


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

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 А.Е. Митяев
подпись
«23» 06 2016 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.03 Прикладная механика

**Определение прочности, жесткости, устойчивости элементов
конструкции теплицы арочного типа**

Пояснительная записка

Руководитель

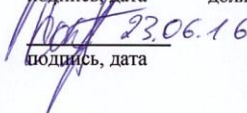

подпись, дата

доцент, к.т.н.

должность, ученая степень

А.В. Колотов

Выпускник


подпись, дата

23.06.16

К.В. Заковряжин

Нормоконтролер


подпись, дата

доцент, к.т.н.

должность, ученая степень

Д.Е. Груздев

Красноярск 2016

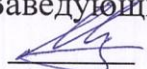
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Прикладная механика»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 А.Е. Митяев
(подпись)

« 23 » 06 2016 г

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Студенту (ке) Заковряжин Константин Валерьевич

Группа МТ 12-05Б Направление (специальность) 15.03.03
«Прикладная механика»

Тема выпускной квалификационной работы: Определение прочности, жесткости, устойчивости конструкции теплицы арочного типа

Утверждена приказом по университету № 5238/с от 15 апреля 2016
Руководитель ВКР А.В.Колотов, доцент к.т.н «Прикладная механика»

Исходные данные для ВКР

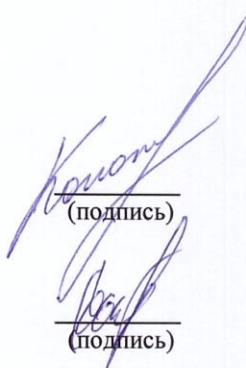
Перечень разделов ВКР

- 1) Описание конструкции
- 2) Методика расчетов конструкции
- 3) Результаты расчетов
- 4) Расчет на ЭВМ
- 5) Выводы

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов, слайдов:

- 1) Тема дипломного проекта
- 2) Введение
- 3) Виды и типы теплиц
- 4) Определение действующих нагрузок
- 5) Расчет на прочность
- 6) Разработка трехмерных моделей
- 6) Заключение

Руководитель ВКР



(подпись)

А.В. Колотов

Задание принял к исполнению

(подпись)

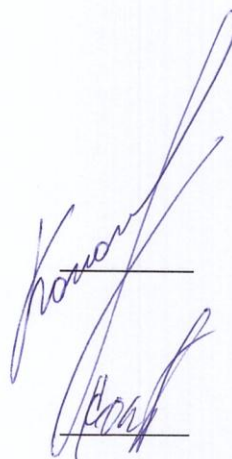
К.В. Заковряжин

« 25 » 04 2016 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК
выполнения этапов ВКР

Наименование и содержание этапа	Срок выполнения	Примечание
1 Прохождение преддипломной практики	25.04.2016 – 05.06.2016	
2 Анализ собранных материалов	07.06.2016 – 09.05.2016	
3 Работа над теоретической частью проекта	10.05.2016 – 15.05.2016	
4 Работа над практической частью работы	15.06.2016 – 19.06.2016	
5 Оформление графической части работы	20.06.2016 – 22.06.2016	
6 Оформление пояснительной записки	23.06.2016	

Руководитель выпускной
квалификационной работы
«25» 04 2016 г.



А.В. Колотов

Студент МТ 12-05Б
«25» 04 2016 г.

К.В. Заковряжин

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Постановка задачи.....	4
2 Обзорная часть.....	6
2.1 Классификация теплиц	6
2.2 Размещение теплицы	7
2.3 Устройство теплицы	7
2.4 Плюсы и минусы различных видов теплиц.....	16
2.5 Оптимальные размеры теплицы	17
2.6 Теплицы с покрытием из поликарбоната	17
2.7 Основные характеристики сотового поликарбоната.....	20
3 Расчет трехшарнирной арки.....	22
3.1 Определение снеговой нагрузки.....	24
3.2 Определение ветровой нагрузки.....	27
4 Исследование НДС конструкции	38
Заключение	44
Список использованных источников	45
Приложение А–Б	47

БР – 15.03.03 ПЗ									
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Определение прочности, жесткости, устойчивости конструкции теплицы арочного типа	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Заковряжин К.В.		23.06.16					
Провер.		Колотов А.В.		23.06.16				2	52
Реценз.									
Н. Контр.		Груздев Д.Е.		23.06.16					
Утвержд.		Митяев А.Е.		23.06.16					
						СФУ МТ 12-05Б			

ВВЕДЕНИЕ

Круглогодичное выращивание сельскохозяйственных культур ведут в защищенном грунте, который имеет сооружения на земельных участках, обеспечивающие создание искусственного микроклимата. Такой грунт обладает рядом особенностей по сравнению с открытым, которые необходимо учитывать при его проектировании, строительстве и эксплуатации. В первую очередь это небольшие площади участков, на которых различными способами создается благоприятное сочетание факторов роста растений независимо от состояния погоды и времени года.

Теплица – специальное сооружение с покрытием из светопрозрачного материала для круглогодичного выращивания тепличных культур и рассады, в котором может находиться человек, обеспечивающий все работы, связанные с посевом и уходом за растениями. Обычно конструкция покрывается полиэтиленовой пленкой, стеклом, пластиком или поликарбонатом, а также стеклом. Внутри создается особый микроклимат: исходящее от солнца излучение подогревает растения и почву; воздух, нагретый от внутренней поверхности, удерживается внутри конструкции крыши и стенками.

В зависимости от выращиваемых культур и особенностей климатической зоны в теплицах используются многолетние материалы.

					<i>БР – 15.03 03</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		3

1 Постановка задачи

Снег и ветер – главные враги конструкции теплицы. Они нагружают сооружение, расшатывая крепежные элементы. У ветра случаются порывы, завихрения, циклоны и антициклоны, он сильно зависит от рельефа местности и еще многих десятков параметров. Приходится наращивать жесткость конструкций до бесконечности, увеличивая заодно и расход материалов.

Теплицы есть практически на любой даче, поэтому расчеты на снеговую и ветровую нагрузку являются важным шагом, прежде чем устанавливать ее. Так как конструкции бывают различные, расчет требуется проводить всегда. Если не проверить конструкцию перед установкой можем получить результат, который изображен на рисунках 1.1 – 1.3.



Рисунок 1.1 – Последствия сильной снеговой нагрузки

					<i>БР – 15.03 03</i>	<i>Лист</i>
						4
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		



Рисунок 1.2 – Последствия сильной снеговой нагрузки



Рисунок 1.3 – Последствия сильной ветровой нагрузки

Таким образом, для реализации поставленной цели необходимо выделить следующие задачи:

- Провести обзор существующих конструкций;
- Определить действующие нагрузки по существующим стандартам;
- Провести расчет на прочность несущих элементов конструкции;
- Исследовать напряженно-деформированное состояние теплицы;
- На основании прочностных расчетов разработать 3D модели теплиц.

2 Обзорная часть

2.1 Классификация теплиц

Все существующие теплицы можно классифицировать по следующим признакам:

- по назначению (рассадные, овощные, рассадно-овощные, цветочные);
- по технологии выращивания (грунтовые, гидропонные);
- по продолжительности эксплуатации (зимние, весенние);
- по способу обогрева (солнечный, биологический, технический);
- по объемно-планировочным решениям (ангарные однопролетные и блочные многопролетные, объединенные в блок — самостоятельный, технологически замкнутый комплекс зданий и сооружений, необходимых для выращивания продукции);
 - конструктивным особенностям (каркасные, бескаркасные);
 - по использованным строительным материалам (деревянные, пластмассовые, из облегченных оцинкованных профилей, совмещенные дерево-металлические; из цветных металлов);
 - по виду светопрозрачного ограждения (стеклянные, пленочные, пластиковые).

В идеале, теплица для дачи должна быть надежной, качественной, максимально долговечной и приспособленной к погодным условиям. А еще желательно, чтобы она была практичной, удобной в использовании и, естественно, недорогой.

					<i>БР – 15.03 03</i>	<i>Лист</i>
						6
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

2.2 Размещение теплицы

Дачная теплица должна использовать энергию солнца с максимальной продуктивностью, а таких мест на участке может быть отнюдь не много, да и их размер тоже бывает различным.

Теплицы для дачи устанавливают в месте, максимально защищенном от ветра и сквозняков. Ведь на температурный режим внутри теплицы непосредственно влияет внешний обдув, из-за которого воздух может то резко нагреваться, то наоборот – чрезмерно охлаждаться. Располагать теплицу необходимо таким образом, чтобы на протяжении всего дня она максимально освещалась солнцем: в длину желательно установить ее с севера на юг.

Каждый, решившись на покупку теплицы, надеется максимально уменьшить затраты на ее приобретение, при этом польза тоже должна быть максимальной.

2.3 Устройство теплицы

Основными конструктивными элементами являются: фундамент, продольные и торцовые стены, каркас и перекрытие (кровля).

Фундамент служит для передачи нагрузки от сооружения на грунт. У ангарных теплиц он сплошной, из железобетонных блоков, уложенных на бетонную подушку, у блочных – сплошной по периметру из фундаментных плит и столбчатый. Умеренно выступающую над фундаментом часть называют цоколем. Он уменьшает проникновение холодного воздуха в приземный слой.

Несущими элементами каркаса являются опорные стойки. Их выполняют из металла, дерева, бетона. На стойки монтируют ферму. Ее наклонный элемент называют ригелем, горизонтальный – затяжкой. В блочных теплицах звенья конструктивно соединены лотками, которые опираются на стойки. Расстояние

					<i>БР – 15.03 03</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

между стойками, фермами, арками называют шагом, а между боковыми стенами - пролетом.



Рисунок 2.1 – Теплица с металлическим каркасом

Ангарные теплицы относят к однопролетным, блочные - к многопролетным. В ангарных теплицах нет опор внутри теплицы. Блочные теплицы представляют собой объединение произвольного числа арочных теплиц. При этом стенки между соседними теплицами: заменяют стойками.

Место сопряжения двух перекрытий вверху называют коньковым прогоном (коньком). Прогонны обеспечивают продольную жесткость каркаса.

Для поступления наружного воздуха в теплицу и выхода тепличного в атмосферу на перекрытии устраивают форточки (фрамуги). Располагают их на коньке, а при необходимости - и вдоль продольных стен.

В бескаркасных воздухоопорных теплицах их форма поддерживается за счет давления воздуха, который непрерывно нагнетается внутрь помещения. Бескаркасные панельные конструкции теплиц собирают из плоских прозрачных рам, которые жестко сопрягаются друг с другом.



Рисунок 2.2 – Теплица с деревянным каркасом

Все теплицы больших размеров оборудуются современными механизированными и автоматизированными системами водоснабжения, управления вентиляцией, тепловым и питательным режимами.



Рисунок 2.3 – Теплица с каркасом из пластиковых труб

По форме теплицы могут иметь одно – или двускатную крышу и вертикальные стенки, быть арочными, арочными с вертикальными стенками и даже иметь форму пирамиды – теплицы-пирамиды. Пожалуй, самым распространенным видом являются прямоугольные теплицы – традиционные, которые чаще всего имеют двускатную крышу.



Рисунок 2.4 – Прямоугольная теплица с двускатной крышей

Одна из самых популярных конструкций – теплица с двускатной крышей. Именно в такой теплице легко обеспечить растениям оптимальное освещение. Двускатная крыша – существенное преимущество, т.к. снег не задерживается на наклонных поверхностях и сползает вниз. Благодаря этому не создается повышенной нагрузки на верхние части конструкции. Такой вид был популярен в течение многих лет, пока их постепенно не начали вытеснять более экономичные арочные теплицы. К достоинствам стоит отнести большой внутренний объем и удобство ухода за растениями, что немаловажно. Плюсы теплицы не всегда компенсируют минусы – высокую стоимость, сложность строительства и существенные тепловые потери, которые происходят через

северную стену. Ее рекомендуют дополнительно утеплять панелями, но это тоже ведет к удорожанию обустройства.



Рисунок 2.5 – Пристенная теплица

Пристенные теплицы – их пристраивают к стенам построек (домов, веранды и так далее), как правило, у них односкатная крыша. Они заслуженно считаются одними из самых экономичных, ведь благодаря такой конструкции удастся существенно сэкономить как на строительных материалах, так и на размещении, что немаловажно, особенно если площадь участка ограничена. Обычно такие теплицы делают отапливаемыми и используют в зимнее время года. Скат ее крыши желательно направить на южную сторону.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03 03

Лист

11



Рисунок 2.6 – Теплица с наклонными стенками

Теплицы со стенами, расположенными под углом, представляют собой конструкции, по виду напоминающие привычные «домики», а по функциональности и практичности – арки. В таких теплицах стены монтируются с наклоном внутрь под небольшим углом. За счет этого увеличивается основание, как у арки, что дает больше места для расположения грядок. Высота конструкции может быть меньше, чем у теплицы с двускатной крышей. Безусловный плюс такого проекта – возможность без особых проблем построить теплицу своими руками, ведь не приходится гнуть каркас. Для обшивки подойдет стекло, в т.ч. и бывшее в употреблении. Часто используют поликарбонат, пленку. Еще одно достоинство – «самоочищающаяся» двускатная крыша. Независимо от конструкции крыши, в ней лучше установить форточку для проветривания при повышении влажности. Минус конструкции – ограничения при установке полок вдоль стен из-за наклона.

					<i>БР – 15.03 03</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12



Рисунок 2.7 – Арочная теплица

Теплица в виде стрельчатой арки – сложная конструкция. Ее главный недостаток заключается в том, что ее чрезвычайно трудно спроектировать и собрать своими руками, в отличие от традиционного «домика». Сложности возникают и при изгибе металла для каркаса, и при его обшивке. Стекло использовать невозможно, поскольку оно не гнется, поэтому доступные материалы – пленка и поликарбонат.

Стоит она достаточно недорого, а благодаря тому, что в ее конструкции напрочь отсутствуют острые углы, укрывного материала вам потребуется в разы меньше, чем, например, на прямоугольную теплицу такого же размера. Также, именно благодаря этому, существенно продлится и срок ее службы.

К недостаткам теплиц в виде стрельчатой арки стоит отнести потенциальную опасность появления трещин в крыше во время сильных снегопадов. Также есть ограничения по планировке внутреннего пространства. В арочной теплице сложно разместить полки и стеллажи. При уходе за растениями владельцу не всегда бывает удобно.

					<i>БР – 15.03 03</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13



Рисунок 2.8 – Теплица – пирамида

Сегодня увидеть на садовых участках теплицу-пирамиду можно достаточно редко, и связано это с тем, что она является новшеством в мире теплиц, устанавливают которое, в основном, садоводы-экспериментаторы. Как достоинства, так и недостатки теплицы-пирамиды пока не известны. Единственное, что можно заявить с уверенностью: теплица-пирамида отличается эффектной формой и сложностью исполнения, если есть желание возвести такое сооружение на своем садовом участке, то почему бы и нет.

Конструкция с мансардной крышей – это разновидность теплицы с вертикальными стенами, однако вместо двускатной крыши устанавливают мансардную. Она отлично справляется с нагрузками, на ней не задерживается снег. Мансардная крыша дает большее пространство над головой по сравнению с арочной. Других особенностей нет, в остальном у таких теплиц те же достоинства и недостатки, что и у традиционных конструкций с двускатными крышами. На стенах можно расположить полки и стеллажи для многоярусного выращивания растений. Принимая решение об устройстве крыши, следует хорошо подумать, какая конструкция будет оптимальной. Мансардная крыша выигрышно смотрится, но в большинстве случаев в ней нет необходимости.

					<i>БР – 15.03 03</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

Зато проектирование требует дополнительных расчетов, увеличения количества материалов. Владелец должен быть уверен, что эти затраты окупятся.



Рисунок 2.9 – Теплица с мансардной крышей



Рисунок 2.10 – Многоугольная теплица

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03 03

Лист

15

Многоугольная теплица (чаще всего восьмигранная) тоже встречается достаточно редко. Сооружают ее обычно из дерева или металла в сочетании со стеклом. Такая теплица достаточно практична, ведь каждая из ее граней в различное время дня обогревается лучами солнца.

2.4 Плюсы и минусы различных видов теплиц

Какую бы конструкцию ни имела теплица для дачи, у нее есть как свои плюсы, так и свои минусы. Так, например, покрыть арочную теплицу можно всего за час, но вот ухаживать за растениями, растущими в ней, будет сложнее: конечно, доступ к растениям, которые растут возле прохода, будет прекрасный, чего не скажешь о растениях, посаженных в крайнем ряду – чтобы добраться до них вам придется становиться на коленки.

В случае с односкатной крышей работать в теплице вы сможете достаточно комфортно, а вот чтобы покрыть подобную крышу придется приложить немало усилий – делать это необходимо только в сухую и обязательно безветренную погоду, иначе на ветру пленка будет трепетать, а немного позже попросту провиснет. Конечно, если вместо пленки вы будете использовать стекло или пластик, такой проблемы не возникнет.

Имеет свои недостатки и многоугольная теплица: кроме того, что она является одной из наиболее дорогостоящих, поддерживать в ней стабильную температуру достаточно сложно. Но зато, благодаря своей оригинальной форме, она станет достойным украшением любого садового участка.

					<i>БР – 15.03 03</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16

2.5 Оптимальные размеры теплицы

Оптимальными размерами дачной теплицы считаются: длина 6 метров, ширина 3 метра и высота 2,1 метра. Именно в теплице с такими размерами легче всего ухаживать за растениями. Естественно, эти параметры не являются обязательными, их можно менять на свое усмотрение.

Оптимальный размер дверного проема теплицы примерно около 1 метра, чтобы в такие двери без проблем можно было проехать с садовой тележкой.

2.6 Теплицы с покрытием из поликарбоната

В недалеком прошлом об этом материале для теплиц не знали. Пользовались в основном пленочным покрытием. Конечно, такой вариант считался самым экономичным, несмотря на некоторые неутешительные обстоятельства – низкую светопрозрачность, недолговечность и небезопасность. Постройка и укрытие пленочной теплицы – дело трудоемкое, а само сооружение часто разрушается непосредственно под сильным ветром, так как пленка обладает парусностью и не выдерживает нагрузок. Даже если она не порвется, то под влиянием ультрафиолетовых лучей солнца менее чем за три года она неизбежно придет в негодность, попросту разрушившись. Необходимость снимать ее на зиму и устанавливать весной на прежнее место, да и просто неприглядный вид этого материала говорят о том, что сегодня пленка «устарела» и не имеет дальнейших перспектив. Стеклоянные теплицы – более долговечны, но, тем не менее, необходимость почти ежегодной замены разбитых стекол удручает владельцев и этих теплиц. Кроме того, теплоизоляция одинарного остекления невелика, а устройство двойного

					<i>БР – 15.03 03</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

остекления вызывает проблемы, и, прямо скажем, для простой теплицы – слишком дорогое удовольствие.

Другое дело - материал под названием сотовый поликарбонат.

Сотовый (или как его часто называют «ячеистый») поликарбонат радикально отличается от всех прочих прозрачных материалов. Полые панели толщиной 4, 6 и 8 мм состоят из двух слоев поликарбоната, соединенных продольными ребрами жесткости, получаемые из гранул поликарбоната методом экструзии, образующими воздушные прослойки. Материалы большей толщины (10, 16, 20, 25, 32, 35, 40 мм), как правило, имеют более сложную структуру, включающую 3 и более слоев и усиленную скрещенными ребрами жесткости. Панели обладают исключительно высокой ударопрочностью. Наличие воздушных прослоек делает сотовый поликарбонат очень легким материалом и придает ему высокие показатели тепло- и звукоизоляции. Панели благоприятно рассеивают свет, задерживая при этом вредный спектр ультрафиолетовых лучей и пропуская, тем не менее, 80% видимого света и весь спектр полезных для растений лучей солнца.

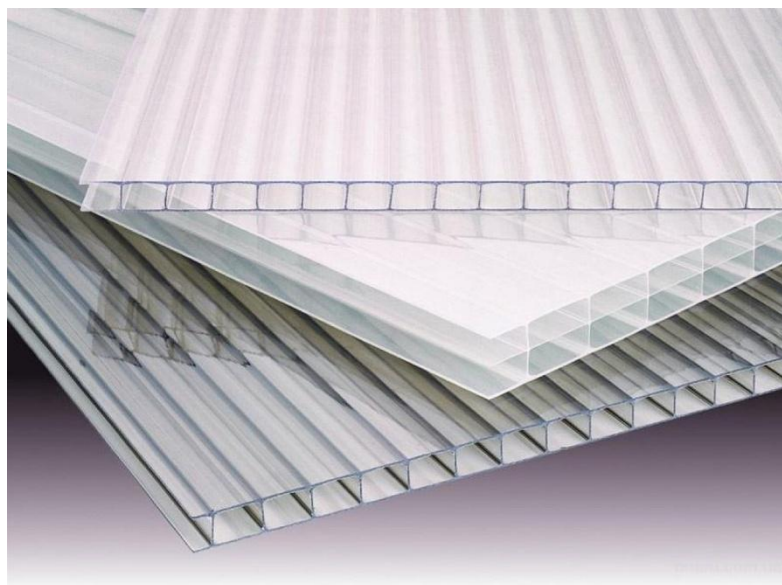


Рисунок 2.11 – Сотовый поликарбонат

Этот материал очень конструктивен – сочетание высокой прочности панелей, способных выдерживать значительные снеговые и ветровые нагрузки и теплоизоляционных свойств, не уступающих стеклопакету с аргоновым наполнением, делает этот пластик наиболее популярным при необходимости прозрачного перекрытия отапливаемых зданий. Сотовый поликарбонат невозможно разбить и это выгодно отличает этот материал от других видов прозрачных материалов.

При всех достоинствах поликарбонат все же имеет некоторые незначительные минусы. К недостаткам сотового поликарбоната можно отнести повреждения от абразивных веществ, минеральных солей, аммиака и растворителей. Если эти соединения попадут на покрытие теплицы, поврежденные панели придется заменить. А также, поликарбонат можно легко повредить острыми предметами.

Поликарбонат различается по своему качеству (это сильно влияет на его стоимость). Чтобы сэкономить на производстве поликарбоната используют вторичное сырье. Чем дешевле поликарбонат, тем больше в нем вторсырья. Поэтому если вы решили сэкономить, не удивляйтесь, если в жаркую погоду, теплица будет издавать неприятный запах.

Производители экономят и на том, что делают поликарбонатные листы немного меньшей плотности, чем их дорогие аналоги. Такие листы прослужат недолго.

					<i>БР – 15.03 03</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		19

2.7 Основные характеристики сотового поликарбоната

- Легкий вес – от 0,8 до 3.0 кг/кв. м;
- Высокая степень прозрачности – до 86% (пропускает полный спектр солнечного излучения необходимый для развития растений);
- Благоприятное светорассеивание (при использовании в теплицах, растения не получают солнечные ожоги и равномерно освещаются);
- Отличные теплоизоляционные свойства (панели толщиной 6мм сопоставимы со стеклопакетом);
- Возможность сгибания в холодном состоянии (позволяет монтировать панели в зимнее время);
- Эстетическая привлекательность (имеются разные цвета – голубой, белый, коричневый, прозрачный);
- Высокая ударопрочность (в 190 раз прочнее стекла);
- Высокая несущая способность (при проектировании строительных конструкций следует учитывать, что максимальная прочность достигается при изгибе панелей поперек ребер жесткости);
- Пожаробезопасность (при очень высоких температурах материал плавится, но не допускает распространение огня и не выделяет ядовитых веществ);
- Стойкость к воздействию химикатов;
- Морозостойкость до -60 С°;
- Максимальная температура применения до +120С°;
- Защита от жесткого ультрафиолетового излучения (панели сотового поликарбоната необходимо устанавливать слоем, защищенным от УФ-лучей наружу);
- Долговечность (гарантия до 10лет, срок службы теоретически равен 50 годам).

					<i>БР – 15.03 03</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

Таблица 2.1 – Технические характеристики сотового поликарбоната

Характеристики					
Масса 1м ² , грамм.	800	1300	1500	1700	2700
Расстояние между ячейками, мм.	5,7	5,7	11	11	20
Светопропускание для прозрачного, %.	80	86	81	84	73
Светопропускание для матового, %.	32/42	32/42	32/42	32/42	32/42
Коэффициент теплопередачи, Вт/м ² ·°С	3,9	3,6	3,2	2,8	2,3
Водопоглощение за 24 часа, %	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Температурный рабочий диапазон, °С.	от -60 до +120	от -60 до +120	от -60 до +120	от -60 до +120	от -60 до +120
Теплостойкость, °С	150	150	150	150	150

Таблица 2.2 – Свойства сотового поликарбоната

Свойства	Ед.изм.	Поликарбонат
Плотность	г/см ³	1.2
Модуль упругости при изгибе	Мпа	2250
Твердость по Роквеллу		95
Максимальная температура эксплуатации	°С	120
Коэффициент линейного теплового расширения	°С	(6,5-7,0)·10 ⁻⁵
Температура размягчения по Вика	°С	150
Температура устойчивости под нагрузкой (0,46 Мпа)	°С	136-144
Температура устойчивости под нагрузкой (1,8 Мпа)	°С	124-131

Таблица 2.3 – Теплоизоляционные свойства

Толщина, мм/кол-во стенок	Удельный вес, кг/м ²	Теплопроводность, Вт/м ² /°С		
		Поликарбонат	Стекло	Стеклопакеты
4Н/2	0,8	3,9	5,8	3,0
6Н/2	1,3	3,7	5,8	3,0
8Н/2	1,5	3,4	5,7	3,0
10Н/2	1,7	3,2	5,5	3,0
16Н/3, 16Х/3	2,7	2,4	-	3,0
16Н/6	2,7	2,1	-	3,0
20Н/6	3,7	1,8	-	3,0

3 Расчет трехшарнирной арки

Трехшарнирная арка представляет собой статически определимую систему, состоящую из двух полуарок, соединенных между собой и с опорами шарнирами.

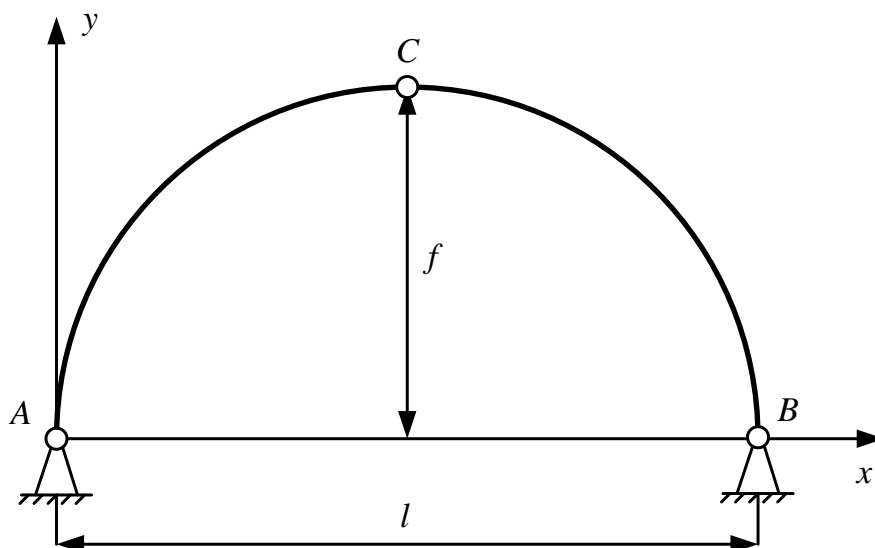


Рисунок 3.1 – Геометрические параметры арки

Здесь l – пролет арки, f – стрела подъема.

Уравнение оси арки, угол наклона φ касательной к оси арки и тригонометрические функции $\sin \varphi$, $\cos \varphi$ можно вычислить по следующим формулам:

ось арки – квадратная парабола

$$y_k = \frac{4f}{l^2}(l-x)x;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{dy}{dx} = \frac{4f}{l^2}(l-2x);$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}};$$

$$\sin \varphi = \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

Вертикальные реакции R_A, R_B определяются как в простой двухопорной балке из уравнений моментов сил относительно правой и левой опоры.

Горизонтальные реакции определяются из уравнений

$$\sum M_C^{праг} = 0 \text{ и } \sum M_C^{лев} = 0.$$

Для определения усилий M, Q, N в поперечных сечениях арок или рам при действии на них вертикальной нагрузки используются следующие формулы.

Изгибающий момент в некотором сечении K

$$M = M_k^0 - H \cdot y_k,$$

где M_k^0 – изгибающий момент как в простой балке длиной x .

Поперечная сила в некотором сечении K

$$Q = Q_k^0 \cdot \cos \varphi_k - H \cdot \sin \varphi,$$

где Q_k^0 – поперечная сила как в простой балке длиной x_k .

Продольная сила в сечении K

$$N = -(R - q \cdot x_k) \sin \varphi - H_A \cdot \cos \varphi.$$

					<i>БР – 15.03 03</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

3.1 Определение снеговой нагрузки

Согласно СНиП 2.01.07-85 полное нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия следует определять по формуле

$$s = s_0 \cdot \mu,$$

где s_0 – нормативное значение веса снегового покрова на m^2 горизонтальной поверхности земли;

μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие.

Нормативное значение веса снегового покрова горизонтальной поверхности земли следует принимать в зависимости от снегового района Российской Федерации. Город Красноярск относится к III району.

Значение s_0 принимаем равным

$$s_0 = 180 \text{ кгс/см}^2 = 1,8 \text{ кПа.}$$

Коэффициент μ принимаем равным

$$\mu = 0,85.$$

Подставляя найденные коэффициенты в формулу, получим

					<i>БР – 15.03 03</i>	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$s = 1,8 \cdot 0,85 = 1,53 \text{ кПа.}$$

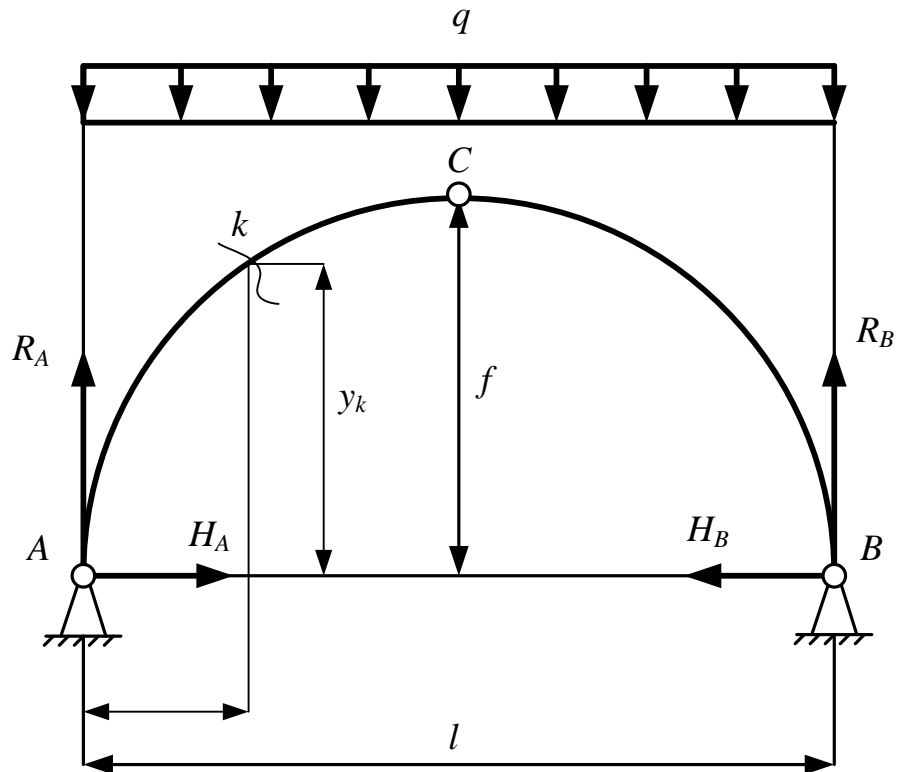


Рисунок 3.2 – Схема арки при воздействии снеговой нагрузки

Определим вертикальные опорные реакции в арке как в простой двухопорной балке (рисунок 3.2), составив уравнения статики

$$\sum M_B = 0; \quad -R_A \cdot l + \frac{ql^2}{2}.$$

Из этого уравнения определим реакцию в опоре A:

					<i>БР – 15.03 03</i>	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$R_A = \frac{ql}{2}.$$

$$\sum M_A = 0; R_B \cdot l - \frac{ql^2}{2} = 0.$$

Это уравнение позволяет определить реакцию опоры B :

$$R_B = \frac{ql}{2}.$$

Проверка. $\sum y = 0; R_A - ql + R_B = 0$ дает следующий результат, равный нулю, значит значения реакций опор определены верно.

Рассчитаем горизонтальные реакции из уравнения моментов сил справа или слева от шарнира C .

$$\sum M_C^{лев} = 0; -R_A \cdot \frac{l}{2} + H_A \cdot f + \frac{ql^2}{8} = 0; H_A = \frac{R_A \cdot \frac{l}{2} - q \cdot \frac{l^2}{8}}{f},$$

$$\sum M_C^{прав} = 0; R_B \cdot \frac{l}{2} - H_B \cdot f - \frac{ql^2}{8} = 0; H_B = \frac{R_B \cdot \frac{l}{2} - q \cdot \frac{l^2}{8}}{f}.$$

Запишем выражение M, Q, N в произвольной точке.

					$BP - 15.03 03$	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Величина изгибающего момента

$$M = R_A \cdot x - \frac{qx^2}{2} - H_A \cdot y.$$

Величина поперечной силы

$$Q = (R_A - q \cdot x) \cos \varphi - H_A \cdot \sin \varphi.$$

Величина продольной силы

$$N = -(R_A - q \cdot x) \sin \varphi - H_A \cdot \cos \varphi.$$

3.2 Определение ветровой нагрузки

Согласно СНиП 2.01.07-85 значение средней составляющей ветровой нагрузки w_m определяется по формуле

$$w_m = w_0 \cdot k \cdot c,$$

где w_0 – нормативное значение ветрового давления;

k – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте;

					<i>БР – 15.03 03</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

c – аэродинамический коэффициент.

Нормативное значение ветрового давления w_0 следует принимать в зависимости от ветрового района Российской Федерации. Город Красноярск относится к III району.

Значение w_0 принимаем равное $w_0 = 0,38$ кПа.

Коэффициент k , учитывающий изменение ветрового давления по высоте z , определяется в зависимости от типа местности. При заданной высоте теплицы 2,1 м и типе местности В (городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой не более 5 м) коэффициент k принимаем равный $k=0,5$.

Аэродинамический коэффициент равен $c=0,8$.

Подставляя найденные коэффициенты в формулу, получим

$$w_m = 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 1,49 \text{ кПа.}$$

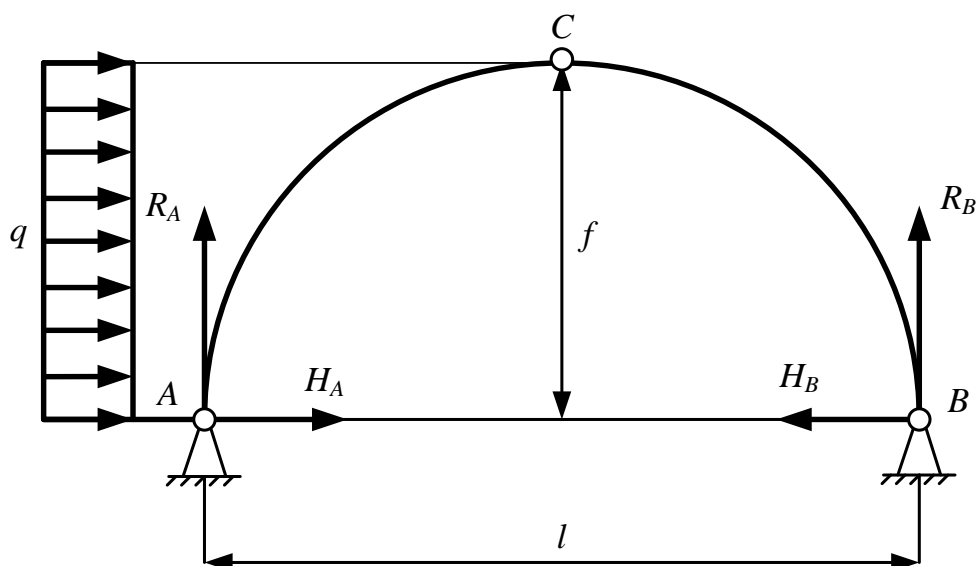


Рисунок 3.3 – Схема арки при воздействии ветровой нагрузки

Определим вертикальные опорные реакции (рисунок 3.3).

$$\sum M_B = 0; -R_A \cdot l - \frac{q \cdot f^2}{2} = 0.$$

Из этого уравнения определим реакцию в опоре *A*:

$$R_A = -\frac{q \cdot f^2}{2 \cdot l}.$$

$$\sum M_A = 0; R_B \cdot l - \frac{q \cdot f^2}{2} = 0.$$

Это уравнение позволяет определить реакцию опоры *B*:

$$R_B = \frac{q \cdot f^2}{2 \cdot l}.$$

Проверка. $\sum y = 0; R_A + R_B = 0$ дает следующий результат, равный нулю, значит, значения реакций опор определены верно.

Рассчитаем горизонтальные реакции из уравнения моментов сил справа или слева от шарнира *C*.

					<i>БР – 15.03 03</i>	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\sum M_C^{лев} = 0; -R_A \cdot \frac{l}{2} + H_A \cdot f + \frac{q \cdot f^2}{2} = 0; H_A = \frac{R_A \cdot l}{2} - \frac{q \cdot f}{2},$$

$$\sum M_C^{прав} = 0; R_B \cdot \frac{l}{2} - H_B \cdot f = 0; H_B = \frac{R_B \cdot l}{2 \cdot f}.$$

Запишем выражения изгибающего момента M , поперечной силы Q и продольной силы N в сечении k .

Величина изгибающего момента

$$M_k = V_A \cdot x_k - H_A \cdot y_k - q \cdot \frac{y_k^2}{2}.$$

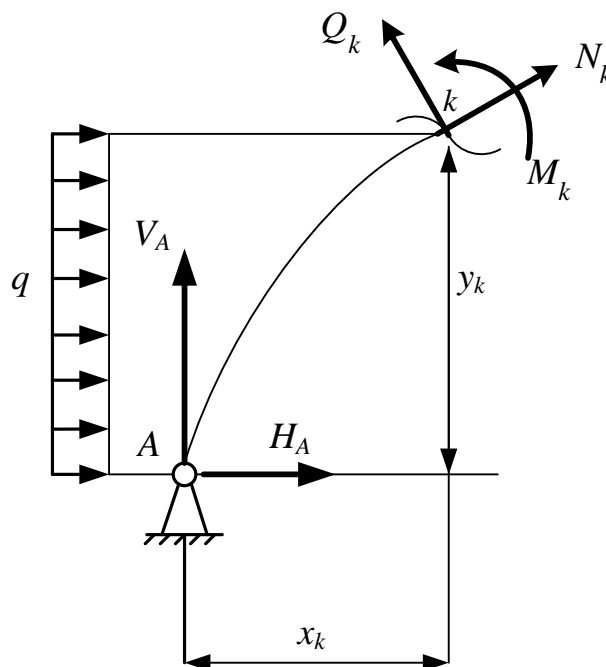


Рисунок 3.4 – К определению внутренних усилий в произвольной точке

Величина поперечной силы

$$Q_k = V_A \cdot \cos \alpha - (H_A + q \cdot y_k) \cdot \sin \alpha .$$

Величина продольной силы

$$N_k = -V_A \cdot \sin \alpha - (H_A + q \cdot y_k) \cdot \cos \alpha .$$

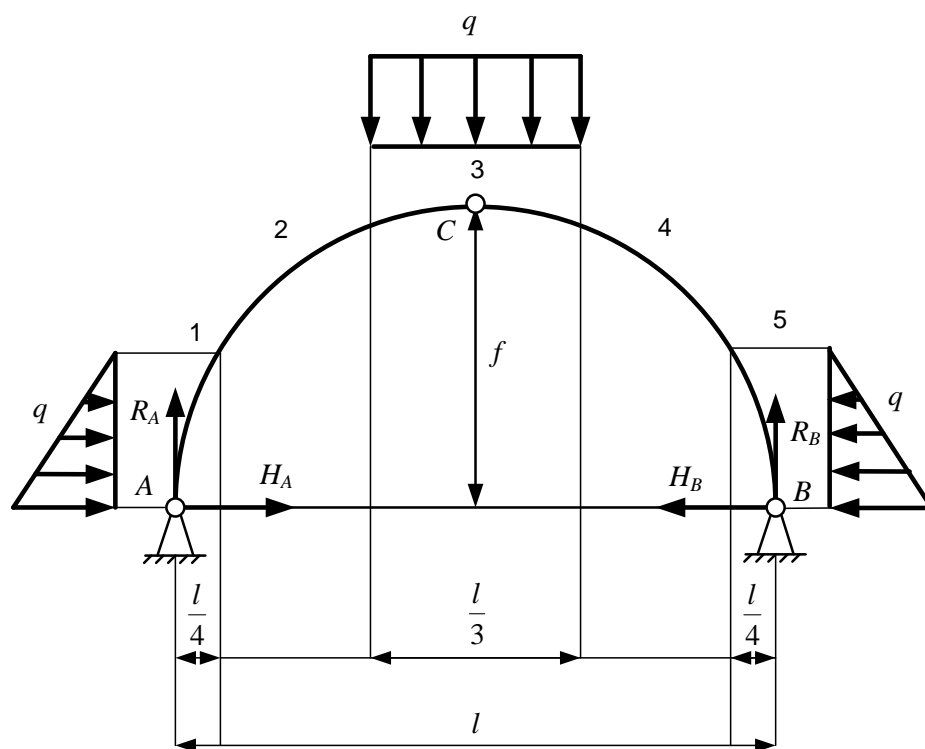


Рисунок 3.5 – Схема арки при воздействии снеговой нагрузки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Определим вертикальные опорные реакции (рисунок 3.5).

$$\sum M_B = 0; -R_A \cdot l - q \cdot \frac{1}{2} \cdot l \cdot \frac{1}{4} \cdot l \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot l + q \cdot \frac{1}{3} \cdot l \cdot \frac{1}{2} \cdot l + q \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot l \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot l = 0.$$

Из этого уравнения определим реакцию в опоре A :

$$R_A = \frac{-q \cdot \frac{1}{2} \cdot l \cdot \frac{1}{4} \cdot l \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot l + q \cdot \frac{1}{3} \cdot l \cdot \frac{1}{2} \cdot l + q \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot l \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot l}{l},$$

$$\sum M_A = 0; R_B \cdot l + q \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot l \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot l - q \cdot \frac{1}{3} \cdot l \cdot \frac{1}{2} \cdot l - q \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot l \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot l = 0.$$

Это уравнение позволяет определить реакцию опоры B :

$$R_B = \frac{-q \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot l \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot l + q \cdot \frac{1}{3} \cdot l \cdot \frac{1}{2} \cdot l + q \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot l \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot l}{l} = 0.$$

Проверка. $\sum y = 0; R_A + R_B - q \cdot l \cdot \frac{1}{3} = 0$ дает следующий результат, равный нулю, значит значения реакций опор определены верно.

Рассчитаем горизонтальные реакции из уравнения моментов сил

					$BP - 15.03 03$	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

$$\sum M_C = 0; -H_A \cdot f + R_A \cdot l \cdot \frac{1}{2} - q \cdot \frac{1}{6} \cdot l \cdot \frac{1}{12} \cdot l - q \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot l \cdot (f - \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot l) = 0.$$

Это уравнение позволяет определить горизонтальную реакцию H_A :

$$H_A = \frac{R_A \cdot l \cdot \frac{1}{2} - q \cdot \frac{1}{6} \cdot l \cdot \frac{1}{12} \cdot l - q \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot l \cdot (f - \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot l)}{f}.$$

Запишем выражения внутренних силовых факторов (изгибающих моментов, поперечных сил, продольных сил) на участках.

На первом участке $0 \leq x \leq \frac{l}{4}$

$$Q = R_A \cdot x - (H_A \cdot y(x) + \frac{1}{2} \cdot (q + q \cdot \frac{\frac{l}{4} - y(x)}{\frac{l}{4}}) \cdot y(x) \cdot y(x) \cdot (1 - \frac{\frac{l}{4} - y(x)}{\frac{l}{4}})),$$

$$2 \cdot (q \cdot \frac{\frac{l}{4} - y(x)}{\frac{l}{4}} + q)$$

$$3 \cdot (q \cdot \frac{\frac{l}{4} - y(x)}{\frac{l}{4}} + q)$$

$$N = -R_A \cdot \sin(x) - (H_A + \frac{1}{2} \cdot (q + q \cdot \frac{\frac{l}{4} - y(x)}{\frac{l}{4}}) \cdot y(x)) \cdot \cos(x),$$

$$M = R_A \cdot x - (H_A \cdot y(x) + \frac{1}{2} \cdot (q + q \cdot \frac{\frac{l}{4} - y(x)}{\frac{l}{4}})) \cdot y(x) \cdot y(x) \cdot (1 - \frac{2 \cdot (q \cdot \frac{\frac{l}{4} - y(x)}{\frac{l}{4}}) + q}{3 \cdot (q \cdot \frac{\frac{l}{4} - y(x)}{\frac{l}{4}}) + q}}).$$

На втором участке $\frac{l}{4} \leq x \leq \frac{l}{3}$

$$Q = R_A \cdot \cos(x) - (H_A + \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{l}{4}) \cdot \sin(x),$$

$$N = -R_A \cdot \sin(x) - (H_A + \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{l}{4}) \cdot \cos(x),$$

$$M = R_A \cdot x - (H_A \cdot y(x) + \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{l}{4} \cdot (y(x) - \frac{1}{3} \cdot \frac{l}{4})).$$

На третьем участке $\frac{l}{3} \leq x \leq 2 \cdot \frac{l}{3}$

$$Q = (R_A - q \cdot (x - \frac{l}{3})) \cdot \cos(x) - (H_A + \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{l}{4}) \cdot \sin(x),$$

$$N = -(R_A - q \cdot (x - \frac{l}{3})) \cdot \sin(x) - (H_A + \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{l}{4}) \cdot \cos(x),$$

$$M = (R_A \cdot x - q \cdot \frac{(x - \frac{l}{3})^2}{2}) - (H_A \cdot y(x) + \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{l}{4} \cdot (y(x) - \frac{1}{3} \cdot \frac{l}{4})).$$

На четвертом участке $2 \cdot \frac{l}{3} \leq x \leq 3 \cdot \frac{l}{4}$

$$Q = (R_A - q \cdot \frac{l}{3}) \cdot \cos(x) - (H_A + \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{l}{4}) \cdot \sin(x),$$

$$N = -(R_A - q \cdot \frac{l}{3}) \cdot \sin(x) - (H_A + \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{l}{4}) \cdot \cos(x),$$

$$M = R_A \cdot x - q \cdot \frac{l}{3} \cdot (x - \frac{l}{2}) - (H_A \cdot y(x) + \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{l}{4} \cdot (y(x) - \frac{1}{3} \cdot \frac{l}{4})).$$

На пятом участке $3 \cdot \frac{l}{4} \leq x \leq l$

$$Q = (R_A - q \cdot \frac{l}{3}) \cdot \cos(x) - (H_A + \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{l}{4} - \frac{1}{2} \cdot (q \cdot \frac{\frac{l}{4} - y(x)}{\frac{l}{4}}) \cdot (\frac{l}{4} - y(x))) \cdot \sin(x),$$

$$N = -(R_A - q \cdot \frac{l}{3}) \cdot \sin(x) - (H_A + \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{l}{4} - \frac{1}{2} \cdot (q \cdot \frac{\frac{l}{4} - y(x)}{\frac{l}{4}})) \cdot (\frac{l}{4} - y(x)) \cdot \cos(x),$$

$$M = R_A \cdot x - q \cdot \frac{l}{3} \cdot (x - \frac{l}{2}) - (H_A \cdot y(x) + \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{l}{4} \cdot (y(x) - \frac{1}{3} \cdot \frac{l}{4}) + \frac{1}{2} \cdot (q \cdot \frac{\frac{l}{4} - y(x)}{\frac{l}{4}}) \cdot (\frac{l}{4} - y(x)) \cdot (\frac{l}{4} - y(x)) \cdot \frac{1}{3}).$$

Расчет с помощью программного продукта Mathcad приведен в приложении А и Б.

Из расчета арки при действии ветровой нагрузки получены эпюры внутренних усилий. Из эпюры изгибающих моментов находим максимальное значение, которое равно $M_{\max} = 168 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Профильная труба с квадратным сечением $20 \times 20 \times 1,5 \text{ мм}$ сделана по ГОСТ 8639-82. Площадь сечения $A = 1,071 \text{ см}^2$, масса 1 метра трубы $0,841 \text{ кг}$, момент инерции $I_x = I_y = 0,6 \text{ см}^4$, момент сопротивления $W_x = W_y = 0,6 \text{ см}^3$.

Записываем условие прочности

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq [\sigma].$$

Допускаемое напряжение $[\sigma]$ принимаем для материала сталь Ст35, равное $[\sigma] = 400 \text{ МПа}$ [10, таблица 13].

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{168}{0,6} = 280 \text{ МПа}.$$

					<i>БР – 15.03 03</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Условие прочности выполняется.

Из расчета арки при действии снеговой нагрузки получены эпюры внутренних усилий. Из эпюры изгибающих моментов находим максимальное значение, которое равно $M_{\max} = 206 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Записываем условие прочности

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq [\sigma].$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{206}{0,6} = 343 \text{ МПа.}$$

Условие прочности выполняется.

4 Исследование напряженно-деформированного состояния конструкции

Расчет проводится в программном комплексе SolidWorks. Для этого построим упрощенную трехмерную модель арочной теплицы, зададим действующие нагрузки и условие крепления (считаем, что теплица жестко закреплена).

Проведем сравнительный анализ конструкций с разным количеством промежуточных арок.

На рисунках 4.1, 4.4, 4.7, 4.10 и 4.13 представлены трехмерные модели конструкции теплицы с приложенной нагрузкой с разным количеством пролетов.

На рисунках 4.2, 4.5, 4.8, 4.11 и 4.14 показаны распределения эквивалентного напряжения в элементах конструкции от воздействия снеговой нагрузки с разным количеством пролетов.

Распределение перемещений в элементах конструкции представлено на рисунках 4.3, 4.6, 4.9, 4.12 и 4.15.

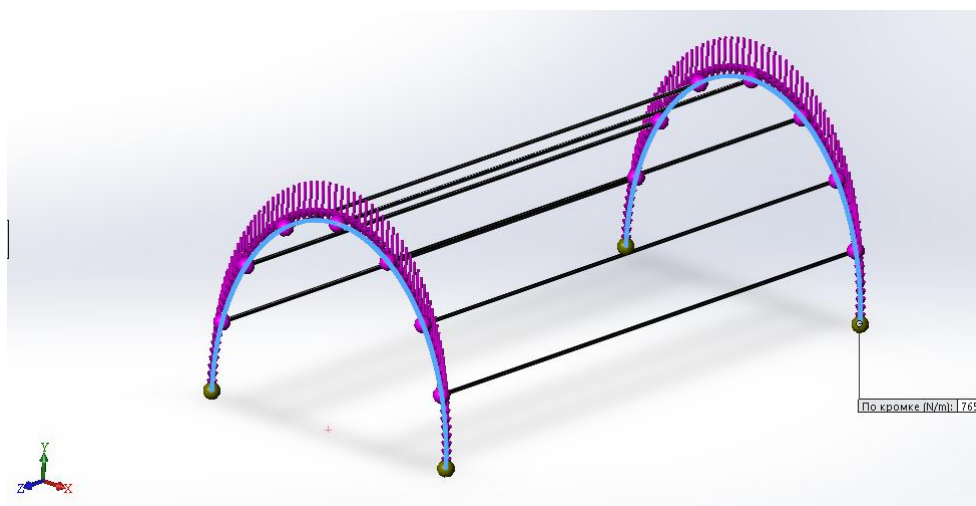


Рисунок 4.1 – Модель теплицы с одним пролетом

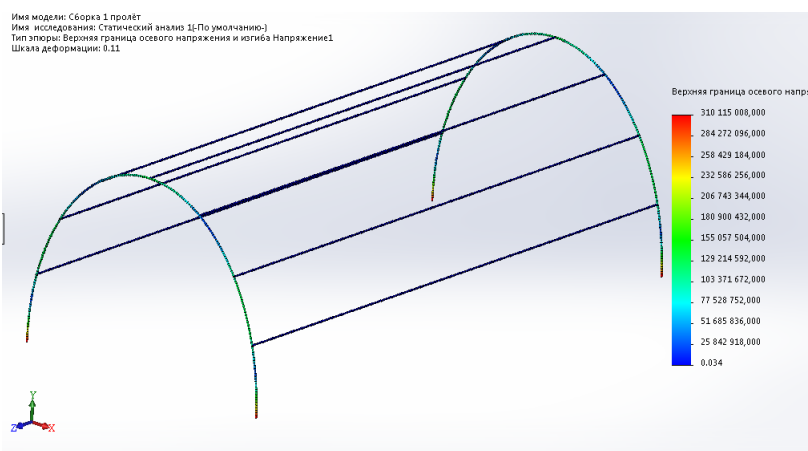


Рисунок 4.2 – Напряжения в элементах конструкции

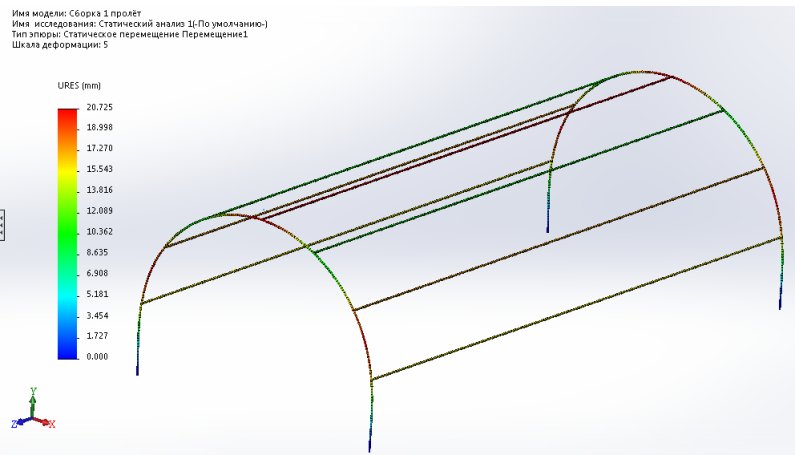


Рисунок 4.3 – Перемещения в элементах конструкции

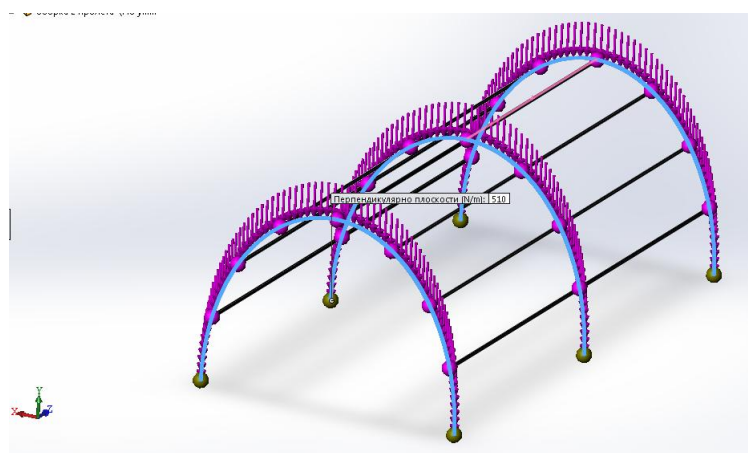


Рисунок 4.4 – Модель теплицы с двумя пролетами

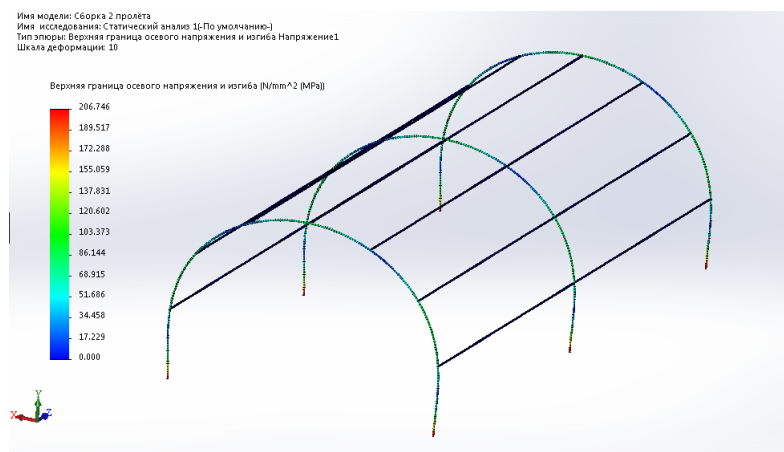


Рисунок 4.5 – Напряжения в элементах конструкции

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03 03

Лист

39

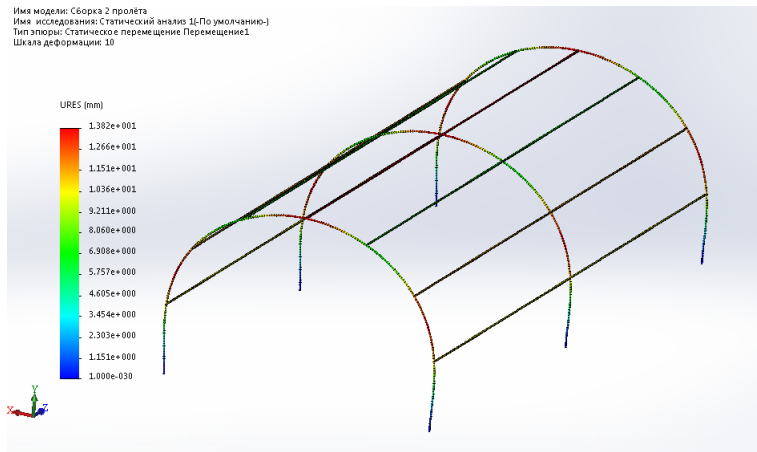


Рисунок 4.6 – Перемещения в элементах конструкции

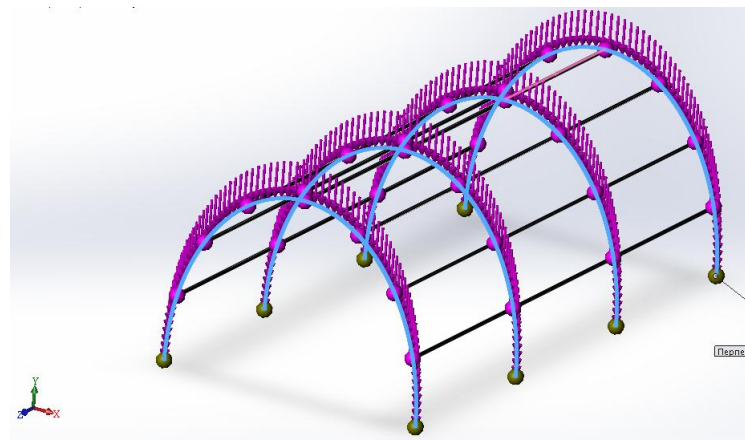


Рисунок 4.7 – Модель теплицы с тремя пролётами

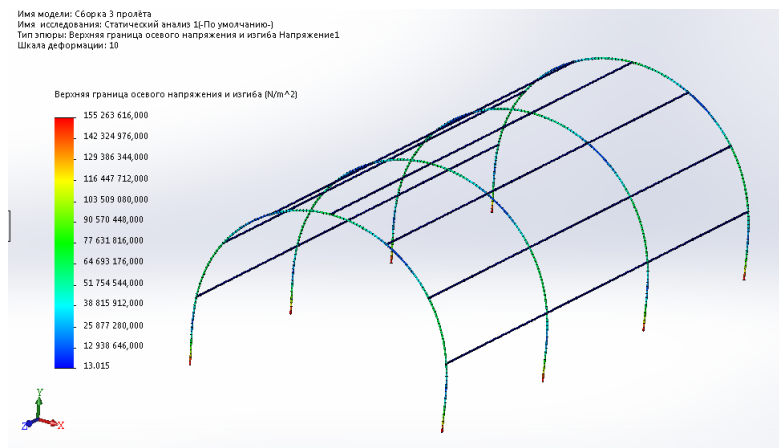


Рисунок 4.8 – Напряжения в элементах конструкции

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03 03

Лист

40

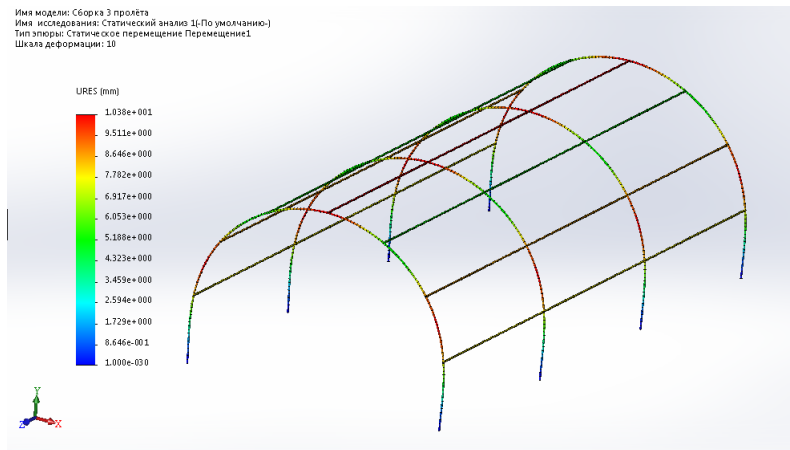


Рисунок 4.9 – Перемещения в элементах конструкции

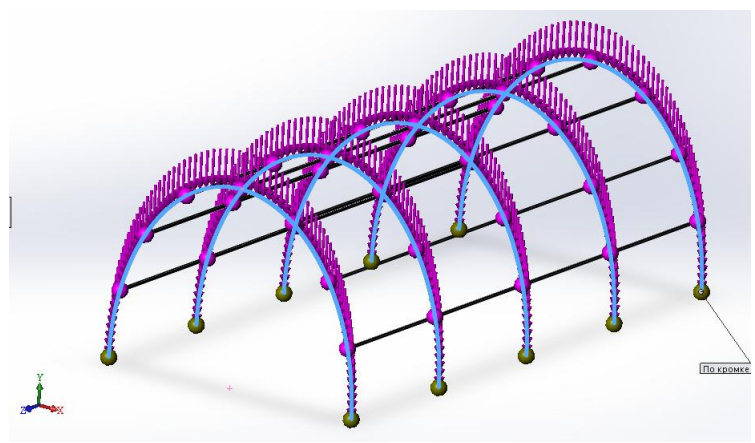


Рисунок 4.10 – Модель теплицы с четырьмя пролетами

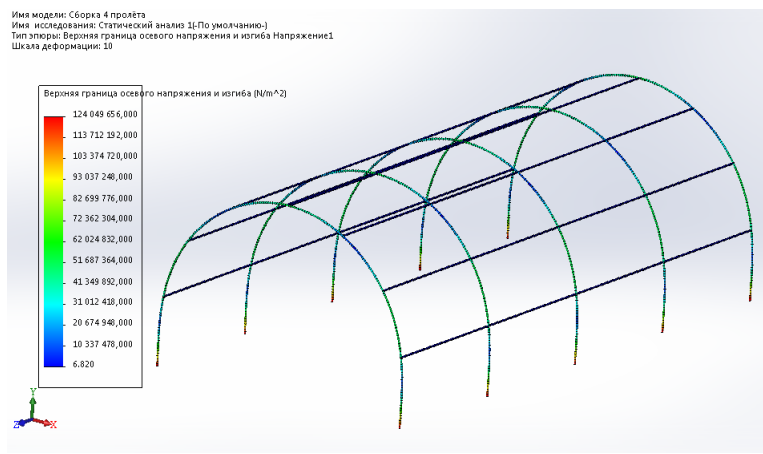


Рисунок 4.11 – Напряжения в элементах конструкции

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03 03

Имя модели: Сборка 4 пролета
 Имя исследования: Статический анализ 1(По умолчанию)
 Тип анализа: Статическое перемещение Перемещение1
 Шаги деформации: 4

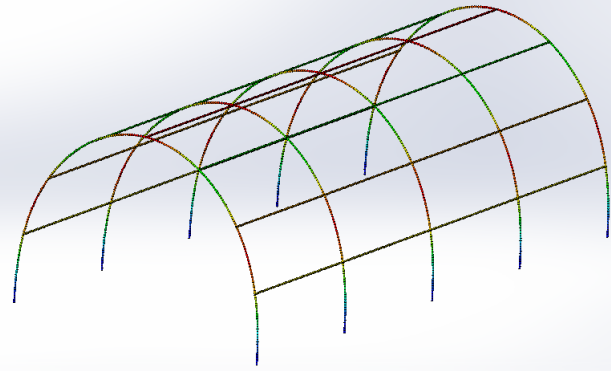
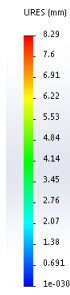


Рисунок 4.12 – Перемещения в элементах конструкции

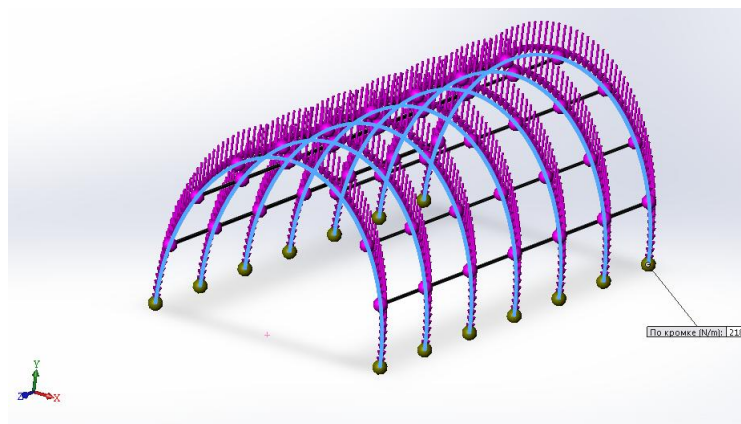


Рисунок 4.13 – Модель теплицы с шестью пролетами

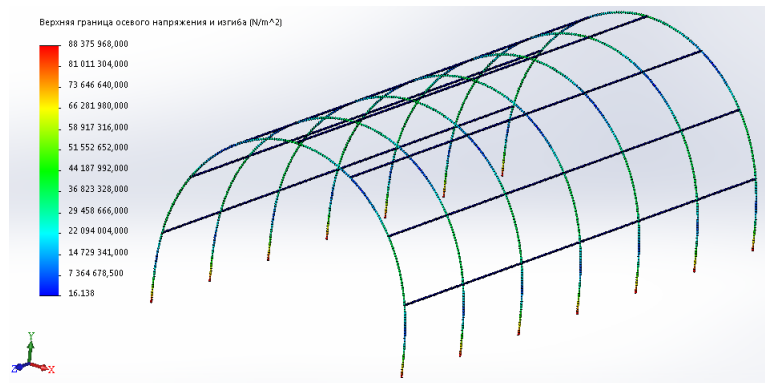


Рисунок 4.14 – Напряжения в элементах конструкции

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03 03

Лист

42

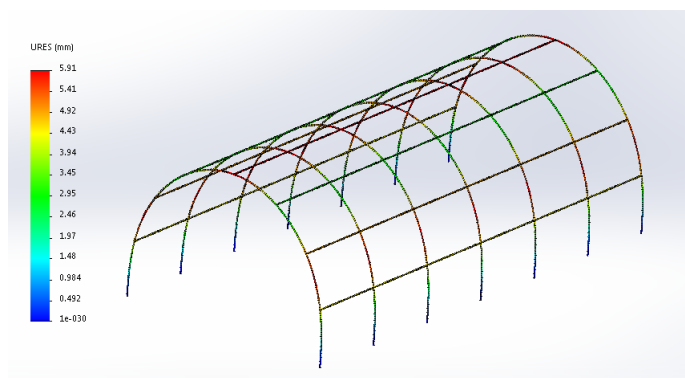


Рисунок 4.15 – Перемещения в элементах конструкции

Полученные результаты сведем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты расчета

Количество пролетов	Наибольшее напряжение, МПа	Наибольшее перемещение, мм
1	310	20,7
2	207	13,8
3	155	10,4
4	124	8,3
6	88	5,9

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03 03

Лист

43

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы сделано следующее:

- 1) Выполнен обзор существующих конструкций;
- 2) По существующим стандартам определены действующие нагрузки;
- 3) Выполнен расчет на прочность несущих элементов конструкции;
- 4) Исследовано напряженно-деформированное состояние;
- 5) Разработаны трехмерные модели при разных количествах пролетов
- 6) Выполнен расчет на ЭВМ

					<i>БР – 15.03 03</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г. С, Яковлев А. П., Матвеев В. В.; отв. ред. Писаренко Г. С. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наук, думка, 1988. – 736 с.
2. СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия».
3. СНиП 2.10.04-85 «Теплицы и парники».
4. СНиП II-23-81* «Стальные конструкции».
5. Пособие к СНиП 2.10.04-85 «Пособие по проектированию теплиц и парников».
6. ГОСТ 8639-82. Трубы стальные квадратные. Сортамент.
7. Сопротивление материалов: учеб. для вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин; ред. А. В. Александров. – М.: Высшая школа, 2008. – 560 с.: ил.
8. Уманский А.А. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий, и сооружений: под ред. Уманского А.А. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1972. – 600 с.
9. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 591 с.
10. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т. 1. – 8-е изд., перераб. и доп./ под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.

					<i>БР – 15.03 03</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		45

ПРИЛОЖЕНИЕ

					<i>БР – 15.03 03</i>	Лист
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Листинг расчета в программной среде MathCAD при действии ветровой нагрузки

$$l := 3$$

$$x := 0, 0.0005 \cdot 3$$

$$q := 213$$

$$f := 2.1$$

$$y(x) := \frac{4 \cdot f}{l^2} \cdot (1 - x)x$$

$$\text{tangens}(x) := \frac{4 \cdot f}{l^2} \cdot (1 - 2 \cdot x)$$

$$\text{cosinus}(x) := \frac{1}{\sqrt{1 + \text{tangens}(x)^2}}$$

$$\text{sinus}(x) := \text{cosinus}(x) \cdot \text{tangens}(x)$$

$$\sum M_b = 0$$

$$-V_a \cdot l - q \cdot f \cdot \frac{f}{2} = 0$$

$$V_a := \frac{-q \cdot f^2}{2l}$$

$$V_a = -156.555$$

$$\sum M_a = 0$$

$$V_b \cdot l - q \cdot f \cdot \frac{f}{2} = 0$$

$$V_b := \frac{q \cdot f^2}{2l}$$

$$\sum y = 0$$

$$V_a + V_b = 0$$

$$\sum M_{\text{clev}} = 0$$

$$-V_a \cdot \frac{l}{2} + H_a \cdot f + \frac{q \cdot f^2}{2} = 0$$

$$H_a := \frac{V_a \cdot l}{2 \cdot f} - \frac{q \cdot f}{2}$$

$$H_a = -335.475$$

					<i>БР – 15.03 03</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

$$\sum M_{cprav} = 0$$

$$V_b \cdot \frac{1}{2} - H_b \cdot f = 0$$

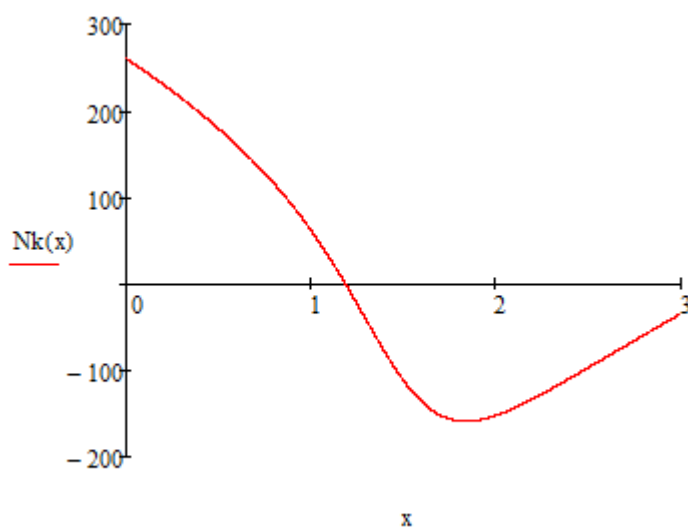
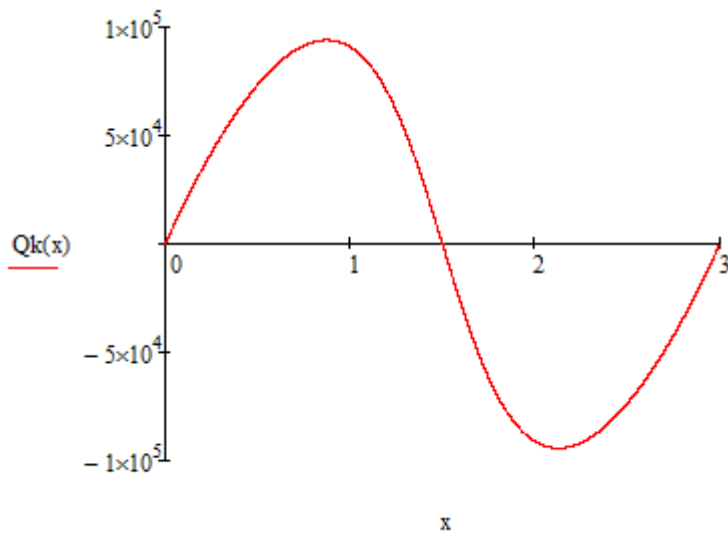
$$H_b := \frac{V_b \cdot 1}{2 \cdot f}$$

$$H_b = 111.825$$

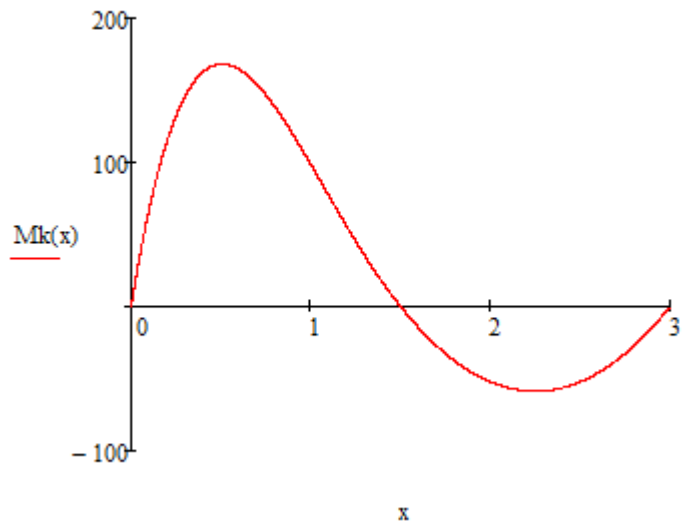
$$M_k(x) := \begin{cases} \left(V_a \cdot x - H_a \cdot y(x) - q \cdot \frac{y(x)^2}{2} \right) & \text{if } 0 \leq x \leq 1.5 \\ \left[V_a \cdot x - H_a \cdot y(x) - q \cdot f \left(\frac{f}{2} - f + y(x) \right) \right] & \text{if } 1.5 \leq x \leq 3 \end{cases}$$

$$Q_k(x) := V_a \cdot \cosinus(x) - (H_a + q \cdot y(x)) \cdot \sinus(x)$$

$$N_k(x) := -V_a \cdot \sinus(x) - (H_a + q \cdot y(x)) \cdot \cosinus(x)$$



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Листинг расчета в программной среде MathCAD при действии снеговой нагрузки

$$l := 3$$

$$qq := 1530$$

$$x := 0, 0.0005 \cdot 3$$

$$f := 2.1$$

$$y(x) := \frac{4 \cdot f}{l^2} \cdot (1 - x) \cdot x$$

$$\text{tangens}(x) := \frac{4 \cdot f}{l^2} \cdot (1 - 2x)$$

$$\text{cosinus}(x) := \frac{1}{\sqrt{1 + \text{tangens}(x)^2}}$$

$$\text{sinus}(x) := \text{cosinus}(x) \cdot \text{tangens}(x)$$

$$-Ra \cdot l - qq \cdot \frac{1}{2} \cdot y(0.75) \cdot \frac{1}{3} y(0.75) + qq \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} + qq \cdot \frac{1}{2} \cdot y(0.75) \cdot \frac{1}{3} y(0.75) = 0$$

$$Ra := \frac{\left(-qq \cdot \frac{1}{2} \cdot y(0.75) \cdot \frac{1}{3} y(0.75) + qq \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} + qq \cdot \frac{1}{2} \cdot y(0.75) \cdot \frac{1}{3} y(0.75) \right)}{1}$$

$$Rb \cdot l + qq \cdot \frac{1}{2} \cdot y(0.75) \cdot \frac{1}{3} y(0.75) - qq \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} - qq \cdot \frac{1}{2} \cdot y(0.75) \cdot \frac{1}{3} y(0.75) = 0$$

$$Rb := \frac{\left(-qq \cdot \frac{1}{2} \cdot y(0.75) \cdot \frac{1}{3} y(0.75) + qq \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} + qq \cdot \frac{1}{2} \cdot y(0.75) \cdot \frac{1}{3} y(0.75) \right)}{1}$$

$$Ra + Rb - qq \cdot \frac{1}{3} = 0$$

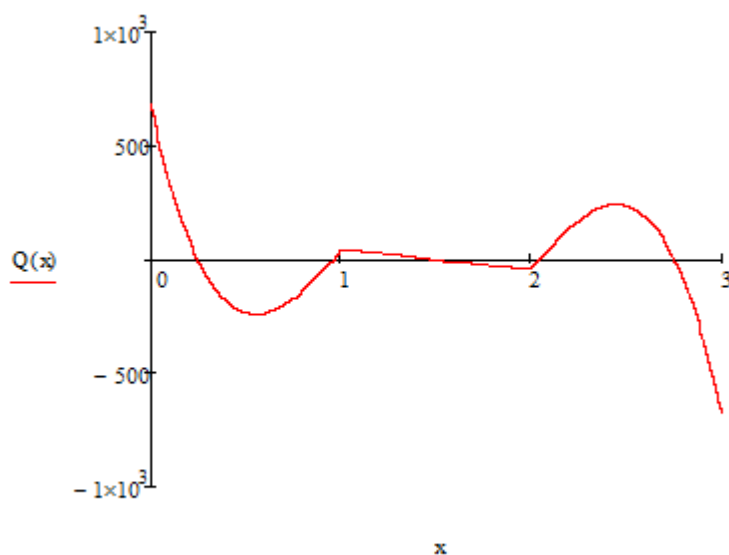
$$Ha := \frac{Ra \cdot \frac{1}{2} - qq \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{12} - \frac{1}{2} \cdot qq \cdot y(0.75) \cdot \left(f - \frac{1}{3} \cdot y(0.75) \right)}{f}$$

					<i>БР – 15.03 03</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

$$Q(x) := \begin{cases} Ra \cdot \cosinus(x) - \left[Ha + \frac{1}{2} \left(qq + qq \cdot \frac{y(0.75) - y(x)}{y(0.75)} \right) \cdot y(x) \right] \cdot \sinus(x) & \text{if } 0 \leq x \leq \frac{1}{4} \\ Ra \cdot \cosinus(x) - \left(Ha + \frac{1}{2} \cdot qq \cdot y(0.75) \right) \cdot \sinus(x) & \text{if } \frac{1}{4} \leq x \leq \frac{1}{3} \\ \left[Ra - qq \cdot \left(x - \frac{1}{3} \right) \right] \cdot \cosinus(x) - \left(Ha + \frac{1}{2} \cdot qq \cdot y(0.75) \right) \cdot \sinus(x) & \text{if } \frac{1}{3} \leq x \leq 2 \cdot \frac{1}{3} \\ \left(Ra - qq \cdot \frac{1}{3} \right) \cdot \cosinus(x) - \left(Ha + \frac{1}{2} \cdot qq \cdot y(0.75) \right) \cdot \sinus(x) & \text{if } 2 \cdot \frac{1}{3} \leq x \leq 3 \cdot \frac{1}{4} \\ \left(Ra - qq \cdot \frac{1}{3} \right) \cdot \cosinus(x) - \left[Ha + \frac{1}{2} \cdot qq \cdot y(0.75) - \frac{1}{2} \cdot \left(qq \cdot \frac{y(0.75) - y(x)}{y(0.75)} \right) \cdot (y(0.75) - y(x)) \right] \cdot \sinus(x) & \text{if } 3 \cdot \frac{1}{4} \leq x \leq 1 \end{cases}$$

$$N(x) := \begin{cases} -Ra \cdot \sinus(x) - \left[Ha + \frac{1}{2} \left(qq + qq \cdot \frac{y(0.75) - y(x)}{y(0.75)} \right) \cdot y(x) \right] \cdot \cosinus(x) & \text{if } 0 \leq x \leq \frac{1}{4} \\ -Ra \cdot \sinus(x) - \left(Ha + \frac{1}{2} \cdot qq \cdot y(0.75) \right) \cdot \cosinus(x) & \text{if } \frac{1}{4} \leq x \leq \frac{1}{3} \\ - \left[Ra - qq \cdot \left(x - \frac{1}{3} \right) \right] \cdot \sinus(x) - \left(Ha + \frac{1}{2} \cdot qq \cdot y(0.75) \right) \cdot \cosinus(x) & \text{if } \frac{1}{3} \leq x \leq 2 \cdot \frac{1}{3} \\ - \left(Ra - qq \cdot \frac{1}{3} \right) \cdot \sinus(x) - \left(Ha + \frac{1}{2} \cdot qq \cdot y(0.75) \right) \cdot \cosinus(x) & \text{if } 2 \cdot \frac{1}{3} \leq x \leq 3 \cdot \frac{1}{4} \\ - \left(Ra - qq \cdot \frac{1}{3} \right) \cdot \sinus(x) - \left[Ha + \frac{1}{2} \cdot qq \cdot y(0.75) - \frac{1}{2} \cdot \left(qq \cdot \frac{y(0.75) - y(x)}{y(0.75)} \right) \cdot (y(0.75) - y(x)) \right] \cdot \cosinus(x) & \text{if } 3 \cdot \frac{1}{4} \leq x \leq 1 \end{cases}$$

$$M(x) := \begin{cases} Ra \cdot x - \left[Ha \cdot y(x) + \frac{1}{2} \left(qq + qq \cdot \frac{y(0.75) - y(x)}{y(0.75)} \right) \cdot y(x) \cdot y(x) \cdot \left[1 - \frac{2 \cdot \left(qq \cdot \frac{y(0.75) - y(x)}{y(0.75)} \right) + qq}{3 \cdot \left(qq \cdot \frac{y(0.75) - y(x)}{y(0.75)} + qq \right)} \right] \right] & \text{if } 0 \leq x \leq \frac{1}{4} \\ Ra \cdot x - \left[Ha \cdot y(x) + \frac{1}{2} \cdot qq \cdot y(0.75) \cdot \left(y(x) - \frac{1}{3} \cdot y(0.75) \right) \right] & \text{if } \frac{1}{4} \leq x \leq \frac{1}{3} \\ \left[Ra \cdot x - qq \cdot \frac{\left(x - \frac{1}{3} \right)^2}{2} \right] - \left[Ha \cdot y(x) + \frac{1}{2} \cdot qq \cdot y(0.75) \cdot \left(y(x) - \frac{1}{3} \cdot y(0.75) \right) \right] & \text{if } \frac{1}{3} \leq x \leq 2 \cdot \frac{1}{3} \\ Ra \cdot x - qq \cdot \frac{1}{3} \cdot \left(x - \frac{1}{2} \right) - \left[Ha \cdot y(x) + \frac{1}{2} \cdot qq \cdot y(0.75) \cdot \left(y(x) - \frac{1}{3} \cdot y(0.75) \right) \right] & \text{if } 2 \cdot \frac{1}{3} \leq x \leq 3 \cdot \frac{1}{4} \\ Ra \cdot x - qq \cdot \frac{1}{3} \cdot \left(x - \frac{1}{2} \right) - \left[Ha \cdot y(x) + \frac{1}{2} \cdot qq \cdot y(0.75) \cdot \left(y(x) - \frac{1}{3} \cdot y(0.75) \right) \right] + \frac{1}{2} \cdot \left(qq \cdot \frac{y(0.75) - y(x)}{y(0.75)} \right) \cdot (y(0.75) - y(x)) \cdot (y(0.75) - y(x)) \cdot \frac{1}{3} & \text{if } 3 \cdot \frac{1}{4} \leq x \leq 1 \end{cases}$$

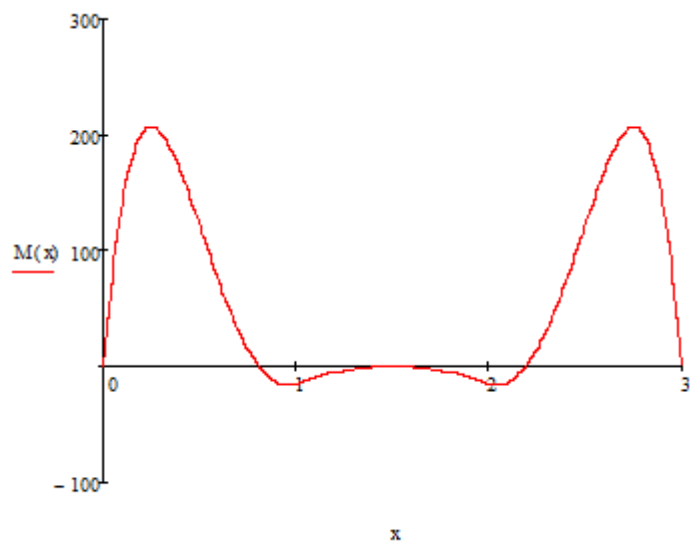
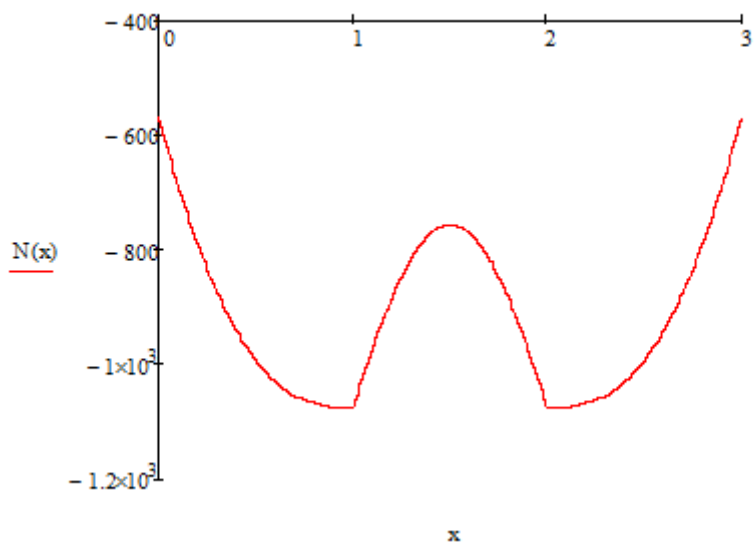


Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03 03

Лист

51



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03 03