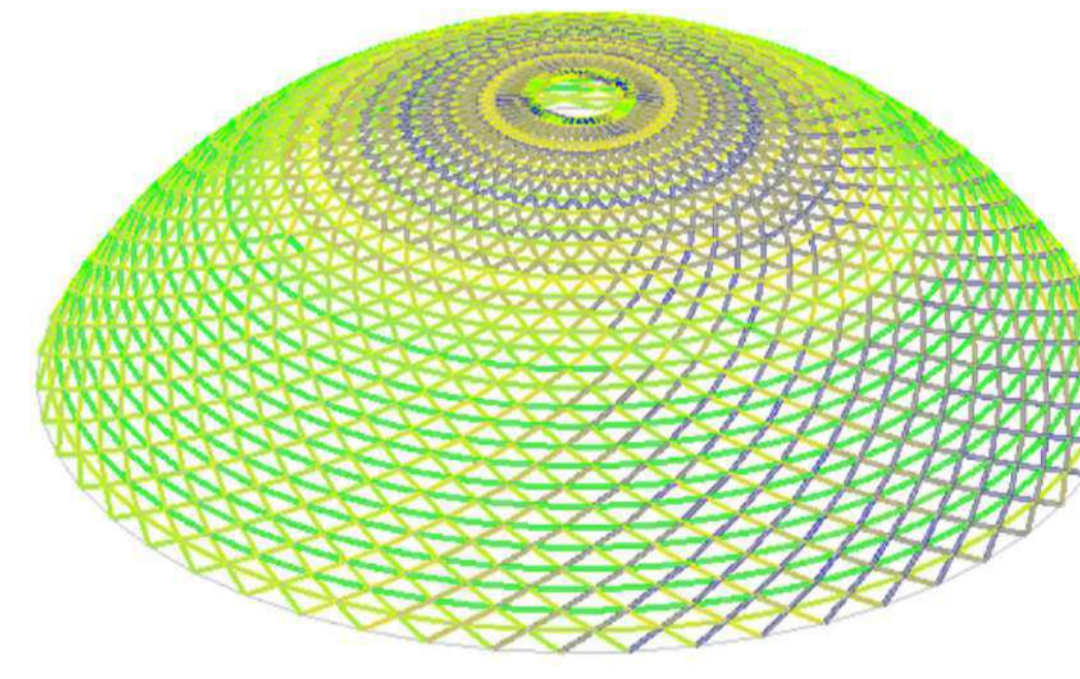
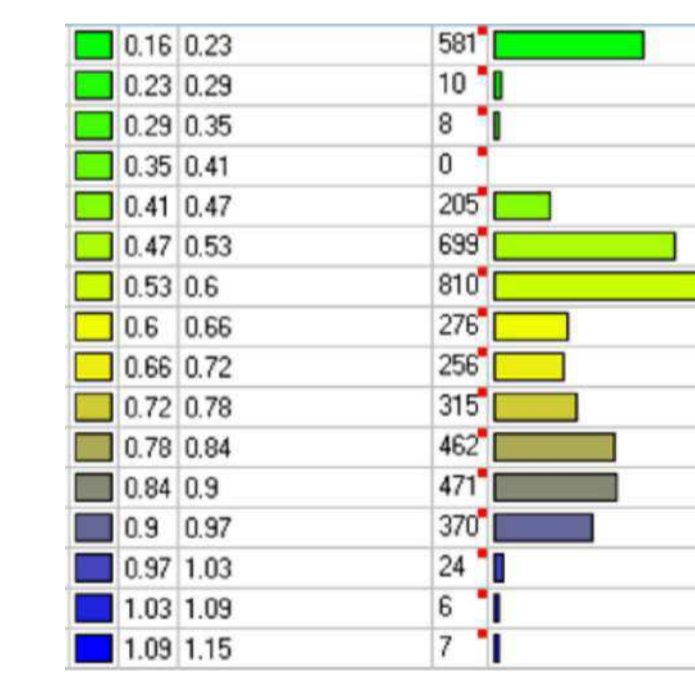
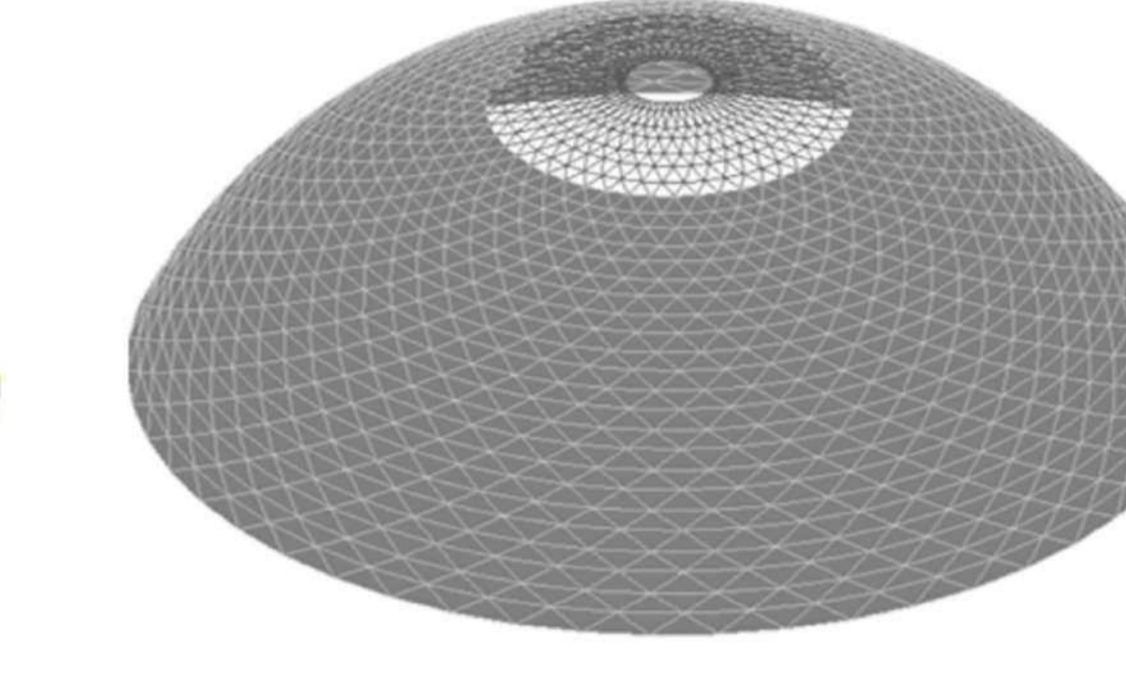
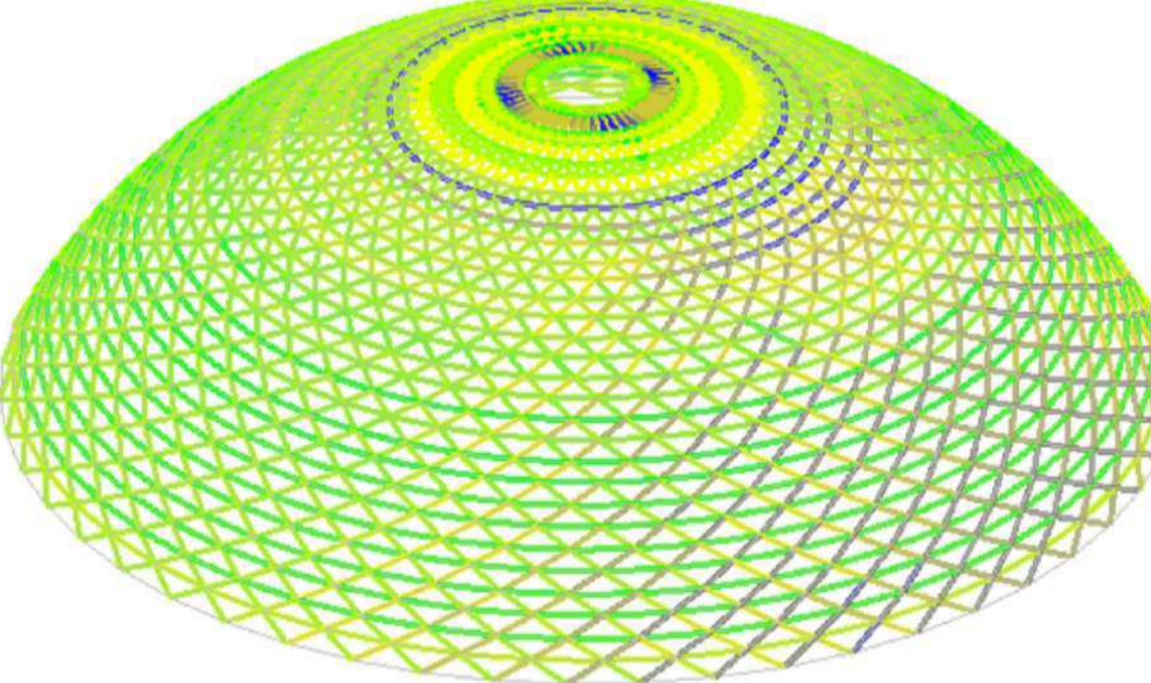
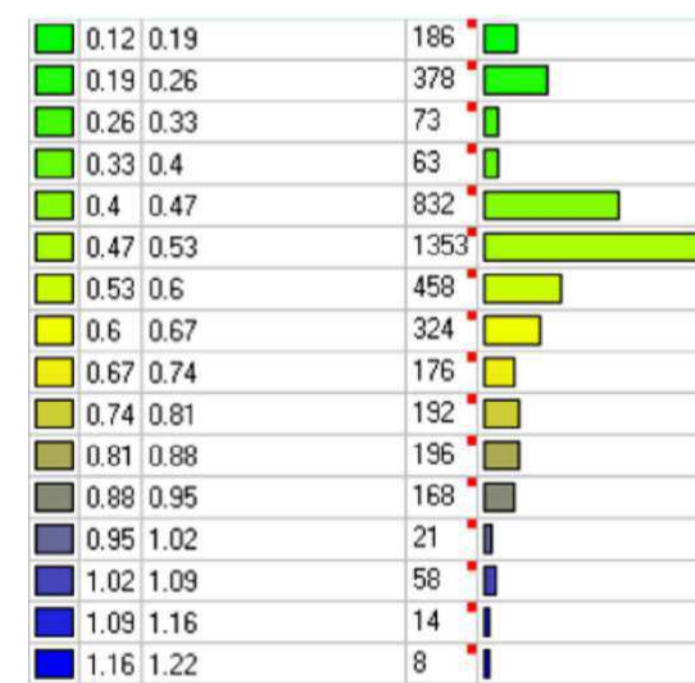
Проверка элементов купола 27 стадия, 2 схема

Проверка элементов купола 23 стадия, 2 схема



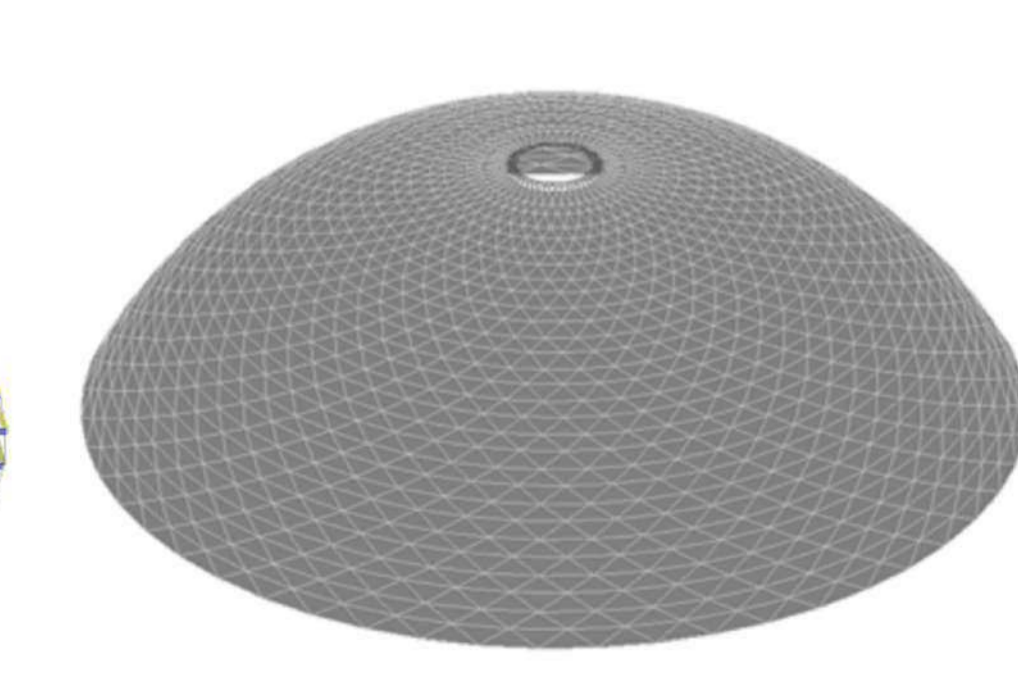
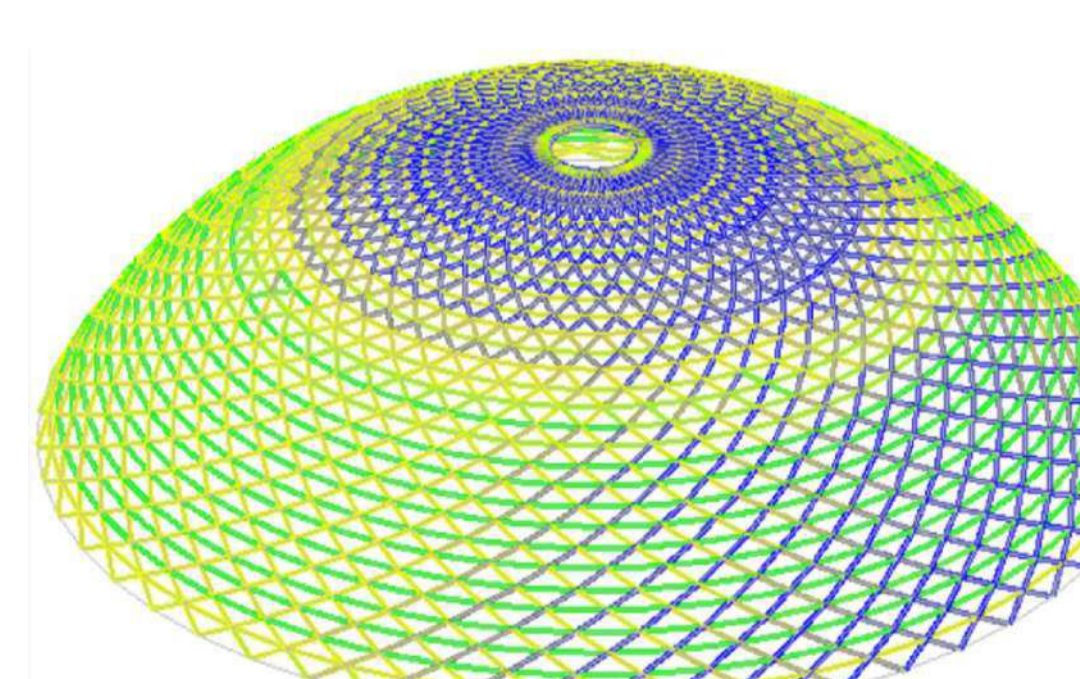
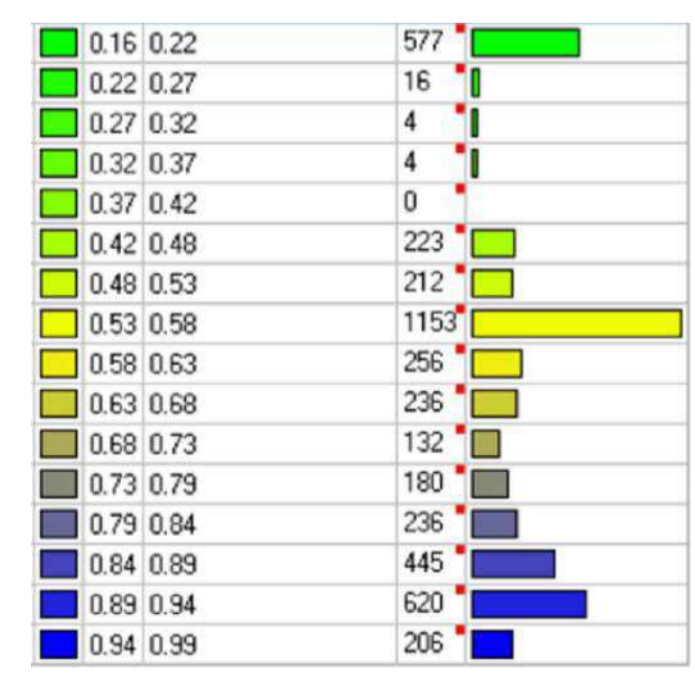
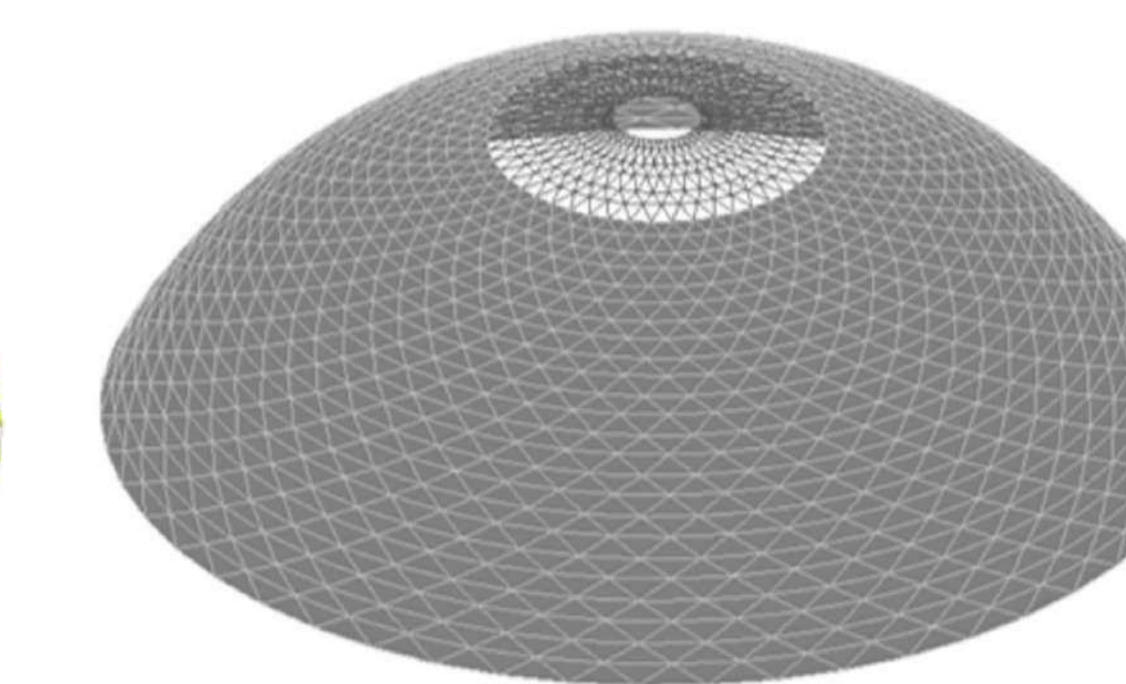
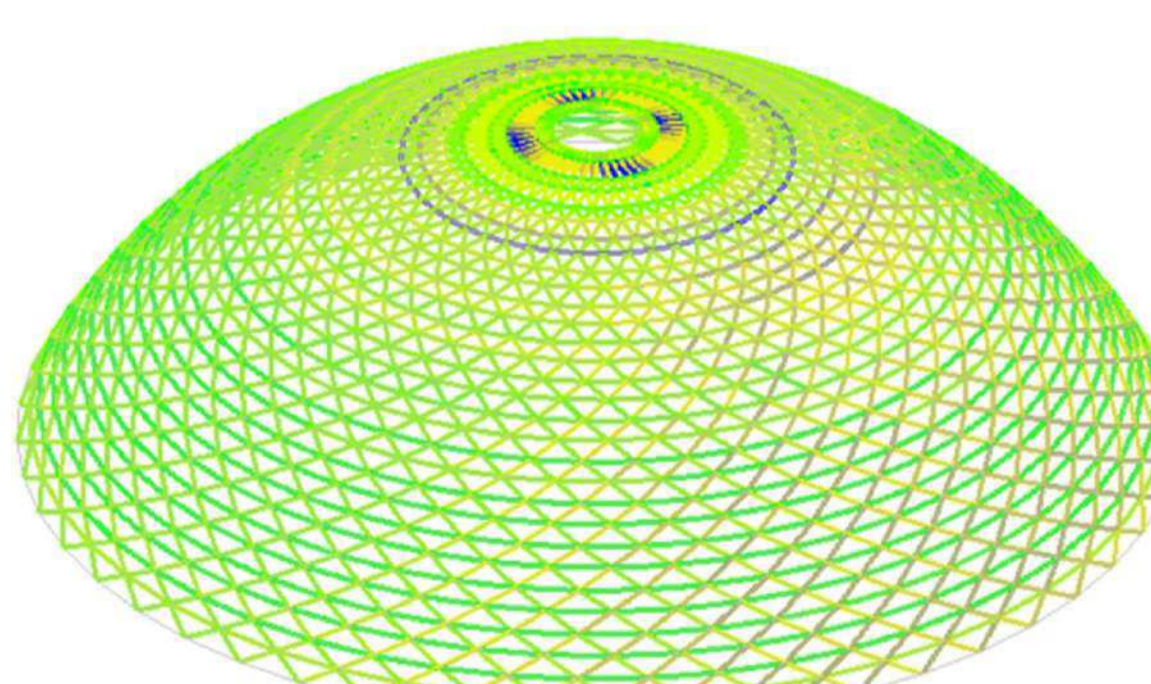
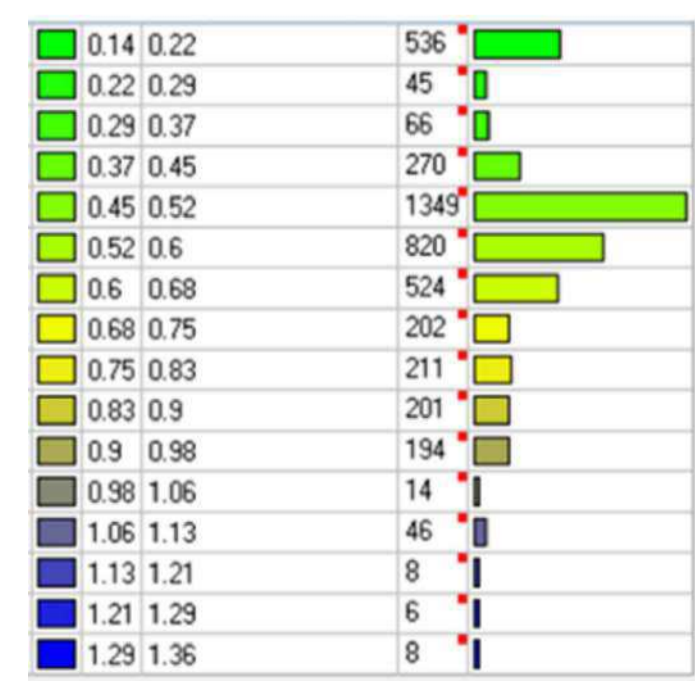
Проверка элементов купола 28 стадия, 2 схема

Проверка элементов купола 24 стадия, 2 схема



Проверка элементов купола 29 стадия, 2 схема

Проверка элементов купола 25 стадия, 2 схема

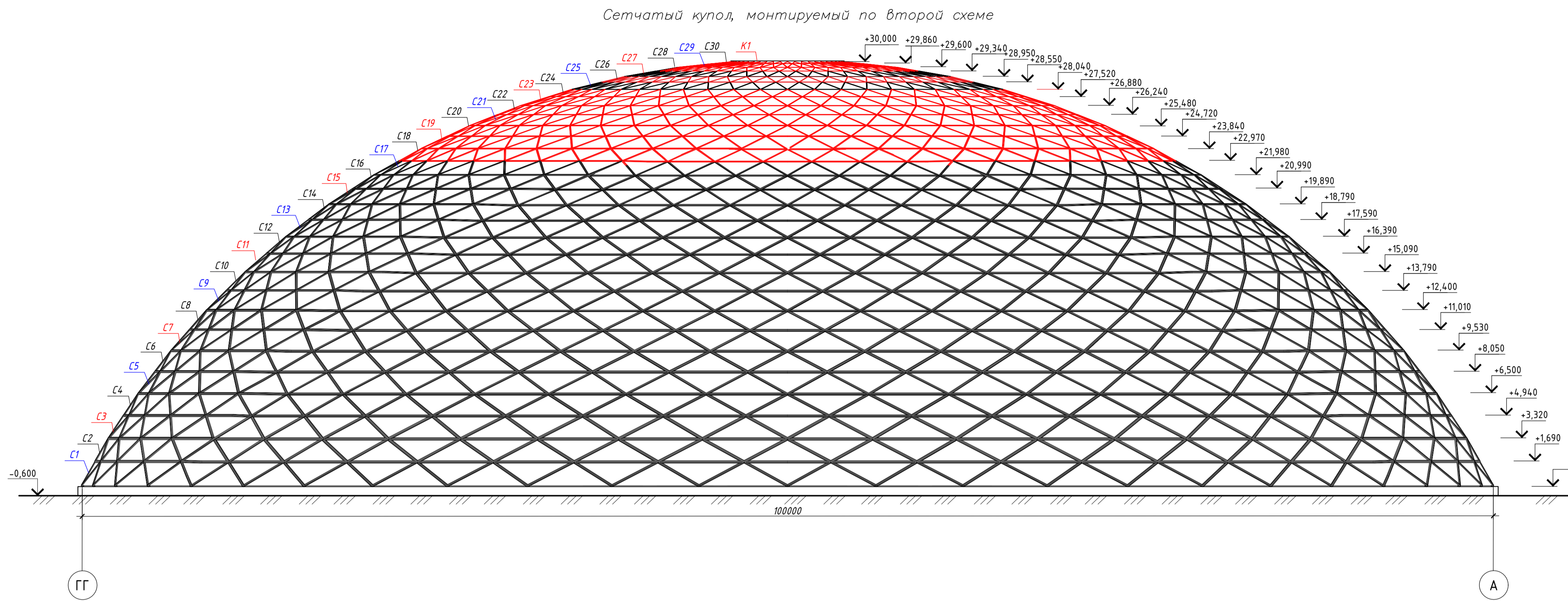


Проверка элементов купола 30 стадия, 2 схема

Примечания:

1. Сечения элементов см. л.3.
2. При второй схеме монтажа ограждающие конструкции возводятся после завершения установки каркаса.
3. При монтаже стального каркаса критический фактор не превышает 1 (прил. 1)

					ВКР 08.05.01-2020				
					ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт				
Изм.	Кол.Изм.	Лист	№док	Подпись	Дата	Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100м	Стадия	Лист	Листов
Выполнил		Львенов КА					у	10	
Консультант		Фролова АВ							
Утвердил		Фролова АВ							
Начальник		Фролова АВ				Проверка элементов каркаса при монтаже по второй схеме			
Зав.карьерой		Лавров СВ							Кафедра СКВС



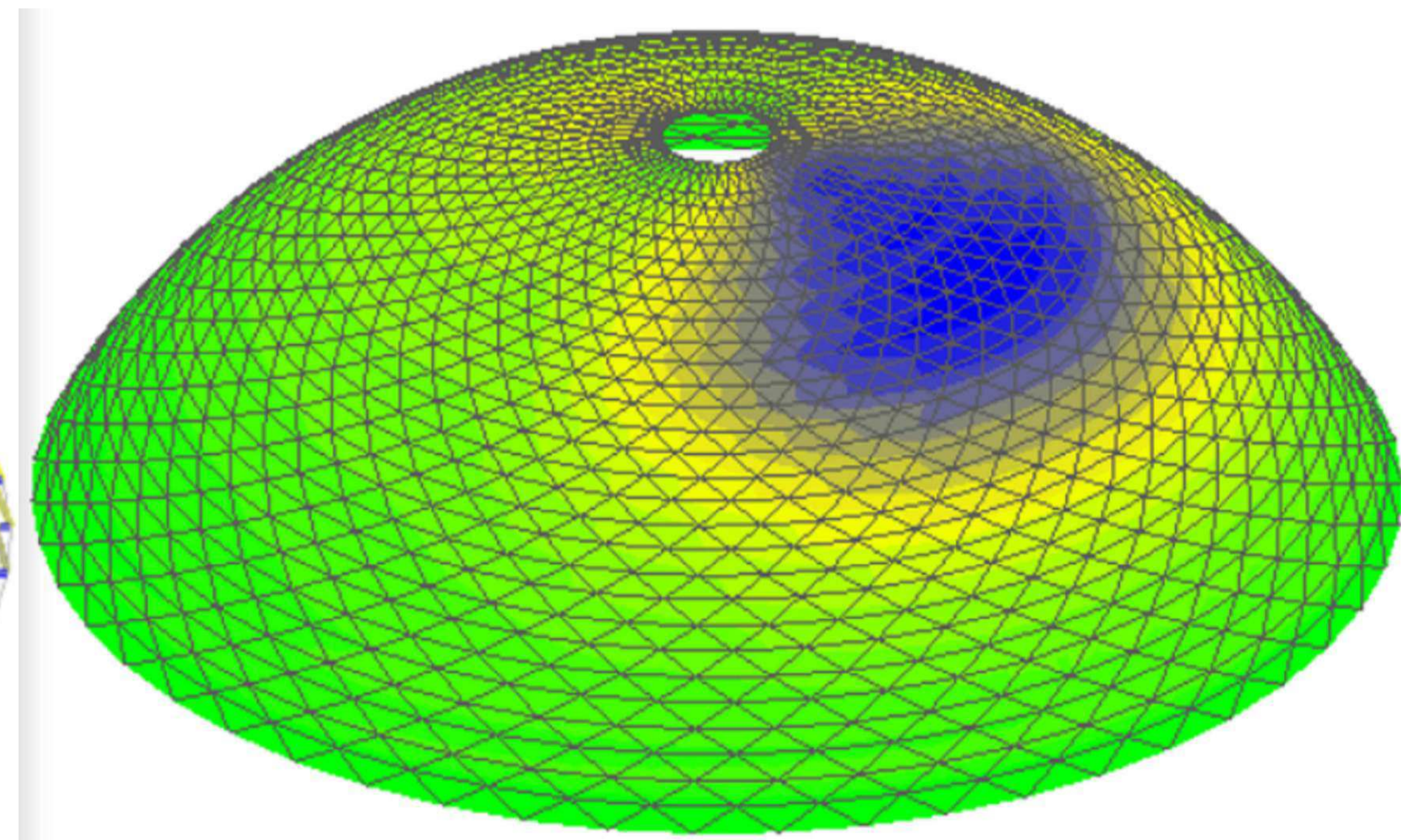
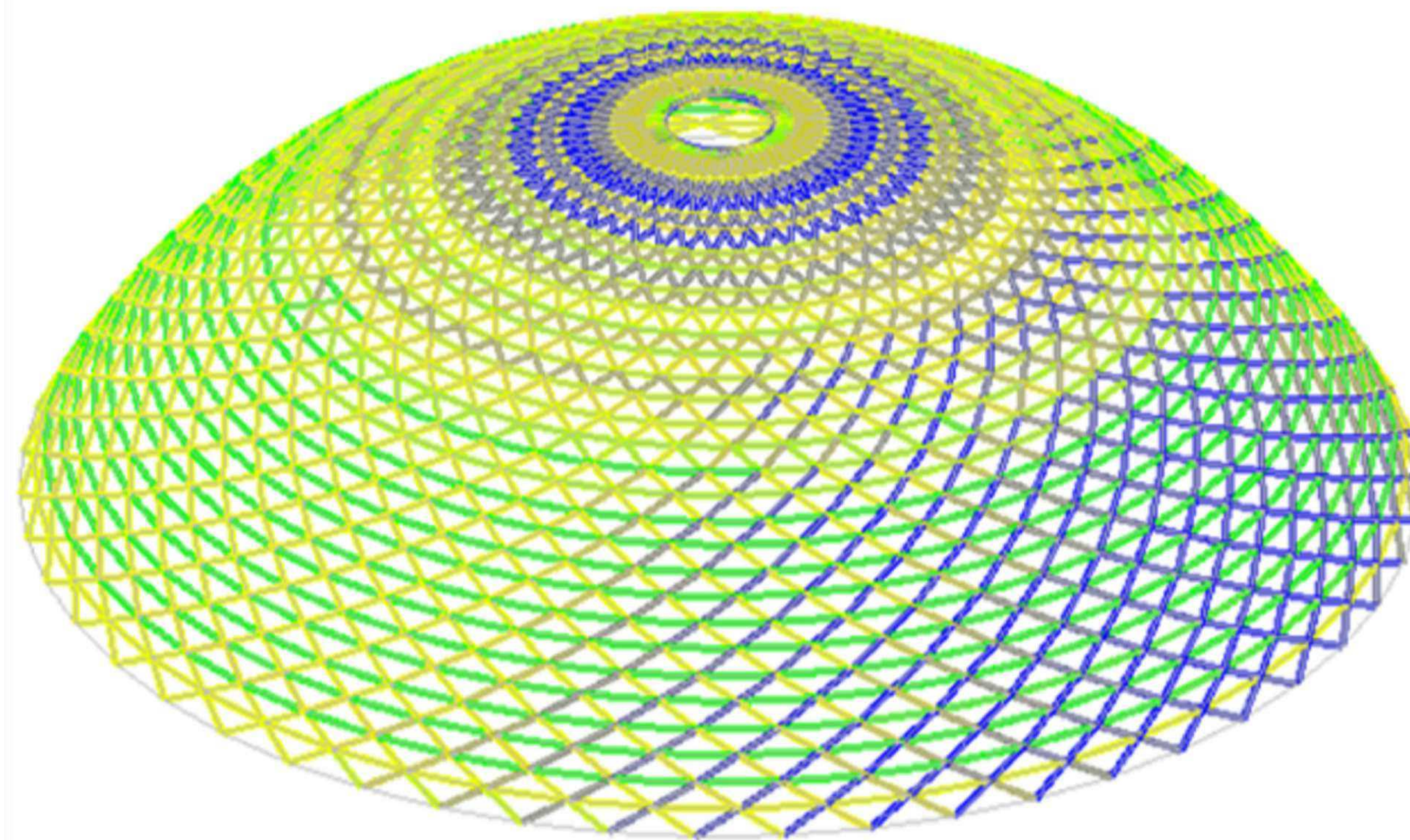
Ведомость элементов сетчатого купола

Марка элемента	Сечение		Усилия для прикрепления			Наименование или марка металла	Примечание	
	Эскиз	Поз	Q, кН	N, кН	M, кН*м			
K1	I		I 18Б1	7,09	-292,5	15,38	C345	
C1	O		O 194x5	4,69	-496,83	9,74	09Г2С	
C2	O		O 219x6,5	19,02	-477,59	33,7	09Г2С	
C3	O		O 219x6,5	17,43	-475,46	32,38	09Г2С	
C4	O		O 203x6,5	17,36	-443,96	27,44	09Г2С	
C5	O		O 203x6,5	15,37	-495,5	25,98	09Г2С	
C6	O		O 203x6,5	16,66	-466,99	28,35	09Г2С	
C7	O		O 203x6	13,96	-475,14	23,25	09Г2С	
C8	O		O 203x6	14,96	-458,31	21,22	09Г2С	
C9	O		O 194x6	12,76	-465,62	20,19	09Г2С	
C10	O		O 194x6	12,36	-449,44	18,95	09Г2С	
C11	O		O 194x5	11,29	-435,25	17,15	09Г2С	
C12	O		O 194x5	9,32	-415,31	12,35	09Г2С	
C13	O		O 180x5	8,74	-398,5	13,09	09Г2С	
C14	O		O 180x5	8,22	-378,75	11,13	09Г2С	
C15	O		O 180x5	10,02	-358,26	14,07	09Г2С	
C16	O		O 168x5	9,75	-381,16	12,66	09Г2С	
C17	O		O 146x4,5	5,33	-348,28	4,76	09Г2С	
C18	O		O 133x4,5	4,7	-383,8	5,66	09Г2С	
C19	O		O 133x4	3,47	-369,8	5,07	09Г2С	
C20	O		O 127x4	3,45	-350,32	3,86	09Г2С	
C21	O		O 121x4	2,35	-318,14	3,15	09Г2С	
C22	O		O 102x4	2,39	-259,34	2,64	09Г2С	
C23	O		O 95x3,5	1,67	-210,76	2,27	09Г2С	
C24	O		O 89x3,5	1,73	-198,56	1,76	09Г2С	
C25	O		O 76x3,5	1,2	-168,54	1,52	09Г2С	
C26	O		O 73x3	1,24	-149,41	1,17	09Г2С	
C27	O		O 70x3	0,81	-150,94	1,17	09Г2С	
C28	O		O 76x3	0,7	-121,88	0,82	09Г2С	
C29	O		O 68x3	0,63	-119,5	0,8	09Г2С	
C30	O		O 60x3	1,98	-93,86	0,99	09Г2С	

Критический фактор элементов купола, монтируемого по второй схеме

0.16	0.22	577
0.22	0.27	17
0.27	0.32	4
0.32	0.37	4
0.37	0.42	59
0.42	0.47	288
0.47	0.52	283
0.52	0.57	1147
0.57	0.62	356
0.62	0.67	321
0.67	0.73	384
0.73	0.78	266
0.78	0.83	246
0.83	0.88	98
0.88	0.93	286
0.93	0.98	164

Перемещения купола, монтируемого по второй схеме



Суммарное перемещение

см	см
0	0.88
0.88	1.76
1.76	2.64
2.64	3.52
3.52	4.4
4.4	5.28
5.28	6.16
6.16	7.04
7.04	7.92
7.92	8.8
8.8	9.68
9.68	10.56
10.56	11.44
11.44	12.33
12.33	13.21
13.21	14.09

Примечание:

1. Красным цветом выделены элементы, сечение которых увеличилось после учета монтажа по второй схеме

ВКР 08.05.01-2020					
ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол.Ил.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Выполнил	Львено КА				
Консультант	Фролова АВ				
Экспедитор	Фролова АВ				
Начальник	Фролова АВ				
Зав.кафедрой	Давыдов СВ				
Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100м				Стация	Лист
Сетчатый купол, монтируемый по второй схеме				у	11
				Кафедра СКВС	

Анализ полученных результатов (начало)

1. Рассмотренные элементы каркаса при транспортировке/складировании/укрупнительной сборке имеют совершенно другую расчетную схему относительно того, когда они установлены в проектное положение. Если в проектном положении элементы преимущественно испытывают сжатие с изгибом, то в подготовительном периоде на этапе транспортировке, строповке отдельных элементов и складировании они работают преимущественно на изгиб. Несмотря на то, что усилия в исследуемом куполе получились значительно меньше расчетных, нельзя полностью пренебрегать учетом данных стадий. Особое влияние может оказать укрупнительная сборка, когда на подготовительном этапе возводятся целые конструктивные элементы, которые в момент подъема и монтажа будут работать совсем иначе, нежели в проектном положении.

Значение усилий в элементах каркаса на подготовительной стадии

	N, кН	M, кНм	Q, кН
Элементы 2-го яруса			
Усилия в проектном положении	-458,29	33,71	17
Усилия при складировании	-	-0,34	0,61
Усилия при транспортировании	-	-0,39	0,69
Усилия при укрупнительной сборке	1,28	0,94	1,13
Элементы 18-го яруса			
Усилия в проектном положении	-249,31	4,94	4,26
Усилия при складировании	-	1,76	-3,67
Усилия при транспортировании	-	2,01	-4,2
Усилия при укрупнительной сборке	0,33	0,12	0,23

2. При монтаже каркаса по первой схеме в элементах ярусов увеличиваются расчетные значения усилий. Среднее превышение величины продольной силы – 35,62%, поперечной силы – 46,2%, изгибающего момента – 46,03%.

До 13 яруса включительно максимальные усилия в элементах наблюдаются на 27–28 стадии монтажа. А начиная с 14-го яруса максимальные усилия возникают при возведении непосредственно этого яруса, а так же яруса, который возводится следующим. На этих стадиях элементы находятся уже в положении близком к горизонтальному, что способствует увеличению влияния снеговой нагрузки и нагрузки от собственного веса.

С 15-ой стадии монтажа элементы начинают терять устойчивость, а с 18-ой стадии наблюдаются элементы, которые не проходят проверку на прочность при совместном действии продольной силы и изгибающего момента.

График зависимости количества потерявших устойчивость элементов от стадии монтажа

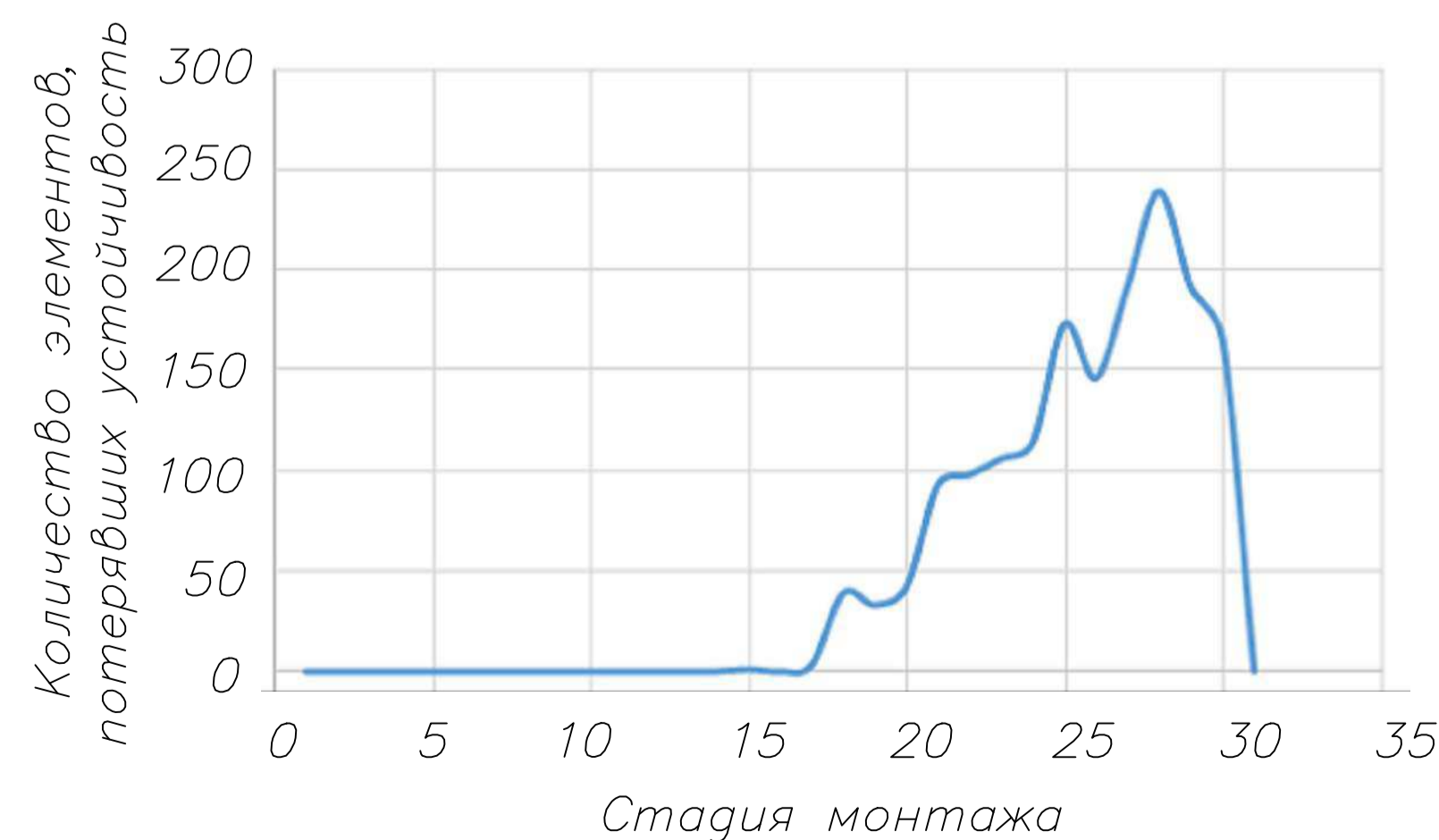
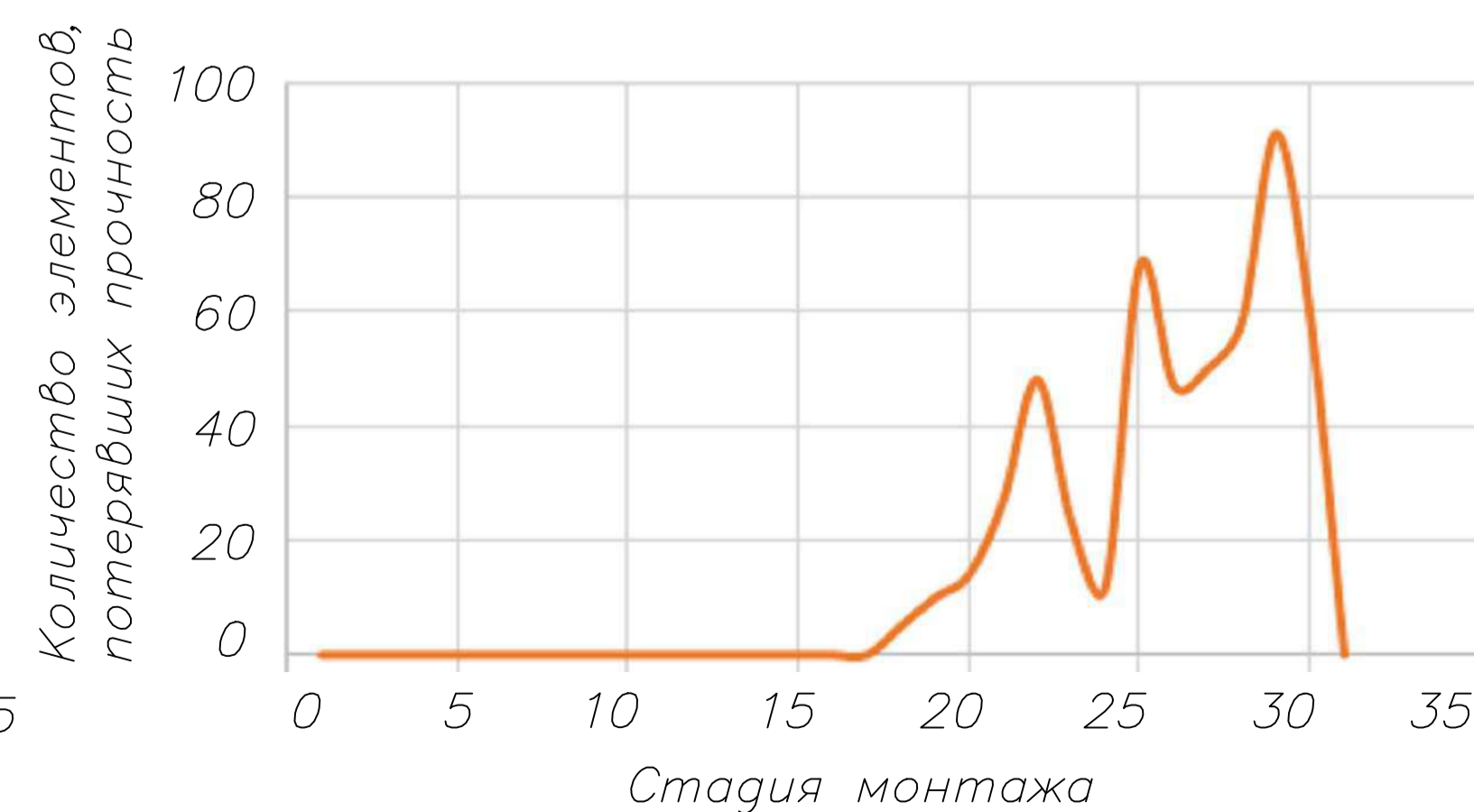


График зависимости количества потерявших прочность элементов от стадии монтажа



Графики показывают, что количество элементов, выходящих из строя, нельзя подчинить какому-либо математическому закону. Это говорит о том, что при проектировании сетчатых куполов, монтируемых навесным способом, необходимо рассчитывать их при помощи компьютерных программ, прорабатывая схему, как можно, более детально.

После перерасчета конструкции с учетом стадии монтажа общий вес каркаса увеличился на 32,31 т.

Максимальные перемещения каркаса сократились с 14,77 см до 12,36 см.

Стоимость строительства увеличилась на 19800,7 т.р. (с 545230,99 т.р. до 565031,7 т.р.), что составляет 3,6% от начальной стоимости строительства.

Значение усилий в элементах каркаса на этапе монтажа

	Начальные расчетные значения			Расчетные значения с учетом 1-ой схемы монтажа					Расчетные значения с учетом 2-ой схемы монтажа						
	N, кН	Q, кН	M, кНм	N, кН	откло-нение, %	Q, кН	откло-нение, %	M, кНм	откло-нение, %	N, кН	откло-нение, %	Q, кН	откло-нение, %	M, кНм	откло-нение, %
1 ярус	-476,88	3,27	8,26	-609,86	21,8	14,45	77	39,14	79	-496,83	4,02	4,69	30	9,74	15
2 ярус	-458,29	17	-33,71	-592,41	22,64	18,04	6	33,71	0	-477,59	4,04	19,02	11	33,71	0
3 ярус	-454,94	-14,1	-24,48	-580,75	21,66	16,54	15	30,66	20	475,46	195,68	17,43	19	32,38	24
4 ярус	-428,51	15,37	27,44	-543,75	21,19	16,56	7	27,44	0	-443,96	3,48	17,36	11	27,44	0
5 ярус	-464,72	12,25	22,13	-571,11	18,63	14,7	17	24,81	11	495,5	193,79	15,37	20	25,98	15
6 ярус	-456,91	-14,76	24,49	-552,46	17,3	15,92	7	24,49	0	-466,99	2,16	16,66	11	28,35	0
7 ярус	-467,53	11,11	-19,79	-559,54	16,44	13,36	17	22,26	11	-475,14	1,6	13,96	20	23,25	15
8 ярус	-452,81	-13,18	-21,22	-532,98	15,04	14,36	8	21,22	0	-458,31	1,2	14,96	12	21,22	0
9 ярус	-461,17	-10,59	-17,69	-540,05	14,61	12,26	14	19,38	9	-465,62	0,96	12,76	17	20,19	12
10 ярус	-447,76	10,91	18,95	-514,98	13,05	11,83	8	18,95	0	-449,44	0,37	12,36	12	18,95	0
11 ярус	-434,29	9,23	14,65	-501,18	13,35	10,86	15	16,53	11	-435,25	0,22	11,29	18	17,15	15
12 ярус	-414,34	8,32	12,35	-473,16	12,43	8,9	7	12,35	0	-415,31	0,23	9,32	11	12,35	0
13 ярус	-398,2	-7	11,11	-453,76	12,24	8,39	17	12,63	12	-398,46	0,07	8,74	20	13,1	15
14 ярус	-378,75	7,44	-10,37	-462,73	18,15	8,09	8	11,04	6	-378,82	0,02	8,22	9	11,13	7
15 ярус	-358,26	-9,47	-14,07	-472,42	24,16	9,78	3	14,08	0	-358,26	0	10,02	6	14,07	0
16 ярус	-328,74	-8,37	10,16	-513,44	35,97	10,72	22	12,63	17	-381,16	13,75	9,75	14	12,66	20
17 ярус	-286,77	-4,09	5,39	-492,09	41,72	5,21	21	8,32	35	-348,28	17,66	5,33	23	4,76	25
18 ярус	-249,31	4,26	4,94	-540,32	53,86	4,54	6	8,52	42	-383,8	35,04	4,7	9	5,66	13
19 ярус	-249,47	0,18	-0,64	-528,15	52,77	4,03	96	8,43	92	-369,85	32,55	3,47	95	5,07	87
20 ярус	-249,47	0,18	-0,04	-508,34	50,92	3,324	95	6,84	99	-350,32	28,79	3,45	95	3,86	99
21 ярус	-204,53	0,15	0,02	-453,39	54,89	3,46	96	6,92	100	-318,14	35,71	2,35	94	3,15	99
22 ярус	-190,35	-0,12	0,06	-396,59	52,00	2,83	96	5,43	99	-259,34	26,6	2,39	95	2,64	98
23 ярус	-152,03	-0,08	0,01	-322,1	52,8	2,5	97	4,74	100	-210,76	27,87	1,67	95	2,27	100
24 ярус	-152,03	0,08	0,01	-318,01	52,19	2,22	96	3,73	100	-198,56	23,43	1,73	95	1,76	99
25 ярус	-108,52	0,07	-0,01	-253,03	57,11	1,7	96	3,37	100	-168,54	35,61	1,2	94	1,52	99
26 ярус	-89,42	0,05	-0,01	-214,66	58,34	1,64	97	3,37	100	-149,41	40,15	1,24	95	1,17	99
27 ярус	-81,56	0,04	0,07	-236,74	65,55	1,57	97	2,93	98	-150,94	45,97	0,81	95	1,17	94
28 ярус	-68,44	-0,03	0,03	-197,91	65,42	2,46	99	2,3	99	-121,88	43,85	0,704	95	0,82	96
29 ярус	-62,18	-0,03	0,15	-241,2	74,22	3,18	99	4,42	97	-119,5	47,97	0,63	94	0,79	81
30 ярус	-53,84	0,38	0,34	-204,52	73,67	5,34	93	3,39	90	-93,86	42,64	1,98	96	0,99	66
Верх. ярус	-237,67	0,11	-13,67	-237,67	0	0,11	0	13,67	0	-292,5	18,75	7,09	95	15,38	11

Примечание:

См совместно с л.13

ВКР 08.05.01–2020					
ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол.И.	Лист	№ док	Подпись	Дата
Выполнил	Львено КА				
Консультант	Фролова АВ				
Экспедитор	Фролова АВ				
Начальник	Фролова АВ				
Зав. кафедрой	Давыдов СВ				
Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100 м				Стадия	Лист
Анализ полученных результатов. Начало				у	12
				Копиробал СКВС	

Анализ полученных результатов (окончание)

3. При монтаже каркаса по второй схеме значения усилий меньше, чем при монтаже по первой схеме, но большие, чем в начальном проектном положении каркаса. Среднее превышение величины продольной силы – 29,8%, поперечной силы – 48,3%, изгибающего момента – 42,06%.

До 17 яруса включительно максимальные усилия в элементах наблюдаются на 27–28 стадии монтажа. А начиная с 18–го яруса максимальные усилия возникают при возведении непосредственно этого яруса, а так же яруса, который возводится следующим. На этих стадиях элементы находятся уже в положении близком к горизонтальному, что способствует увеличению влияния снеговой нагрузки и нагрузки от собственного веса.

С 18–ой стадии монтажа элементы начинают терять устойчивость. В положение, в котором нет элементов, потерявших устойчивость, купол приходит на 29 стадии.



После перерасчета конструкции с учетом стадии монтажа общий вес каркаса увеличился на 3,3 т.

Максимальные перемещения каркаса сократились с 14,77 см до 14,07 см.

Стоимость строительства увеличилась на 2138,7 т.р. (с 545230,99 т.р. до 547368,7 т.р.), что составляет 0,4% от начальной стоимости строительства.

4. Результаты исследования показывают, как важно учитывать этапы монтажа конструкции. При строительстве объектов, особенно уникальных, важен каждый этап жизни конструкции, от заготовки отправочных элементов до эксплуатации. Все нужно продумывать и учитывать на этапе проектирования. Так рассмотренные схемы монтажа вызывают существенно разные значения усилия в элементах каркаса, что отражается на конечной стоимости строительства. Сравнительный анализ двух методов монтажа показывает, что среднее процентное отклонение величины продольной силы – 34,7%, поперечной силы – 21,8%, изгибающего момента – 27,2%. При этом стоимость возведения каркаса по второй схеме дешевле на 17662 т.р.

Второй метод монтажа является менее затратным. Подобранные сечения обеспечивают прочность и устойчивость сооружения. Но стоит помнить, что при малейшем изменении схемы монтажа необходим перерасчет каркаса. Так, например, если каркас будет еще не до конца возведен, а монтаж ограждающих конструкций уже начнется, то это будет иная расчетная схема, которую будет необходимо разобрать как можно более детально.

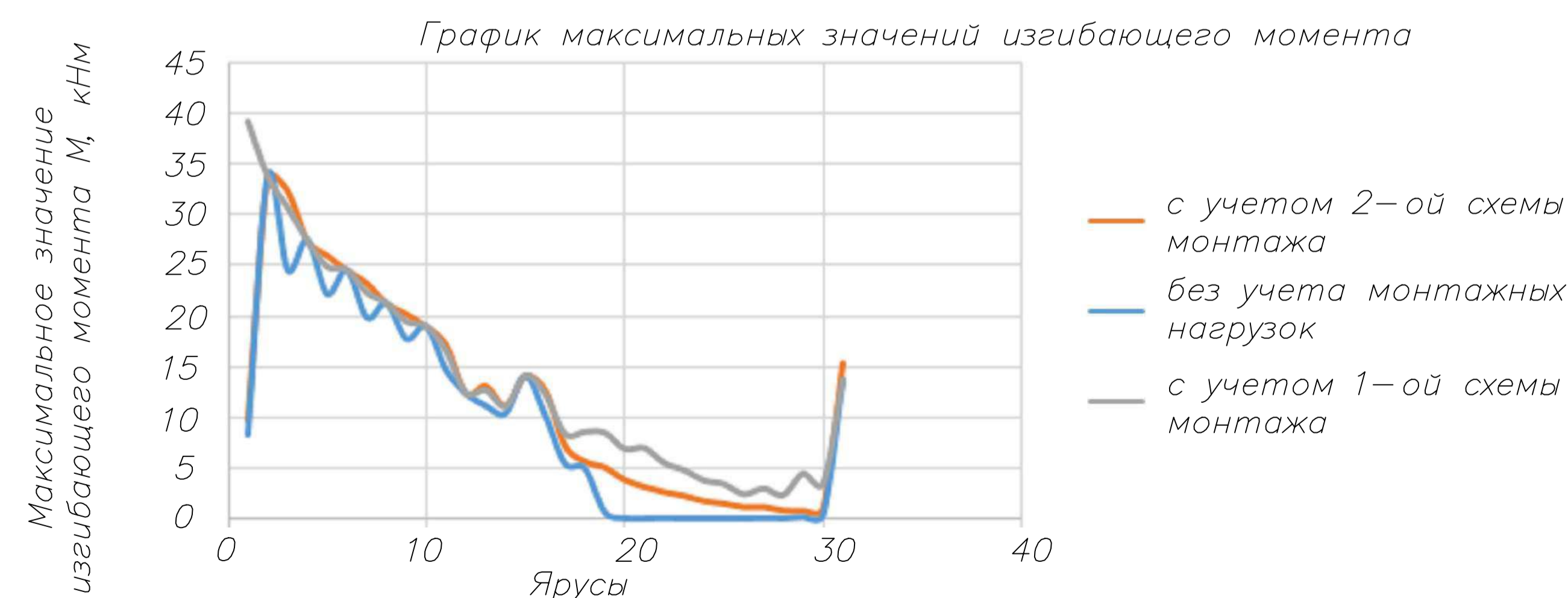
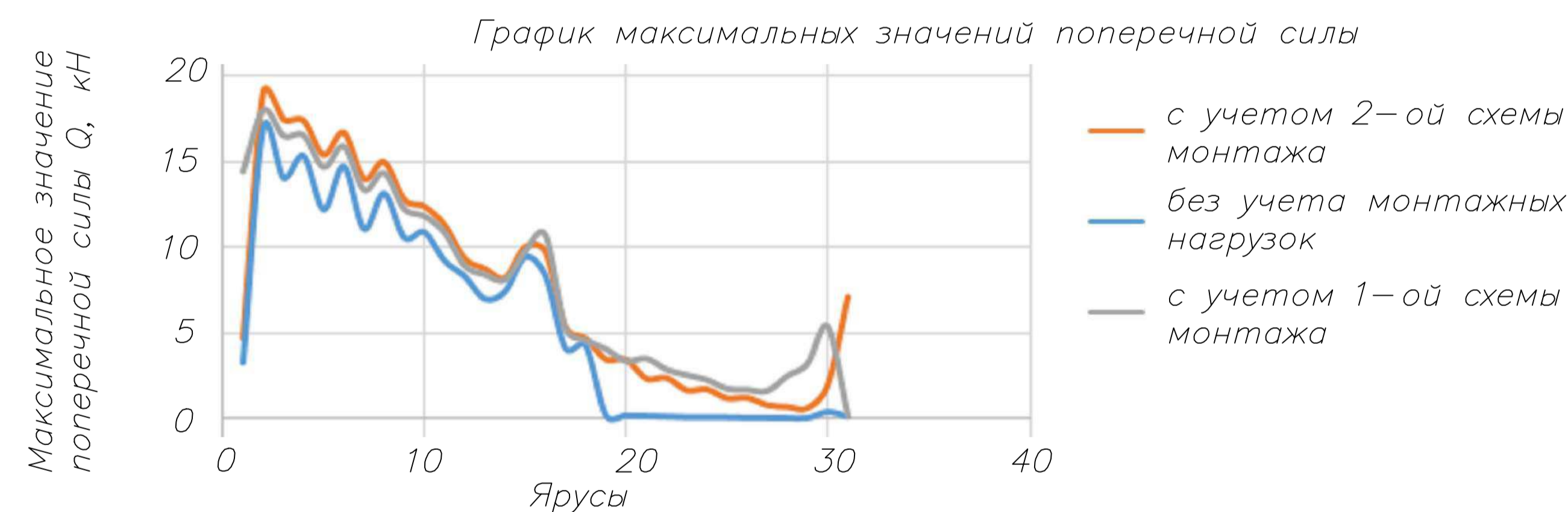
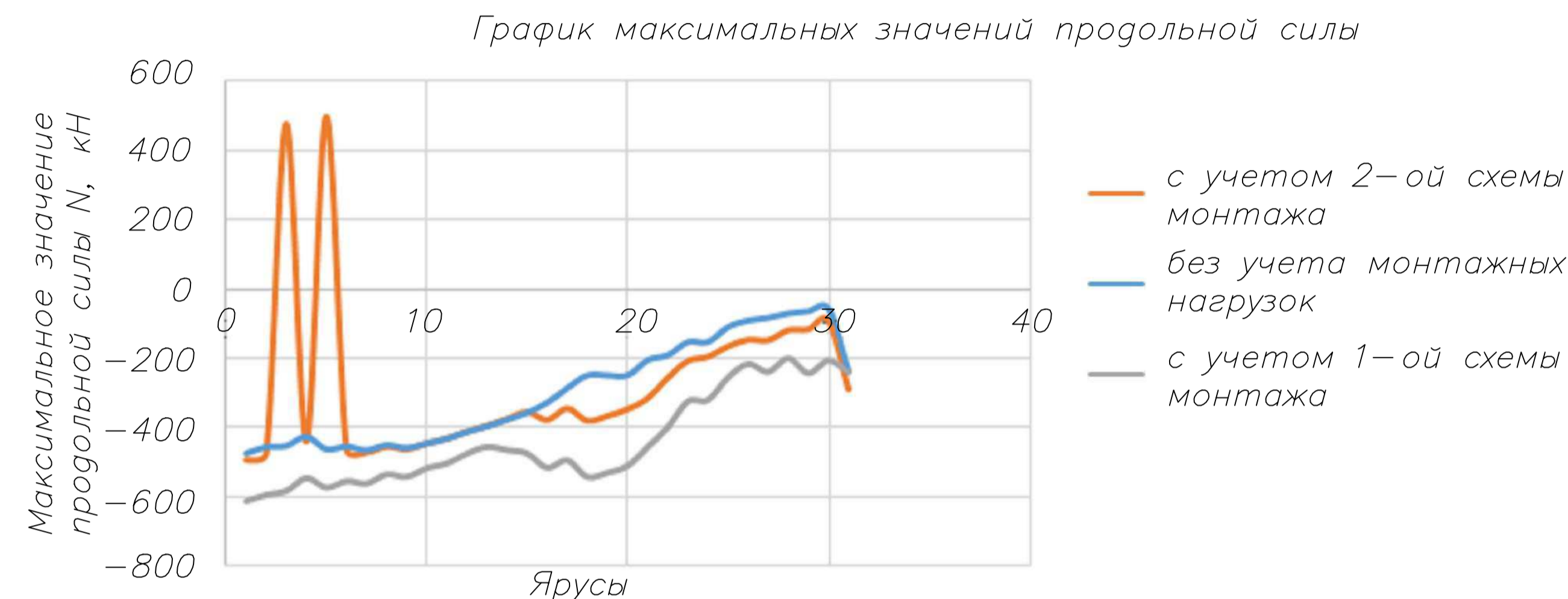
5. Графики, представленные ниже, позволяют наиболее ярко понять разницу в расчетных усилиях трех рассматриваемых случаев.

Усилия поперечной силы и изгибающего момента принимались по модулю, чтобы оценить максимальные значения усилий.

При оценке величины продольной силы важно учитывать сжимается элемент или растягивается, поэтому в данном случае необходимо рассматривать значение, не пренебрегая знаком. Таким образом, можно заметить, что при монтаже с учетом 2–ой схемы монтажа элементы 3–го и 5–го яруса испытывают усилия растяжения больше, чем сжатия.

На представленных графиках видно, что усилия от продольной силы, возникающие с учетом 1–ой схемы монтажа, существенно выше двух других.

Однако максимальные значения поперечной силы и изгибающего момента для обоих рассмотренных случаев монтажа имеют близкие значения.

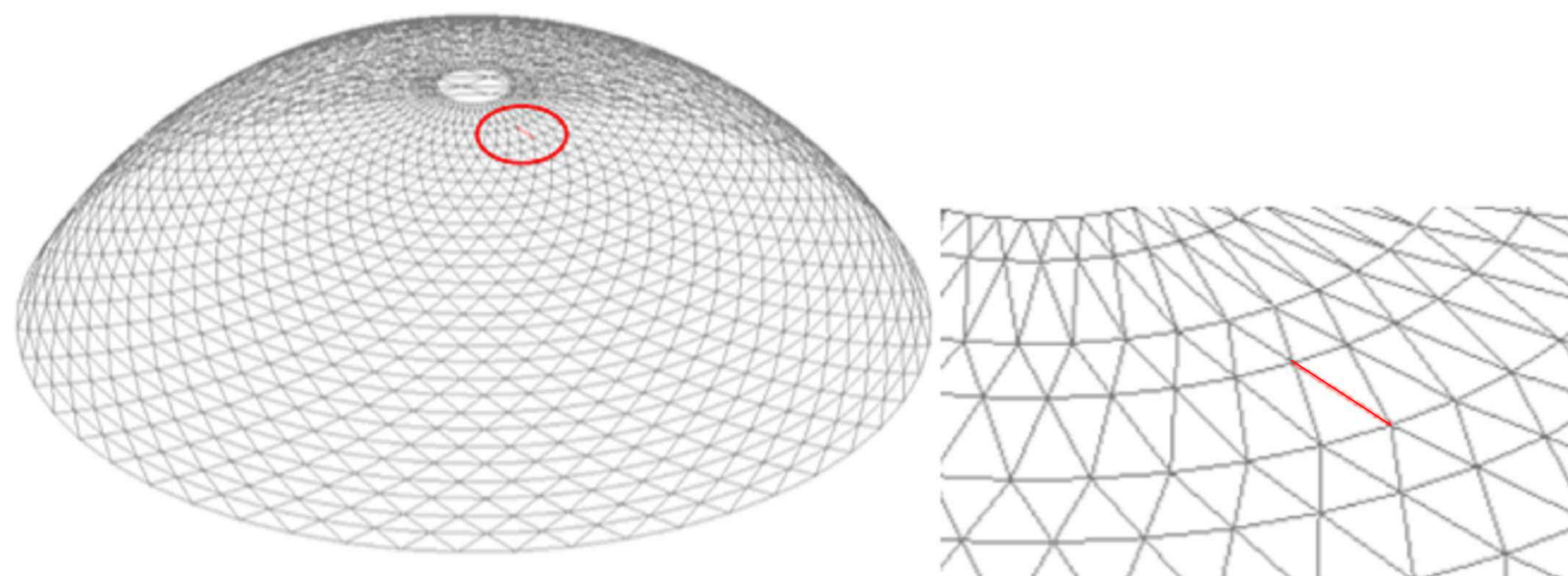


						ВКР 08.05.01–2020			
						ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт			
Изм.	Кол.Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100 м	Стадия	Лист	Листов
Выполнил	Львено КА						у	13	
Утвердил	Фролова АВ								
Эксперт	Фролова АВ								
Н.к.т.р.	Фролова АВ					Анализ полученных результатов. Окончание	Кафедра СКВС		
Зав.кафедрой	Львено СВ								

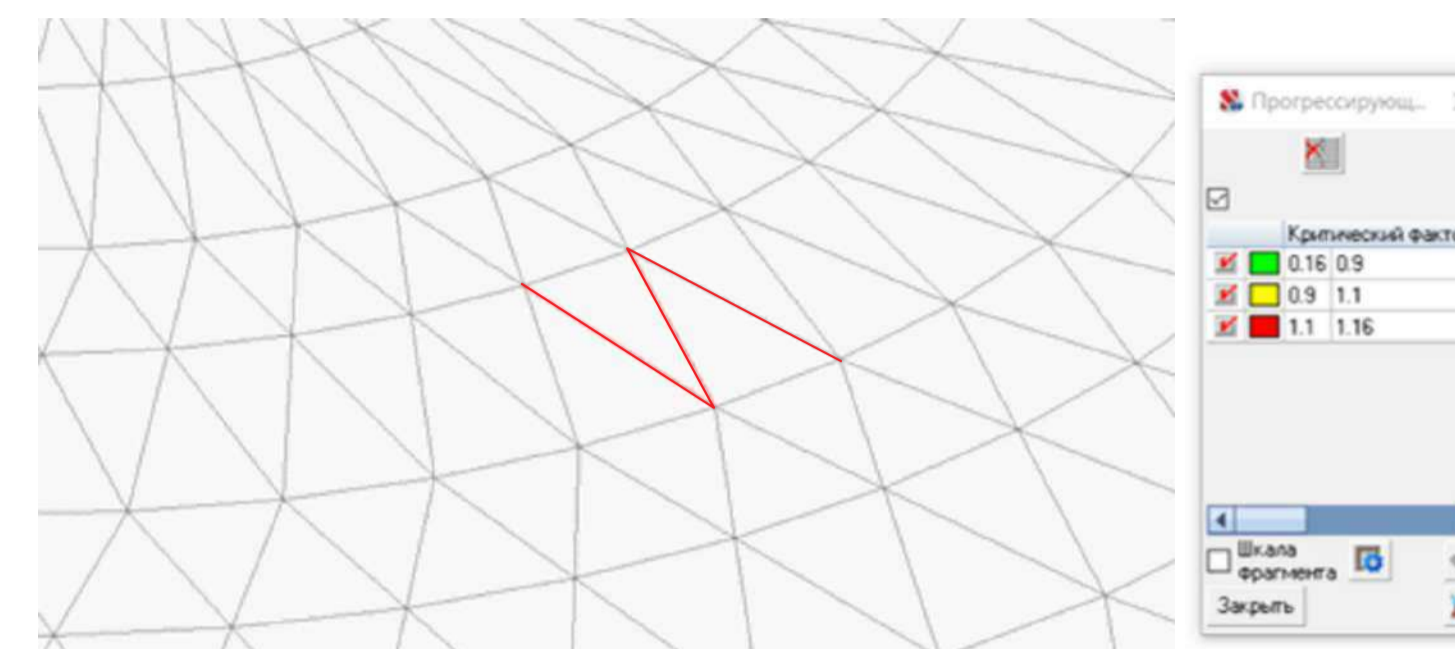
Анализ полученных результатов (окончание)

Больше всего элементов, потерявших устойчивость, находится на 27-ом ярусе, следовательно, больше вероятности что «выключится» элемент именно этого яруса.

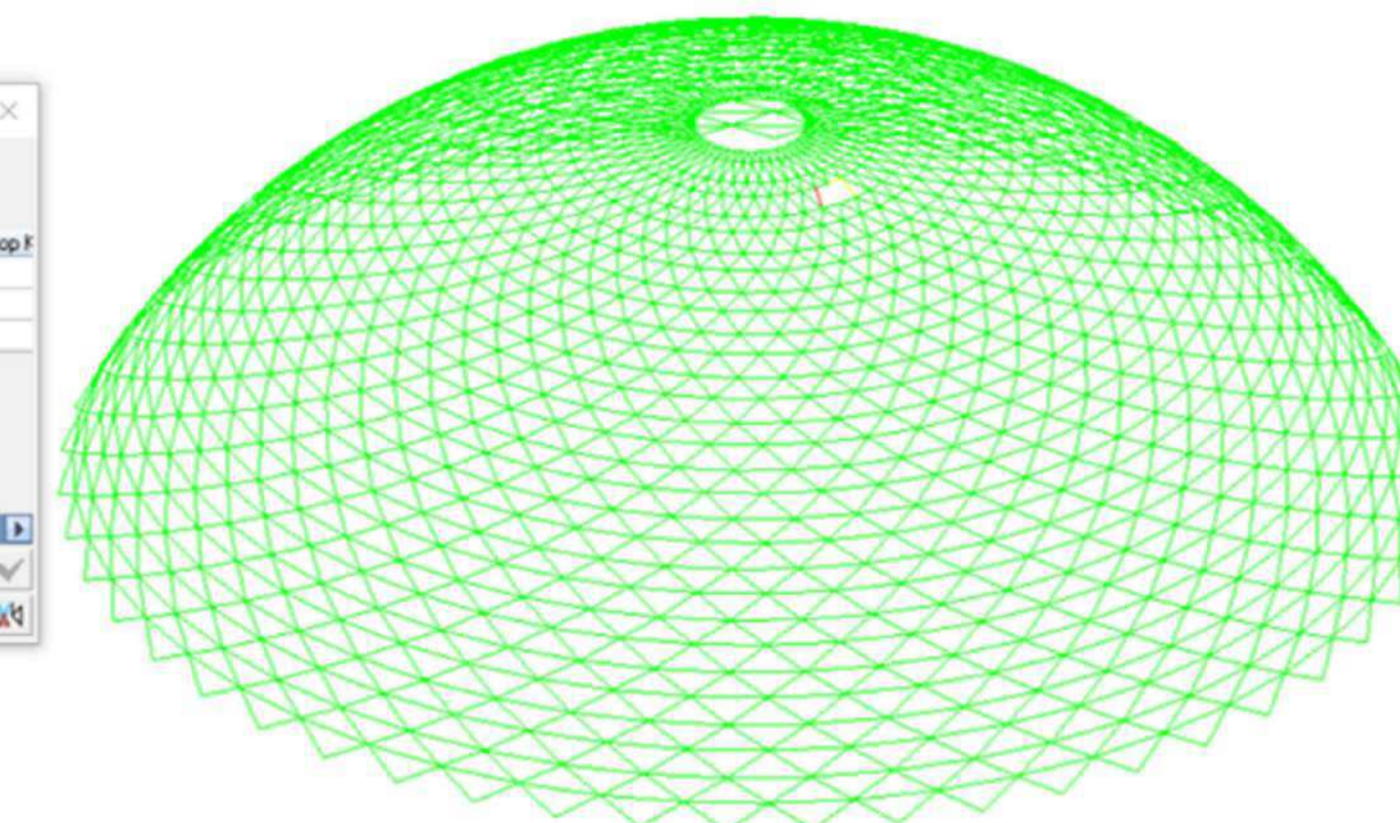
Местоположение элемента в расчетной схеме



«Выключаемые» элементы



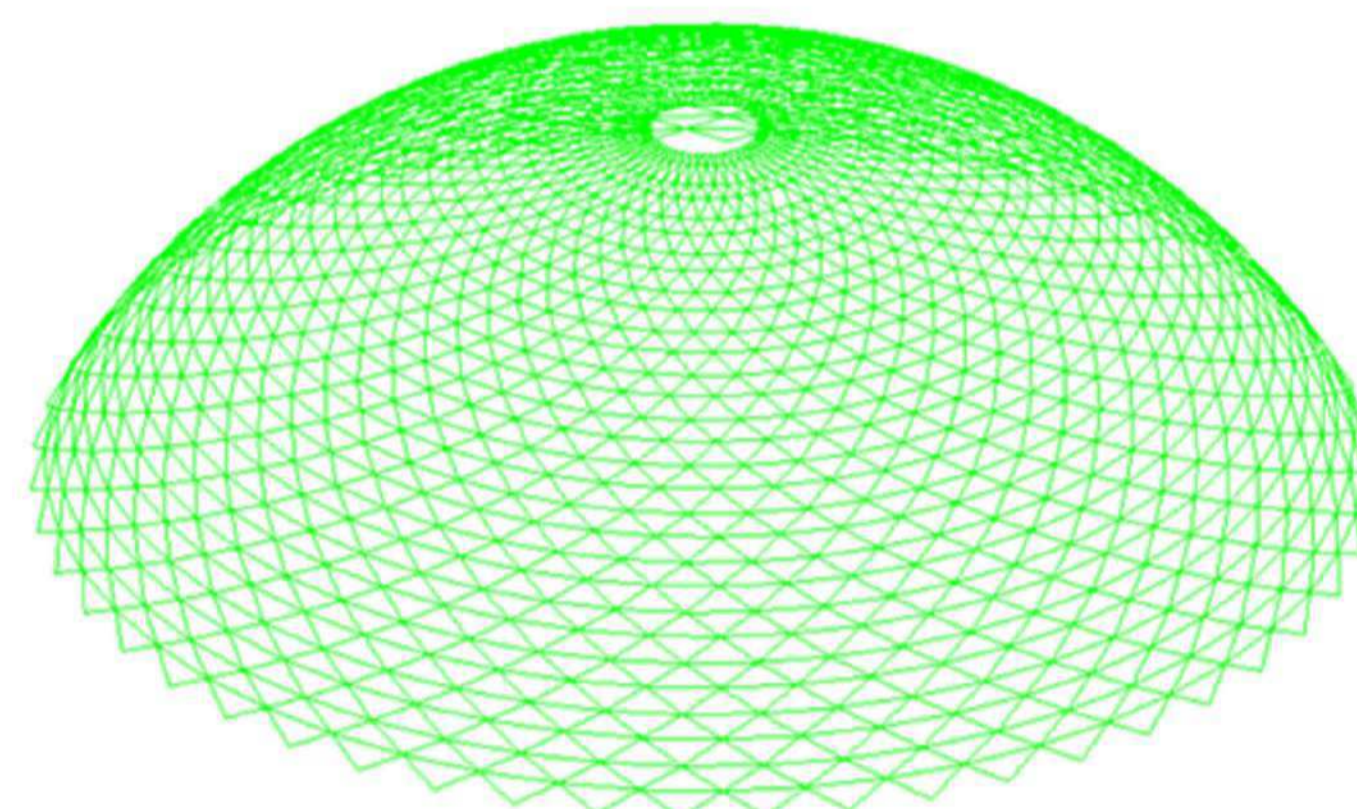
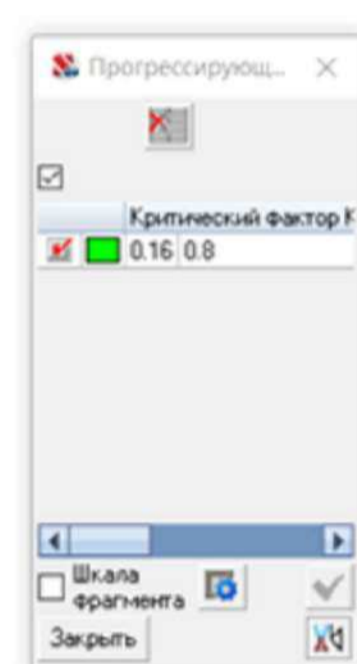
Критический фактор при трех «выключенных» элементах



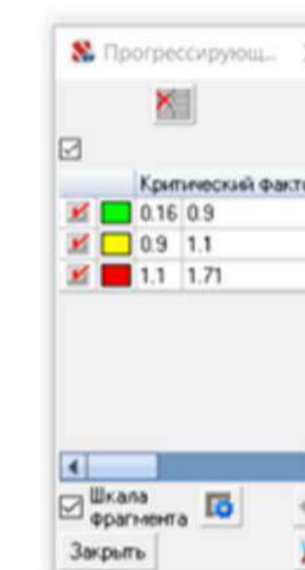
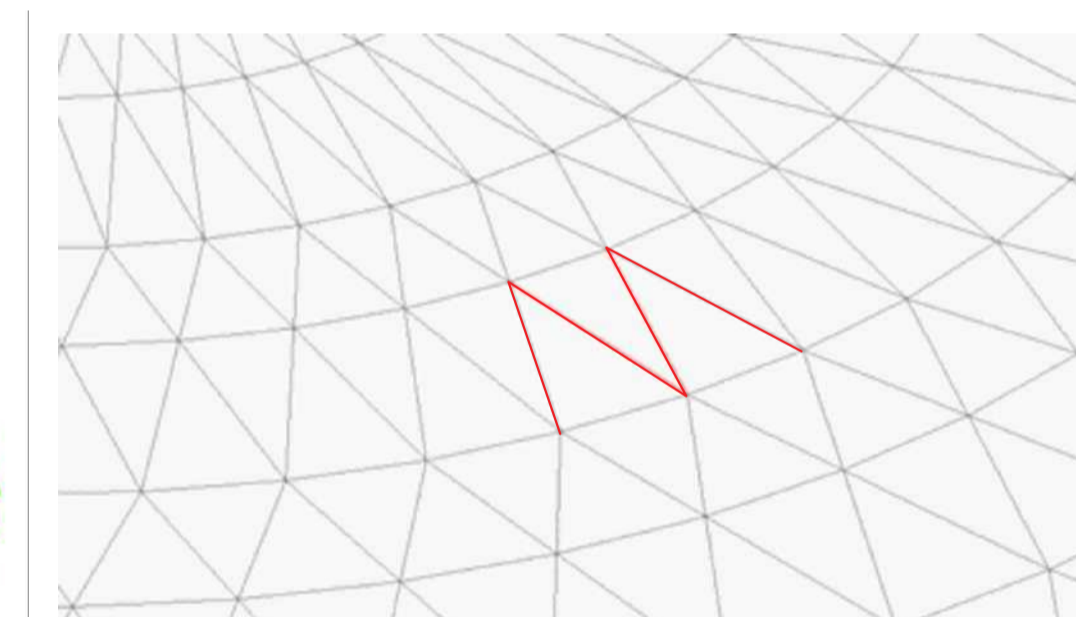
Нагрузка от «выключенного» элемента и опирающихся на него ограждающих конструкций



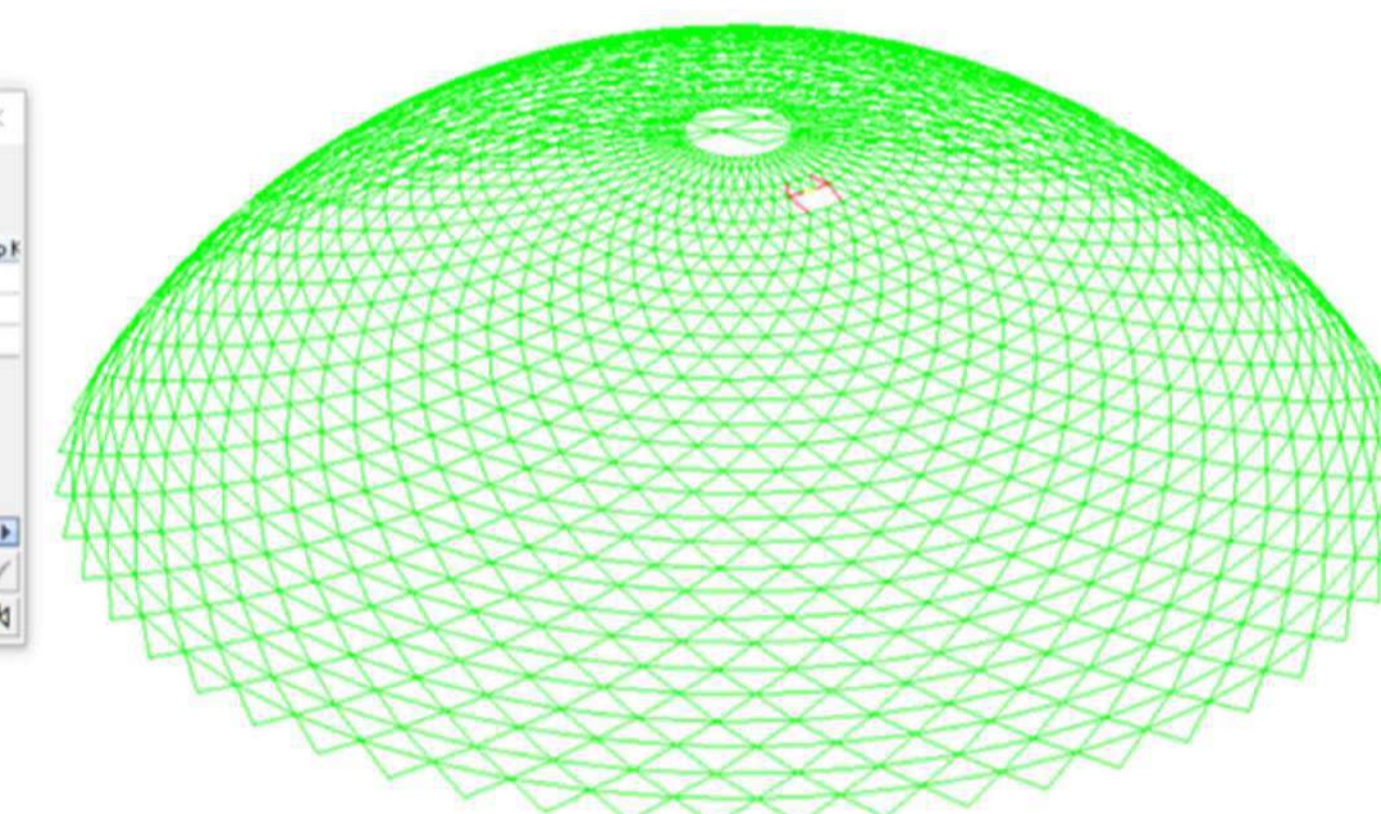
Критический фактор при одном «выключенном» элементе



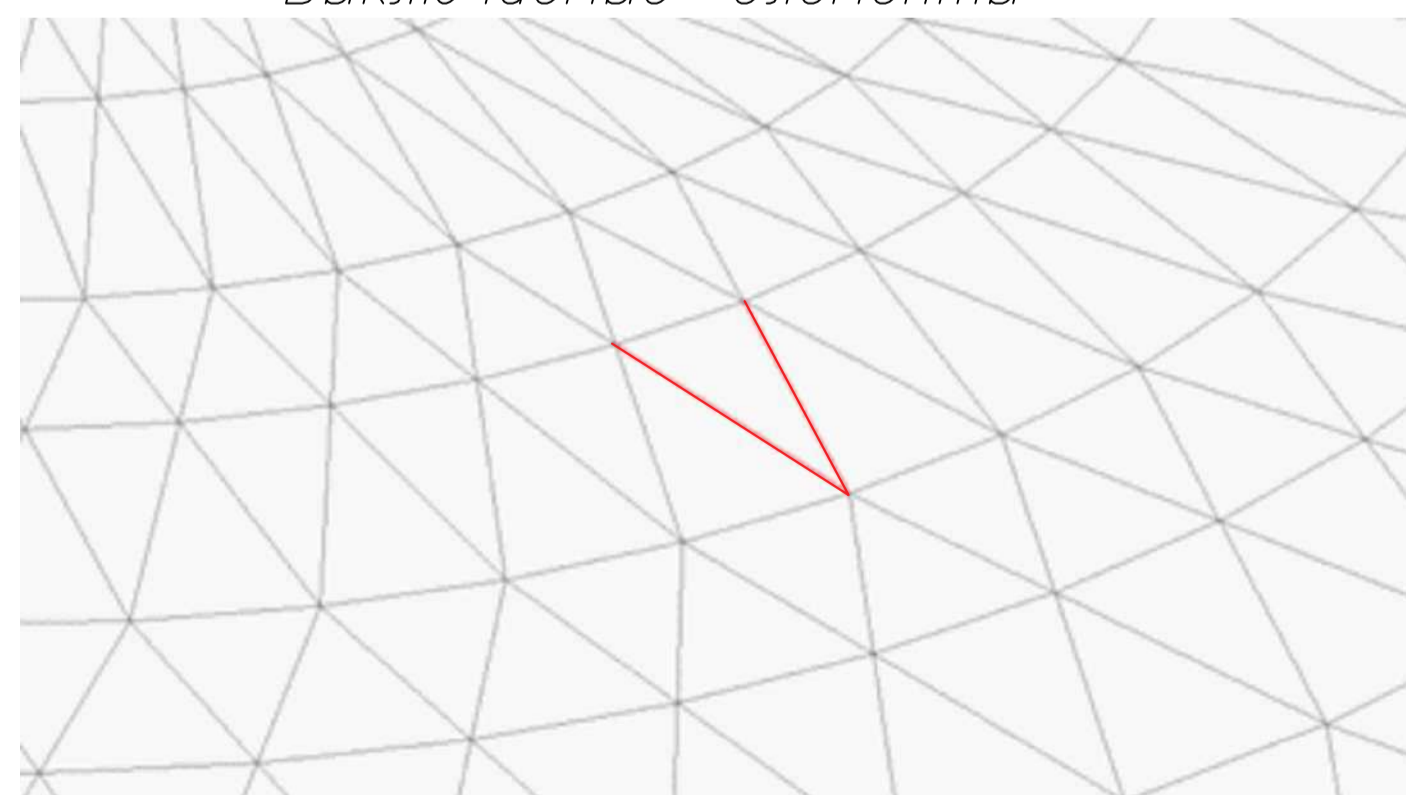
«Выключаемые» элементы



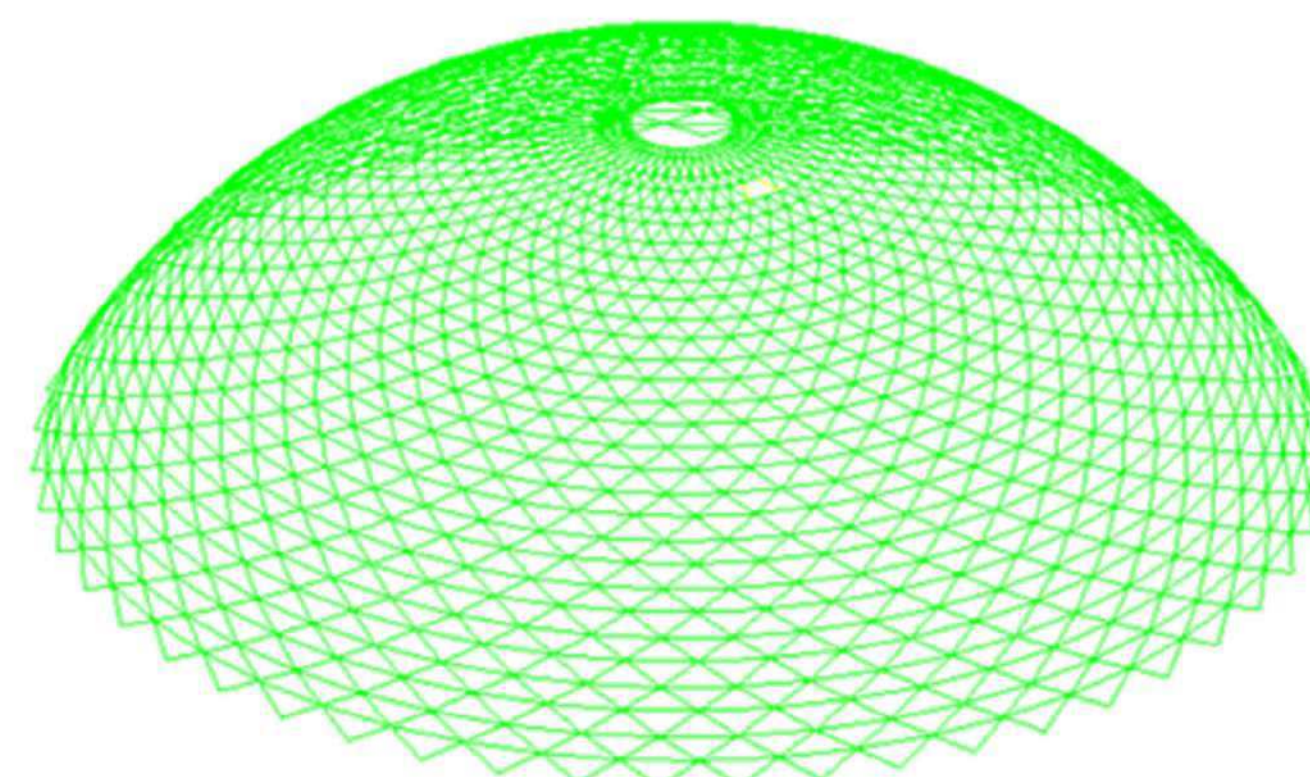
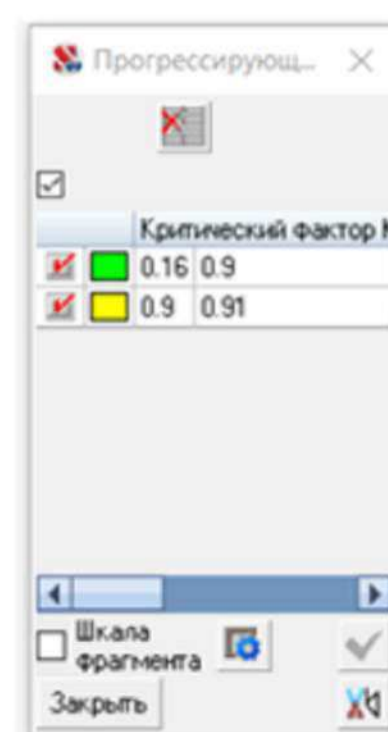
Критический фактор при четырех «выключенных» элементах



«Выключаемые» элементы



Критический фактор при двух «выключенных» элементах



В исследуемом каркасе, благодаря густоте решетки, при «выключении» из работы одного элемента прогрессирующее обрушение каркаса не происходит. Но если из работы выходят несколько элементов, то каркас начинает обрушаться по цепной реакции.

Учет монтажных нагрузок допускает перерасход материала в итоговом положении купола, так как на многих стадиях возникают усилия значительно превышающие проектные. Но этот перерасход обеспечивает дополнительную жесткость каркаса и возможность сохранить целостность каркаса при выходе одиночных элементов из работы в случае каких-либо непредвиденных обстоятельств.

						ВКР 08.05.01–2020			
						ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» Инженерно-строительный институт			
Изм.	Кол.Ил.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100м	Стадия	Лист	Листов
Выполнил	Львено КА					Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100м	у	14	
Консультант	Фролова АВ								
Эксперт	Фролова АВ								
Н.к. контроль	Фролова АВ								
Зав. кафедрой	Львено СВ					Прогрессирующее обрушение			Кафедра СКВС

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект (работу) студента(ки) строительного факультета
ИСИ СФУ

Левченко Кристины Андреевны.
(Ф.И.О. полностью)

Тема: «Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100 м»

Проанализировав материалы дипломного проекта (работы) отмечается:

1. Актуальность темы.

Учет влияния монтажных нагрузок при складировании, транспортировки и монтажа имеет важное значение, которое позволяет не допустить разрушения и потерю устойчивости элементов каркаса купола

2. Качество оформления пояснительной записки

Пояснительная записка выполнена на 150 страницах грамотно, аккуратно в соответствии с существующими строительными нормами и ГОСТами графического материала

Графическая часть проекта выполнена на 14 листах формата А1 грамотно, аккуратно в соответствии с существующими строительными нормами и ГОСТами

3. Общая характеристика проекта (работы)

Дипломная работа посвящена исследованию влияния монтажных нагрузок на несущую способность стального каркаса купола $\Phi 100$ м.

Выпускная квалификационная работа представлена на рецензию на 150 страницах текстового документа и 14 листах графической части

Купол здание диаметром 100 м, высота купола 30 м. Элементы купола запроектированы металлические.

Практическая ценность (внедрение, использование в организации и т.д.)

При возведении каркаса купола навесным способом необходимо учитывать влияние монтажных нагрузок во избежание потери прочности и устойчивости отдельных элементов купола

4. Положительные стороны проекта (работы)

- выполнены расчеты прочности и устойчивости элементов купола при 31 стадии монтажа купольного каркаса,

- вся работа выполнена с применением средств вычислительной техники,

- тщательно выполнены статические и конструктивные расчеты.

5. Замечания по проекту (работе).

Существенных замечаний по проекту нет.


Дипломный проект (работа) оценивается на отлично, а ее автор Левченко

Кристина Андреевна заслуживает присвоения квалификации инженера-строителя

Рецензент (должность, место работы, Ф.И.О.)

Главный инженер ООО «Институт Красноярскпромгражданпроект» Матышкин А. Г

«08» июля 2020 г.


(ПОДПИСЬ)

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт
институт

Строительных конструкций и управляемых систем
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

С. В. Деордиев
подпись инициалы, фамилия

« » 2020 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»
код и наименование специальности

Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания
на примере стального каркаса купола диаметром 100м

ТСМ2

Руководитель

А.В. Фроловская
подпись, дата должность, ученая степень

А.В. Фроловская
инициалы, фамилия

Выпускник

К.А. Левченко
подпись, дата

К.А. Левченко
инициалы, фамилия

Красноярск 2020

**Отзыв руководителя
на выпускную квалификационную работу**

Тема «Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100м»

Автор Левченко Кристина Андреевна

Институт Инженерно-строительный

Выпускающая кафедра СКиУС

Специальность 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Руководитель к.т.н., доцент кафедры СКиУС, ИСИ СФУ А.В.Фроловская

Актуальность темы ВКР Актуальность данной темы обуславливается тем, что в проектной деятельности на сегодняшний день учету монтажных нагрузок уделяется недостаточное внимание, что иногда приводит к разрушению зданий и сооружений.

Логическая последовательность структуры работы

1 Анализ существующих конструктивных решений купольных покрытий и методы их возведения

2 Обзор особенностей учета монтажных нагрузок

3 Расчет и конструирование каркаса купола без учета монтажных нагрузок

4 Расчет и конструирование каркаса с учетом двух схем монтажа

5 Сравнительный анализ полученных результатов

6 Расчет каркаса на прогрессирующее обрушение

Аргументированность и конкретность выводов и предложений

Полученные в результате работы выводы явно доказывают необходимость тщательной проработки всех этапов монтажа.

Уровень самостоятельности и ответственности при работе над темой ВКР

Работа Левченко К.А. является самостоятельной, целостной.

Кристина Андреевна в ходе написания выпускной квалификационной работы показала достаточный уровень знаний и практических навыков, самостоятельность, инициативность в принятии решений.

Достоинства работы Тема выпускной квалификационной работы в целом раскрыта полностью и соответствует предъявленным требованиям.

Недостатки работы Замечаний, снижающих оценку, не отмечено.

В целом работа оценена на отлично, а ее автор

выпускник Левченко Кристина Андреевна заслуживает присвоения

ей квалификации инженер-строитель по специальности «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Руководитель ВКР



А.В.Фроловская

Отчет о проверке на заимствования №1



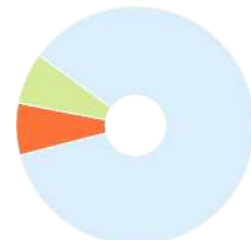
Автор: Левченко Кристина Андреевна
Проверяющий: Захаров Павел Алексеевич (bik@sfu-kras.ru / ID: 256)
Организация: Сибирский федеральный университет
 Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://sfukras.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 85709
 Начало загрузки: 24.06.2020 07:55:30
 Длительность загрузки: 00:00:48
 Имя исходного файла: Неизвестно
 Название документа: Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметром 100м
 Размер текста: 1 кБ
 Тип документа: Выпускная квалификационная работа
 Символов в тексте: 135626
 Слов в тексте: 14550
 Число предложений: 689

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Последний готовый отчет (ред.)
 Начало проверки: 24.06.2020 07:56:19
 Длительность проверки: 00:01:50
 Комментарии: не указано
 Модули поиска: Модуль поиска ИПС "Адилет", Модуль выделения библиографических записей, Сводная коллекция ЭБС, Модуль поиска "Интернет Плюс", Коллекция РГБ, Цитирование, Модуль поиска переводных заимствований, Модуль поиска переводных заимствований по elibrary (EnRu), Модуль поиска переводных заимствований по интернет (EnRu), Коллекция eLIBRARY.RU, Коллекция ГАРАНТ, Коллекция Медицина, Диссертации и авторефераты НББ, Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU, Модуль поиска перефразирований Интернет, Коллекция Патенты, Модуль поиска "СФУ", Модуль поиска общепотребительных выражений, Кольцо вузов



ЗАИМСТВОВАНИЯ

7,3% ■

САМОЦИТИРОВАНИЯ

0% ■

ЦИТИРОВАНИЯ

6,63% ■

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

86,07% ■

Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.
 Самоцитирования — доля фрагментов текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа, по отношению к общему объему документа.
 Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общепотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.
 Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.
 Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.
 Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.
 Заимствования, самоцитирования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа. Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Доля в тексте	Источник	Ссылка	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте
[01]	4,66%	4,66%	не указано	не указано	раньше 2011	Модуль выделения библиографических записей	2	2
[02]	2,42%	2,53%	Металлические конструкции. Том 2. Ко.	http://lib4all.ru	05 Янв 2017	Модуль поиска перефразирований Интернет	4	5
[03]	1,71%	1,71%	Купольные конструкции	http://otherreferats.allbest.ru	07 Янв 2017	Модуль поиска перефразирований Интернет	5	5
[04]	0,01%	1,47%	Металлические конструкции. Том 2. Ко.	http://lib4all.ru	04 Авг 2014	Модуль поиска "Интернет Плюс"	2	26
[05]	0%	1,44%	Металлические конструкции. Том 2. Ко.	http://lib4all.ru	08 Янв 2017	Модуль поиска перефразирований Интернет	0	4
[06]	0%	0,81%	Атальманан Абусамра Авад Юсиф дис..	http://dlib.rsl.ru	раньше 2011	Коллекция РГБ	0	18
[07]	0,18%	0,79%	Свод правил СП 20.13330.2016 "Нагрузк..	http://ivo.garant.ru	21 Июнь 2019	Коллекция ГАРАНТ	3	15
[08]	0%	0,75%	СНиП 2.01.07-85* Актуализированная р..	https://files.stroyinf.ru	23 Мар 2020	Модуль поиска "Интернет Плюс"	1	12
[09]	0,52%	0,73%	Свод правил СП 20.13330.2016 "Нагрузк..	http://ivo.garant.ru	04 Мар 2019	Коллекция ГАРАНТ	10	14
[10]	0%	0,67%	Сдвигающие усилия в сферическом ку..	http://tfolio.ru	20 Янв 2017	Модуль поиска "Интернет Плюс"	0	10
[11]	0%	0,62%	Противопожарная защита зданий. Кон..	http://studentlibrary.ru	19 Дек 2016	Коллекция Медицина	0	13
[12]	0%	0,61%	СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздейств..	http://novsu.ru	22 Ноя 2016	Модуль поиска "Интернет Плюс"	1	11
[13]	0%	0,6%	Конструкции из дерева и пластмасс	http://studentlibrary.ru	20 Янв 2020	Сводная коллекция ЭБС	0	13
[14]	0,46%	0,57%	Лекция 10. монтаж зданий с простран..	http://refwin.ru	30 Янв 2017	Модуль поиска перефразирований Интернет	1	2

ВКР в виде работы

Тема: «Исследование влияния монтажных нагрузок на несущую способность здания на примере стального каркаса купола диаметра 100м»

Автор: студентка гр. СС14-11 Левченко Кристина Андреевна

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

С.В.Деордиев

подпись

инициалы, фамилия

« ___ » _____ 2020 г

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий отделением

Н.Ю.Клиндух

подпись

инициалы, фамилия

« ___ » _____ 2020 г

ПЛАН РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

Глава 1. Большепролетные купольные покрытия и методы их расчета

1.1 Обзор существующих конструктивных решения купольных большепролетных покрытий

1.2 Методы расчета большепролетных купольных покрытий

1.3 Технология возведения купольных покрытий

Глава 2. Особенности учета монтажных нагрузок

2.1 Нагрузки при транспортировке

2.2 Нагрузки при строповке и укрупнительной сборке

2.3 Нагрузке при монтаже

2.4 Постановка задачи исследования

Глава 3. Конструирование и исследование монтажа сетчатого купола

3.1 Расчетная схема

3.2 Климатические условия

3.3 Сбор нагрузок

3.4 Расчет в ПК SCAD

3.5 Подбор сечений

- 3.6 Технология возведения
- 3.7 Расчет НДС, возникающего при транспортировке
- 3.8 Определение напряженно-деформированного состояния, возникающего при складировании деталей купола
- 3.9 Расчет усилий, возникающих при строповке элементов купола
- 3.10 Расчет НДС элементов купола на разных стадиях монтажа
- 3.11 Анализ полученных результатов
- 3.12 Конструирование с учетом полученных результатов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подпись руководителя
подпись, дата


инициалы, фамилия

А.В. Фроловская