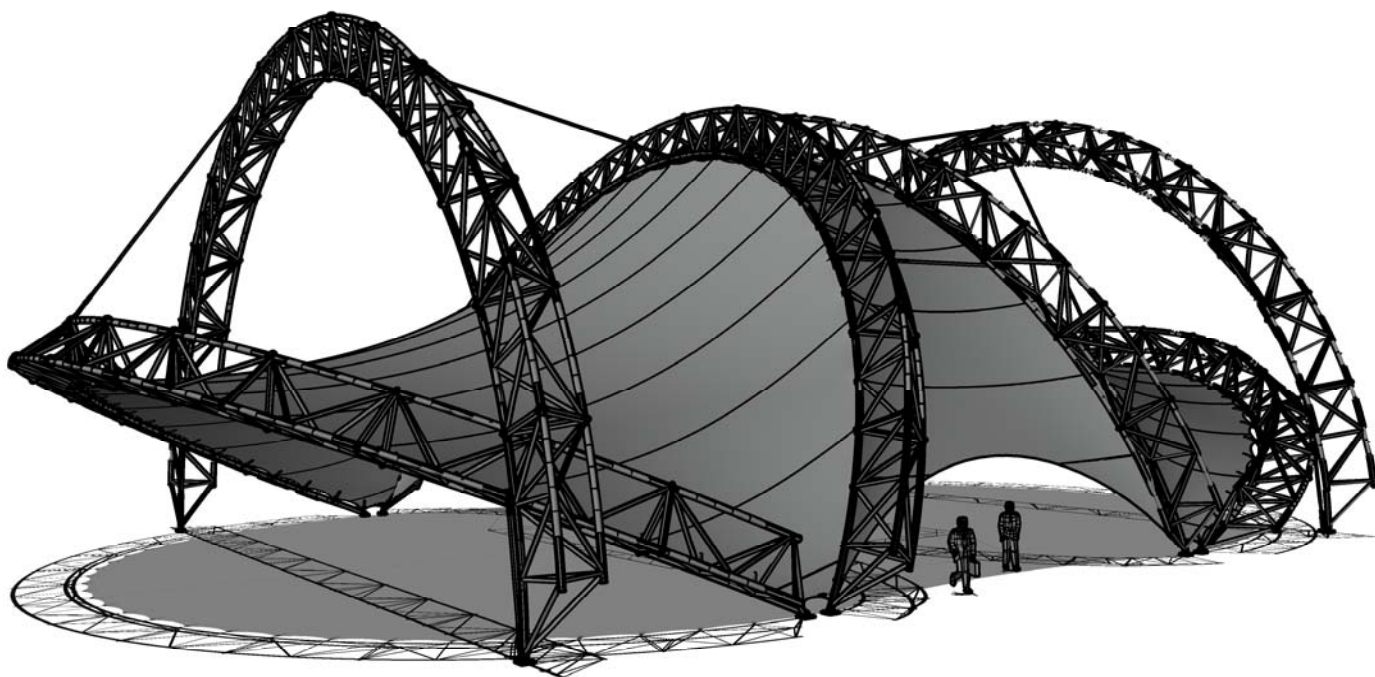




Мембранная конструкция МК-187  
28 x 41,2 м

Пояснительная записка

МК187-00.00.000 ПЗ



Минск,  
2017 г.

# Содержание

1. Назначение и область применения	2
2. Техническая характеристика	2
3. Описание и обоснование выбранной конструкции	3
4. Прочностные расчеты	19
5. Эксплуатация изделия	48
6. Монтаж конструкции	49
7. Сертификация и соответствие	52
8. Условия хранения	52
9. Ожидаемые технико-экономические показатели	52
10. Список литературы	53

## 1. Назначение и область применения

1.1. Мембранная конструкция МК-187 предназначена для использования в качестве всесезонного (см. п. 5.5) сооружения и служит для быстрого и недорого перекрытия значительных площадей.

1.2. Изделие создает комфортные микроклиматические условия, защищает от ветра и осадков, предусматривает оснащение системами вентиляции и освещения.

## 2. Техническая характеристика

2.1. Геометрические характеристики:

- габаритные размеры в плане - 31,2х44,4 м;
- размеры в плане по проекции мембраны - 28х41,2 м;
- наибольшая высота - 15,8 м;
- перекрываемая площадь - 978 м<sup>2</sup>;

2.2. Наибольшая длина отпавочных марок металлоконструкций - 5 м.

2.3. Масса тента - 1,4 т.

2.4. Масса металлоконструкций - 16,7 т.

2.5. Нормативная ветровая нагрузка - 380 Н/м<sup>2</sup>.

2.6. Расчетная снеговая нагрузка - 500 Н/м<sup>2</sup>.

					<b>МК187-00.00.000 ПЗ</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Мембранная конструкция</b>	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Шаханов			29.03.17			2	53
Пров.								
Н. контр.								
УТВ.								
						tentovic@yandex.ru		

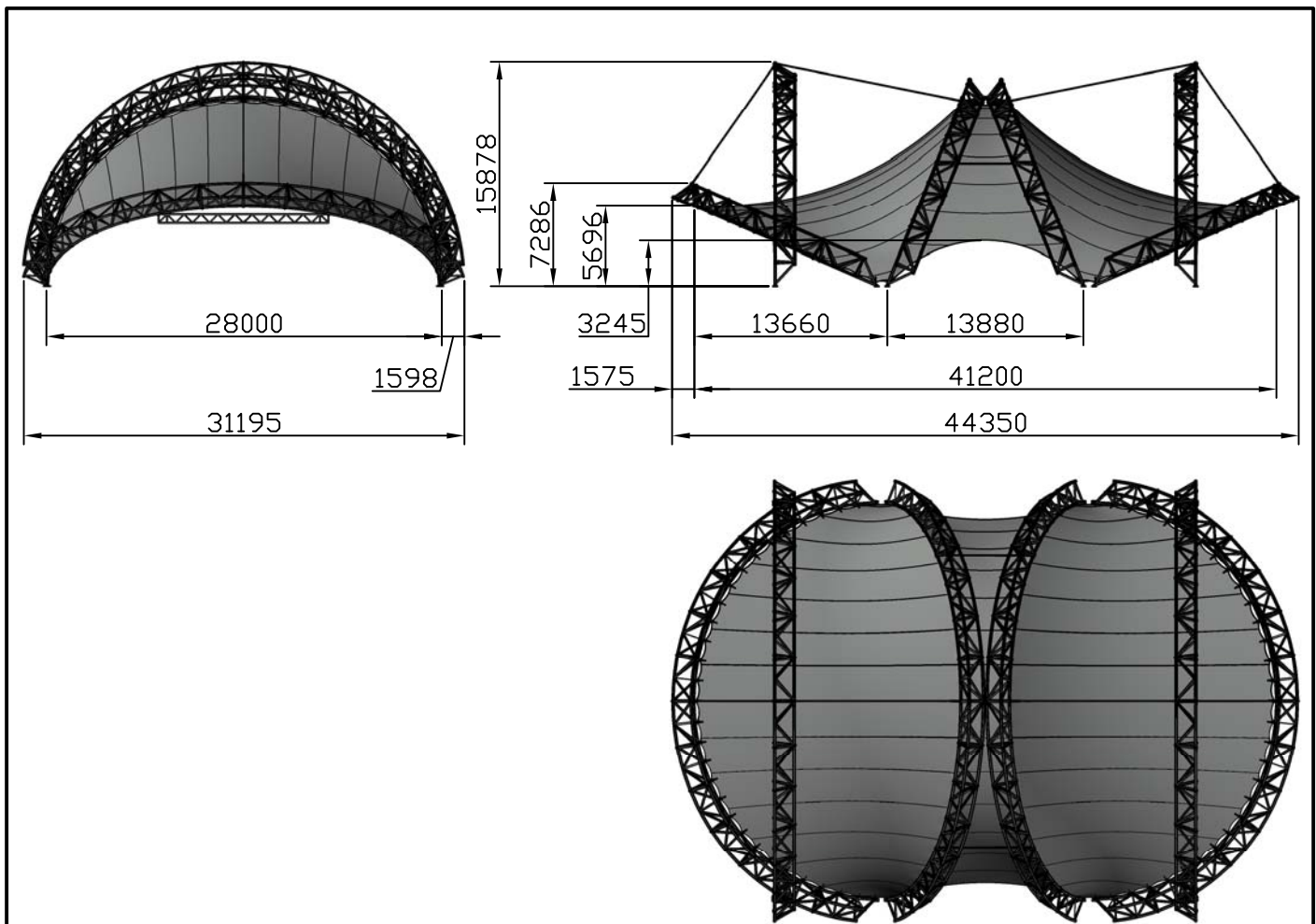


Рис. 1. Мембранная конструкция МК-187.

### 3. Описание и обоснование выбранной конструкции

3.1. Принципы для руководства в принятии проектных решений.

3.1.1. Соответствие исходным данным, предоставленным заказчиком.

Конструкция должна соответствовать запросам и ожиданиям клиента настолько, насколько это в принципе возможно.

3.1.2. Конструктивная целесообразность.

Сооружение должно надежно защищать людей от вредных воздействий, быть прочным, т.е. выдерживать внешние воздействия (оборудования, людей, температуры, солнечной радиации и т.п.) и долговечным, т.е. не терять своих качеств во времени.

3.1.3. Принцип "Клиент всегда прав".

Требования заказчика должны быть воплощены в проектном решении даже в ущерб функциональным качествам и технологичности производства сооружения. Клиент должен быть предупрежден о возможных негативных последствиях принятых им решений (нарушении функциональных и эргономических свойств, необходимости проведения дополнительных мероприятий по обслуживанию конструкции и т.п.).

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата

МК187-00.00.000 ПЗ

Лист  
3

### 3.1.4. Принцип "Телега впереди лошади".

В практике проектирования тентовых конструкций редко выдерживаются сроки, необходимые для завершения всего цикла работ. В результате, конструкторская документация разрабатывается и поступает в производство фрагментарно, одни части сооружения уже изготавливаются, тогда как другие не проработаны еще даже на стадии конструкторского замысла. Возможной платой за подобную оперативность являются неточности и ошибки в проектной документации. Также конструктор становится заложником первоначально принятых, зачастую сырых, проектных решений. Заказчик, в таком случае, должен быть морально готов как к высокой вероятности брака, так и нерациональности конструктивных и технологических решений.

### 3.2. Анализ предоставленных заказчиком данных (рис. 2...5).

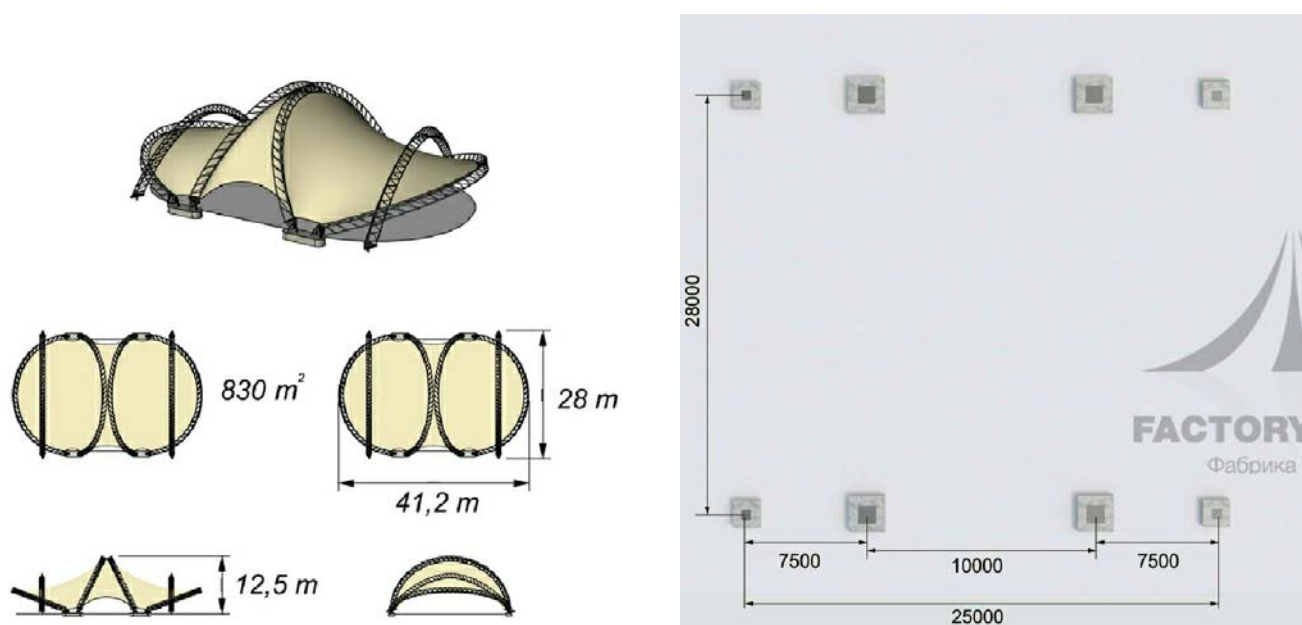


Рис. 2. Предоставленные заказчиком размеры конструкции и фундамента.

3.2.1. На предоставленном рисунке (рис. 2) конструкции видим размеры в плане 28x41,2 м по наружным габаритам конструкции. На предоставленном рисунке фундамента видим размеры по осям фундамента 28x25 м. Это несоответствие размеров должно быть решено в пользу размеров фундамента, поскольку габаритные размеры металлоконструкций (треугольных арочных ферм) на рисунке представляются заниженными, будут определены в процессе проектирования арок и не могут служить надежным ориентиром.

3.2.2. Даже если бы была возможна установка торцевых арок точно в центре столбчатого фундамента (большой квадрат на рисунке фундамента) и совершенно без наклона (горизонтально, лежа на земле), размер сооружения в длину равнялся бы:

$10000 + 14000 * 2 = 38000 \text{ мм} = 38 \text{ м}$ , что значительно меньше размера 41,2 м на рисунке конструкции.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

МК187-00.00.000 ПЗ

Лист  
4

С учетом необходимости размещения на одном фундаменте двух опор (для центральной и торцевой арок) и длины проекции установленных под наклоном торцевых арок, принимаем решение об увеличении расстояния между столбчатыми фундаментами в центральной части сооружения с 10000 мм до 14630 мм.



Рис. 3. Предоставленный заказчиком экстерьер сооружения.

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата

МК187-00.00.000 ПЗ

Лист  
5

3.2.3. На части рисунков (рис. 3) с экстерьером конструкции, видим трехгранные арочные фермы на высоко расположенных (над уровнем фундамента) шарнирах. Сечения несущих арок имеют два верхних пояса и один нижний, сечения арок не несущих конструктивного значения имеют один верхний и два нижних пояса. Элементы решеток не имеющих конструктивного значения арок переплетены с элементами решеток несущих арок.

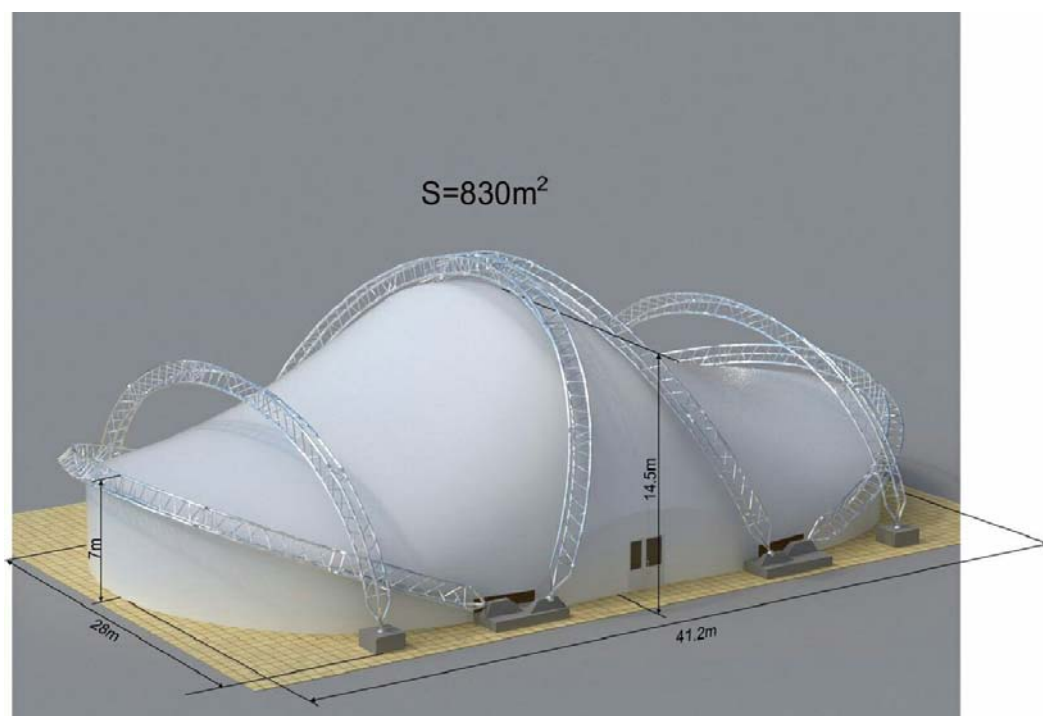
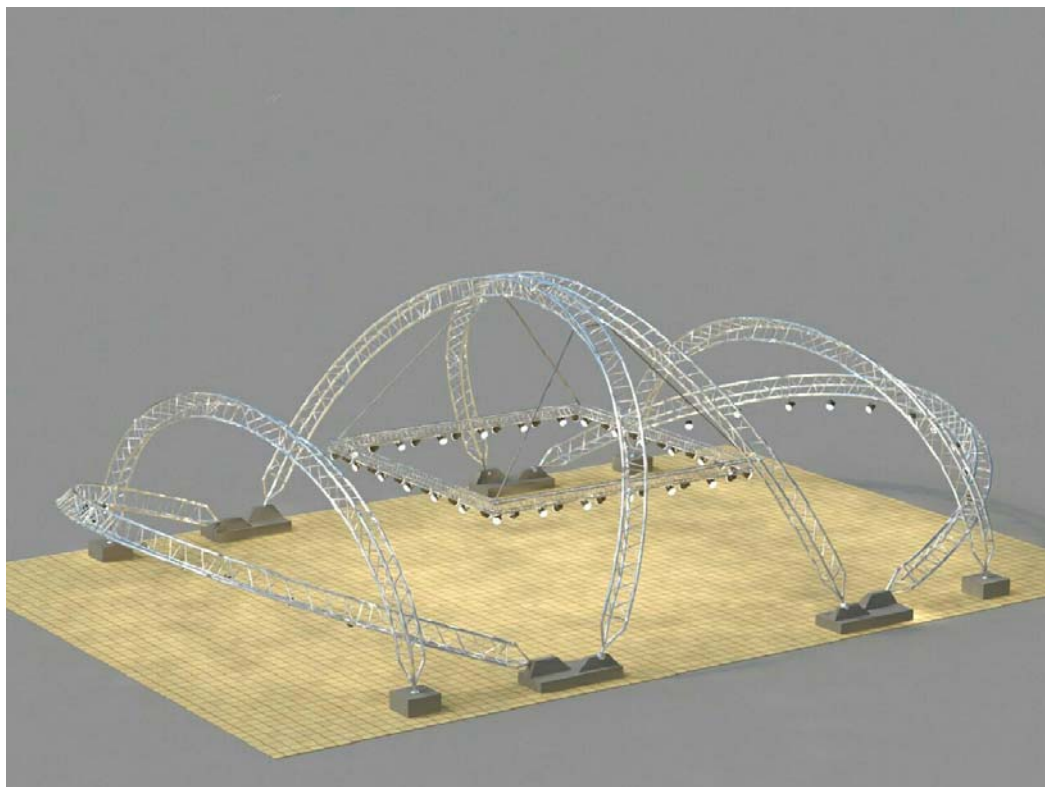


Рис. 4. Дополнительные рисунки с экстерьером и размерами сооружения.

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата

МК187-00.00.000 ПЗ

Лист  
6

На дополнительно предоставленных рисунках (рис. 4) опоры арок смещены относительно друг друга и осей фундамента, а сами арки выполнены по иной схеме - верхний и нижний пояса лежат в одной плоскости, а стабилизирующий пояс (работающий из плоскости арки) - в параллельной. Кроме того, арки не имеющие конструктивного назначения, очевидно, выполнены с переменным радиусом и приходят к шарнирной опоре под углом.

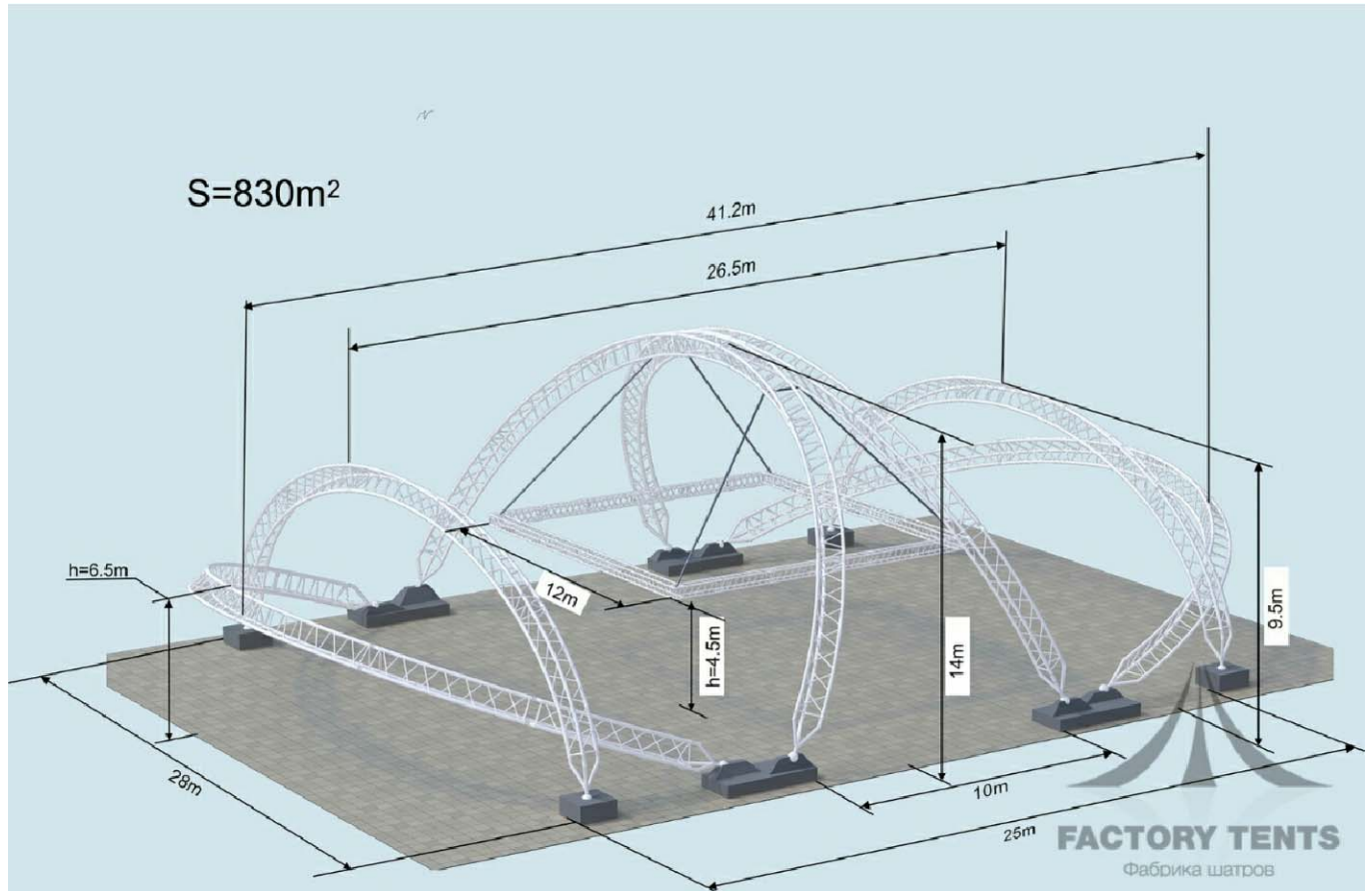


Рис. 5. Рисунок с иными размерами сооружения и подвеской колосника.

3.2.4. Позднее предоставлен рисунок металлоконструкций сооружения с подвешенным под ними колосником (рис. 5). На нем высота до стабилизирующего пояса изменена с 7 до 6,5 метра и заданы размеры колосника 12x12 м, а так же задана высота от земли до нижней грани колосника. Поскольку размеры сечения колосника и узлов крепления тросов не указаны, для дальнейшего конструирования (предположительно) принимаем точки присоединения тросов к вершинам квадрата 12x12 м на высоте 5 м. Так же, уже на финальной стадии проектирования, устно озвучена максимальная масса колосника и осветительной аппаратуры - 0,5 т.

3.2.5. Техническое задание на проектирование представлено на рис. 6.

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата

МК187-00.00.000 ПЗ

Лист  
7

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ШАТРА

1. Выполнить проект, изготовления и монтаж шатра с размерами в плане (28.0мX41.2м) и в соответствии с утвержденным вариантом.
2. Конструкции шатра предусмотреть с оцинкованием покрытий и порошковой окраской соответствующей технологией в заводских условиях белого цвета. Расчет несущей способности конструкций предусмотреть устойчивой к ветровым, снеговым и сейсмическим нагрузкам.
3. Полотно шатра белого цвета в соответствии представленного образца, также предусмотреть устойчивость к ветровым и снеговым нагрузкам.
4. Проектом предусмотреть фундаменты в соответствии грунтовыми условиями.
5. Предусмотреть конструкции для монтажа освещения в ночное время. Форму и место размещения данных конструкций предварительно согласовать с заказчиком.
6. Проектом предусмотреть варианты закрытия шатра в непогоду по периметру прозрачными ограждающими материалами. Ограждающие конструкции предусмотреть сборной разборной. Варианты предварительно согласовать с заказчиком.

### Исходные данные для расчетов конструкций и элементов шатра:

- Место строительства---г. Самарканд, Республика Узбекистан.
- Снеговая нагрузка ----- $g(n)=50\text{кг/м}^2$
- Ветровая нагрузка ----- $g(n)=38\text{кг/м}^2$ , тип местности «В»
- Сейсмика-----9 баллов по грунтовым свойствам
- Категория грунта-----3(третья)
- Расчетная температура для конструкций---от плюс (+55\*С) до минус (-30\*С)

Рис. 6. Техническое задание на проектирование.

### 3.3. Принятые конструктивные решения.

3.3.1. Форму сечения трехгранных арок принимаем следующей: верхний и нижний пояса лежат в одной плоскости, стабилизирующий - в параллельной. Такое решение позволяет, во-первых - производить сочленение частей арки на земле и ее подъем из горизонтального положения с закрепленными в шарнирных опорах концами, во-вторых - избежать эффекта "зарывания" в грунт/фундамент узлов сочленения верхнего пояса и опорного раскоса на низконаклоненных торцевых арках.

От формы сечения с двумя верхними поясами следует отказаться по

					МК187-00.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8



нескольким причинам. Во-первых - монтаж таких арок производится путем ее полного вывешивания на стреле подъемного крана и опускания в узел шарнирного сочленения с опорой, так как высота опоры должна быть минимизирована из соображений отсутствия изгибающего момента на поверхности фундамента, с целью уменьшения размеров и материалоемкости как фундамента, так и самой опоры. Во-вторых - подобная форма сечения эффективна, когда углы отхода левой и правой частей мембраны от оси арки примерно равны, а, следовательно, результирующее усилие ориентировано по оси симметрии сечения; в нашем же случае углы отхода мембраны от оси симметрии сечения арок глубоко асимметричны. В-третьих - низкий наклон торцевых арок приводит к заглублению торца верхнего пояса и опорного раскоса в поверхность грунта/фундамента.

3.3.2. Сечение арок принимаем в виде равностороннего треугольника с длиной сторон 1600 мм. Величина размера "1600" принята исходя из эмпирических наработок автора по проектированию подобных конструкций.

3.3.3. "Лишние" арки, не принимающие участия в конструктивной схеме сооружения, были прорисованы в двух вариантах, с соблюдением следующих условий: фундамент (и опоры) арок расположены на одной оси, пояса арок не контактируют друг с другом (минимальный зазор), все арки имеют одинаковый размер сечения. Первый вариант предполагал арку с переменным радиусом с целью приведения высоты к значению, максимально близкому к заданному в исходных данных (рис. 7); второй - арку, полностью аналогичную несущим аркам. В результате согласования заказчик выбрал второй вариант.

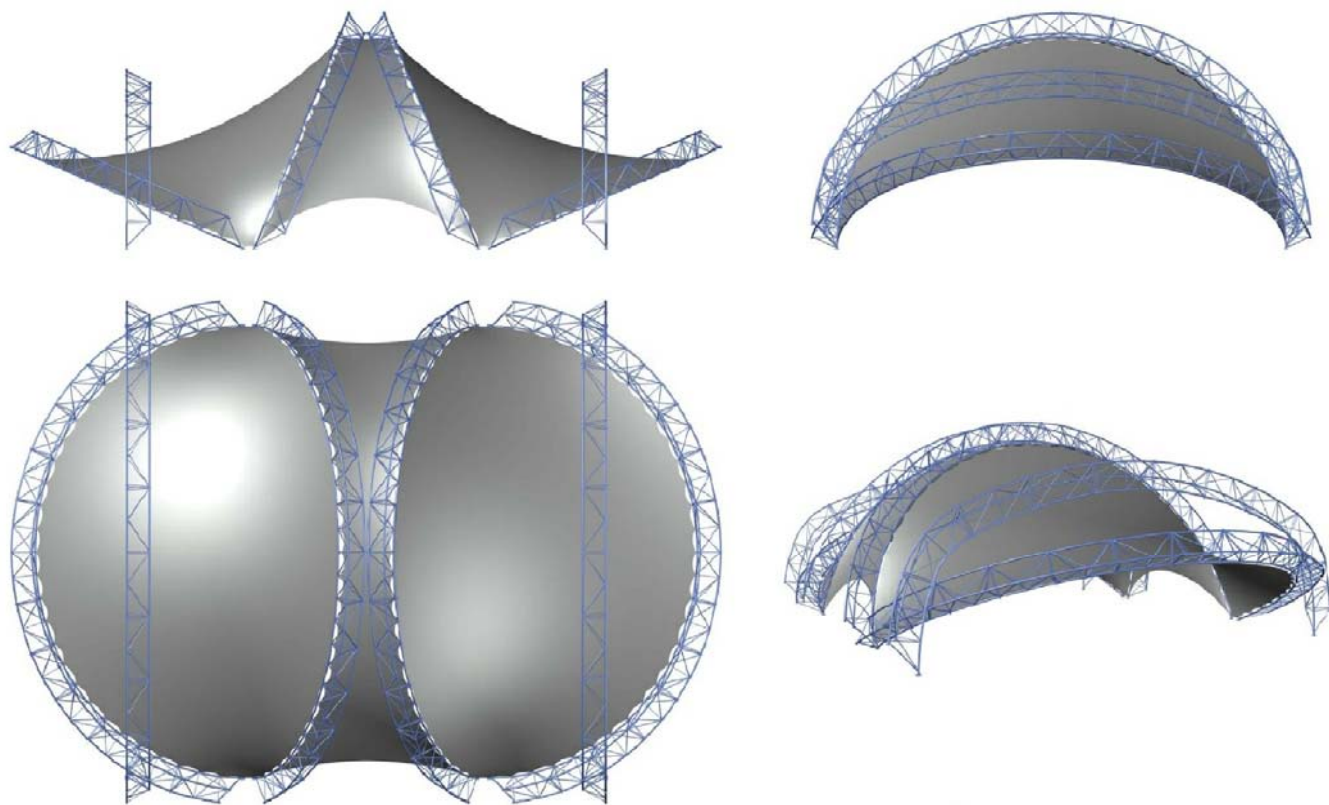


Рис. 7. Вариант "лишних" арок переменного радиуса.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

МК187-00.00.000 ПЗ

Лист  
9

3.3.4. Следует отметить, что торцевые арки представляют собой огромную консоль и в значительной степени воспринимают нагрузку из своей плоскости, вследствие чего могут испытывать значительные деформации. Раскрепление "лишних" арок производится установкой тросов между ними и центральными и торцевыми арками. Очевидно, что напряжение тросов, соединяющих "лишние" и торцевые арки будет сильно зависеть от степени нагружения торцевых арок. Следствием этого факта могут стать динамические перемещения "лишних" арок относительно вертикальной плоскости. Это налагает на эксплуатирующую организацию комплекс мер по контролю натяжения тросов между "лишними" и торцевыми арками, коррекции их длины и пр. Весьма действенной полумерой могла бы стать установка "лишних" арок под небольшим углом к вертикальной плоскости (рис. 8). Подобное смещение центра тяжести в большей степени задействовало бы троса соединяющие "лишние" и центральные арки (отличающиеся крайне малой кинематикой под внешней нагрузкой). Кроме того, подобное решение позволило бы в процессе монтажа поднимать "лишние" арки на шарнирных опорах из горизонтального положения (отсутствует контакт поясов "лишних" арок и фланцев торцевых) и задействовать "лишние" арки для подъема торцевых в момент закрепления узлов катенарной кромки мембраны в процессе монтажа.

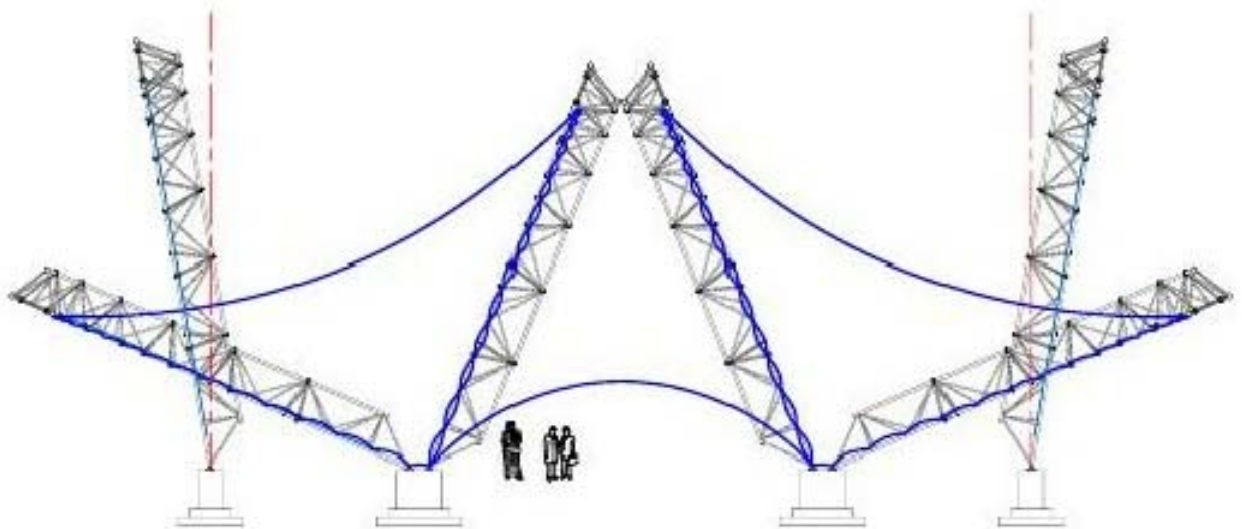


Рис. 8. Рекомендуемое изменение проектного положения "лишних" арок.

Поскольку автор проекта обязан придерживаться предоставленных исходных данных, он оставляет принятие окончательного решения по этому вопросу на усмотрение заказчика и эксплуатирующей организации по месту установки сооружения.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

### 3.3.5. Выбор стратегии расчета, проектирования и эксплуатации мембранной конструкции.

Тентовый материал обладает свойством ползучести: удлиняясь под нагрузкой он не восстанавливает своих первоначальных размеров после ее снятия. Этот эффект особенно сильно проявляется в первые несколько циклов (приложение и снятие нагрузок) загрузки (ветер, снег), после чего внутренняя структура материала стабилизируется. Возможны два варианта сохранения преднапряжения материала мембраны. Первый - постоянное поддержание преднапряжения на необходимом для работоспособности мембраны уровне; для этого на устройствах натяжения предусматривается запас хода. Второй - это постепенная деградация уровня преднапряжения от избыточного к достаточному; преднапряжение мембраны рассчитывается и производится таким образом, чтобы обслуживания устройств натяжения не требовалось до окончания срока службы сооружения. Недостатком первого варианта является необходимость постоянного контроля уровня напряжения тентового материала (4...5 циклов загрузки) в отсутствие (отечественная практика, увы, такова) средств контроля (ультразвуковая диагностика напряжений в материале мембраны). Недостаток второго - повышенная (в разы) материалоемкость металлоконструкций и фундамента, высокая вероятность применения тентового материала более высокого типа (более мощного).

Существующим ожиданиями заказчика (невероятно низкая металлоемкость, треугольное сечение арок с длиной стороны 1000 мм и диаметром поясов 60 мм) наиболее полно (но, разумеется, далеко не полностью) отвечает стратегия с первым вариантом поддержания необходимого уровня преднапряжения мембраны. Также, непреодолимые ограничения накладывает имеющееся у заказчика оборудование для гибки труб (Ø120 мм - максимум).

Количественные показатели материалоемкости в сравнении обеих стратегий будут показаны в разделе "Прочностные расчеты".

3.3.6. С точки зрения конструктивной целесообразности, удобства транспортировки и технологической простоты изготовления, количество отправочных марок одной арки должно составлять 4...6 штук. Имеющиеся на промышленных предприятиях ванны для горячего цинкования позволяют наносить покрытие на металлоконструкции длиной до 12,5 метров. Однако, заказчик выразил желание использовать услуги своих традиционных подрядчиков по нанесению цинкового и полимерного покрытий с предельным ограничением длины металлоконструкций в пять метров. В соответствии с п. 3.1.3. принимаем решение членить каждую арку на 14-ть частей. К негативным последствиям данного решения относятся: высокая трудоемкость (большее количество деталей, большая сложность узлов в месте фланцевого соединения), высокая материалоемкость (каждое место стыка - плюс 34,5 кг металла, итого - 448,5 кг), необходимость высокой культуры производства (кондукторы, технология и последовательность выполнения сварных швов), суммирование погрешностей каждого стыка в общей форме и размерах арки.

3.3.7. Тип решетки между верхним и нижним поясами назначаем

					МК187-00.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

раскосный (рис. 10, красным цветом), с восходящим, а, следовательно, растянутым опорным (наиболее нагруженным) раскосом. Это решение позволяет уменьшить длину панели обоих поясов до 1,47 м, т.е. сделать оптимальной для присоединения мембраны, а также избежать выхода векторов осевых усилий за тело трубы (рис. 9, красные линии).

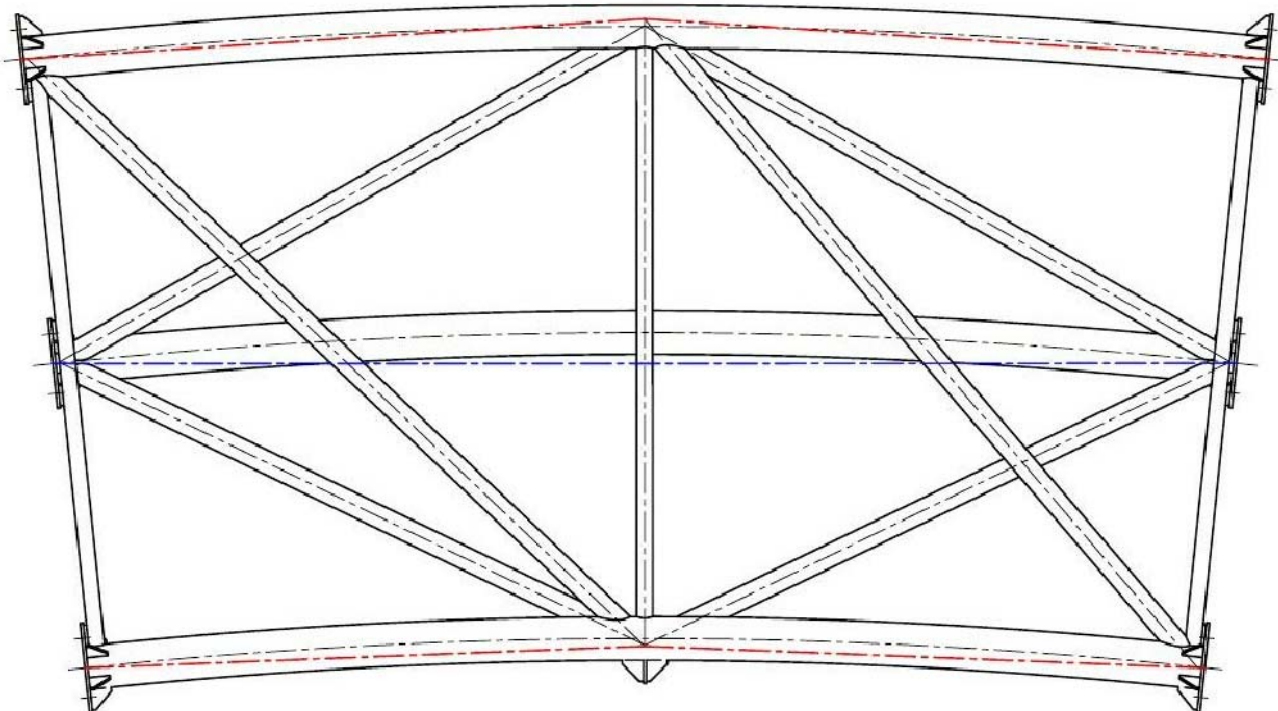


Рис. 9. Линии действия осевых усилий в поясах.

3.3.8. Для решеток, соединяющих верхний и нижний пояса со стабилизирующим поясом, назначаем треугольный тип решетки (рис. 10, в зеленом и желтом цвете). Это увеличивает длину панели вдвое и дает незначительный выход векторов осевых усилий за тело трубы (рис. 9, синяя линия), что вполне допустимо, учитывая малую величину усилий в стабилизирующем поясе. Данное решение позволяет сэкономить на трубе для двух стоек в каждой панели.

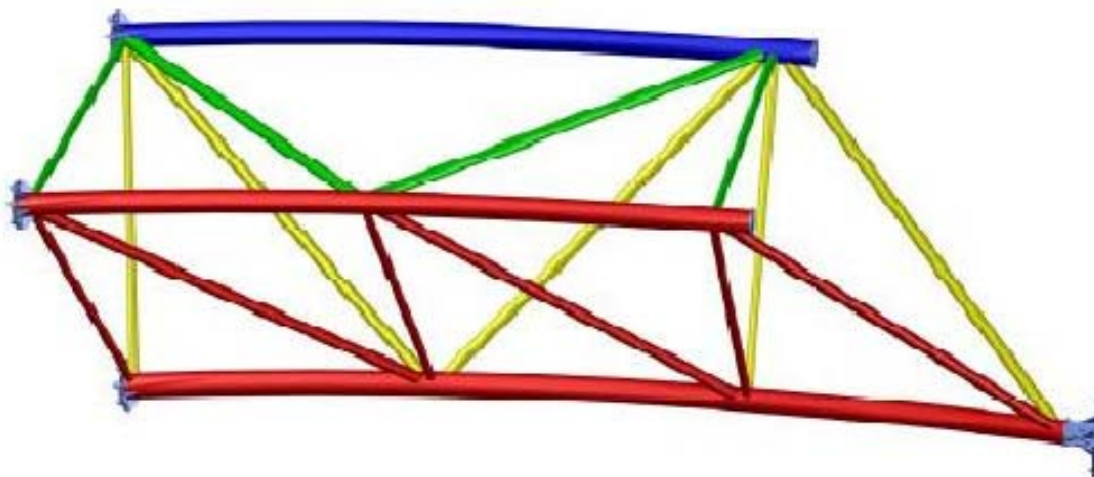


Рис. 10. Решетки 3-граной фермы.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

3.3.9. Из конструктивных соображений назначаем эксцентриситет более 10% (допускается не учитывать доп. моменты), но менее 25% (допустимый эксцентриситет) диаметра трубы поясов (114 мм) равным 20-ти мм.

3.3.10. Крепление мембраны к нижним поясам арок принимаем точечным с катенарной заделкой тросов. В катенарной заделке совмещаем функции опорных тросов и монтажного шва (рис. 11).

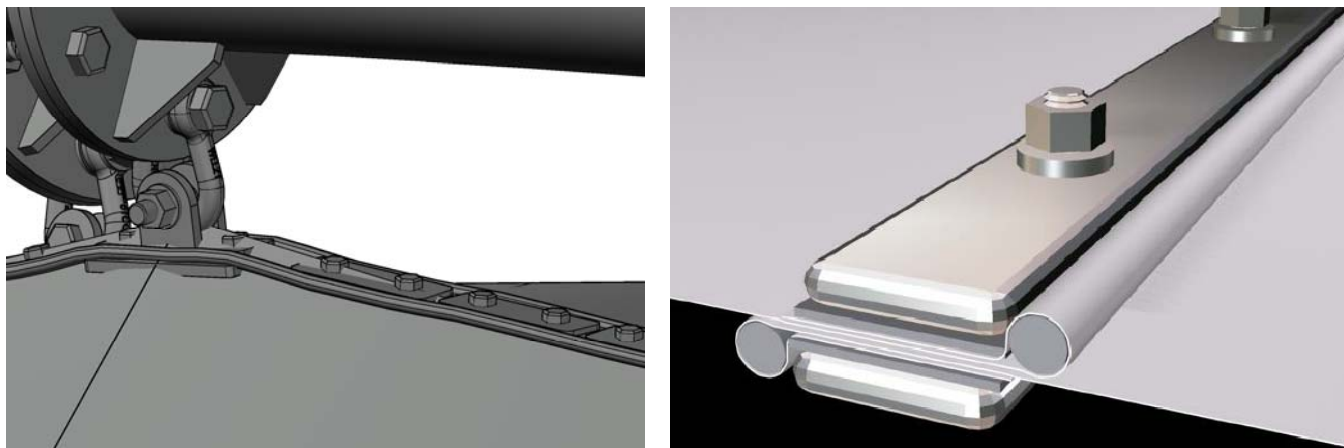


Рис. 11. Катенарная тросовая кромка и монтажный шов.

От крепления балочного типа (рис. 12) воздерживаемся в силу следующих соображений:

- подобные крепления требуют ослабления фланцевого соединения, частичного задействования сечения или работы пояса на изгиб;
- не позволяют дистанцировать точки закрепления сколь-нибудь далеко от трубы пояса;
- крепление закладных элементов (стальной круг) вне узлов (изгибная работа) пояса требует, пусть и незначительного, увеличения сечения поясов, а решение о применяемом сортаменте, гибка и изготовление поясов были произведены задолго до начала конструирования узлов;
- членение мембраны на три монтажные части требует герметизации посредством клапанов и осуществляется сложными и не всегда эффективными способами, тогда как монтажный шов на дюралевых пластинах и болтах вполне надежен и прекрасно себя зарекомендовал.

3.3.11. Крепление мембраны к торцевым аркам также осуществляем посредством катенарной тросовой кромки и дисковых узлов натяжения (рис. 13). Подобное решение позволяет решить проблему разной длины кромки (концентрические дуги) мембраны на разном удалении от пояса арок. Требуемое преднапряжение материала может быть достигнуто опусканием торцевых арок в проектное положение после осуществления крепления узлов катенарной кромки, а практически весь ход резьбовых шпилек задействован в процессе поэтапного обслуживания мембраны в течении 4...5 циклов ее загрузки. Герметизацию просвета между катенарной кромкой мембраны и каркасом остекления (выполняемого организацией на месте установки сооружения) осуществляем посредством наварки вдоль кромки клапанов (рис. 14).

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

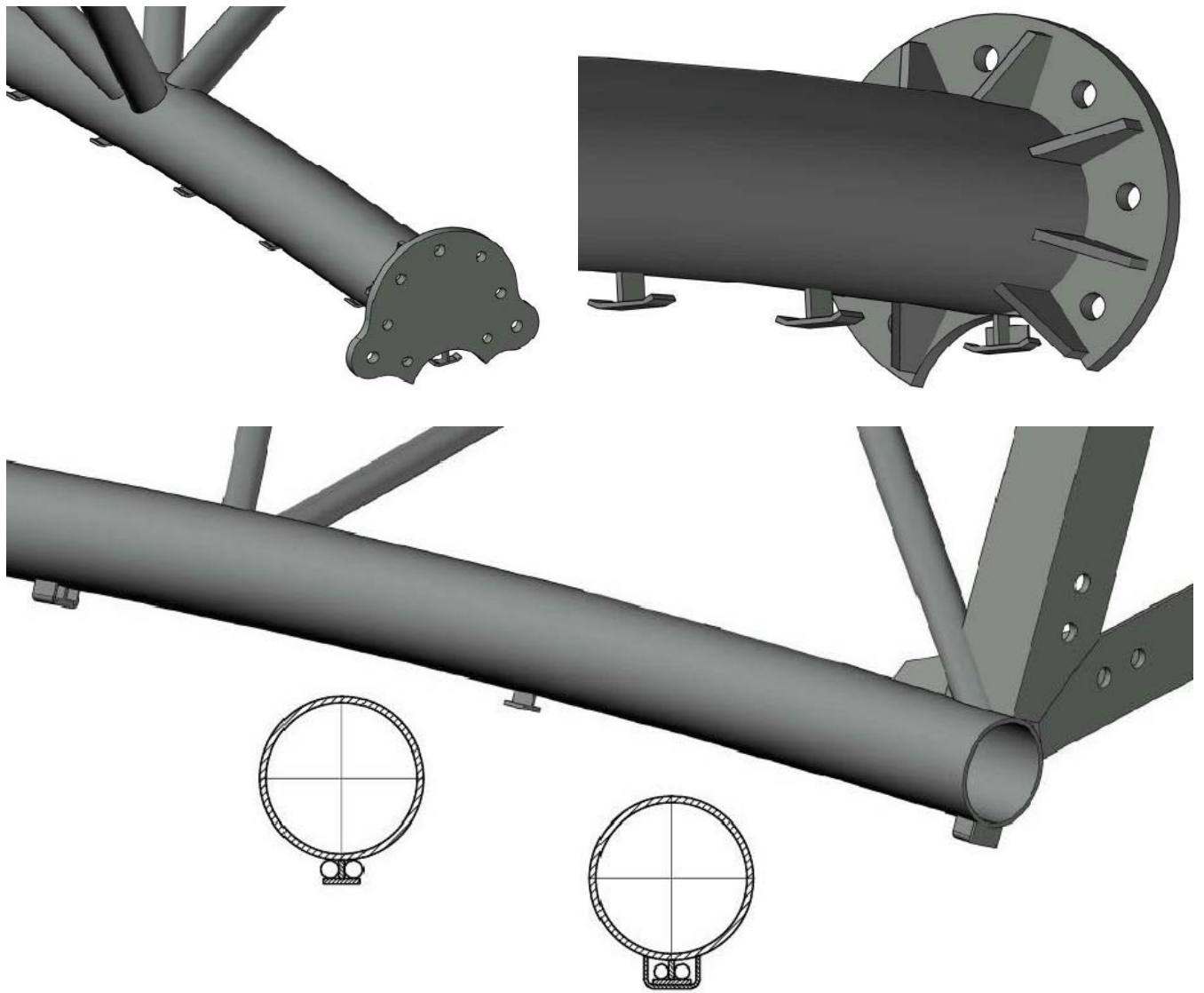


Рис. 12. Примеры балочного крепления монтажных частей мембраны.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

МК187-00.00.000 ПЗ

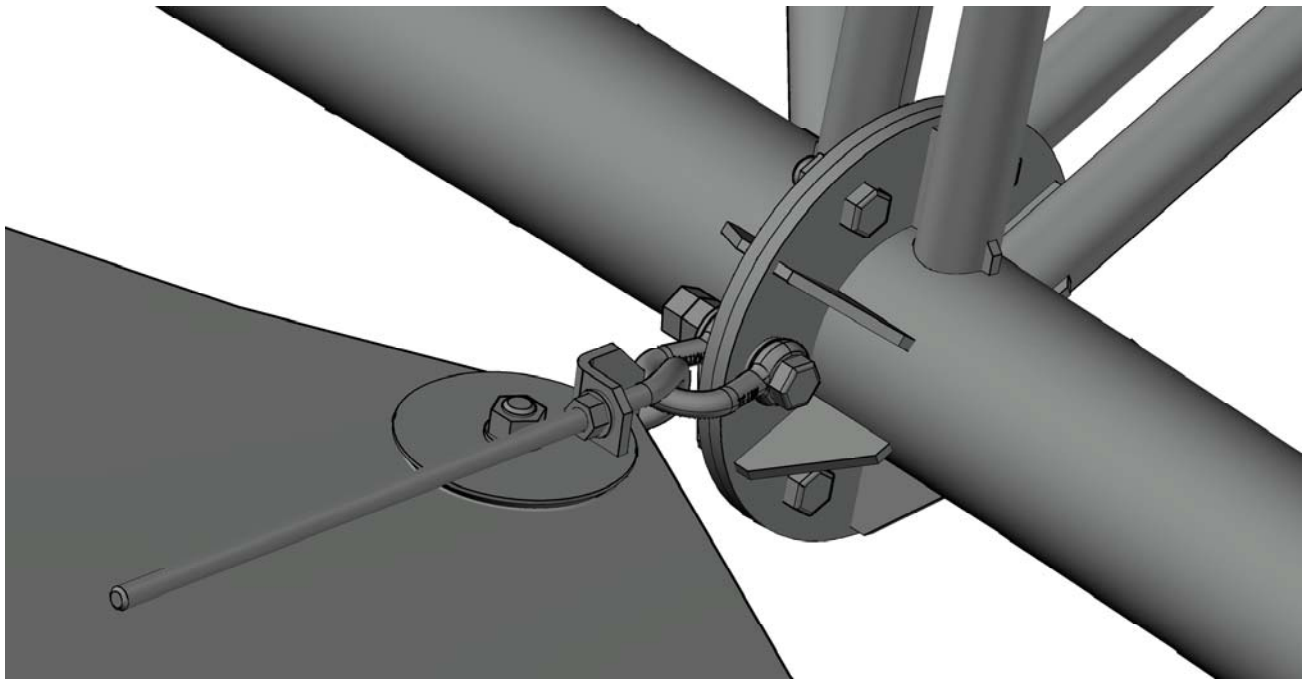


Рис. 13. Дискový узел натяжения катенарной кромки мембраны.

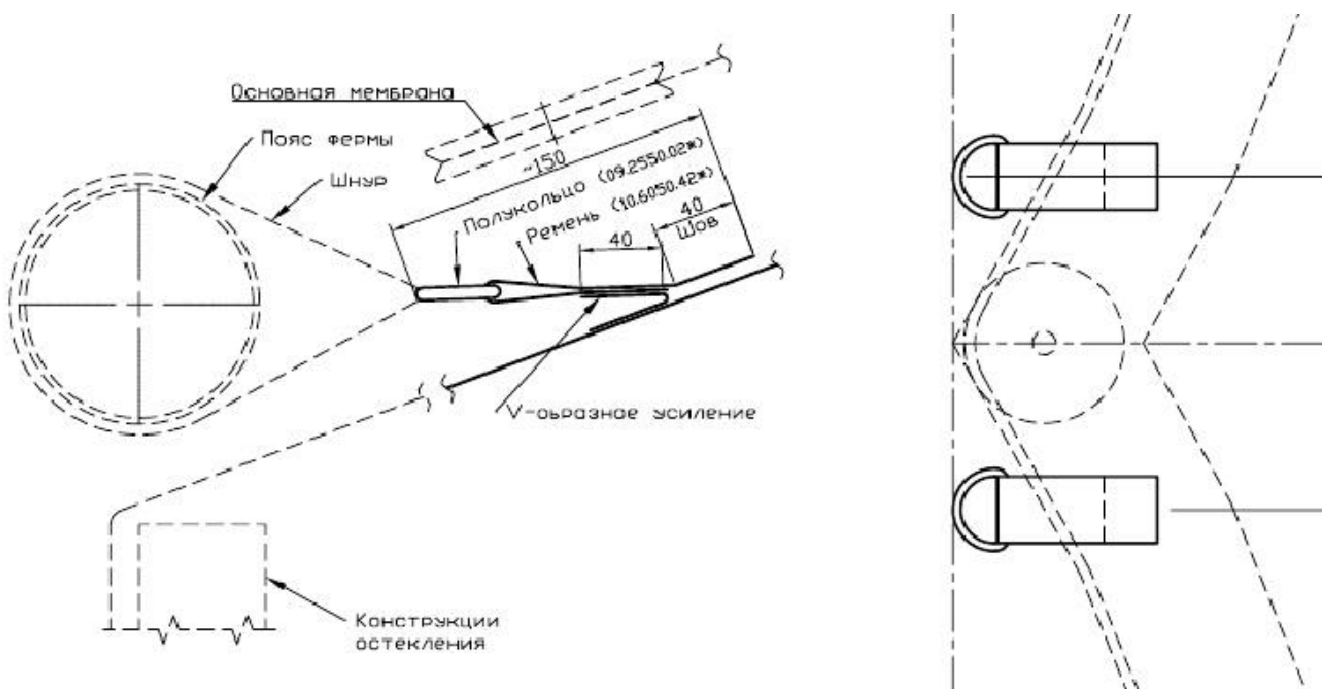


Рис. 14. Клапана герметизирующие просвет между катенарной кромкой мембраны и каркасом остекления.

3.3.12. Крепление подвесок под центральными арками и крепление узлов натяжения катенарной кромки к торцевым аркам осуществляем через закрепляемый на фланцах и проушинах чекель (такелажную скобу) с болтом М16 (рис. 15). Как будет показано ниже, в разделе "Прочностные расчеты", болтовые соединения фланцев задействованы не полностью и дополнительная нагрузка на срез не будет иметь критического значения.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Для облегчения поворота скобы на зажатом болтовом соединении, следует нанести на шайбы, компенсирующие зазор между скобой и фланцами, консистентную смазку. Во избежание потери момента закручивания и способности работать в составе группы болтов фланцевого соединения, оригинальный болт чекеля необходимо заменить и контрогаить. Чекели разных производителей (и в пределах допусков у одного и того же производителя) могут иметь несколько отличные размеры между ветвями, в случае зазора - он будет выбран осевым усилием затяжки, в случае натяга - компенсирован изгибом ветвей чекеля.

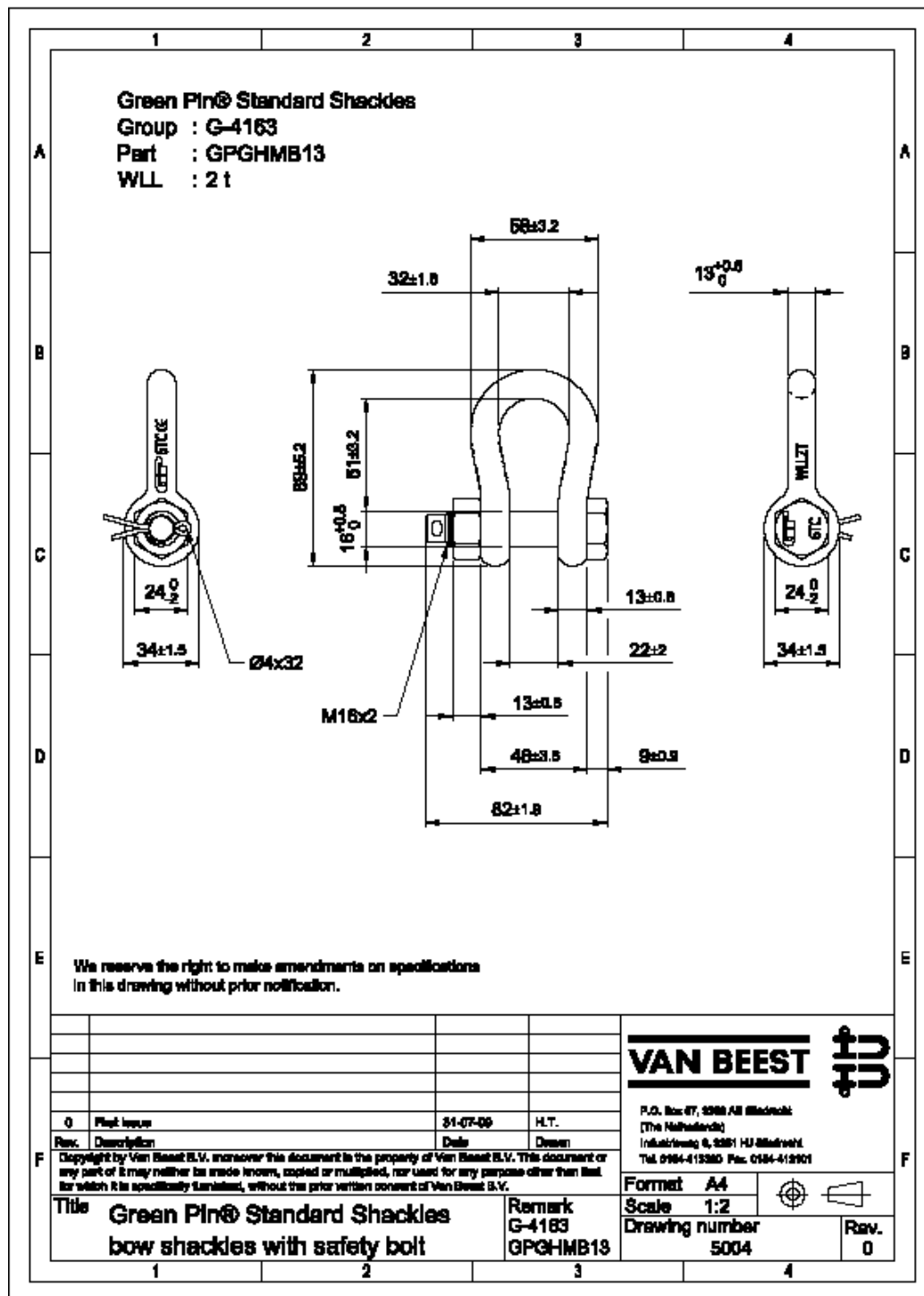


Рис. 15. Чертеж чекеля (скобы такелажной).

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

МК187-00.00.000 ПЗ

Лист  
16



3.3.13. Среди особенностей узлов натяжения (аналогичных принятому в проекте) на зарубежных конструкциях стоит отметить установку на концах шпилек колпачковых гаек, с целью предотвращения повреждения материала мембраны. Установка узлов натяжения с обеих сторон мембраны могла бы дать неоспоримый положительный момент, гарантирующий либо запас хода шпильки на случай ошибочного определения компенсации панелей мембраны, либо уменьшение длины шпилек и просвета между катенарной кромкой и торцевой аркой. Поэтому следует оговорить причины отказа от установки узлов натяжения с двух сторон каждой монтажной части мембраны, т.е. и на центральных арках тоже. Во-первых, количество узлов на конструкции возросло бы с 62-х до 186-ти. Во-вторых, каждое их обслуживание (в связи с выбранной стратегией проектирования и эксплуатации) потребовало бы остановки эксплуатации сооружения и организации доступа под него спецтехники для проведения высотных работ (монтажных вышек).

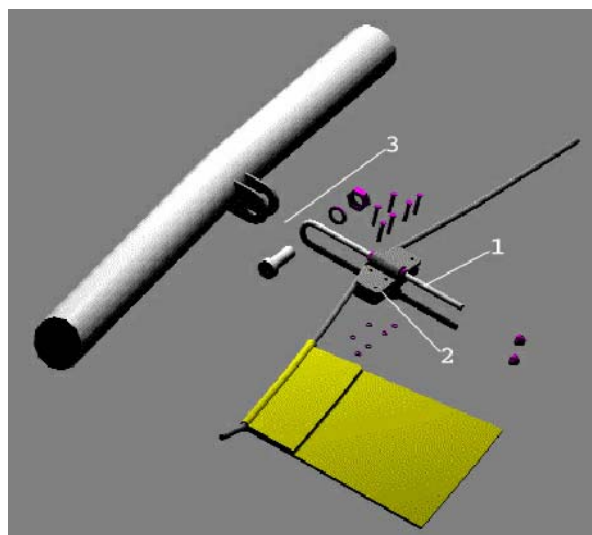
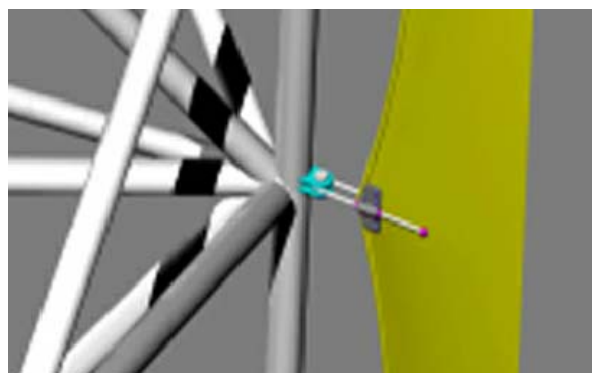


Рис. 16. Узлы натяжения катенарных кромок на зарубежных конструкциях.

3.3.14. Для подвеса колосника осветительной аппаратуры без нарушения целостности и герметичности мембраны, 4-ре подвески оборудуются шпилькой М12 под крепление рым-гайки. В местах крепления пар подвесок между разными центральными арками также устанавливаются рым-гайки, для установки тросов, с целью предотвращения вероятности возникновения на мембране морщин от составляющей усилия из плоскости ферм. Точки

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

крепления тросов выбираем таким образом, чтобы троса подходили к нижним поясам арок под углом максимально близким к 90 градусам - это предотвратит появление составляющей усилия в направлении катенарных арок (рис. 17).

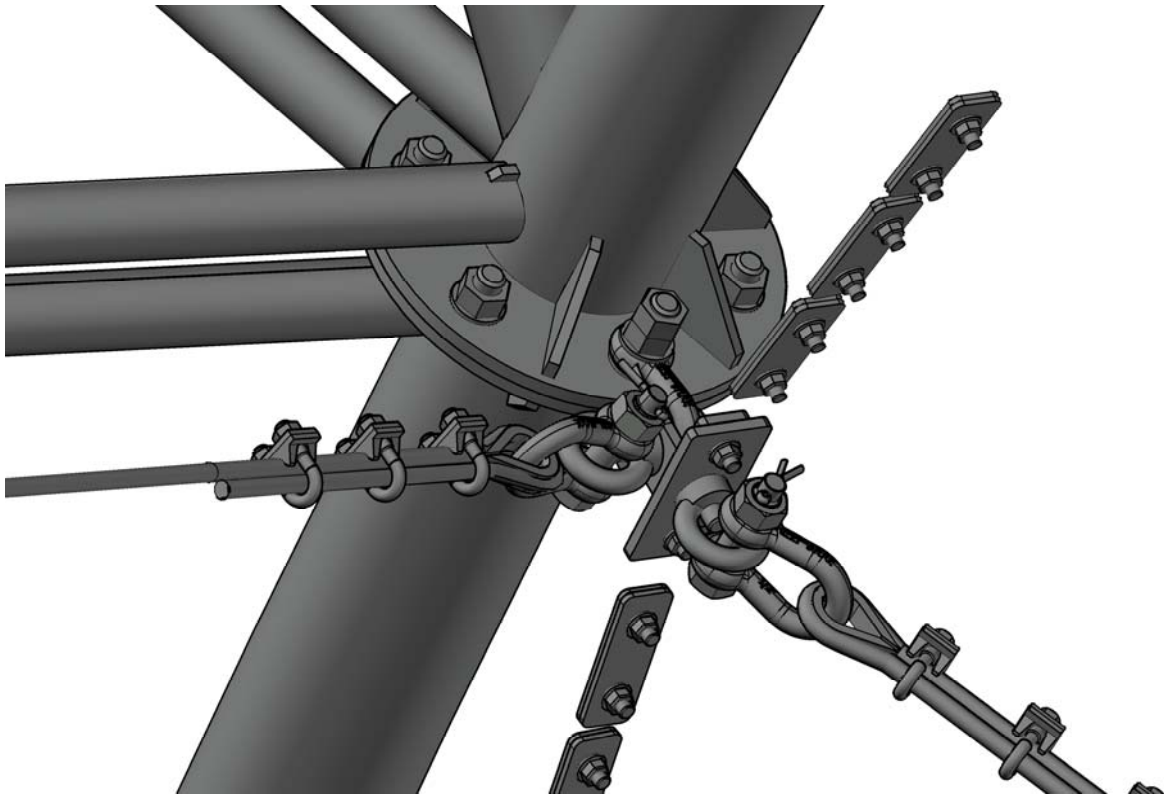


Рис. 17. Организация точки подвеса колосника осветительной аппаратуры.

3.3.15. От принятой практики сведения сварных швов сопрягаемых монтажных частей мембраны в одну точку пришлось отказаться вследствие выраженной асимметрии углов соседних панелей мембраны (рис. 18) и из соображений экономии материала.

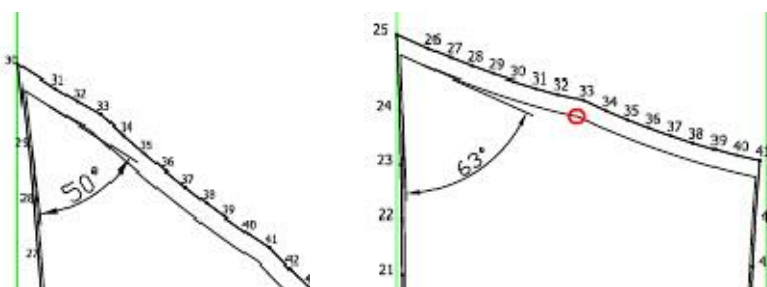


Рис. 18. Соседние панели монтажных частей мембраны, торцевой (слева) и центральной (справа).

3.3.16. Сверление технологических отверстий (~Ø12 мм) под горячее цинкование выполнять в соответствии с указаниями предприятия-исполнителя. Поскольку критическим фактором для стоек и раскосов ферм является устойчивость, а не прочность ( $k \approx 0,5$ ), то ограничения на сверление технологических отверстий на концах элементов решетки ферм отсутствуют.

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата

## 4. Прочностные расчеты

### 4.1. Исходные данные.

4.1.1. Район строительства: Республика Узбекистан, г. Самарканд.

4.1.2. Нормативная снеговая нагрузка:  $800 \text{ Н/м}^2$  (I район по СНиП 2.01.07-85). По предоставленному заказчиком техзаданию расчетная снеговая нагрузка принимается равной  $500 \text{ Н/м}^2$ .

4.1.3. Нормативная ветровая нагрузка:  $380 \text{ Н/м}^2$  (III район по СНиП 2.01.07-85).

### 4.2. Общие данные.

4.2.1. Материал арок - трубы электросварные прямошовные по ГОСТ 10704-91.

4.2.2. Материал тросов - стальной оцинкованный канат по ГОСТ 3063-80.

4.2.3. Материал тентового покрытия: NAIZIL Sport Cover (Type 1), со следующими характеристиками:

- плотность -  $720 \text{ г/м}^2$ ;
- усилие растяжения на разрыв по основе -  $60 \text{ кН/м}^2$ ;
- усилие растяжения на разрыв по утку -  $60 \text{ кН/м}^2$ ;
- удлинение при разрыве по основе -  $22\%$ ;
- удлинение при разрыве по утку -  $26\%$ .

Данные характеристики являются типичными для материала 1-го типа всех европейских производителей.

### 4.3. Определение расчетных нагрузок.

4.3.1. Снеговую нагрузку с расчетным значением  $500 \text{ Н/м}^2$  принимаем распределенной по поверхности мембраны равномерно.

4.3.2. Коэффициент  $k$ , учитывающий изменение ветрового давления по высоте, в соответствии с указаниями п. 6.5 СНиП 2.01.07-85 для типа местности В (Городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м;) и высоты сооружения 13,3 м, принимаем равным 0,716.

4.3.3. Коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f$  для ветровой нагрузки принимаем равным 1,4, в соответствии с указаниями п. 6.11 СНиП 2.01.07-85.

4.3.4. Поскольку форма покрытия отличается от рассматриваемых в СНиП 2.01.07-85, дополнительно выполняем продувку модели в виртуальном симуляторе аэродинамической трубы. Скорость ветра определяем на основании формулы (7) п. 6.4 СНиП 2.01.07-85:

$$V_0 = \sqrt{W_0/0,61} = \sqrt{380/0,61} = 24,96 \text{ м/с.}$$

Результаты сохраняем в графической форме (рис. 19...24).

4.3.5. Величину преднапряжения в материале мембраны принимаем  $1,5 \text{ кН/м}$  и по основе, и по утку.

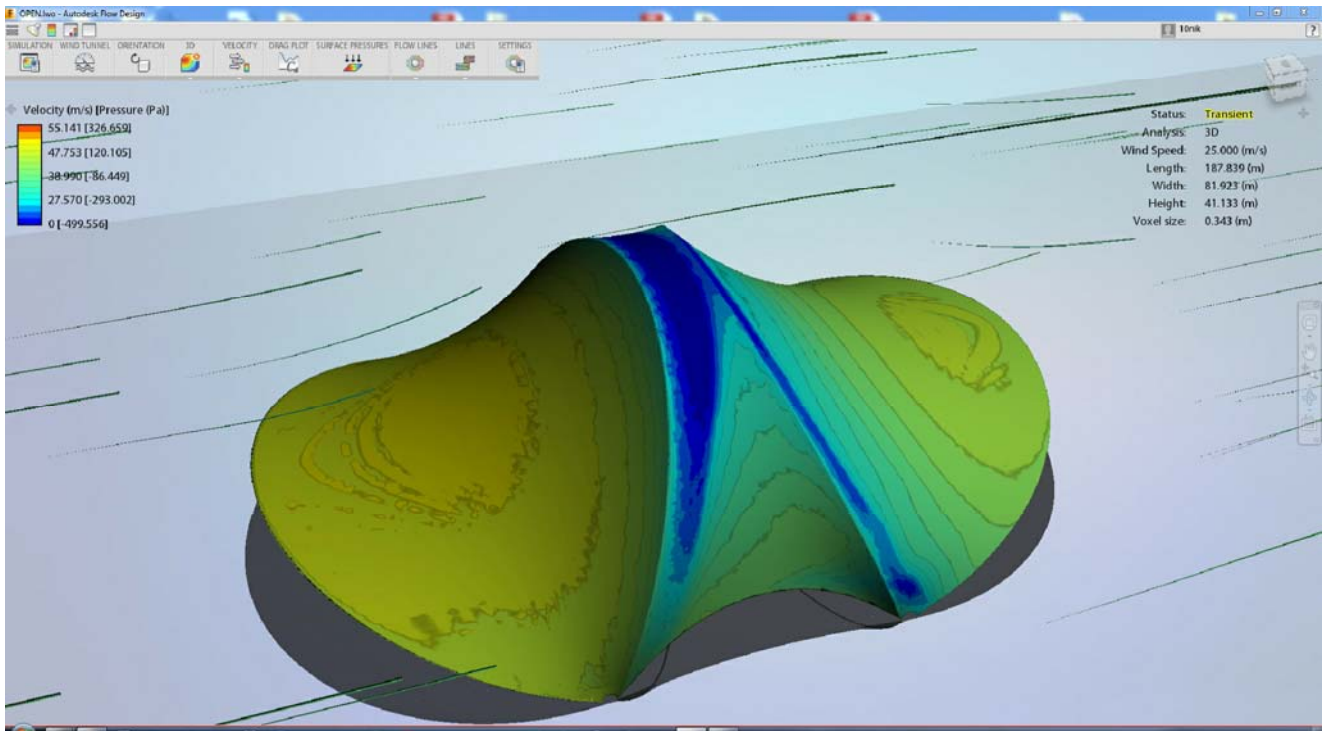


Рис. 19. Распределение ветрового давления на открытой мембране при направлении ветра в бок конструкции.

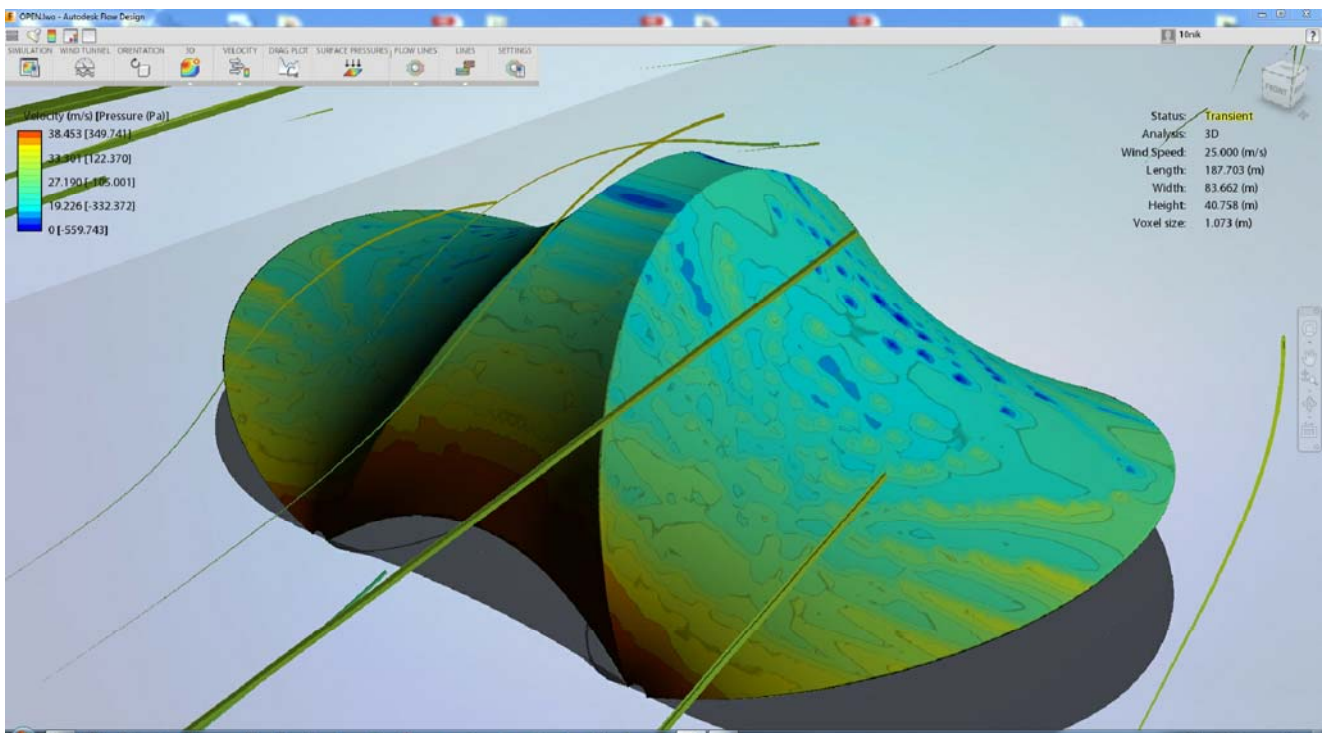


Рис. 20. Распределение ветрового давления на открытой мембране при направлении ветра во фронт конструкции.

Изм.	Лист	N докум.	Подп.	Дата

МК187-00.00.000 ПЗ

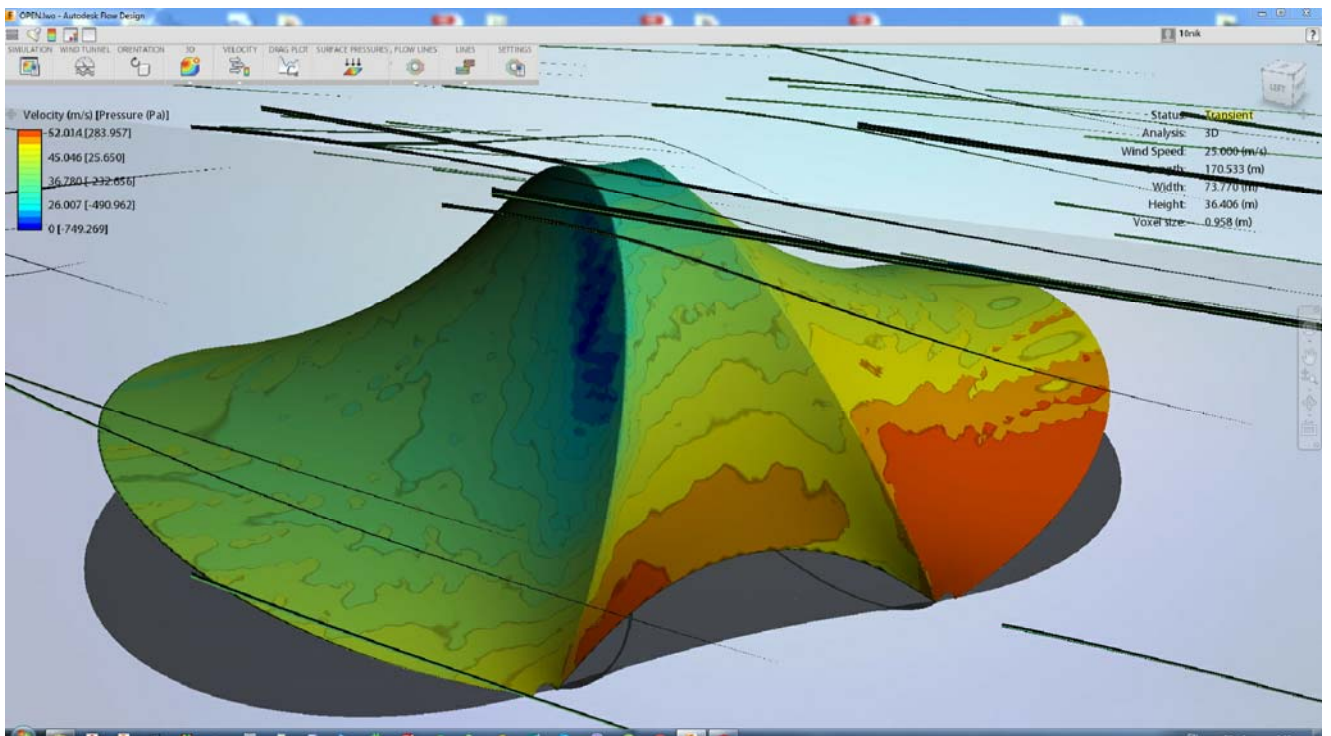


Рис. 21. Распределение ветрового давления на открытой мембране при направлении ветра под 45 градусов.

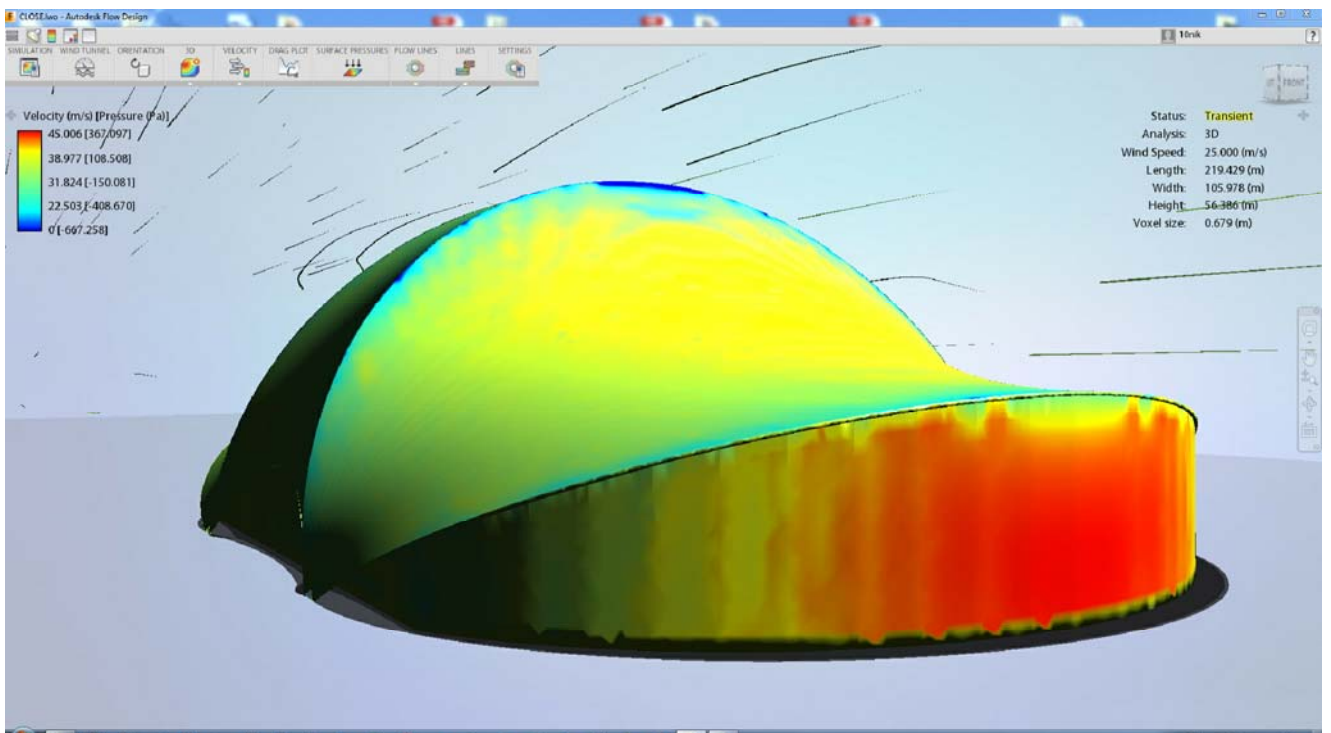


Рис. 22. Распределение ветрового давления на закрытой мембране при направлении ветра в бок конструкции.

Изм.	Лист	N докум.	Подп.	Дата

МК187-00.00.000 ПЗ

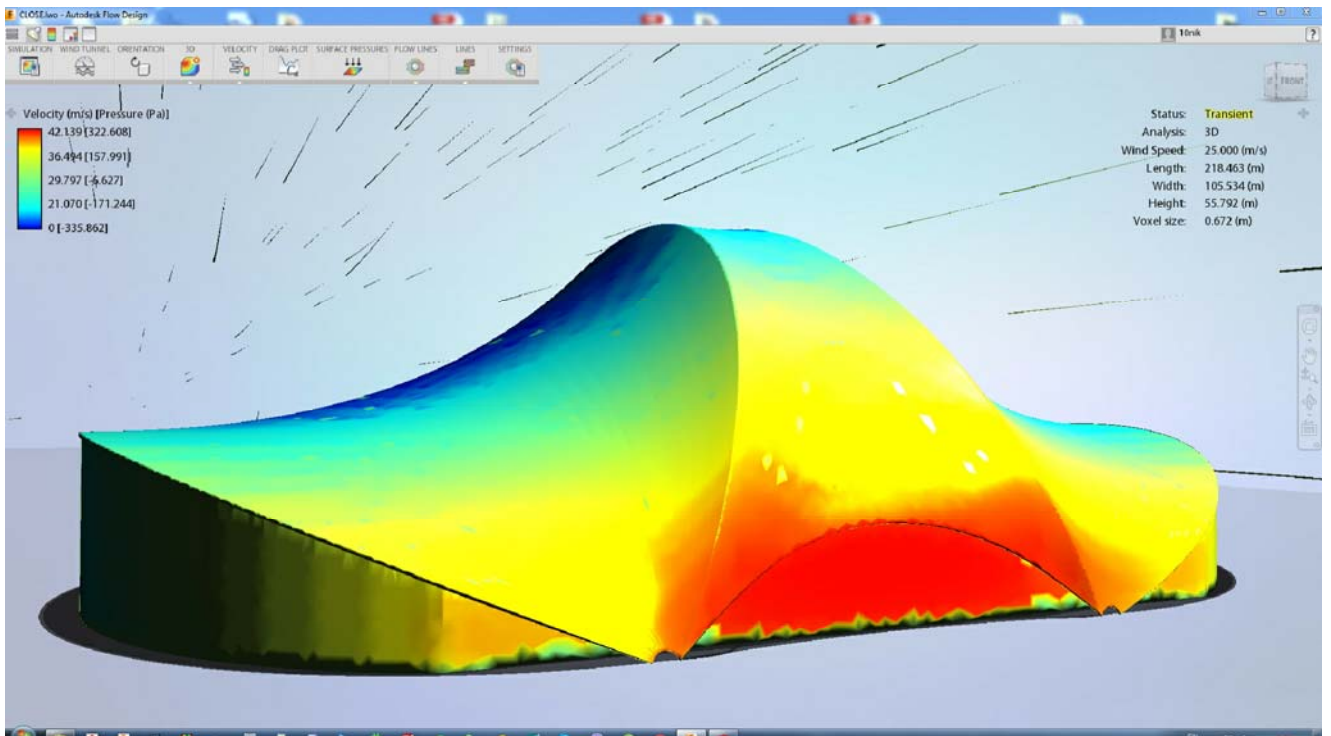


Рис. 23. Распределение ветрового давления на закрытой мембране при направлении ветра во фронт конструкции.

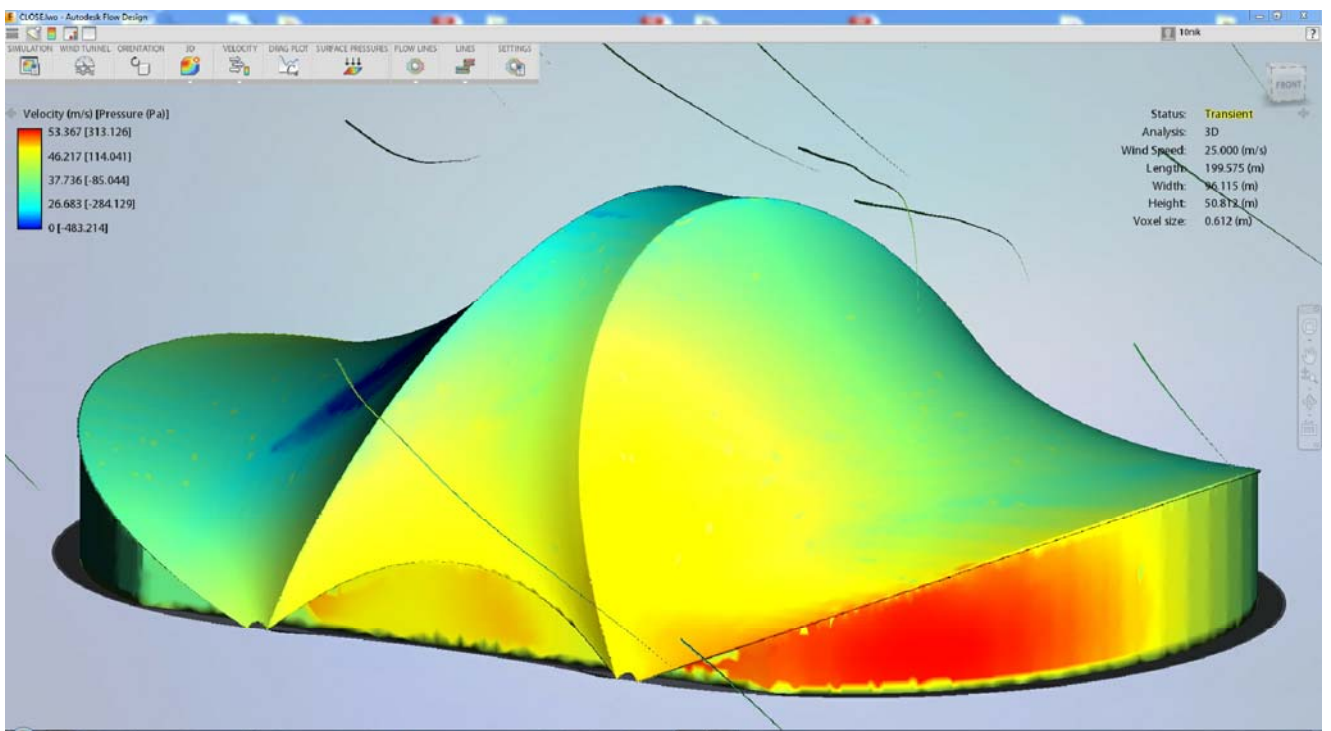


Рис. 24. Распределение ветрового давления на закрытой мембране при направлении ветра под 45 градусов.

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

#### 4.4. Определение комбинаций нагрузжений.

4.4.1. Расчет выполняем на загрузки следующие основными сочетаниями нагрузок:

- преднапряжение мембраны, снеговая нагрузка;
- преднапряжение мембраны, ветровая нагрузка;
- преднапряжение мембраны, снеговая нагрузка, ветровая нагрузка.

Собственным весом мембраны, металлоконструкций и колосника на первоначальном этапе пренебрегаем ввиду малой значимости этих величин и неопределенности их точных значений.

4.4.2. В соответствии с п. 1.12 СНиП 2.01.07-85, принимаем коэффициент сочетания кратковременных (снеговой и ветровой) нагрузок  $\Psi_2 = 0,9$ .

4.5. Результаты расчетов в специализированной программе (FEA) сохраняем в файлах формата dwg и графической форме (рис. 25...48).

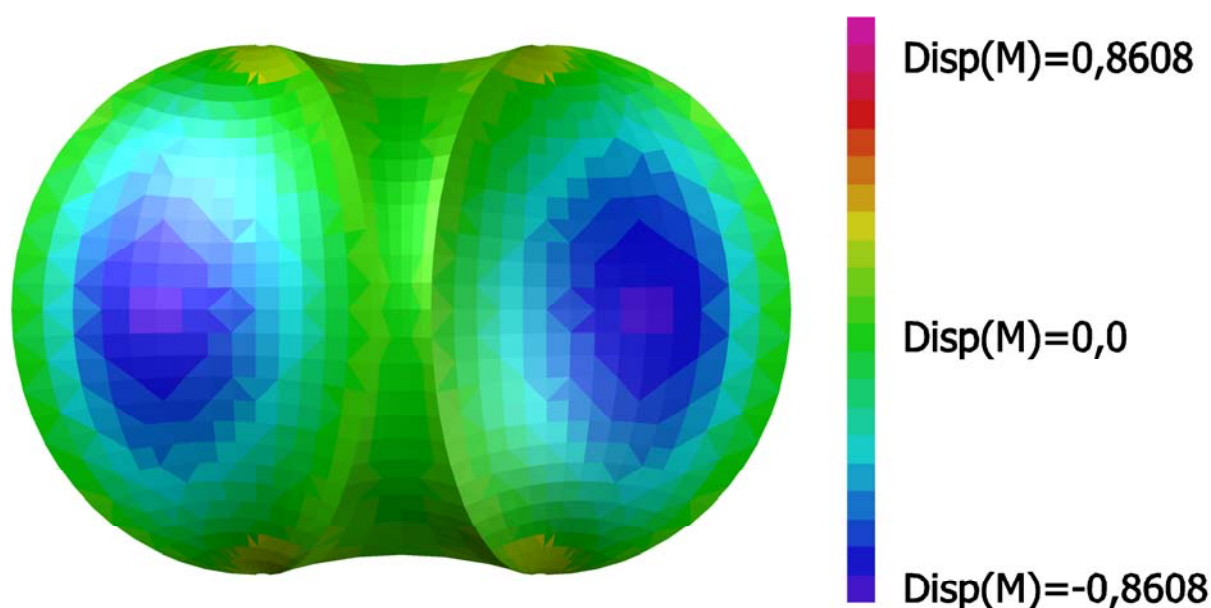


Рис. 25. Перемещения мембраны под снеговой нагрузкой.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

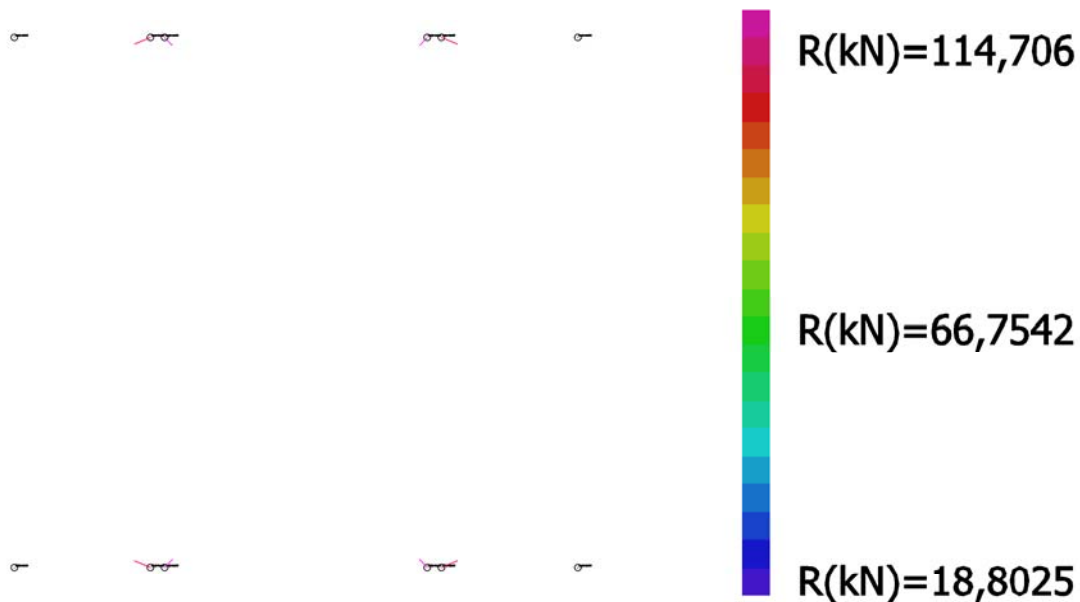


Рис. 26. Реакции опор под снеговой нагрузкой.

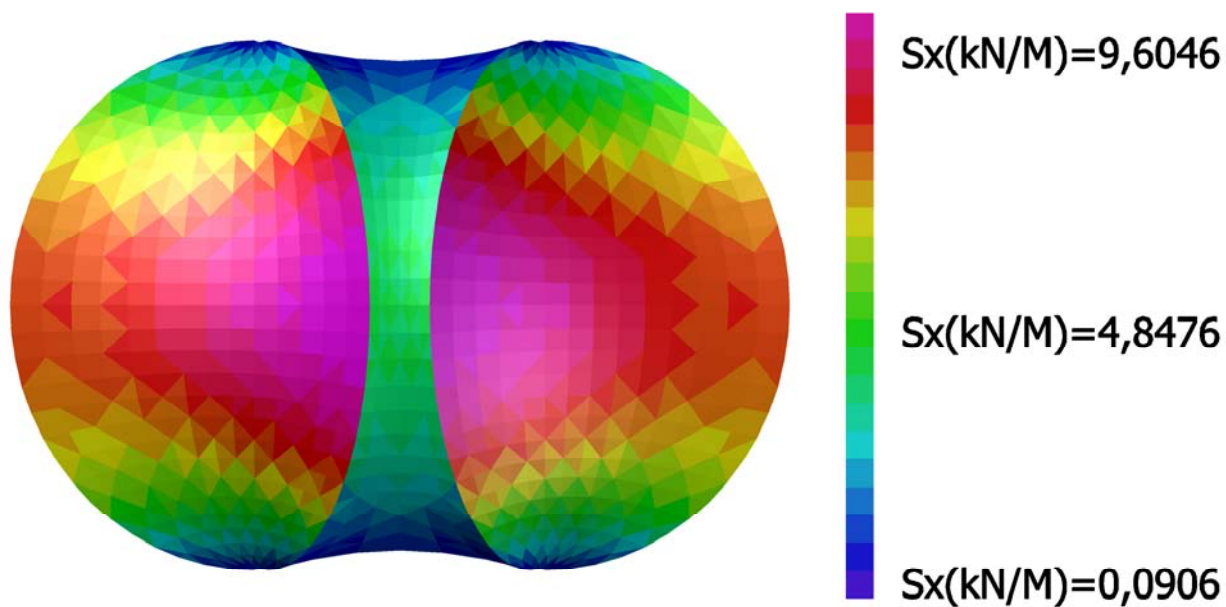


Рис. 27. Напряжения в материале по основе под снеговой нагрузкой.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата



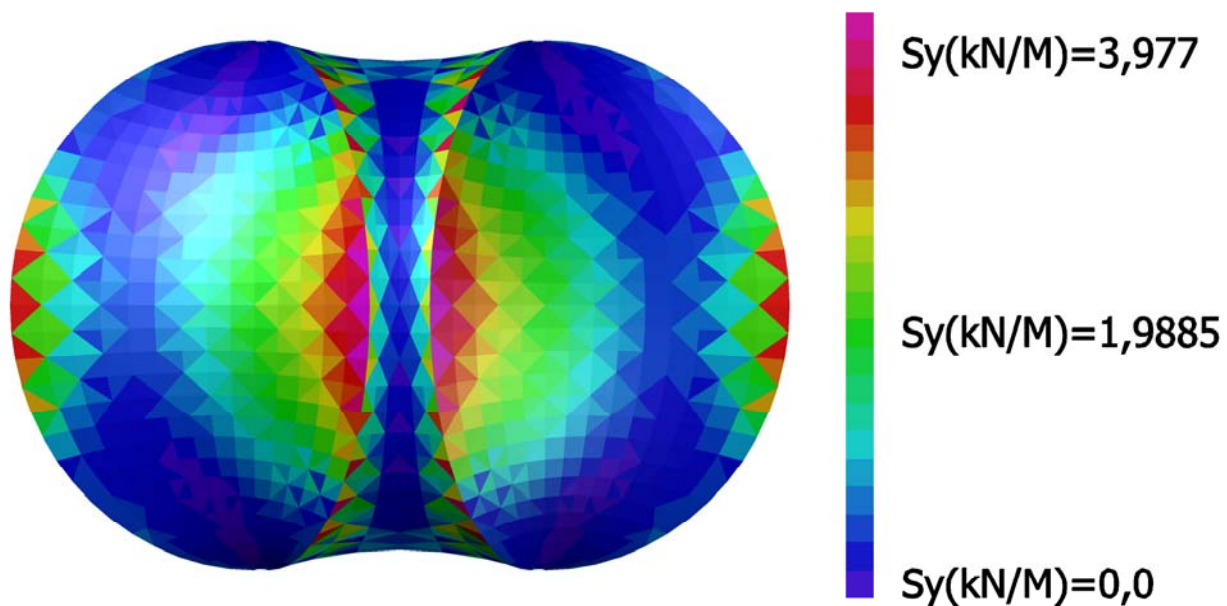


Рис. 28. Напряжения в материале по утку под снеговой нагрузкой.

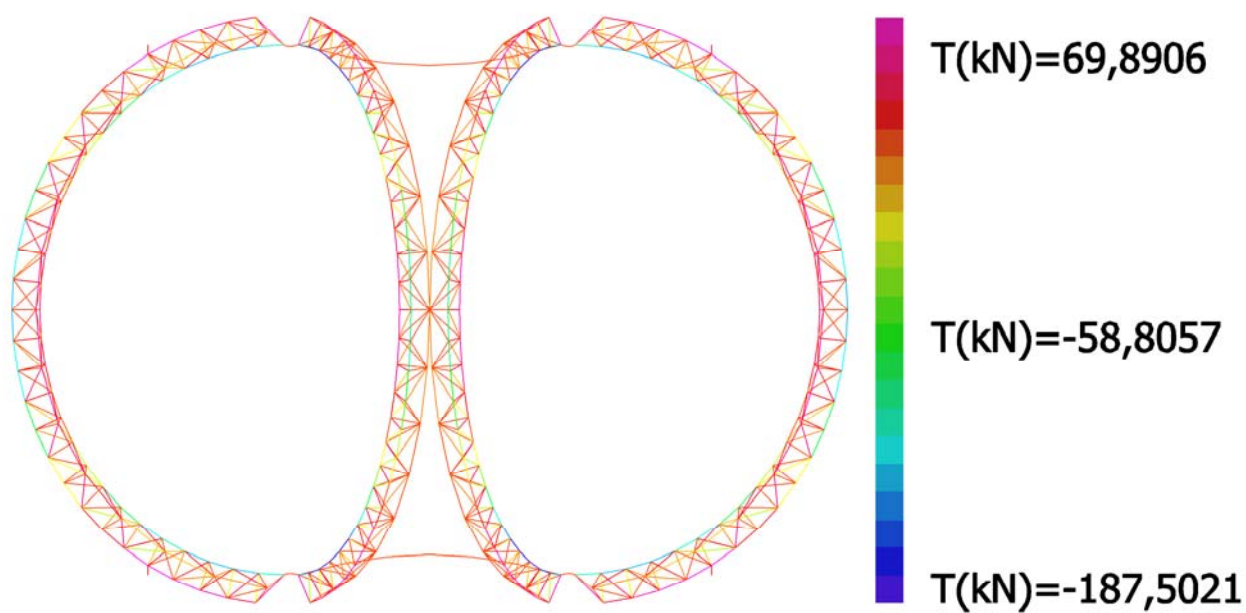


Рис. 29. Напряжения в металлоконструкциях под снеговой нагрузкой.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

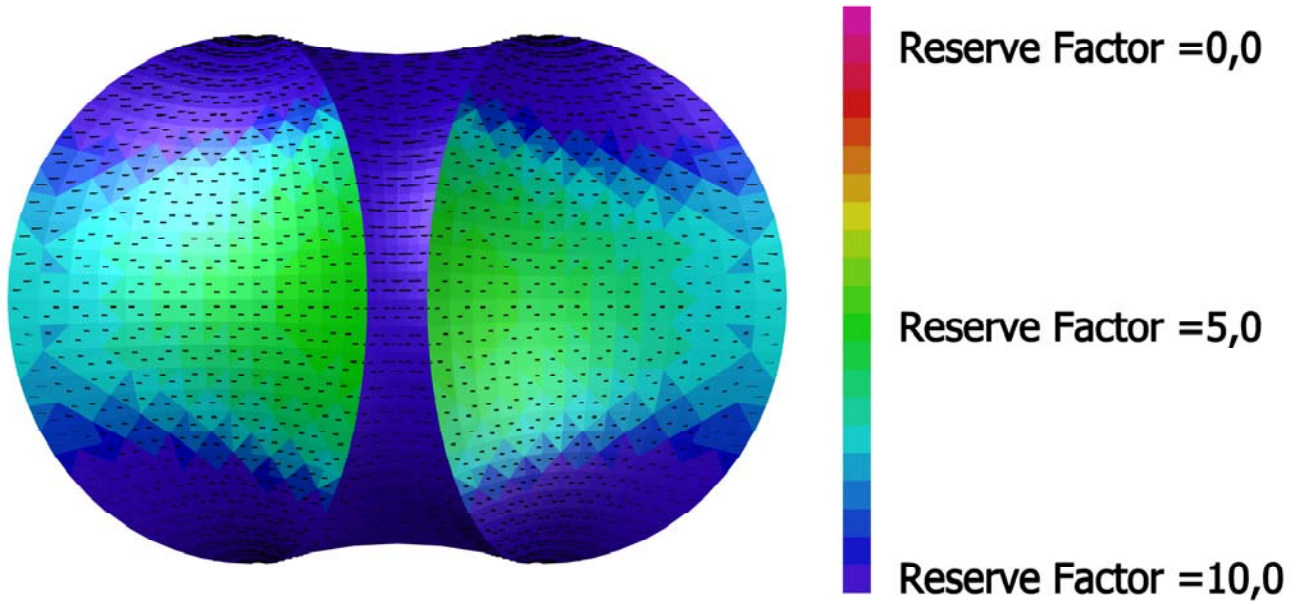


Рис. 30. Коэффициент запаса материала мембраны под снеговой нагрузкой.

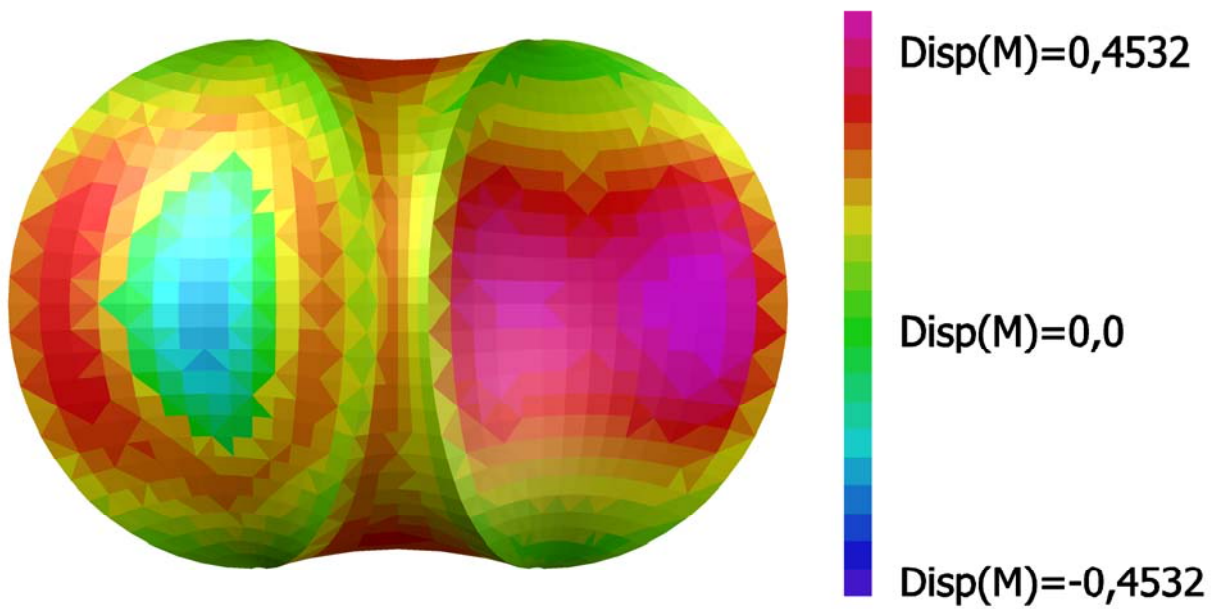


Рис. 31. Перемещения мембраны под ветровой нагрузкой, ветер сбоку.

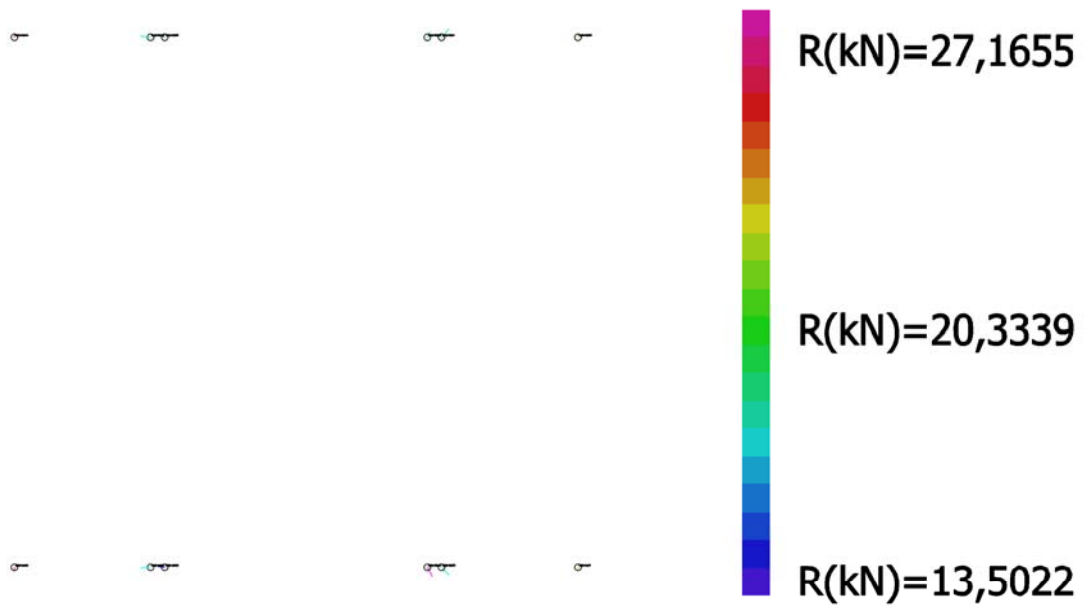


Рис. 32. Реакции опор под ветровой нагрузкой, ветер сбоку.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

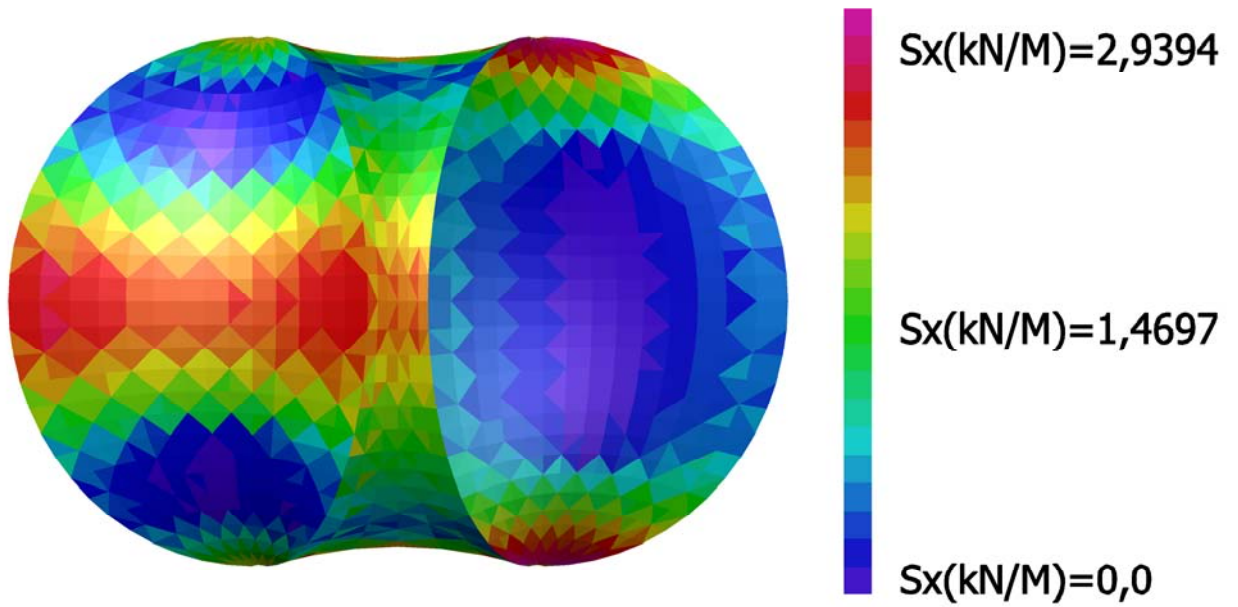


Рис. 33. Напряжения в материале по основе под ветровой нагрузкой, ветер сбоку.

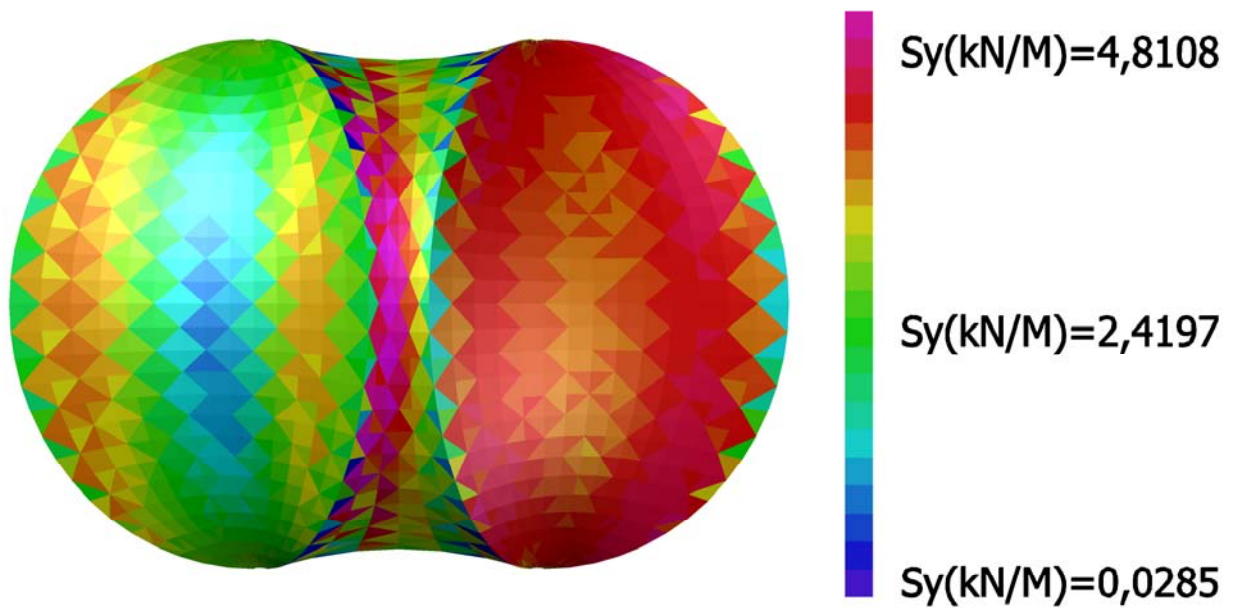


Рис. 34. Напряжения в материале по утку под ветровой нагрузкой, ветер сбоку.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

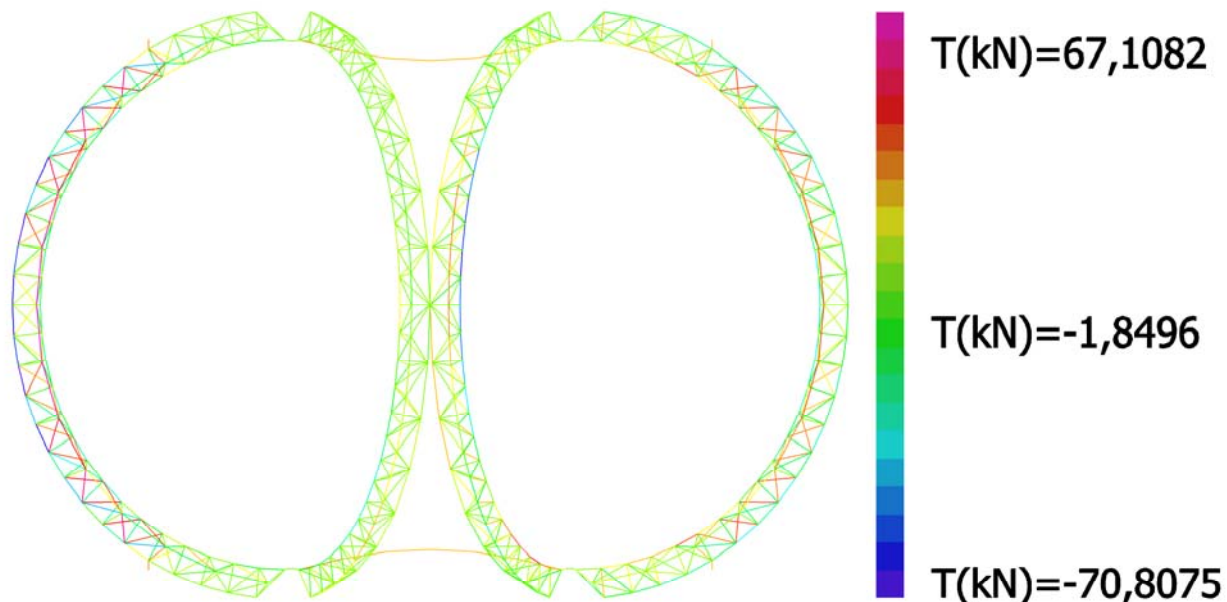


Рис. 35. Напряжения в металлоконструкциях под ветровой нагрузкой, ветер сбоку.

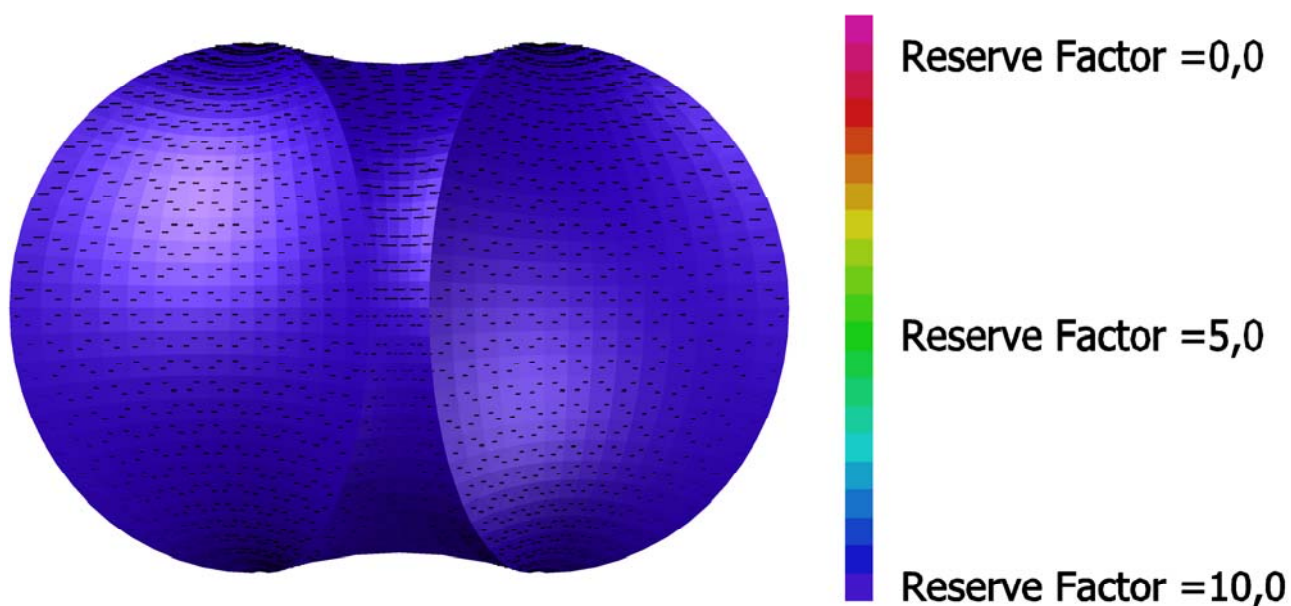


Рис. 36. Коэффициент запаса материала мембраны под ветровой нагрузкой, ветер сбоку.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

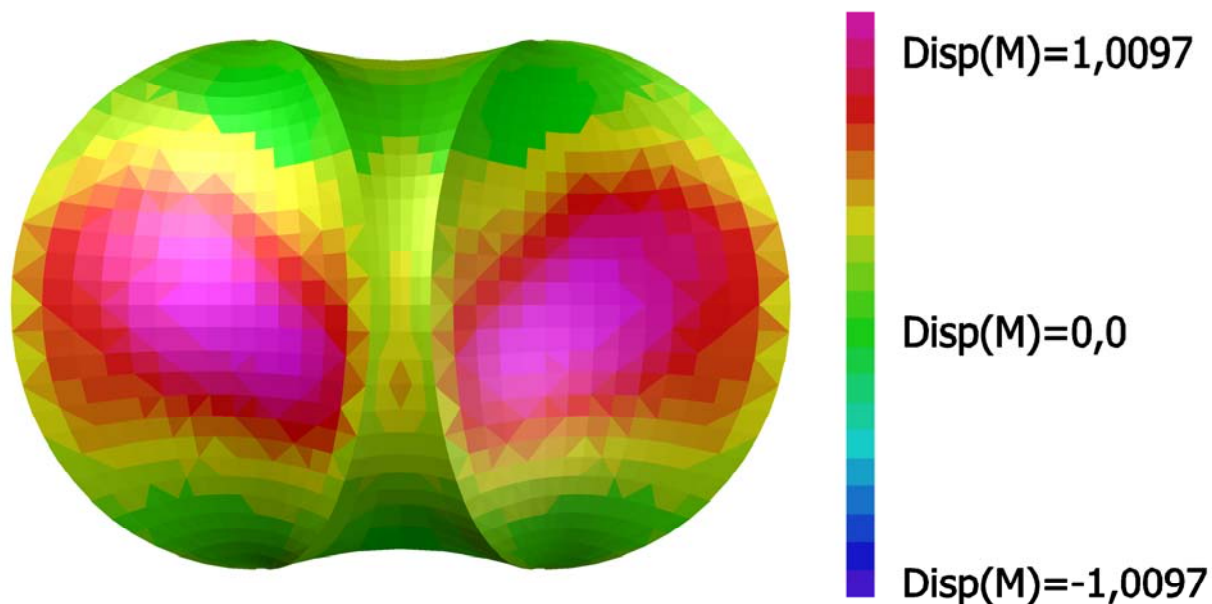


Рис. 37. Перемещения мембраны под ветровой нагрузкой, ветер во фронт.

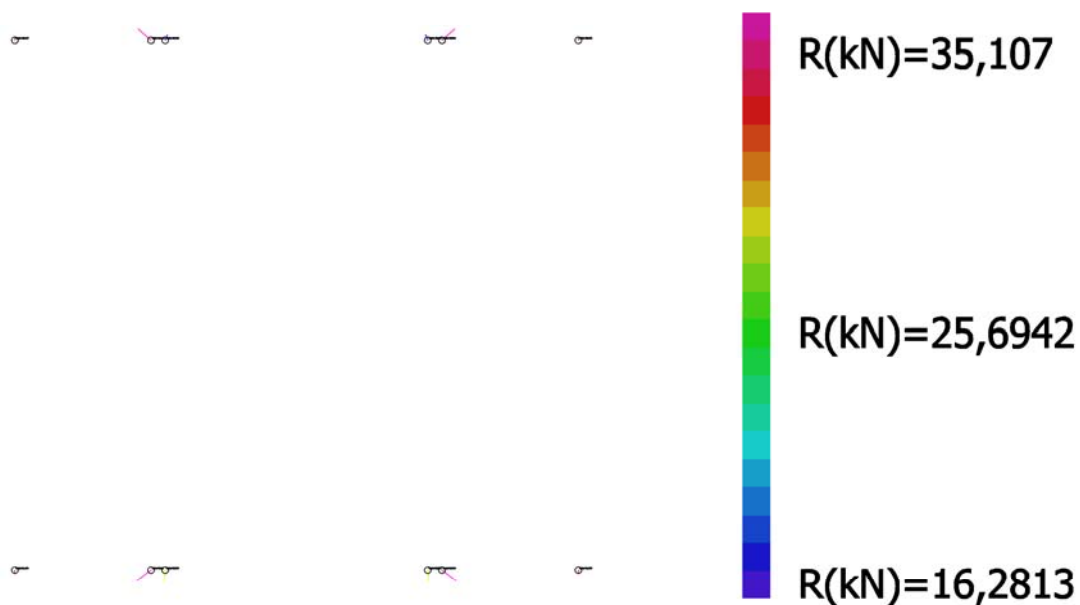


Рис. 38. Реакции опор под ветровой нагрузкой, ветер во фронт.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

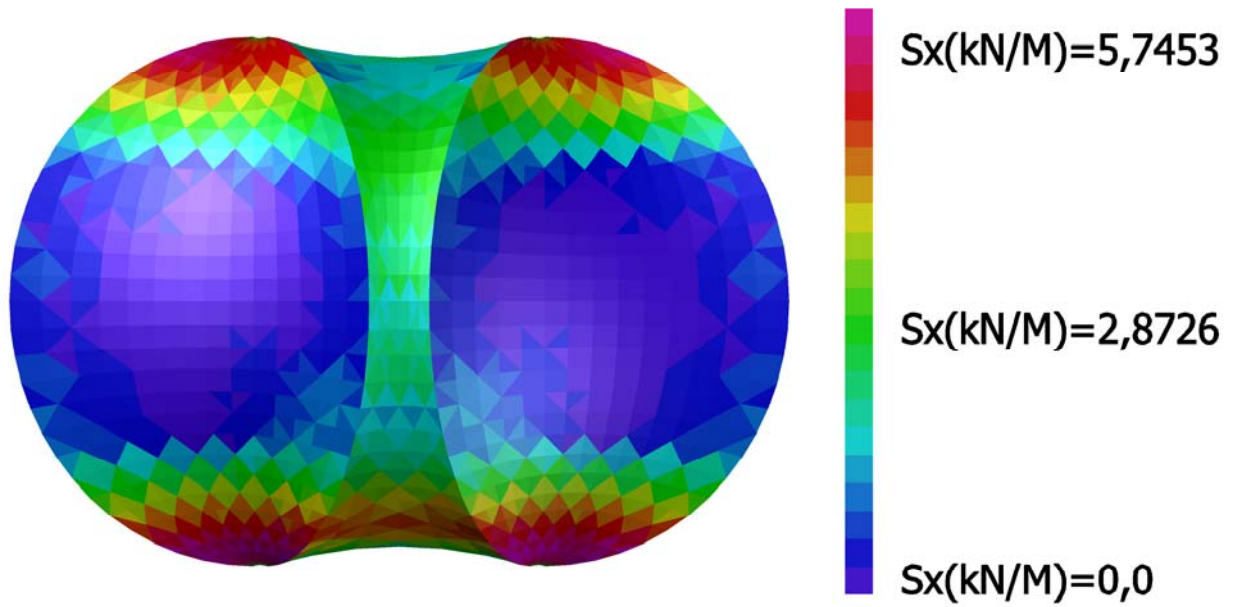


Рис. 39. Напряжения в материале по основе под ветровой нагрузкой, ветер во фронт.

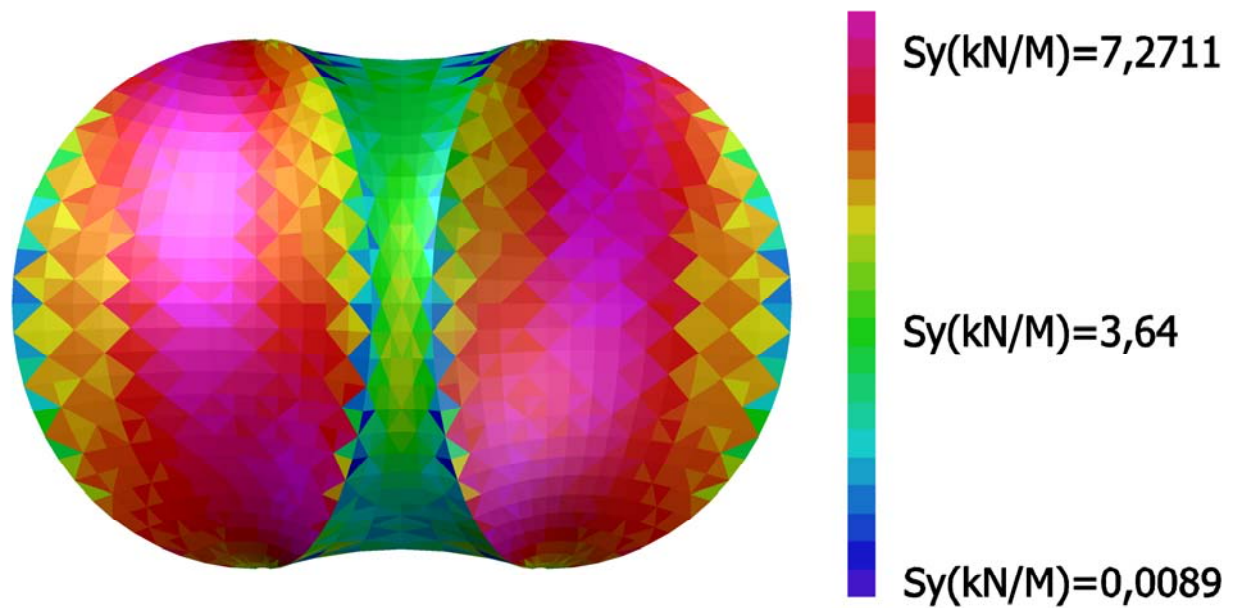


Рис. 40. Напряжения в материале по утку под ветровой нагрузкой, ветер во фронт.

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата

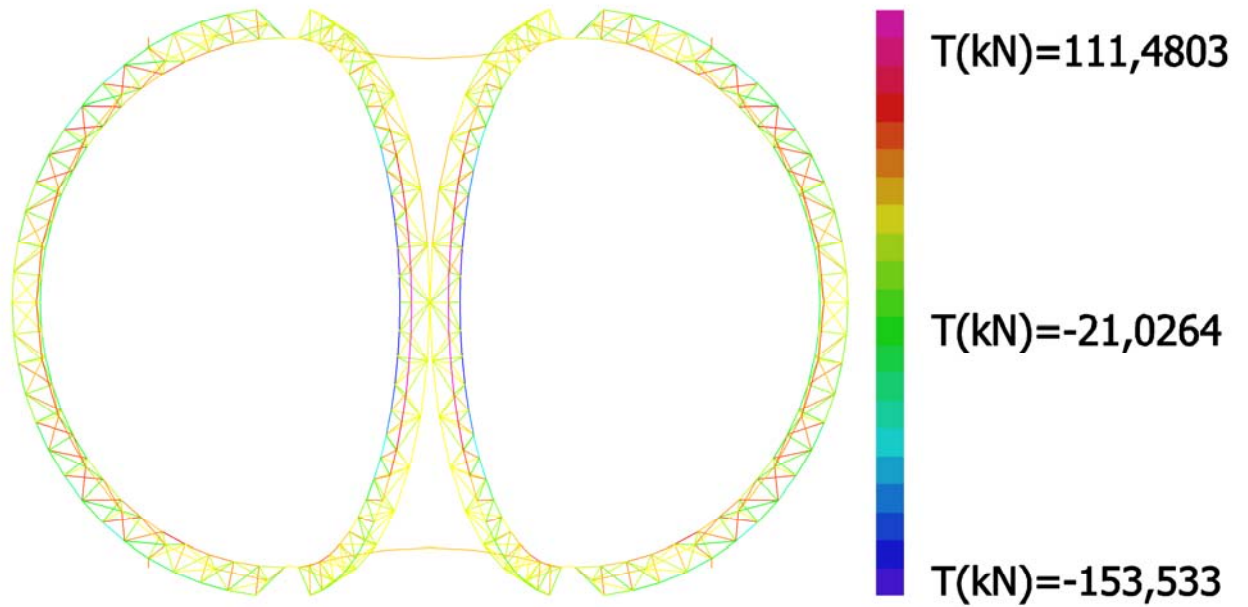


Рис. 41. Напряжения в металлоконструкциях под ветровой нагрузкой, ветер во фронт.

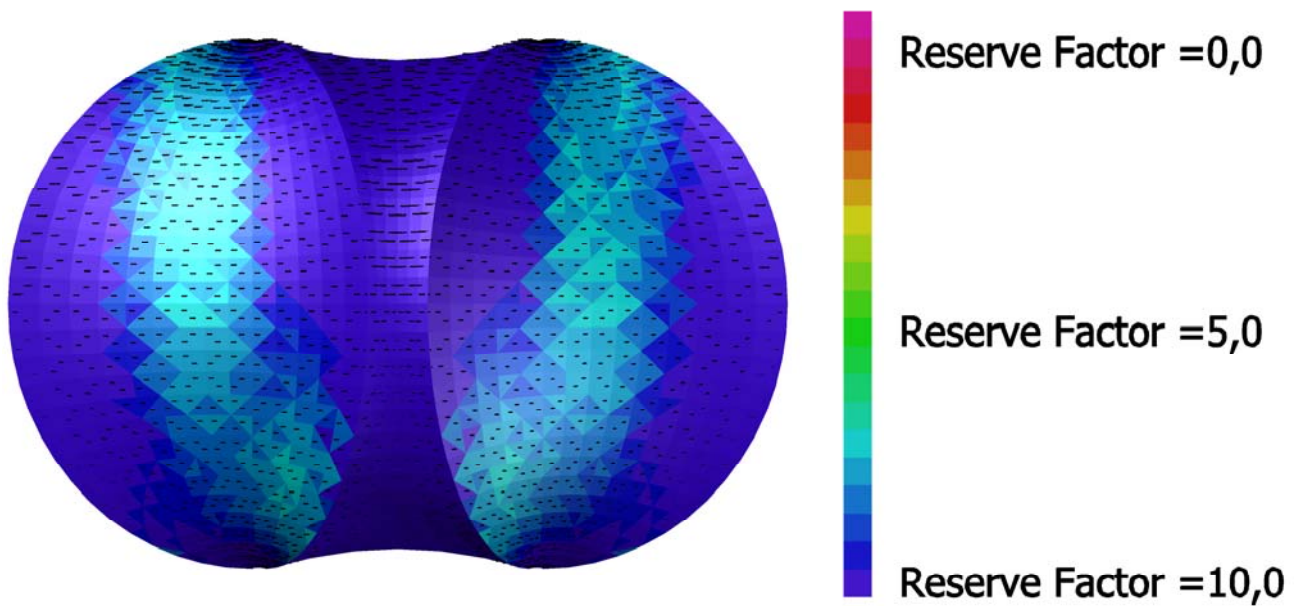


Рис. 42. Коэффициент запаса материала мембраны под ветровой нагрузкой, ветер во фронт.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата



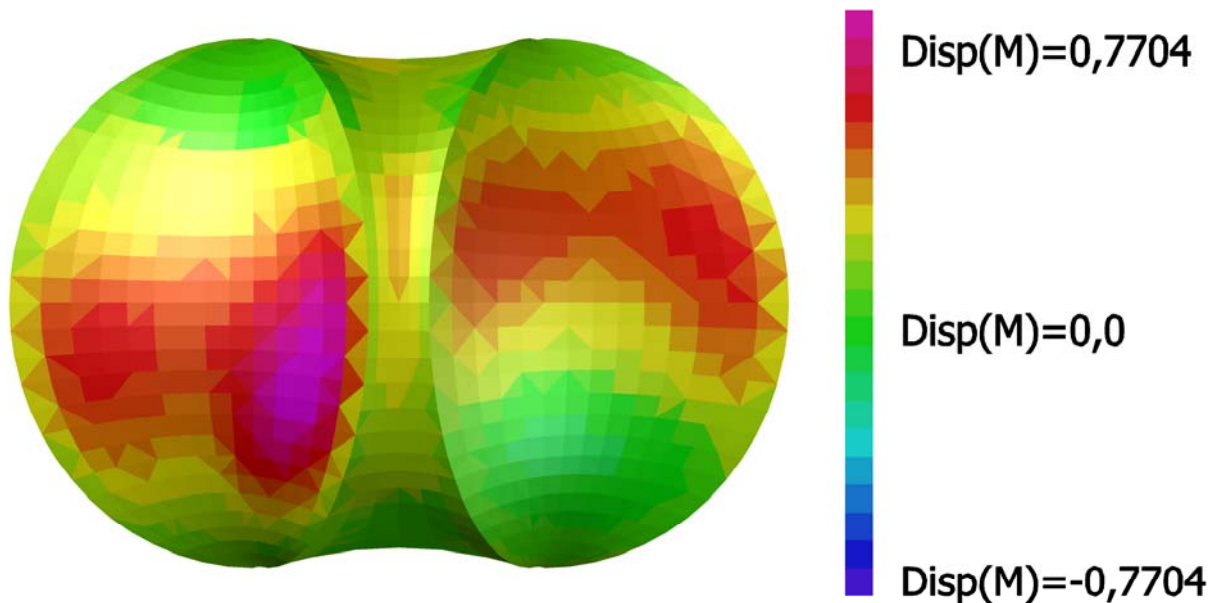


Рис. 43. Перемещения мембраны под ветровой нагрузкой, ветер под 45°.

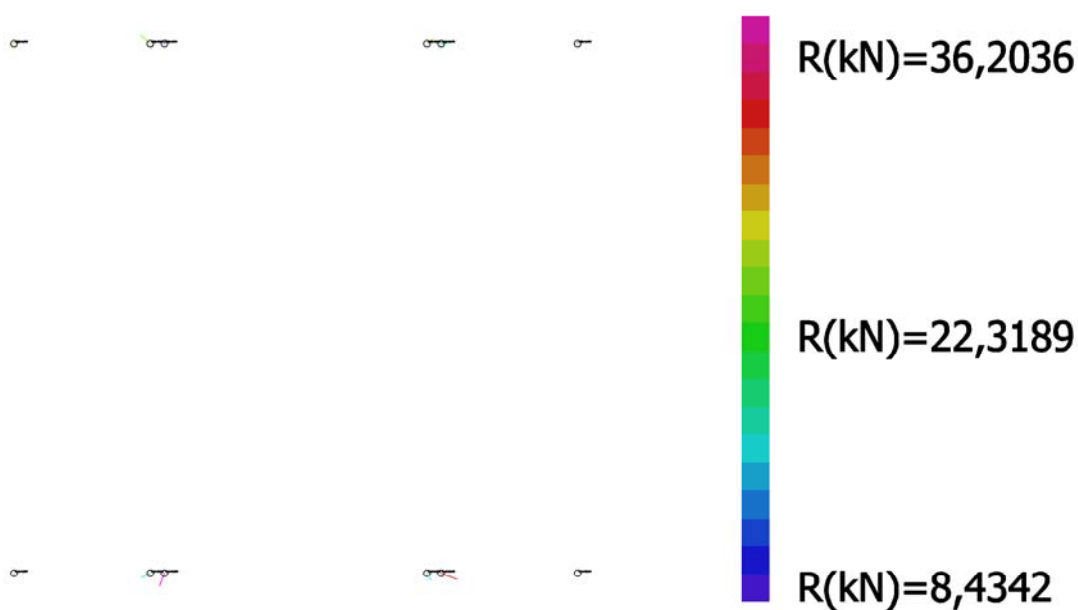


Рис. 44. Реакции опор под ветровой нагрузкой, ветер под 45°.

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата

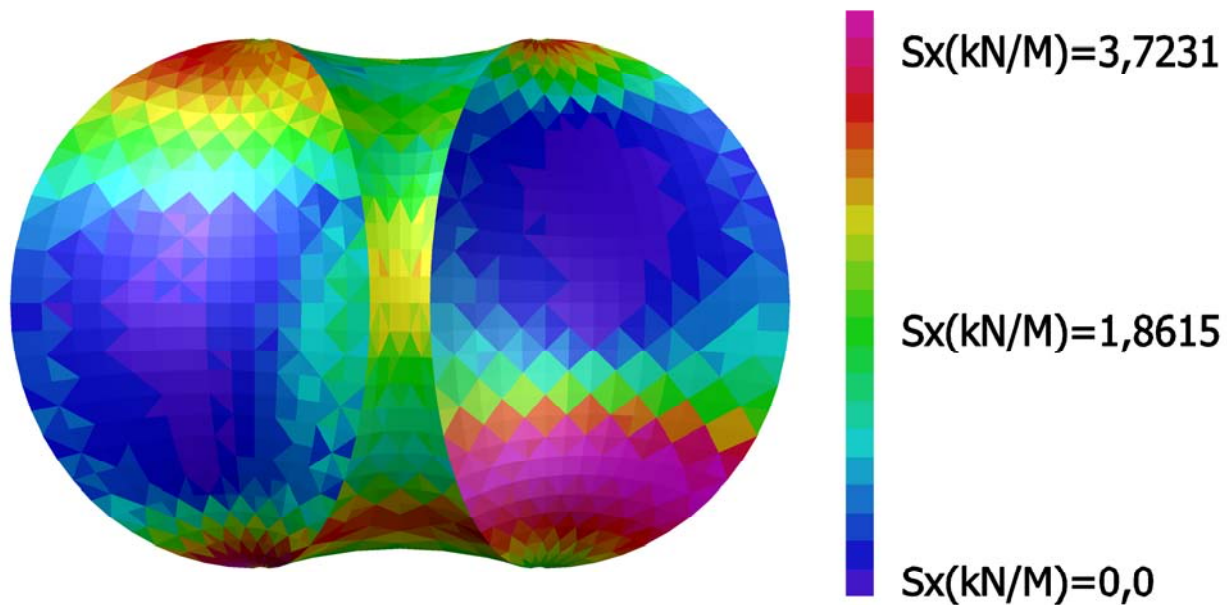


Рис. 45. Напряжения в материале по основе под ветровой нагрузкой, ветер под 45°.

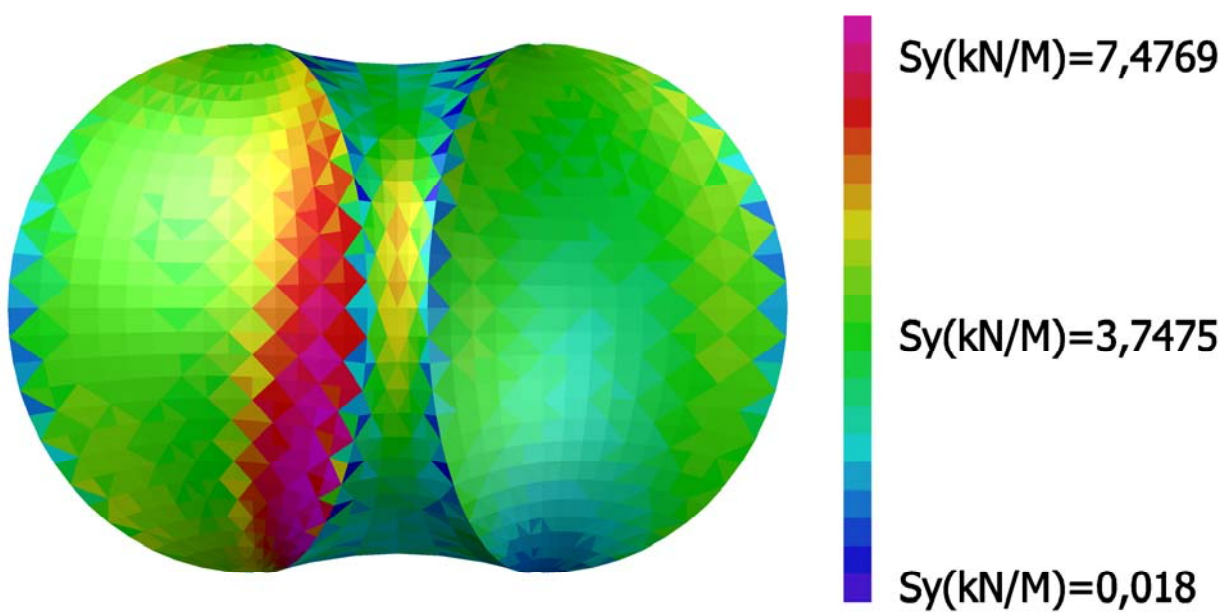


Рис. 46. Напряжения в материале по утку под ветровой нагрузкой, ветер под 45°.

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата

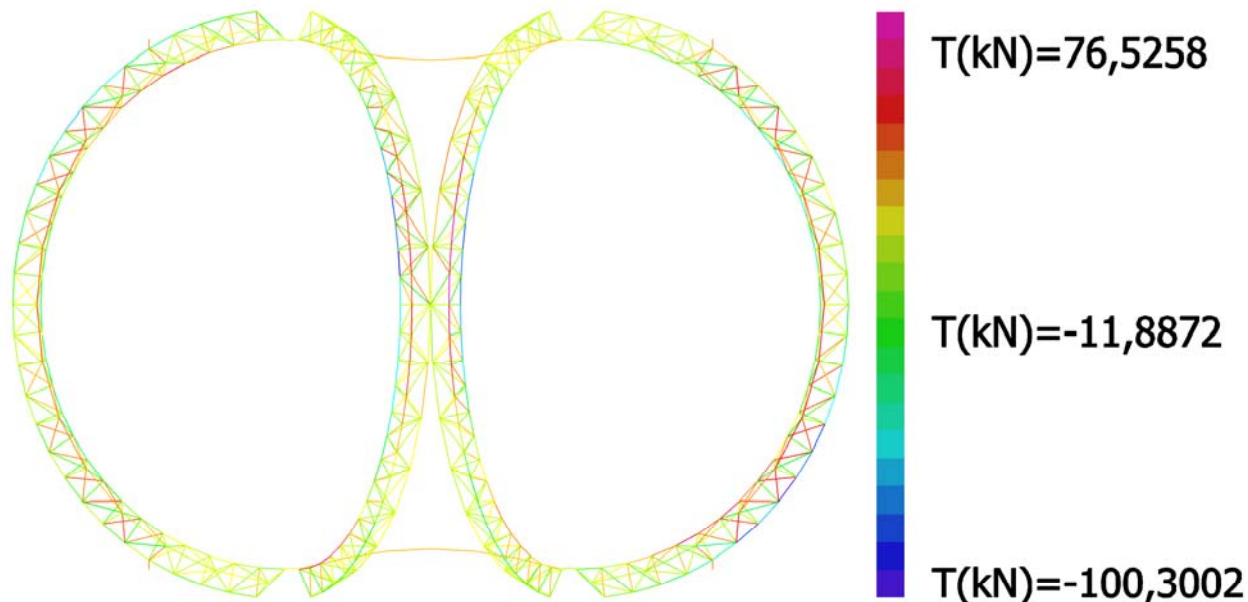


Рис. 47. Напряжения в металлоконструкциях под ветровой нагрузкой, ветер под  $45^\circ$ .

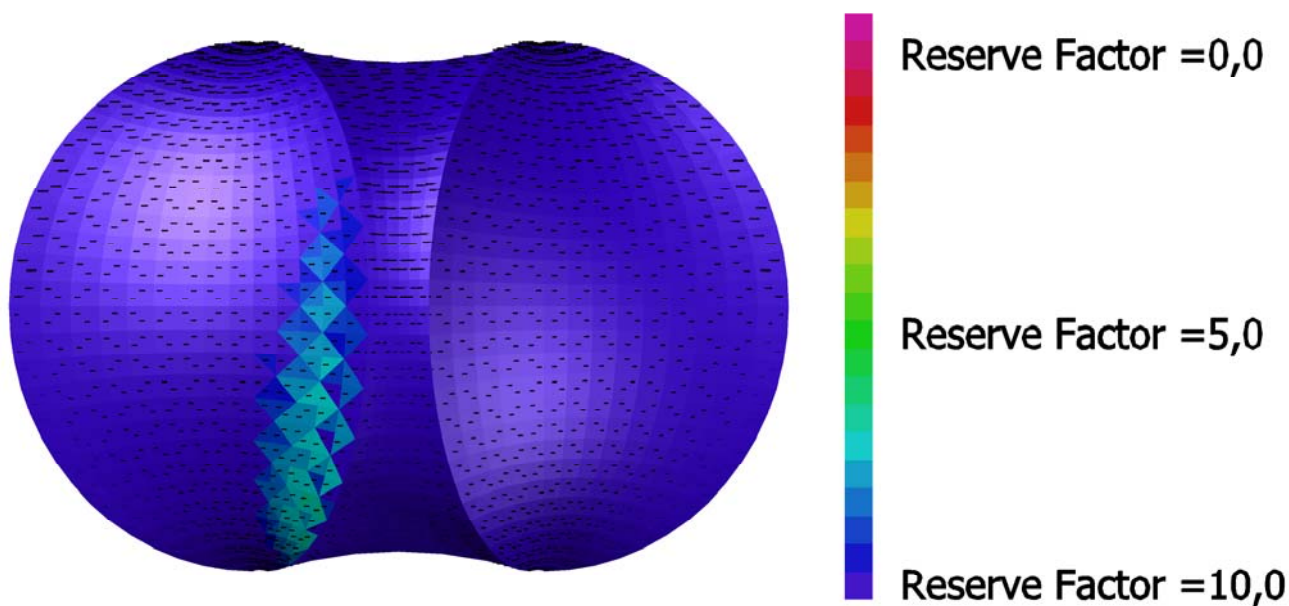


Рис. 48. Коэффициент запаса материала мембраны под ветровой нагрузкой, ветер под  $45^\circ$ .

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата

4.6. На основании анализа результатов расчета делаем вывод о том, что наихудшим вариантом загрузки является вариант со снеговой нагрузкой.

4.7. Убеждаемся, что коэффициенты запаса не ниже требуемого, равного 5-ти (минимальный - 5,8). Выбранный нами материал 1-го типа полностью отвечает стратегии расчета и эксплуатации сооружения с поддержанием уровня преднапряжения материала по основе и утку равным 1,5 кН/м.

4.8. Производим выборку максимальных значений напряжений для различных элементов конструкции:

- пояса - -187,5 кН;
- раскосы - -43,5 кН;
- стойки - -40 кН.

4.9. В программе "Кристалл" осуществляем подбор сечений:

- пояса -  $\text{Ø}114 \times 3$  мм;
- раскосы -  $\text{Ø}60 \times 2,5$  мм;
- стойки -  $\text{Ø}42 \times 3$ .

4.10. Находим составляющие максимальной реакции на опоре центральной арки (рис. 49). По составляющей в проекции на плоскость ZX (96,7 кН) рассчитываем требуемый болт. С коэффициентом использования болта на срез равным 0,95, получаем болт с резьбой M18\*. Однако, предполагая некоторое увеличение усилий при последующем уточнении загрузений принимаем болт M24x140 (140 мм - из условия работы на срез тела болта, а не резьбы) с коэффициентом использования болта на срез равным 0,534 и коэффициентом использования соединяемых элементов на смятие равным 0,586.

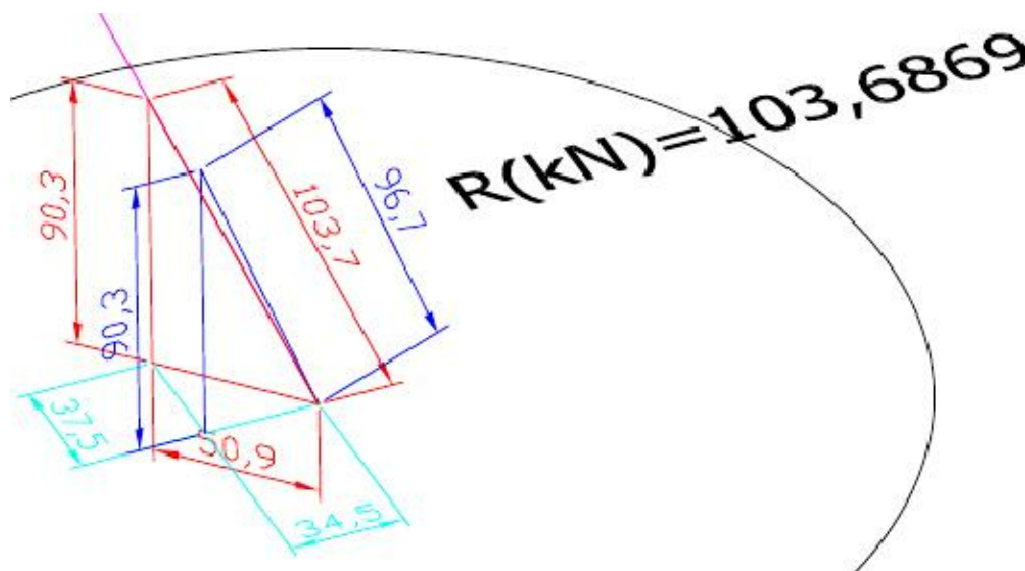


Рис. 49. Составляющие усилия на опоре.

4.11. Сравним стратегии поддержания и деградации преднапряжения мембраны (рис. 50, 51). Мы видим, что для поддержания преднапряжения на постоянном уровне (1,5 кН) в материале 1-го типа, по основе нам требуется компенсация от 0,3% после монтажа, до 0,8% после серии циклов загрузки и от 1,1% до 5,3%, соответственно, по утку.

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата

МК187-00.00.000 ПЗ

Лист  
36

# Sport Cover

tipo 1

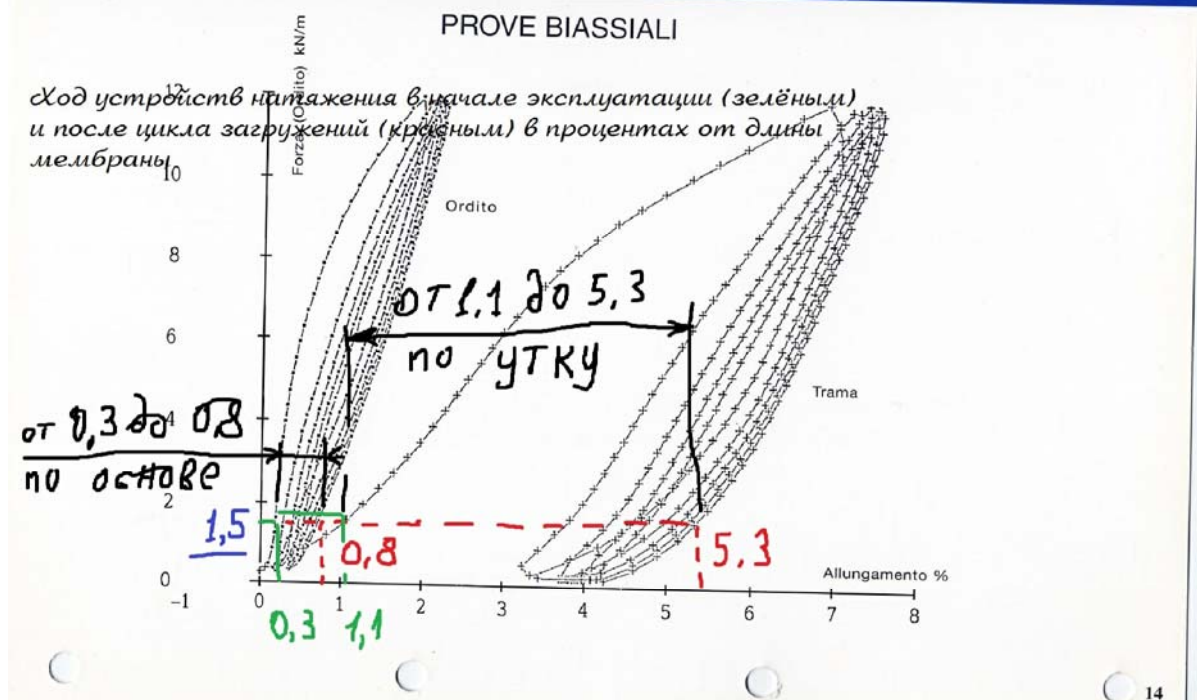


Рис. 50. Стратегия поддержания постоянного преднапряжения.

# Big Cover

tipo 2

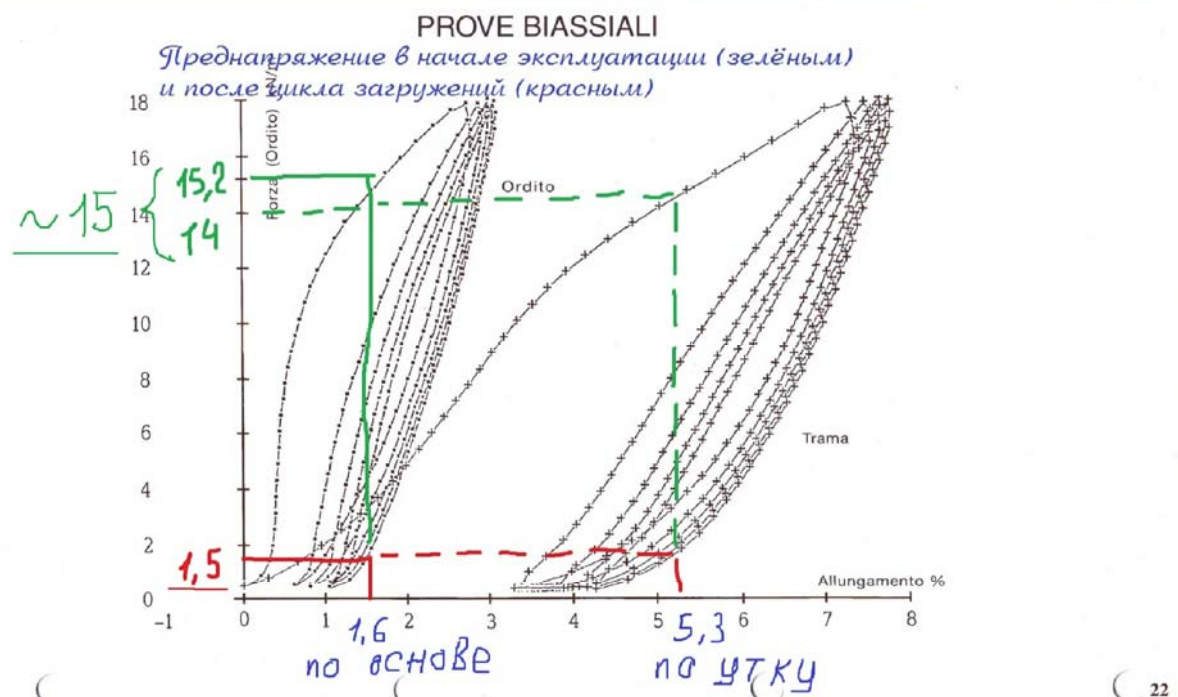


Рис. 51. Стратегия деградации преднапряжения от избыточного к достаточному.

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата

МК187-00.00.000 ПЗ

Лист  
37

Для деградации (после серии циклов загрузки) к требуемому уровню преднапряжения (1,5 кН) в материале 2-го типа, нам требуется стартовый уровень преднапряжения порядка 15 кН/м. Для его достижения необходима компенсация панелей 1,6% - по основе и 5,3% - по утку.

4.12. Выполним компьютерный расчет для мембраны из материала 2-го типа со стратегией деградации преднапряжения (рис. 52...58).

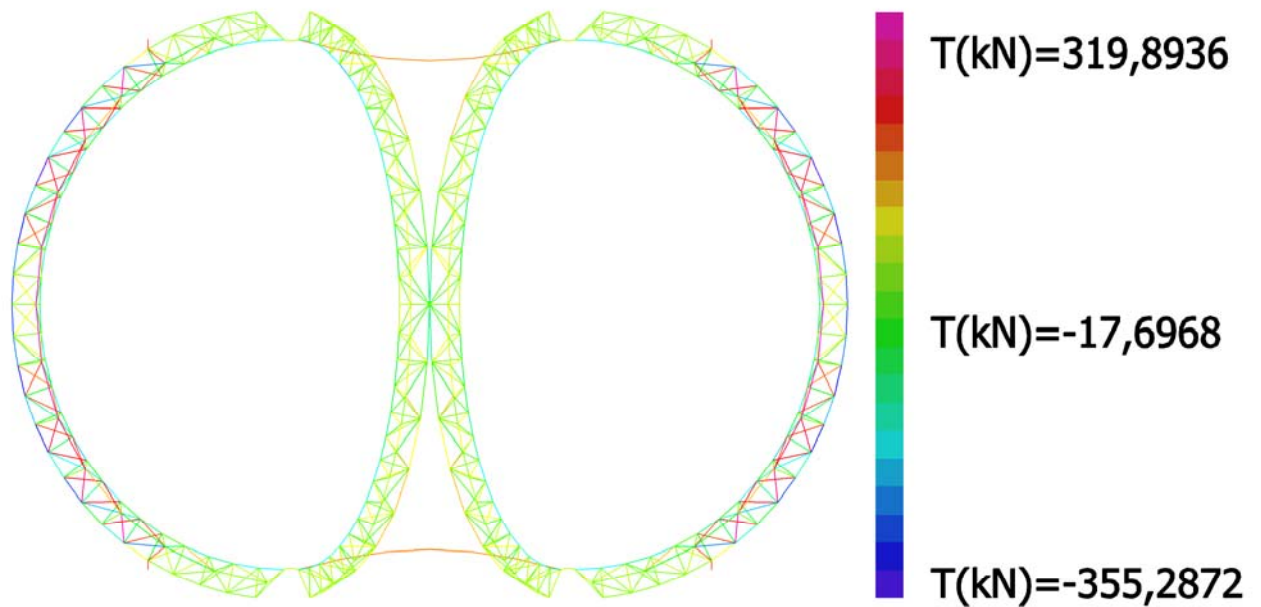


Рис. 52. Напряжения в металлоконструкциях, только преднапряжение.

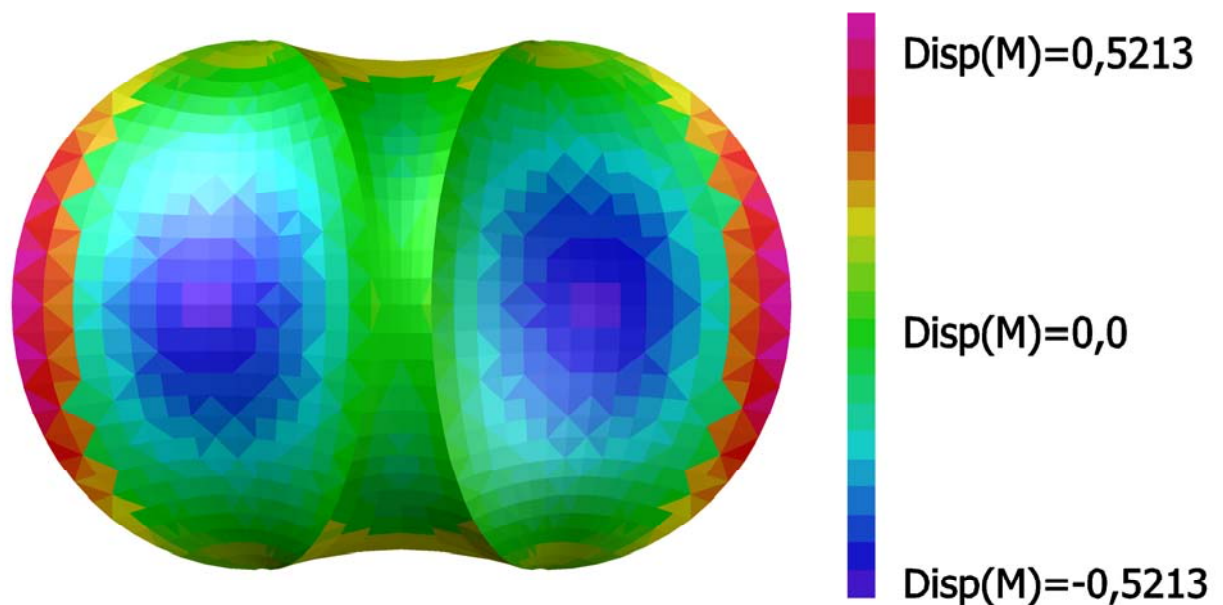


Рис. 53. Перемещения мембраны под снеговой нагрузкой.

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата

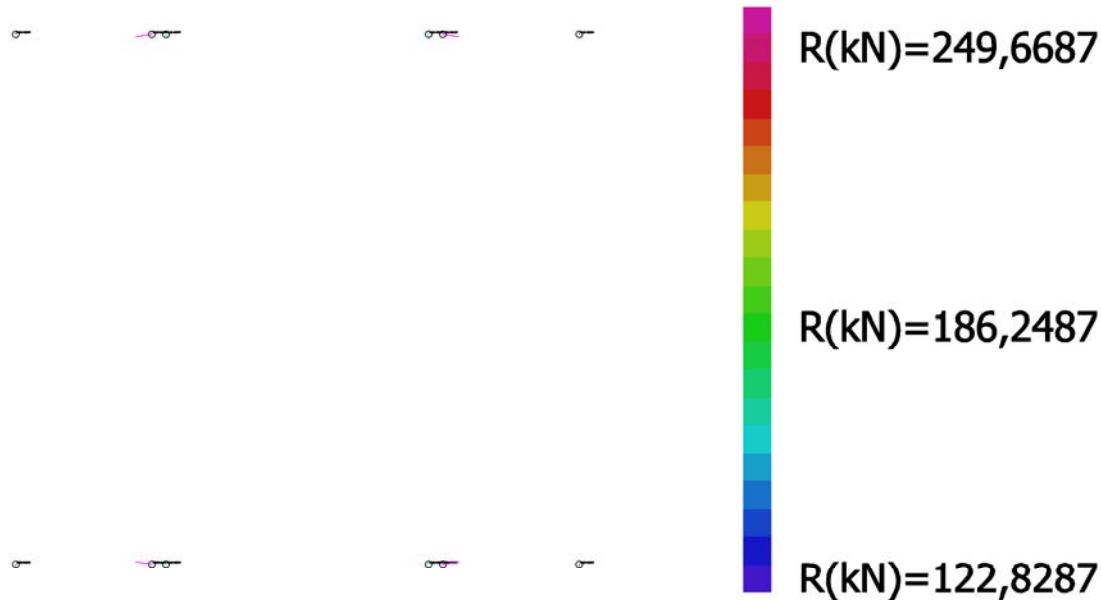


Рис. 54. Реакции опор под снеговой нагрузкой.

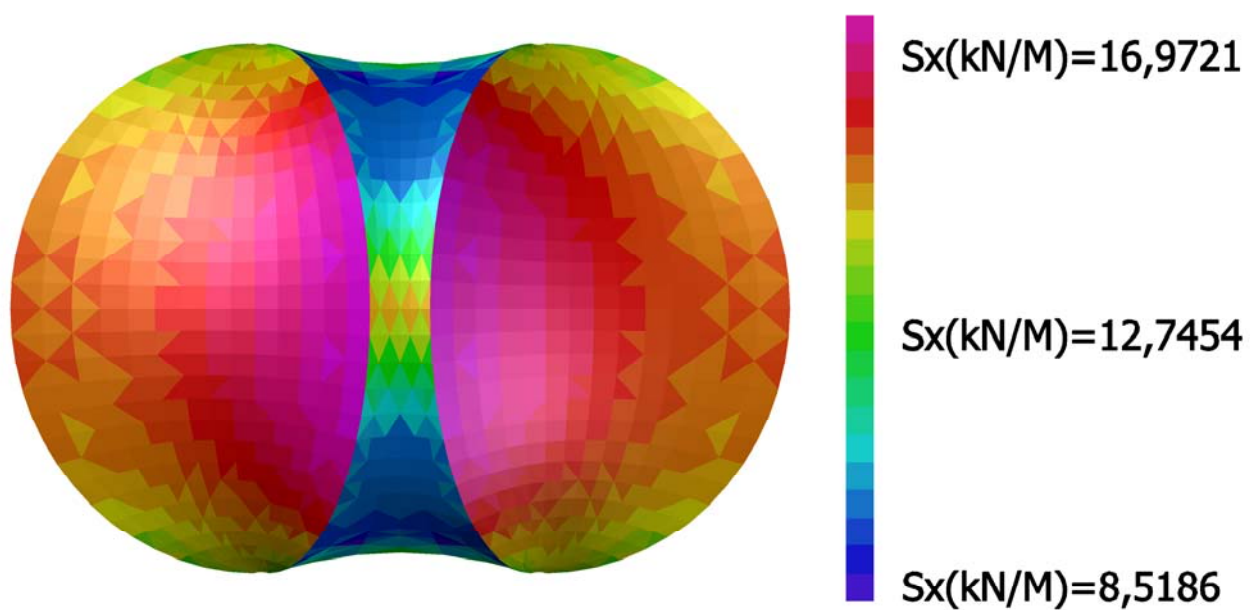


Рис. 55. Напряжения в материале по основе под снеговой нагрузкой.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

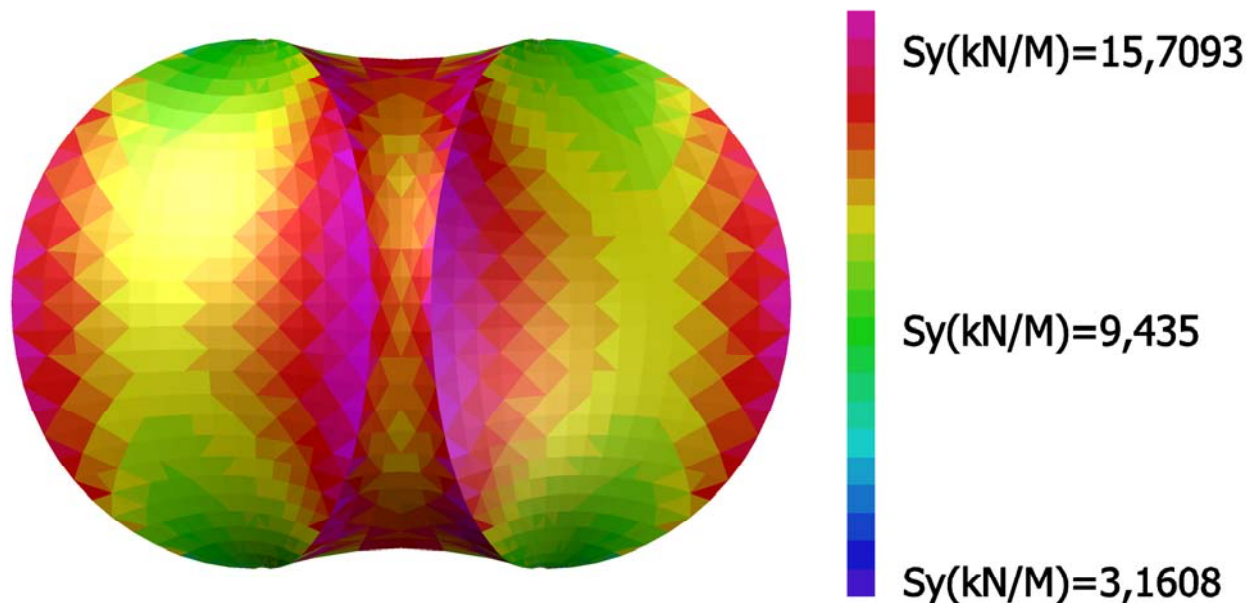


Рис. 56. Напряжения в материале по утку под снеговой нагрузкой.

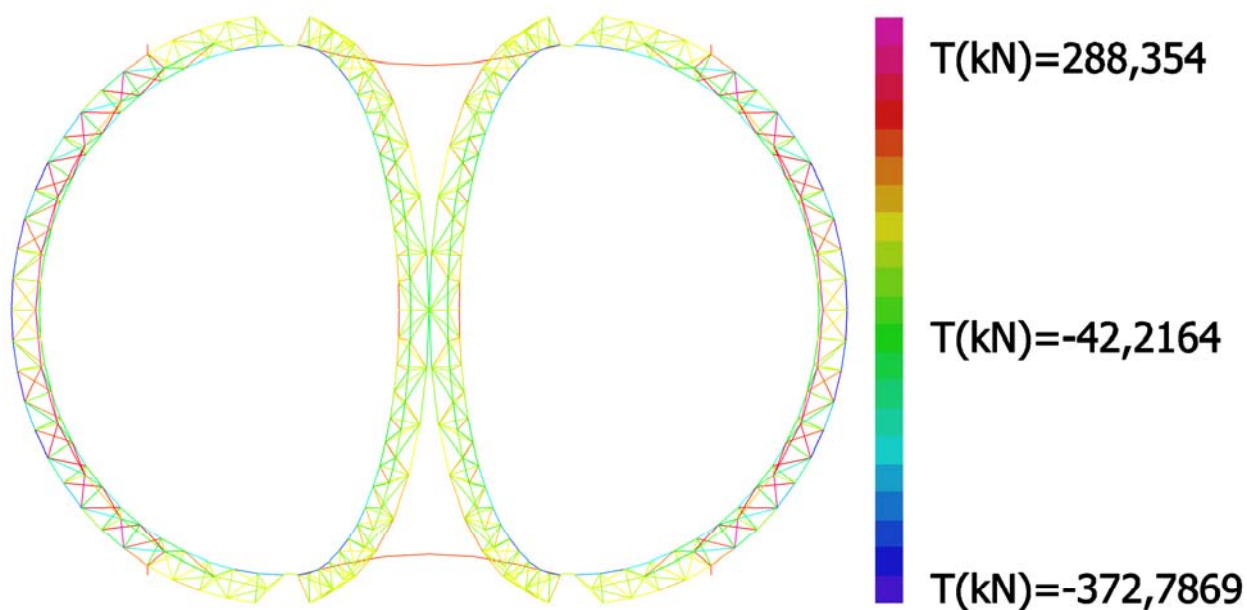


Рис. 57. Напряжения в металлоконструкциях под снеговой нагрузкой.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата



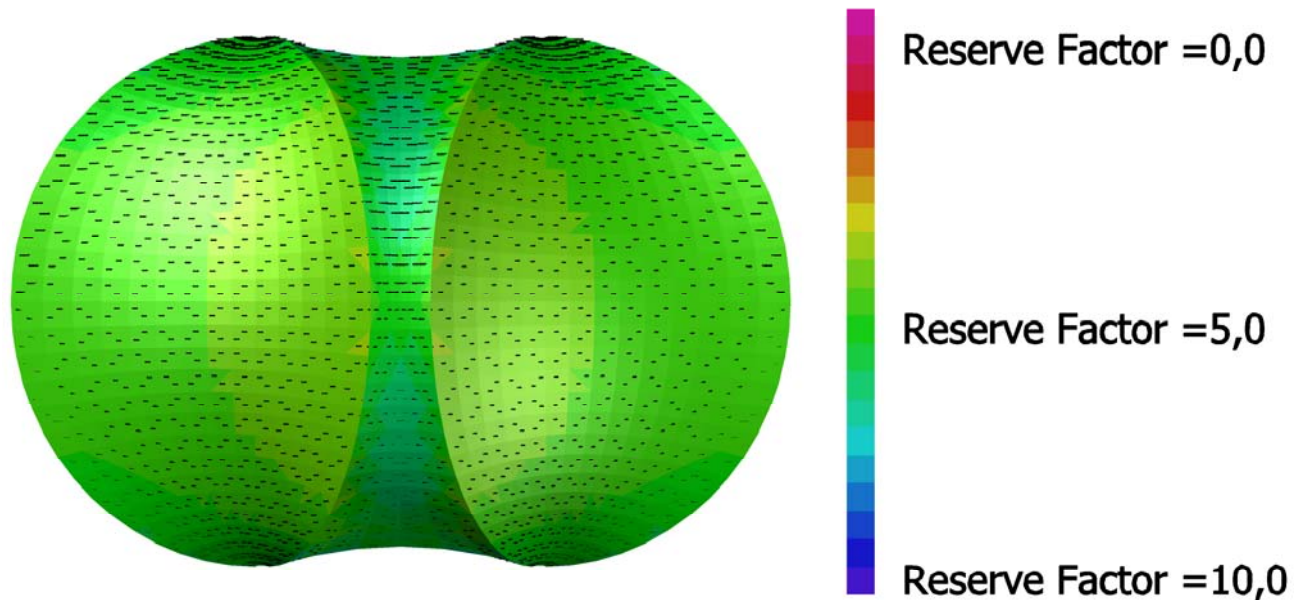


Рис. 58. Коэффициент запаса материала мембраны под снеговой нагрузкой.

4.13. На основании анализа полученных данных выполнен подбор сечений для металлоконструкций в программе "Кристалл". В результате проведенных исследований можно утверждать следующее: использование стратегии деградации преднапряжения мембраны приведет к увеличению металлоемкости до 2,6 раз, а с учетом корректировки габаритов арки с целью правильного конструктивного решения бесфасоночных узлов - и до 5 раз.

4.14. Согласно вновь поступившим данным, материал для мембраны уже имеется в наличии и это PRECONSTRAINT 1202 (рис. 59), материал по своим прочностным характеристикам полностью идентичный материалу 3-го типа остальных европейских производителей. Конечно, возможности этого материала не могут быть реализованы на достаточно скромном железе и со швами самого материала шириной 40 мм (требование заказчика), но некоторый плюс все же есть. Необходимая компенсация панелей, а следовательно и ход (длина) шпилек узлов натяжения, могут быть ощутимо уменьшены. Поскольку верхняя граница диапазона рабочих напряжений материала в половину меньше обычных для него значений, есть основания предполагать достаточной компенсацию не в 1,9...2,4%, а всего лишь 1,5%.

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата

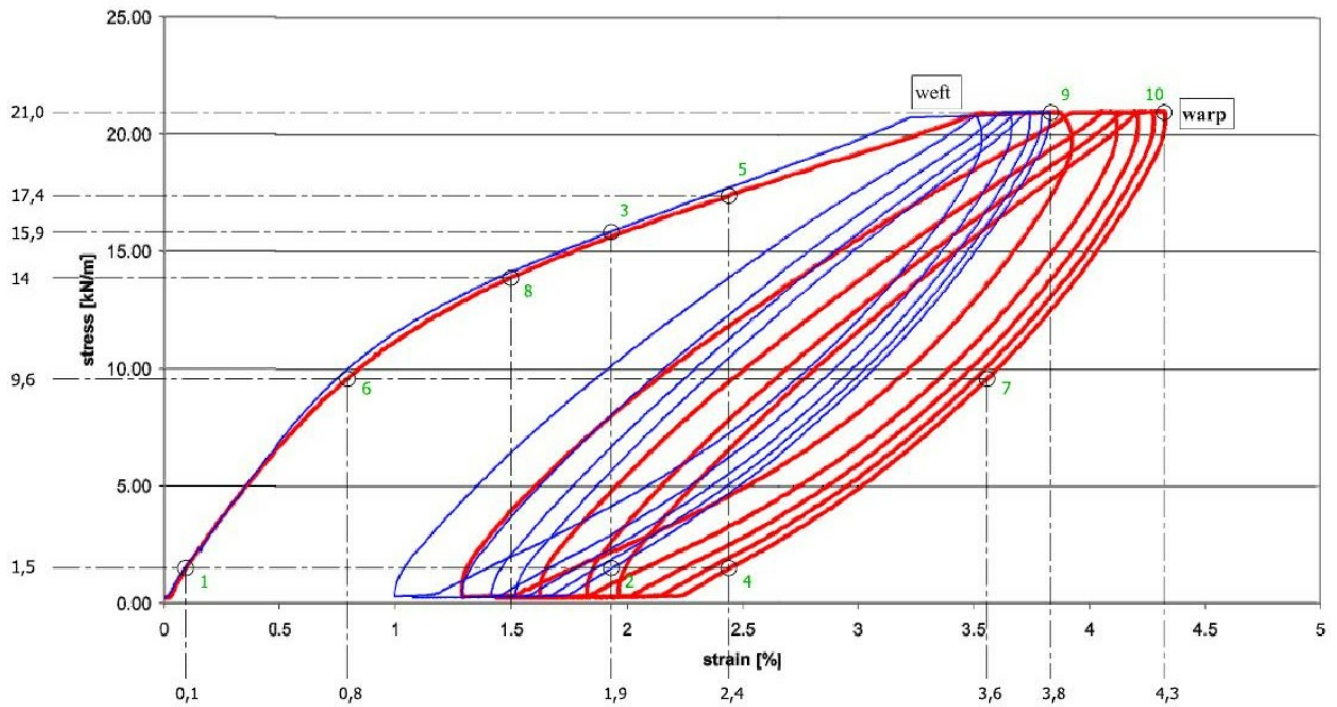


Рис. 59. График биаксиального теста материала PRECONTRAIN 1202.

4.15. Найдем усилия передаваемые на конструкцию колосником осветительной аппаратуры (рис. 60).

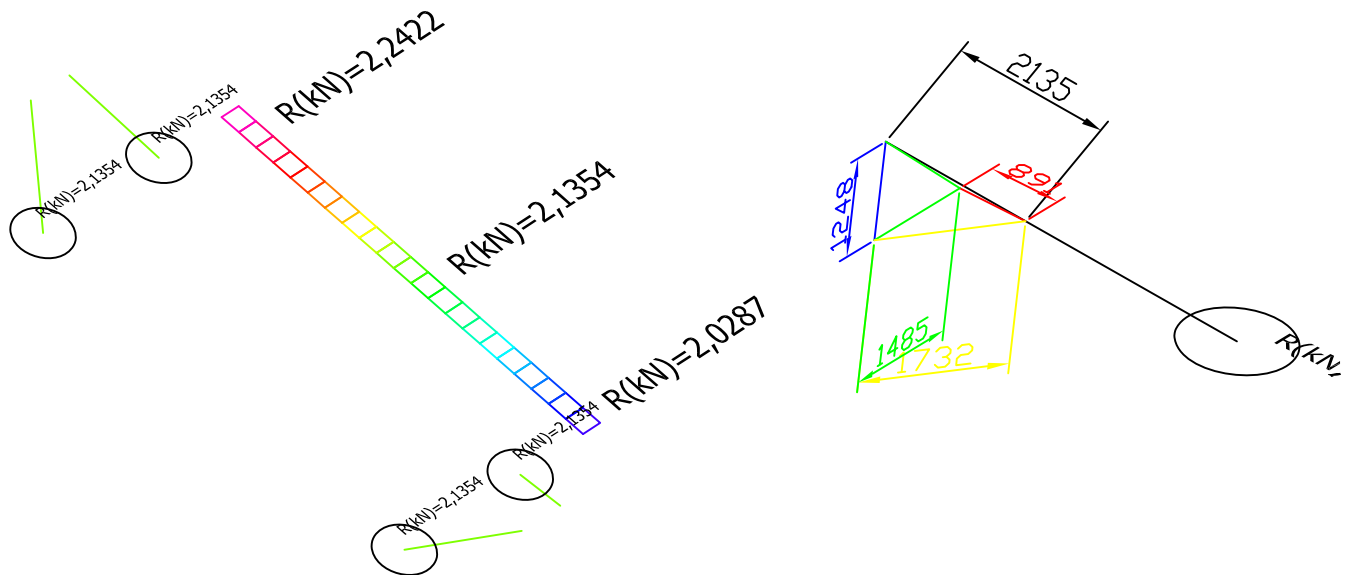


Рис. 60. Реакции от тросов колосника.

4.16. Проведем уточняющие расчеты по двум загрузениям следующими основными сочетаниями нагрузок:

- собственный вес, колосник, преднапряжение мембраны, снеговая нагрузка;
- собственный вес, преднапряжение мембраны, ветровая нагрузка под  $45^\circ$ .

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата

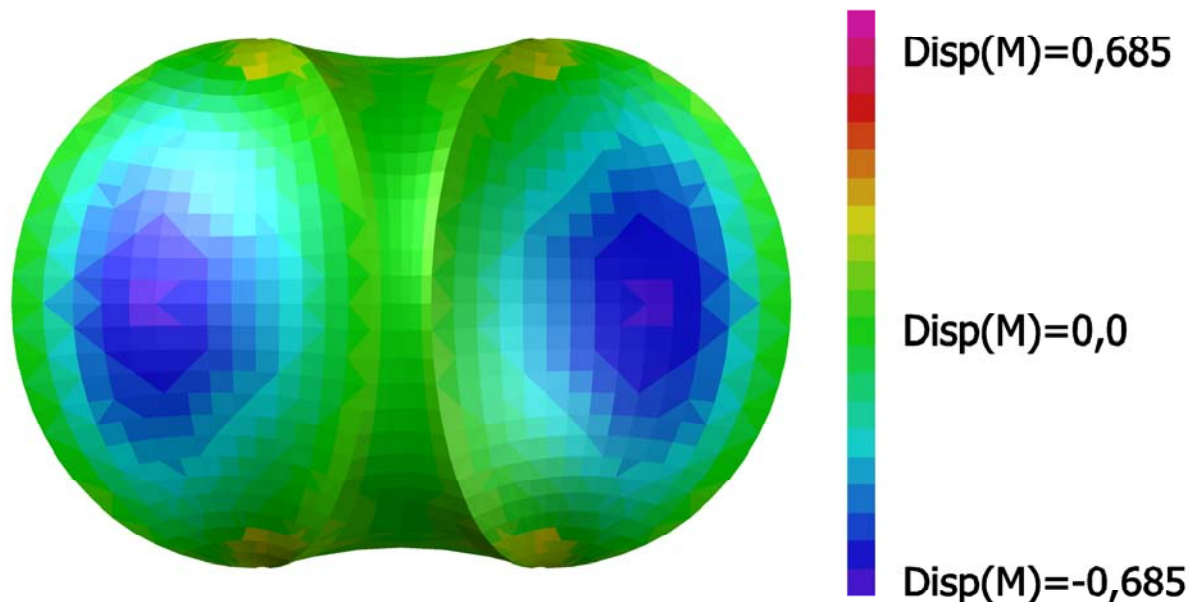


Рис. 61. Перемещения мембраны под снеговой нагрузкой.

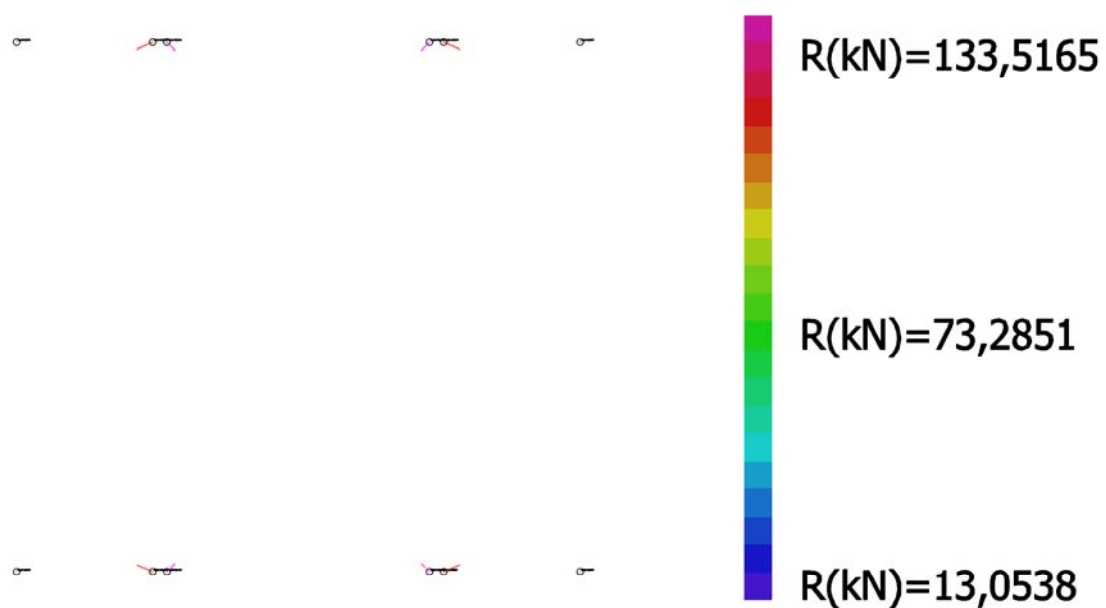


Рис. 62. Реакции опор под снеговой нагрузкой.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

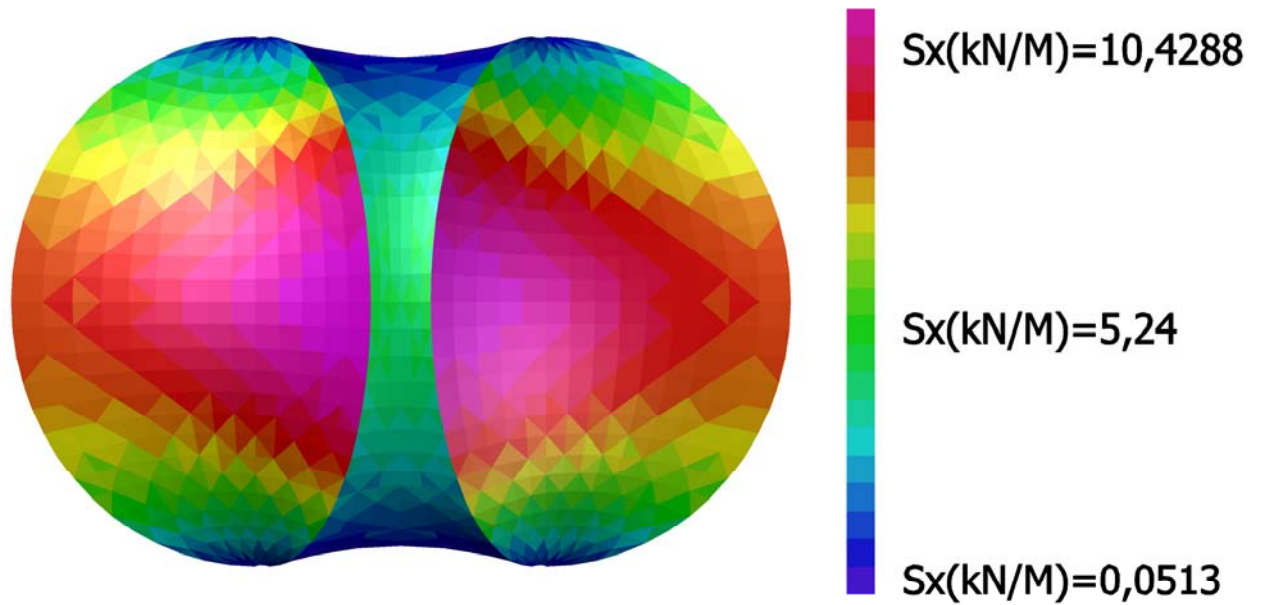


Рис. 63. Напряжения в материале по основе под снеговой нагрузкой.

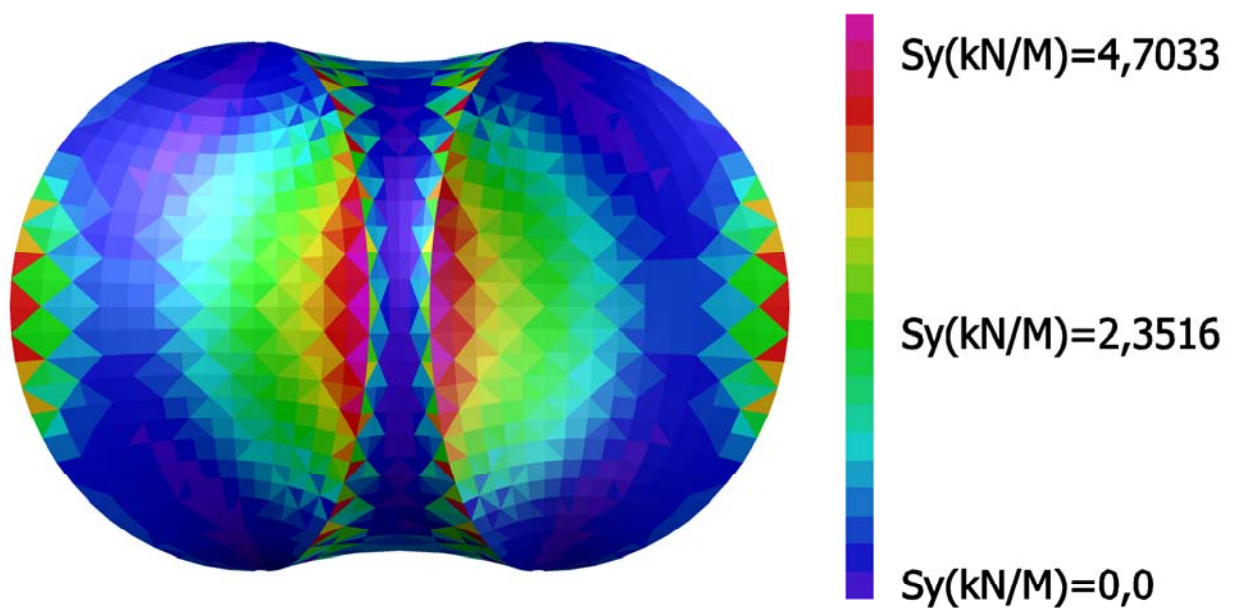


Рис. 64. Напряжения в материале по утку под снеговой нагрузкой.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

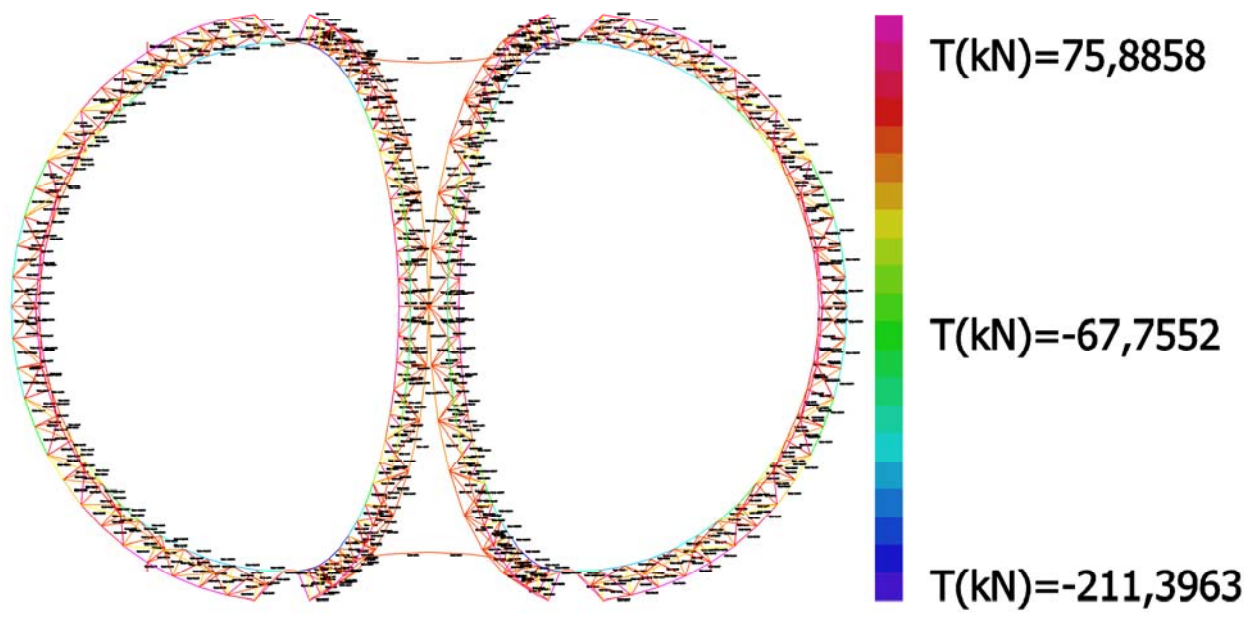


Рис. 65. Напряжения в металлоконструкциях под снеговой нагрузкой.

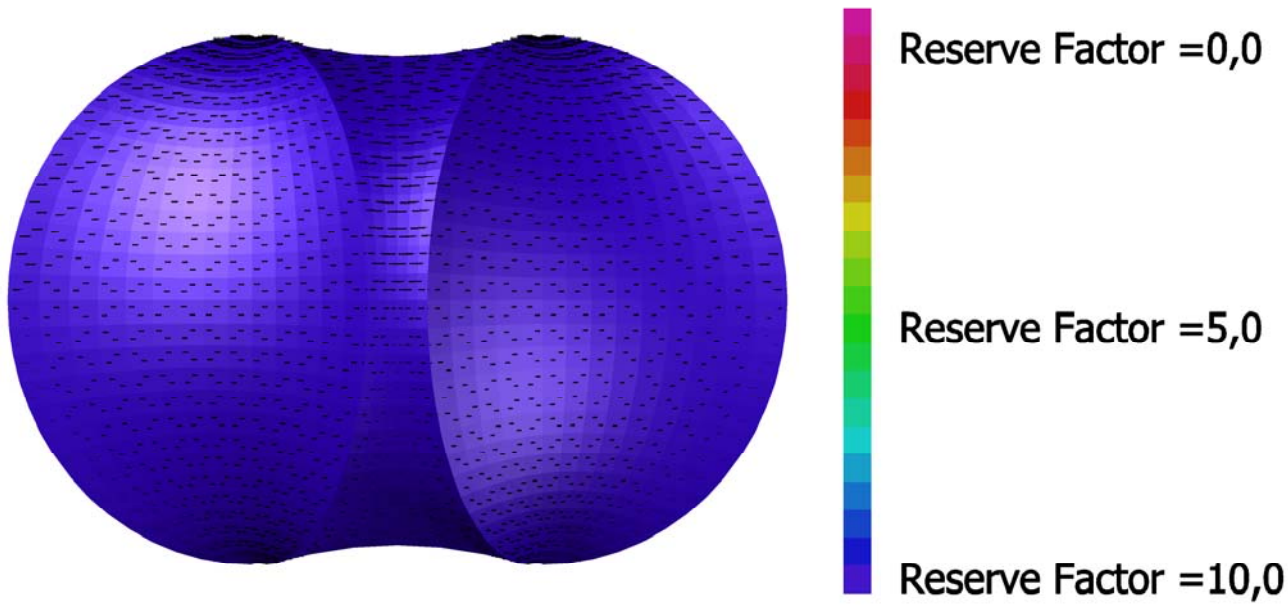


Рис. 66. Коэффициент запаса материала мембраны под снеговой нагрузкой.

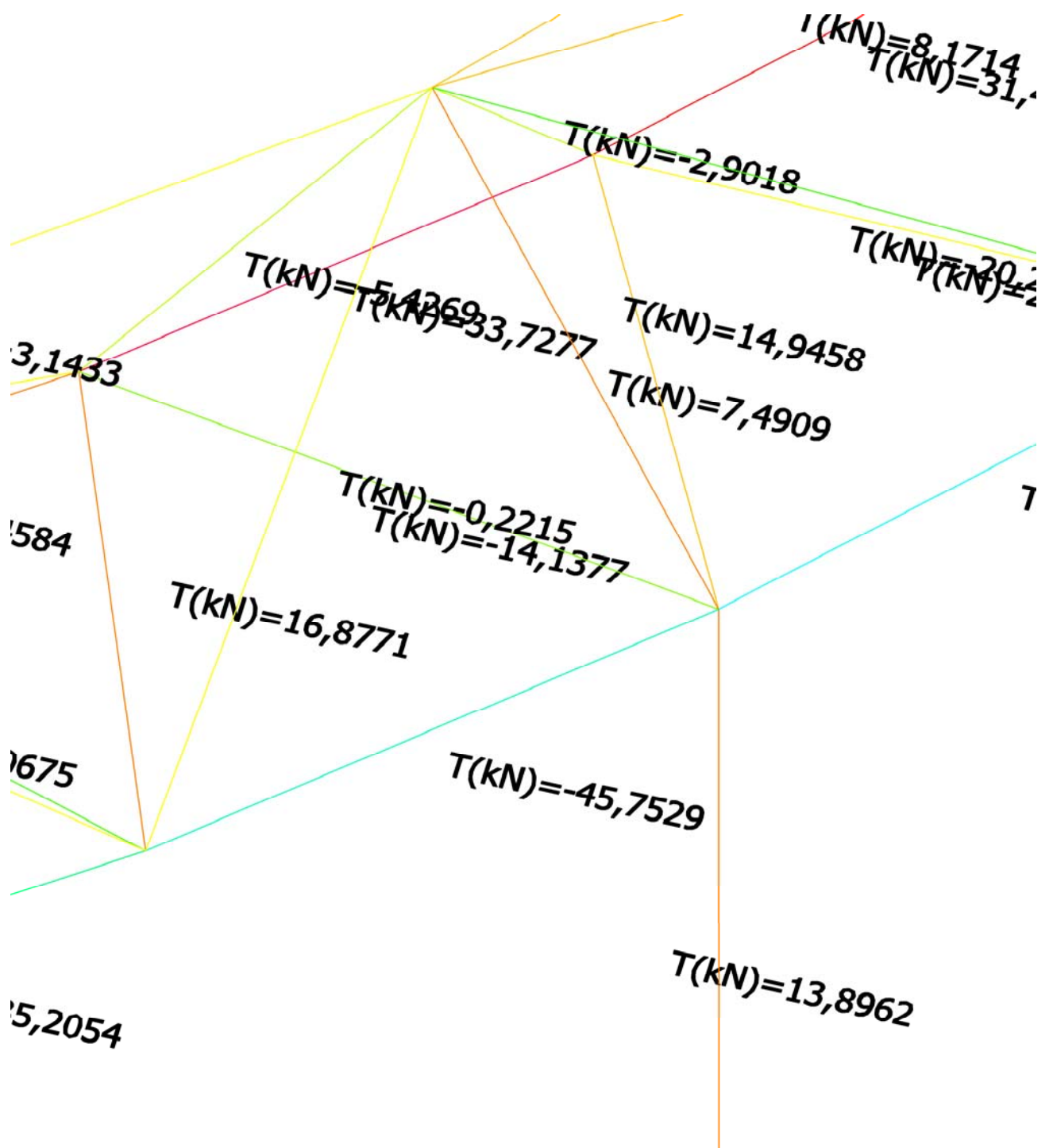


Рис. 67. Усилие в тросе крепления торцевой арки под ветровой нагрузкой 45°.

4.17. Производим из уточненных расчетов выборку максимальных значений напряжений для различных элементов конструкции:

- пояса - -211 кН;
- раскосы - -45,3 кН;
- стойки - -44,5 кН.

4.18. В программе "Кристалл" проверяем коэффициент использования сечений:

- пояса - 0,927;
- раскосы - 0,852;
- стойки - 1,056.

Как видим, только у одной из стоек имеется незначительное (5,6%) превышение коэффициента использования, которым можно пренебречь.

4.19. Дополнительно строим и рассчитываем модель мембраны с катенарными кромками, преднапряжением 3 кН/м и снеговой нагрузкой. Определяем усилия на подвесках под центральными арками:

- максимальное - 16,2 кН;
- в местах закрепления тросов колосника - 10 кН.

Даже с учетом усилия создаваемого тросом колосника (2,14 кН) несущая способность узла подвески (до 20 кН) не будет нарушена.

4.20. Результаты выполненных программными средствами прочностных расчетов элементов арок и фланцевых соединений прилагаются отдельно, в автоматически генерируемых отчетах.

4.21. В данный раздел, ввиду нехватки времени, не включены расчеты сварных швов и болтовых соединений, выполненные вручную. Не произведены уточняющие расчеты, учитывающие изгибающий момент от эксцентриситетов узлов ферм, а также расчет на продавливание стенок поясов элементами решетки. Данные расчеты не произведены как вследствие отсутствия времени, так и ввиду отсутствия целесообразности их выполнения - на момент оформления настоящего документа и, в частности, уточняющих расчетов, конструкция была на финальной стадии изготовления.

4.22. Да прибудет с вами аллах по месту возведения сего сооружения!

					МК187-00.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		47

## 5. Эксплуатация изделия

5.1. Допустимая температура эксплуатации изделия - от минус 30 до плюс 50 градусов Цельсия.

5.2. Не следует допускать контакта тентового материала с агрессивными веществами (щелочи, кислоты и т.п.).

5.3. Не следует допускать контакта тентового материала с абразивными веществами, способными повредить защитный слой лака на его поверхности.

5.4. Для мойки тентового материала применять жидкие растворы бытовых моющих средств.

5.5. При достижении высоты снегового покрова на поверхности оболочки более 15 см снег необходимо удалять.

5.6. При использовании конструкции в зимнее время, следует проявлять осторожность, т.к. возможен сход снега со ската мембраны. В случае нахождения над местами нахождения людей сколь-нибудь значительного снегового покрова, рекомендуется его удалить.

5.7. В процессе эксплуатации изделия регулярно проводить осмотр анкерных устройств на предмет смещения, изменения своего положения или вырыва из фундамента (грунта). При наличии вышеперечисленных явлений связаться с автором проекта и предприятием-изготовителем.

5.8. Регулярно проводить детальный осмотр конструкции и в случае выявления повреждений и дефектов металлоконструкций (погибы труб, разрывы сварных швов, срез болтовых соединений и т.п.), а также тентового укрытия (разрыв материала, раздир сварных швов, истирание капронового шнура и т.п.) обратиться на предприятие-изготовитель для своевременного ремонта.

5.9. При подготовке к хранению следует производить контроль защитного лако-красочного, цинкового либо полимерного покрытия металлоконструкций и в случае повреждения производить его обновление.

5.10. Не следует прилагать значительные нагрузки от технологического и прочего оборудования к элементам несущих металлоконструкций.

5.11. Регулярно производить оценку уровня преднапряжения мембраны и при необходимости задействовать устройства ее натяжения.

Изм	Лист	N докум.	Подп.	Дата



## 6. Монтаж конструкции

6.1. Согласно постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 31 декабря 2009г. №1748 об утверждении технического регламента Республики Беларусь ТР 2009/013/ВУ «Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность», в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь от 07.02.2012 №125, с учетом внесенных изменений и дополнений, работы по монтажу тентовых конструкций: павильонов торговых, летних кафе, сцен, ангаров (складских и производственных помещений временного назначения) обязательной сертификации не подлежат.

6.2. Монтаж и демонтаж сооружения производить обученным персоналом, имеющим допуск к высотным работам, согласно чертежа и порядка сборки, описанного далее.

6.3. Монтаж сооружения следует производить в безветренную погоду, при отсутствии осадков. Монтаж допускается вести при температуре не ниже  $-15^{\circ}\text{C}$  и скорости ветра на уровне земли не более 5 м/с.

6.4. Положения в данном разделе приведены в соответствии со спецификацией МК187-00.00.000 и сборочным чертежом МК187-00.00.000 СБ;

6.5. Монтаж конструкции рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

- установить опоры шарнирные поз. 13 в местах установки одной из центральных арок поз. 5...10;
- собрать центральную арку поз. 5, 6, 9, 10 в горизонтальном положении, концы арки должны быть установлены в опорах шарнирных поз. 13;
- присоединить арки поз. 5, 6 к фланцам в макушке собранной центральной арки посредством серыг поз. 31;
- продолжить сборку второй арки до полной готовности;

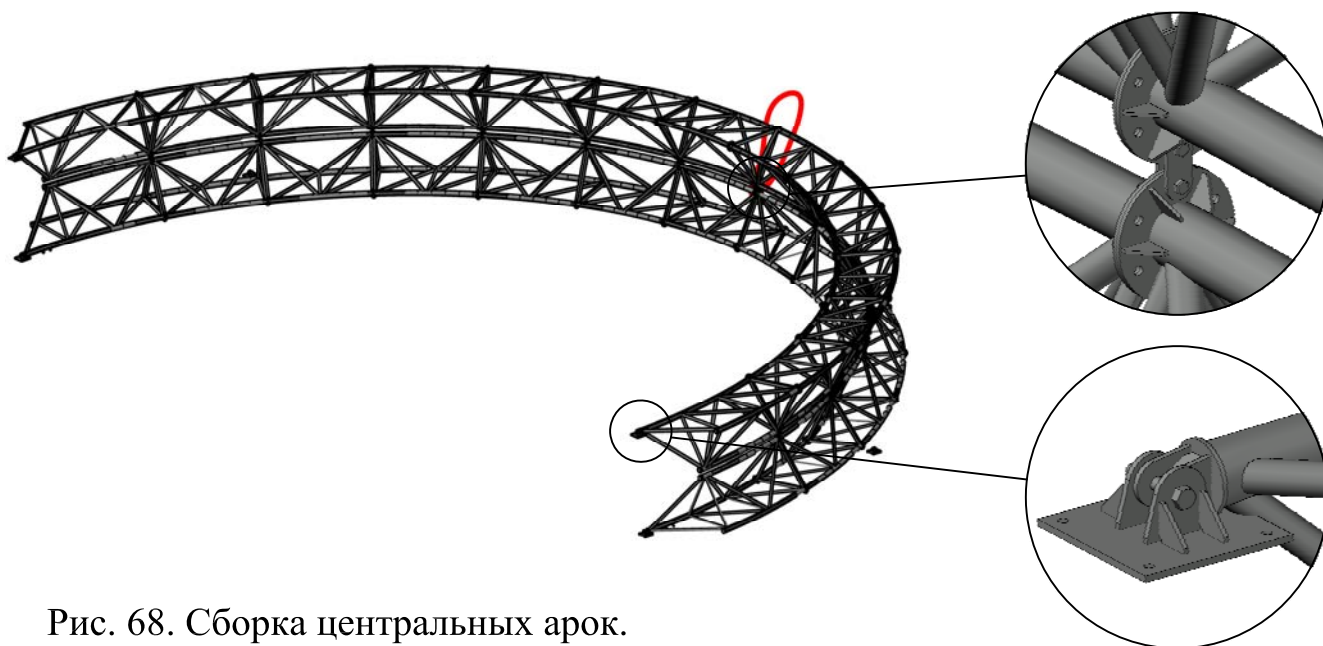


Рис. 68. Сборка центральных арок.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

МК187-00.00.000 ПЗ

Лист  
49

- панели арок примыкающие к опорам шарнирным поз. 13 на момент выкладки и подъема необходимо связать друг с другом ремнями или полосами тентового материала.
- закрепить на проушинах второй центральной арки опоры шарнирные поз. 13 (рис. 68);
- собрать монтажные части мембраны поз. 1, 2 друг с другом посредством пластин поз. 30, подвесок поз. 18, 19 и пластин поз. 28, 29.
- присоединить подвески поз. 18, 19 к фланцам и проушинам арок в соответствии со сборочным чертежом МК187-00.00.000 СБ;
- зачалить текстильные стропы (грузоподъемностью ~7 т) за стабилизирующие пояса в макушках арок, задействуя узлы решеток таким образом, чтобы избежать смещения строп вдоль оси поясов;
- при проведении стропальных работ следует соблюдать меры указанные в ТИ РО-060-2003;
- присоединить стропы к гаку автокрана (грузоподъемностью ~25 т);
- поднять арки в положение отклоняющееся от вертикали на 3...5 градусов;
- используя монтажно-тросовые механизмы (таль АВТ-32) или рэтчеты, отвести арку с незакрепленными шарнирными опорами поз. 13 в проектное положение и произвести крепление опор к фундаменту посредством химических анкеров поз. 55;
- установить дополнительную пару серёг поз. 32;
- произвести установку остальных опор шарнирных поз. 13, 14;
- собрать торцевые арки поз. 5, 6, 7, 8, закрепив их концы в опорах шарнирных поз. 13;
- используя монтажно-тросовые механизмы или автокран произвести подъем торцевых арок выше проектного положения на 0,7...1 м;
- произвести крепление суппортов поз. 17 к фланцам и проушинам торцевых арок посредством шпилек поз. 33; **ВНИМАНИЕ!!!** Во избежание краха металлоконструкций, не следует использовать ход шпилек более чем на 2...3 см! Оставшаяся резьбовая часть шпилек будет задействована в процессе эксплуатации сооружения;
- произвести регулировку тросов катенарных кромок мембран поз. 1 и 2; не следует затягивать все шпильки поз. 33 подряд и полностью, в противном случае трение в подвороте мембран не позволит тросам принять равнонапряженное состояние;
- произвести установку и регулировку суппортов поз. 15, 16;
- посредством тросов поз. 24 опустить торцевые арки в проектное положение;
- присоединить клапана мембран поз. 1 к нижним поясам торцевых арок;
- посредством автокрана опустить "лишние" арки в опоры шарнирные и раскрепить их макушки тросами поз. 20, 21 согласно сборочному чертежу МК187-00.00.000 СБ.

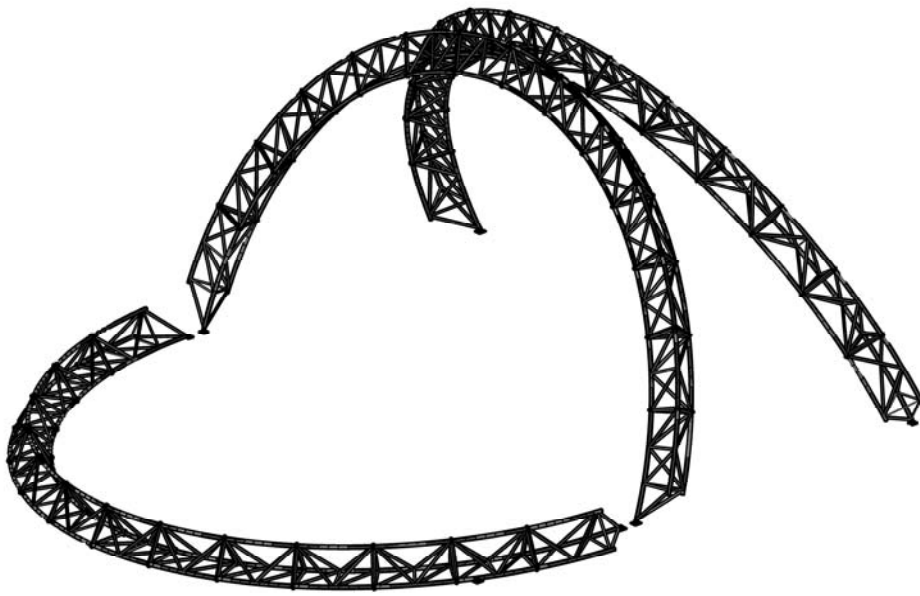


Рис. 69. Центральные арки в проектном положении.



Рис. 70. Монтаж похожей конструкции.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

МК187-00.00.000 ПЗ

Лист  
51

## 7. Сертификация и соответствие

7.1. Данные конструкции не подлежат обязательной сертификации т.к. не включены в «Перечень продукции, услуг, персонала и иных объектов оценки соответствия, подлежащих обязательному подтверждению соответствия в Республике Беларусь».

7.2. Данная конструкция не подлежит обязательному подтверждению соответствия на соответствие требованиям безопасности ТР 2009/013/ВУ «Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность».

## 8. Условия хранения

8.1. Оболочку сооружения следует хранить в упаковочных мешках, предварительно вымыв и просушив (во избежание грибкового поражения).

8.2. Оболочка должна храниться в складских помещениях или под навесом на подкладках на высоте от уровня земли не менее 0,2 м.

8.3. При хранении оболочку необходимо защищать от воздействия прямых солнечных лучей и складировать на расстоянии не менее 1 м от отопительных приборов.

8.4. Металлоконструкции следует хранить в сухом, хорошо проветриваемом помещении, на высоте от уровня земли не менее 0,2 м.

## 9. Ожидаемые технико-экономические показатели

9.1. Предварительно, расход стали составит 17 кг/м<sup>2</sup>.

9.2. Предварительно, суммарный расход тентового материала на мембрану сооружения составит 1483 м<sup>2</sup>.

9.3. Приведенные выше показатели свидетельствуют о значительной экономии средств в сравнении с применением традиционных строительных материалов и технологий.

					МК187-00.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		52

## 10. Список литературы

- 10.1. СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия».
- 10.2. СП 53-101-96. Общие правила проектирования элементов стальных конструкций и соединений / Проект подготовленный ЦНИИСК им. Кучеренко.- М: 1995
- 10.3. А.П. Мандриков «Примеры расчета металлических конструкций», М.: Стройиздат, 1991.
- 10.4 «Металлические конструкции. Справочник проектировщика», ред. В.В. Кузнецова. В 3 т. М: АСВ, 1998.
- 10.5. Справочник «Современные пространственные конструкции», ред. Ю.В. Дыховичного. М.: «Высшая школа», 1991.
- 10.6. СН 497-77 ВРЕМЕННАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ, МОНТАЖУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУХООПОРНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, М.: СТРОЙИЗДАТ, 1978.
- 10.7. «European Design Guide for Tensile Surface Structures», Tesinet, 2004.

					МК187-00.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		53