

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

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.Е. Митяев
подпись
« ____ » _____ 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.03 Прикладная механика

**Анализ напряжено – деформированного состояния элементов
мансардной крыши**

Пояснительная записка

Руководитель

подпись, дата

доцент, к.т.н.

должность, ученая степень

А.В. Колотов

Выпускник

подпись, дата

К.В. Бугаевский

Нормоконтролер

подпись, дата

доцент, к.т.н.

должность, ученая степень

А.В. Колотов

Красноярск 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1 Постановка задачи.....	6
2 Обзорная часть.....	9
2.1. Классификация мансард	9
2.2 Типы мансард	10
2.3 Плюсы и минусы мансардных крыш	11
2.4 Устройство мансардной крыши.....	13
2.5 Кровельный материал.....	15
2.6 Профнастил 20С	16
2.7 Материал стропильной системы.....	19
3 Конструкторский раздел.....	21
3.1 Рассматриваемая конструкция дипломной работы	21
3.2 Возможные виды расчетов.....	22
3.3 Виды нагрузок	23
3.3.1 Давление полезного веса на жилое пространство мансарды.	23
3.3.2 Снеговая нагрузка	24
3.3.3 Ветровая нагрузка	26
3.4 Расчет трехшарнирной арки.....	28
3.5 Расчет балки перекрытия.....	29
4 Метод конечных элементов в ANSYS	30
4.1 Моделирование четырехскатной мансардной крыши.....	30
4.2 Построение элементной сетки	33
4.3 Нагрузки и граничные условия.....	34
4.3.1 Граничные условия	34
4.3.2 Задание нагрузок на конструкцию	35

					БР – 15.03.03. ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<i>Анализ напряжено – деформированного состояния элементов мансардной крыши</i>	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		<i>Бугаевский</i>						
Провер.		<i>Колотов</i>					2	41
Реценз						СФУ гр. МТ14-05Б		
Н. Контр.		<i>Колотов</i>						
Утверд.		<i>Митяев А.Е.</i>						

4.4	Определение прогиба ломанной крыши	36
4.5	Определение напряжений	37
4.6	Определение упругой деформации	38
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	39
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	40

					<i>БР – 15.03.03. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						3
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Анализ напряженно – деформированного состояния элементов мансардной крыши» содержит страницы текстового документа 42, иллюстраций 29, формулы 10, использованных источников 7.

МАНСАРДНАЯ КРЫША, НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, 3D – МОДЕЛЬ, ANSYS.

Объект исследование – мансардная крыша.

Цель исследования:

Исследование напряженно деформированной деформации мансардной крыши.

Задачи исследования:

- провести расчет нагрузок и построить 3Dмодель мансардной крыши;
- при помощи программы системы конечно – элементного анализа ANSYS выполнить расчет на прочность несущих элементов конструкции;
- определить прогиб, деформации и напряжения;

Актуальность данной работы является в определение полной деформации при равномерно распределенной нагрузке, и анализе этих данных на предмет того, выдержит ли выбранная конструкция нагрузки внешней среды.

Рассмотрим при помощи программного комплекса ANSYS, модуль Workbenchнаглядную картину поведения конструкции ломанной крыши и то, как распределяются нагрузки.

Анализ показал, что выбранная конструкция может существовать в реалиях данной местности.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.03. ПЗ					4

ВВЕДЕНИЕ

Строительство дома – всегда по-своему трудоемкий и сложный процесс, в котором важна каждая деталь. Грамотный проект мансардной крыши частного дома – идеальный вариант для воплощения самых необычных идей даже при ограниченном бюджете. Также мансарда может стать отличным решением при увеличении площади уже имеющегося дома – легкая конструкция фактически не повышает нагрузку на фундамент и несущие стены дома.

Мансардный этаж он же мансарда – это комната под самой крышей, так называемый последний этаж дома, который может использоваться, как непосредственно для жилья, так и для различных сельскохозяйственных целей. На сегодняшний день построить мансардный этаж не дорого и весьма реально для каждого желающего. При планировке мансардного этажа можно использовать самые разные варианты. Таким образом, можно располагать, что мансарда будет занимать либо весь этаж, либо какую-то его часть.

В данной работе будут производиться инженерный и программный расчеты нагрузок на стропильную систему для четырехскатной мансардной крыши. Целью данной работы будет показать точную картину распределения нагрузок на пролетах. Расчет будет производиться на примере 3D модели крыши. Моделирование будет производиться в программном комплексе SolidWorks. Расчет будет производиться в программе ANSYS, модуль Workbench.

					БР – 15.03.03. ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

1 Постановка задачи

Снег и ветер – главные враги конструкции мансардной крыши. 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.

Крыша есть на любом доме, 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 – 2

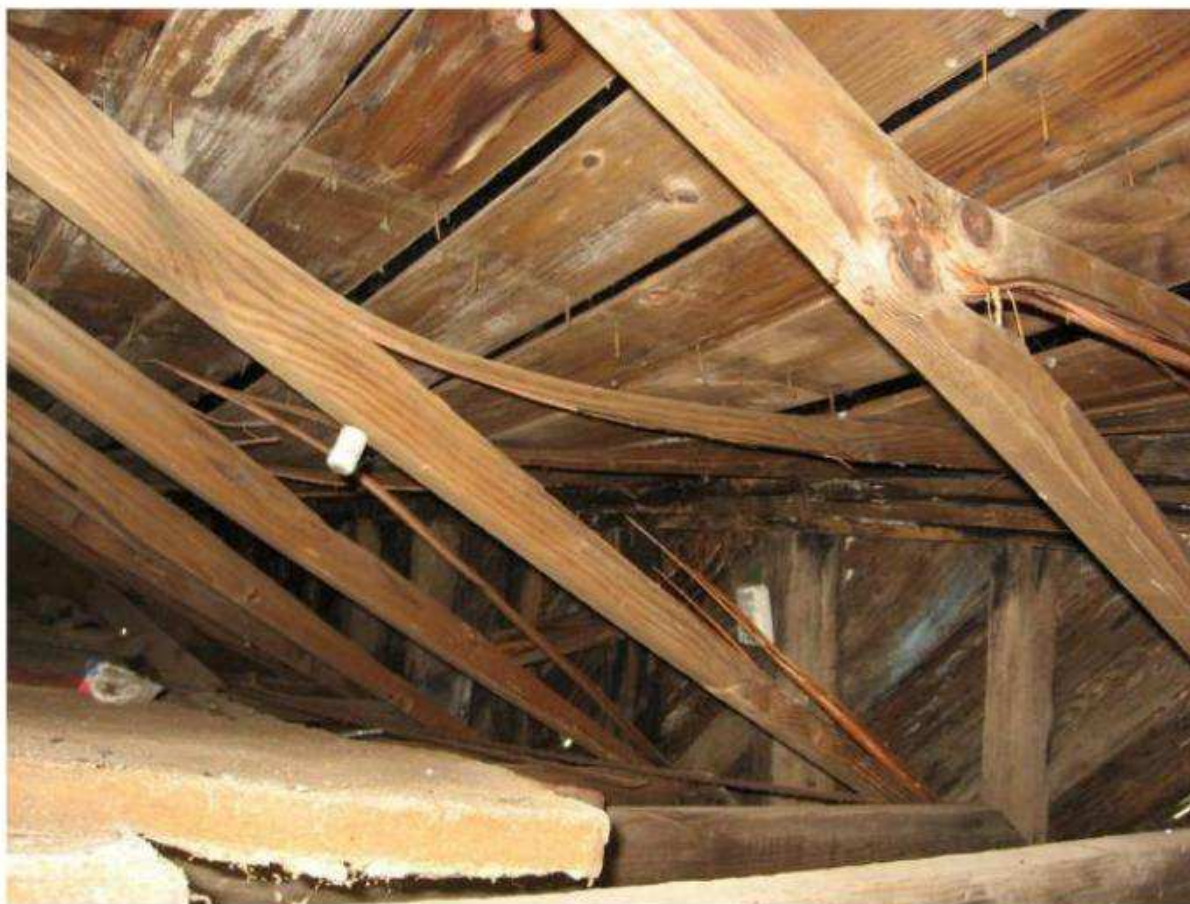


Рисунок 1 – Последствия сильной снеговой нагрузки

					БР – 15.03.03. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6



Рисунок 2 – Последствия сильной снеговой нагрузки



Рисунок 3 – Последствия сильной ветровой нагрузки

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

- Провести обзор существующих конструкций;
- Разработать 3D модель
- Определить действующие нагрузки по существующим стандартам;
- Провести расчет на прочность несущих элементов конструкции;

					БР – 15.03.03. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

2 Обзорная часть

2.1. Классификация мансард

В зависимости от того, как сделана крыша, могут разделяться и типы мансард.

Их можно классифицировать и по другому параметру:

- 1-уровневые;
- 1-уровневые с консольными выносами;
- 2-уровневые с опорами разных типов.

Нередко дома строят с несимметричными фасадами, и тогда их этажность на разных сторонах неодинакова. Бывают постройки и такой архитектуры, когда скаты крыши делаются несимметричными. В этих случаях можно сделать полу мансардный этаж, то есть часть его будет представлять собой полноценный верхний этаж, а часть – отведена под мансардные помещения.

По конструкции окон крыши делятся на:

- мансарды с выносными по типу слуховых окон;
- мансарды с наклонными окнами, монтируемыми в скатах.

Второй вид предпочтительнее использовать там, где крыша имеет шатровую или вальмовую конструкцию, так как на ней не найдёшь фронтонов для установки большого окна.

По типу использования мансарды можно разделить на:

- зимние;
- летние;

					БР – 15.03.03. ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

Второй тип мансард – неутеплённый, первый – утеплённый. Летнюю мансарду строят проще, потому что она не представляет собой многослойный пирог. Здесь можно обойтись только эстетической отделкой чердака. Но такой вид помещений целесообразно строить на дачах, которые сами по себе являются летними зданиями. В других же ситуациях стоит утеплять помещение, чтобы оно могло использоваться полноценно, к тому же надо провести туда отопление, а не только электричество.

2.2 Типы мансард

Мансардная крыша, как правило, создается непосредственно при строительстве самого дома. Существует множество вариантов, от простой односкатной, до сложной многоуровневой крыши. Какой именно выбрать будет зависеть от финансовых возможностей и конструкции самого дома.

Основные типы мансардных крыш рисунок 4:

А,Б – в одном уровне, крыша двускатная классическая;

В – в одном уровне, крыша с переменным углом наклона (ломанная);

Г – в одном уровне, крыша с выносными консолями;

Д – в двух уровнях, крыша со смещением шипов опирания.

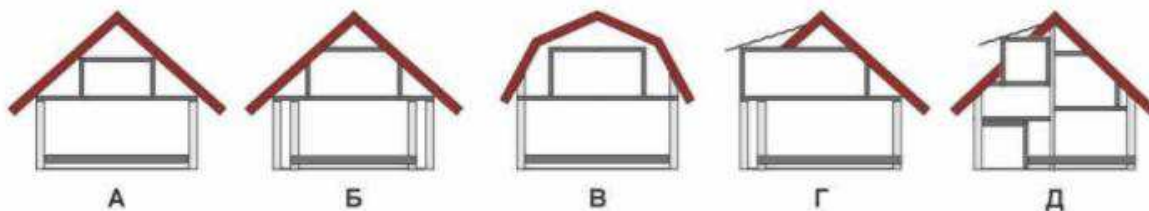


Рисунок 4 – Конструкция стропильной системы

Расположение мансарды в зависимости от конфигурации крыши:

					БР – 15.03.03. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

– Односкатная. Такая крыша дома мансардного типа считается самой простой. Достаточно создать стропильную систему и смонтировать кровлю. При этом очень важно правильно рассчитать уклон ската. Если он будет недостаточным, то крыша будет испытывать дополнительные нагрузки от снега и ветра. Оптимальным считается угол ската в 30-40 градусов.

– Двускатная. Такая разновидность немного сложнее первого варианта. В этом случае можно использовать обычную щипцовую или ломаную конструкцию. Второй вариант более красивый, но сложен в исполнении. Поэтому щипцовые двухскатные мансардные крыши считаются самыми распространенными. Уклон скатов может варьироваться от 45 до 60 градусов, в зависимости от ширины самого дома.

– Четырехскатная крыша. такой вариант позволяет оборудовать мансарду с наибольшей площадью. Как правило, для этих целей используют вальмовый вариант. Такой тип мансардных крыш способен выдержать большие нагрузки. Но существуют и некоторые минусы. В первую очередь – это сложность монтажа и дороговизна такой конструкции. Кроме этого, необходимо более тщательно продумывать создания окон для естественного освещения.

Существуют и другие варианты типов мансардных крыш. Все будет зависеть от геометрии и размеров самого дома. Например, можно создать многоуровневую крышу, или ассиметричный вариант. Такие конструкции будут выглядеть более изящно, но потребуют больших усилий при строительстве кровли.

2.3 Плюсы и минусы мансардных крыш

К достоинствам мансард можно отнести:

– увеличение всей жилой площади за счет эксплуатации чердачного помещения. У вас появится дополнительная комната или даже несколько.

					БР – 15.03.03. ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

При этом их можно использовать только в летний период или круглый год (все будет зависеть от наличия системы отопления)

– меньшие финансовые затраты на строительство. Появляется дополнительный этаж, цена строительства которого намного меньше, чем на строительство полноценного этажа;

– сокращение тепло потерь и, за счет этого, экономия на отоплении. Если подразумевается нахождение в мансардном помещении зимой, в кровельном пироге предусматривается теплоизоляция за счет которой уменьшается потеря тепла;

– своеобразный экстерьер и интерьер, окна в крыше и неровные стены смотрятся очень необычно и красиво. Улучшения внешнего вида самого дома. Мансардная крыша, любой конструкции, выглядит более привлекательна, чем обычный вариант;

– отсутствие сильного давления на несущие стены и фундамент здания, это защищает дом от ремонтных работ в будущем;

– возможность достройки уже существующего здания. в некоторых случаях создание мансардной крыши можно проводить в уже построенном доме. При этом «выселить» жильцов основных этажей не нужно. Все работы проводятся вручную, без привлечения спецтехники, а значит комфортность проживания в таком «достраиваемом» доме не ухудшается

К недостаткам мансард можно отнести:

– сложный монтаж из-за применения разно типовых материалов. Здесь нужно применять различные материалы, проводить дополнительное утепление и гидроизоляцию крыши дома. К тому же и стропильная система будет существенно отличаться от обычной крыши.

– использование дорогостоящих мансардных окон;

					БР – 15.03.03. ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

- потеря жилой площади за счет скошенных потолков. Надстройка дополнительного этажа дало бы больше пространства, но вышло бы дороже;
- устройство сложной теплоизоляции и гидроизоляции;

2.4 Устройство мансардной крыши

Конструктивными элементами мансардной крыши являются: опорная балка(мауэрлат), балка перекрытия, нижние стропило, стойки, подкос, брус-затяжка, верхние стропило, прогон, коньковый брус рисунок 5, кровельный материал рисунок 6.

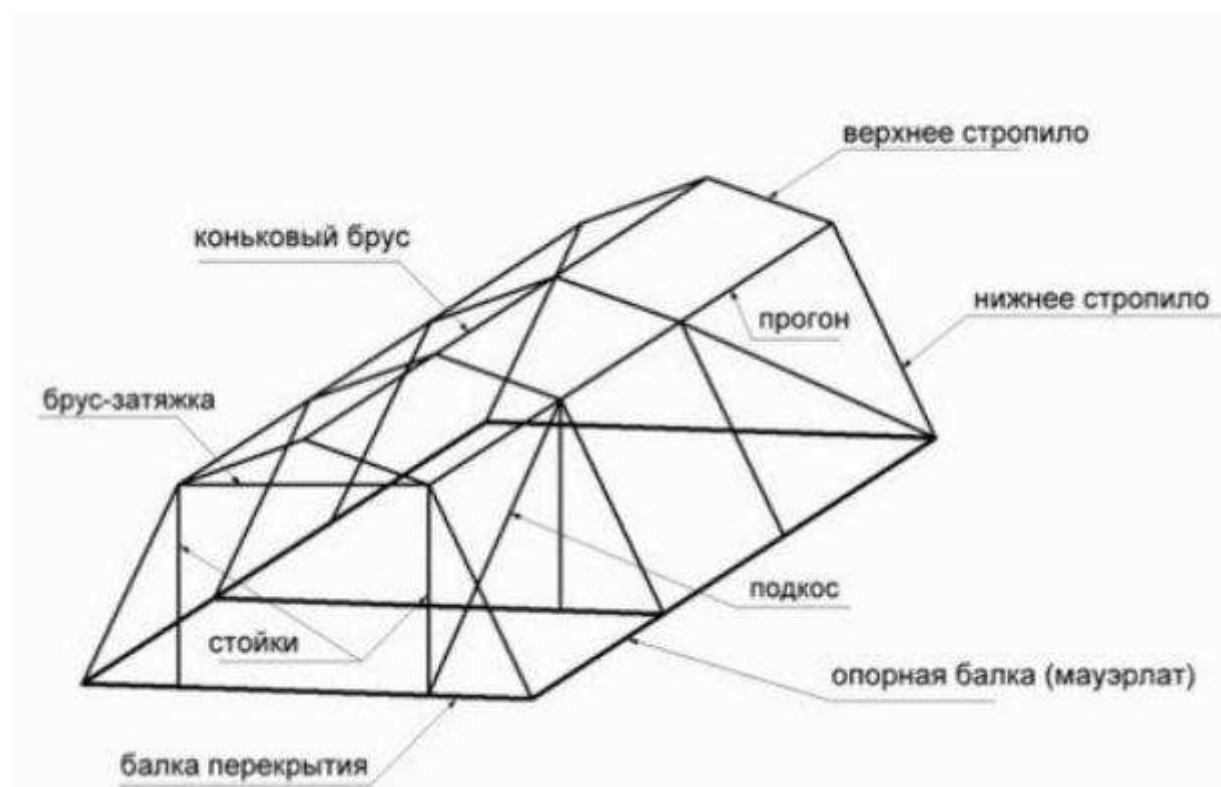


Рисунок 5 – Конструкция стропильной системы мансардной крыши

Мауэрлат - это устойчивая конструкция, которая уложена по периметру стен и служит основой для крепления стропил. Главная задача мауэрлата состоит в том, чтобы максимально равномерно распределить нагрузки свесов крыши и прочно привязать саму крышу к общей конструкции дома. Другими словами, это то самое связующее звено между стенами и крышей, а потому к его изготовлению приступать нужно особенно ответственно. Второстепенная задача мауэрлата - снизить до минимума так называемую парусность крыши, т.е. ее способность быть сорванной сильным порывом ветра.

Балка перекрытия – это сооружение на которое крепятся стойки будущей мансарды.

Стропильная система - это система скатной крыши, состоящая из стропил. Так же можно сказать, что стропильная система - это каркас скатной крыши, её основа (скелет). Стропила выполняют несущую функцию в системе крыши. Вес от крыши через стропильную систему передаётся на несущие стены строения.

На крайние балки перекрытий устанавливают стойки. Стойки выравнивают с использованием уровня и отвеса и временно закрепляют укосинами в перпендикулярных направлениях – вдоль и поперек оси крыши. Это позволит установить стойки без отклонений в какую-либо сторону.

Подкосы – дают ногам стропил дополнительную устойчивость. Они упираются в балки перекрытия, чтобы стропильные ноги не гнулись. Подкосы располагают максимально симметрично.

В случае наклонных стропил используют прогон, служащим упором для верхней части стропильных ног.

					БР – 15.03.03. ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

Соединив затяжку и подкосы, получают ферму – весьма крепкий элемент. Даже при наличии большого пролета ферма стойко вынесет все нагрузки.

Если подразумевается строительство длинной мансардной крыши, рекомендуется установка стропильной системы с коньковым брусом. Такое устройство позволяет равномерно распределить нагрузку на весь каркас. В этом случае по центру фронтонов устанавливаются стойки, вертикальность которых проверяется отвесом, на них строго горизонтально монтируется коньковый брус.

2.5 Кровельный материал

Кровельный материал, защищающий здание от воздействий внешней среды. При его выборе учитываются параметры самого здания, средние температуры воздуха и особенности погоды в данном регионе, конфигурация кровли и так далее.



Рисунок 6 – Кровельного материал

					БР – 15.03.03. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Виды кровельного материала:

- Металл черепица
- Ондулин.
- Мягкая кровля и её разновидности.

Согласно СНиП II-26-76 в качестве кровельных листов предусматривают профили стальные с цинковым, алюмоцинковым или алюминиевым покрытием заготовки, защитно- декоративным лакокрасочным покрытием по ГОСТ 24045, а также алюминиевые профилированные листы, металл черепица и композитная металл черепица.

Кровли из профилированных листов предусматривают на уклонах более 20 % (12°);

Основанием под кровлю из профлиста служат деревянные бруски или металлические прогоны.

2.6 Профнастил 20С

Профнастил представляет собой листы из тонколистовой оцинкованной стали с гофрированной поверхностью. Чаще всего профиль его поверхности в поперечном разрезе имеет форму волны или трапеции. Как и любую другую марку, профнастил С20-1100 (рисунок 7) получают профилированием металлических листов методом холодного проката на специальных станах. В результате такой обработки, несущая способность и продольная жесткость листового металла многократно увеличивается, что позволяет использовать профнастил с-20 для изготовления конструкций, подверженных значительным статическим и динамическим нагрузкам.

					БР – 15.03.03. ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16

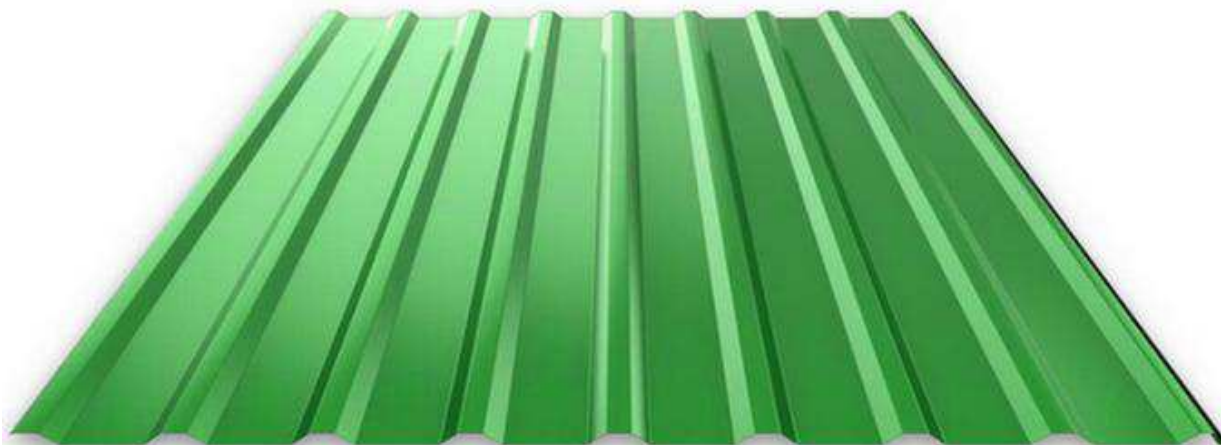


Рисунок 7 – Профнастил С20, фото внешнего вида

Изготавливают профнастил с-20 из рулонной тонколистовой стали, толщиной от 0,45 до 0,7 мм, длина листа может быть от 0,5 до 12 м с кратностью реза 0,5 м. Полная ширина листа – 1100 мм, рабочая (полезная) ширина листа – 1100 мм, высота профиля (волны) – 20 мм, шаг трапеции (волны) – 137,5 мм (рисунок 8).

					БР – 15.03.03. ПЗ	<i>Лист</i>
						17
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

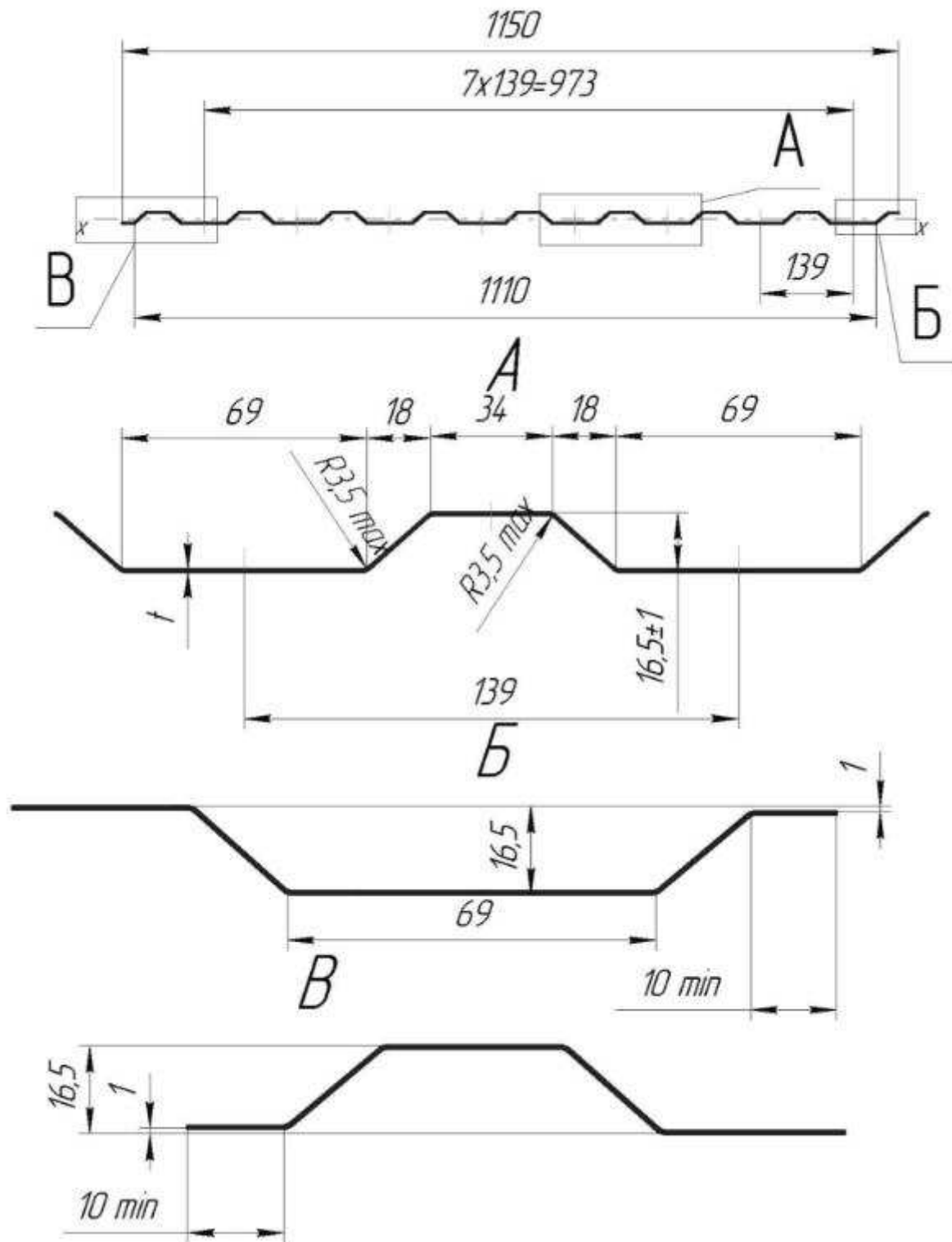


Рисунок 8 – Профнастил С20 - размеры профиля

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03.03. ПЗ

2.7 Материал стропильной системы

Для строительства стропил используют прямоугольный брус, который чаще всего делают из хвойных или лиственных пород древесины. Стандартного сечения такого бруса – 50 мм на 150 мм, для более сложных участков – 50 на 200 мм или больше.

Древесина имеет такой параметр, как влажность. Спеленное дерево имеет влажность 50 процентов и даже более. Для использования в качестве элементов стропильной системы показатель не должен превышать 18 – 22 процентов. Поэтому перед началом строительства нужно обратить внимание на то, насколько хорошо он просушен.

Стропила из влажной древесины, просыхая на крыше, со временем трескаются, выгибаются.

Древесина должна обладать прочностью и в то же время гибкостью. Важна также легкость обработки.

Хвойные породы:

- сосна – Смолистость дерева обеспечивает высокую стойкость к загниванию. Сосновый брус пользуется популярностью также благодаря таким качествам, как легкость, прочность, привлекательна для строителей прямизна ствола. У соснового пиломатериала невысокая, в сравнении с благородными породами, цена;

- лиственница – отличные прочностные характеристики ее сравнимы с дубом, также на высоте долговечность выполненных из лиственницы элементов;

- ель – отлично подходит для балок перекрытия, стропил: сухая ель не менее прочна, чем сосна, однако хуже сопротивляется воздействию влаги.

Лиственные породы:

- дуб – подойдет для ответственных участков, к примеру, из него делают мауэрлат. Его сравнительно легко обрабатывать, главный минус – ценовая категория;

- осина – прочная и упругая, но в основной массе имеет гнилую сердцевину, непригодную к обработке, очень сложно выбрать первосортную осину надлежащего качества;

- бук – древесина сложная в обработке, но долговечная и прочная.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.03. ПЗ				19

Различные дефекты понижают прочность и несущую способность стропил. Совершенный ствол – ровный, без гнили и других поражений, с минимальным количеством сучков и трещин. Для устройства каркаса крыши лучше всего подходит 1 сорт с влажностью не более 12 процентов, допускается также применение 2-3 сорта. На один метр стропила не должно приходиться более 3-х небольших сучков.

Стандартные сечения несущих элементов:

- для мауэрлата выбирается брус 100 на 100, 100 на 150, 150 на 150 мм;
- диагональные стропильные ноги, как правило, имеют сечение 100 на 200 мм;
- прогоны – 100 на 100, 100 на 150, 100 на 200 мм;
- доски для карниза, кобылки, подкосы – 50 на 150 мм.

					БР – 15.03.03. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

3 Конструкторский раздел

3.1 Рассматриваемая конструкция дипломной работы

В данной работе будет рассматриваться одноэтажный дом шириной 8300 миллиметров и длиной 10300 миллиметров. На который будет установлена мансардная крыша с высотой потолка 2660 миллиметра опирающееся на 3 стены. Сама мансарда одноуровневая, с переменным углом наклона (ломанная). Такой тип мансарды сложен в строительстве, но данный недостаток компенсируется максимальной полезной площадью. Подробные размеры показаны на рисунке 9.

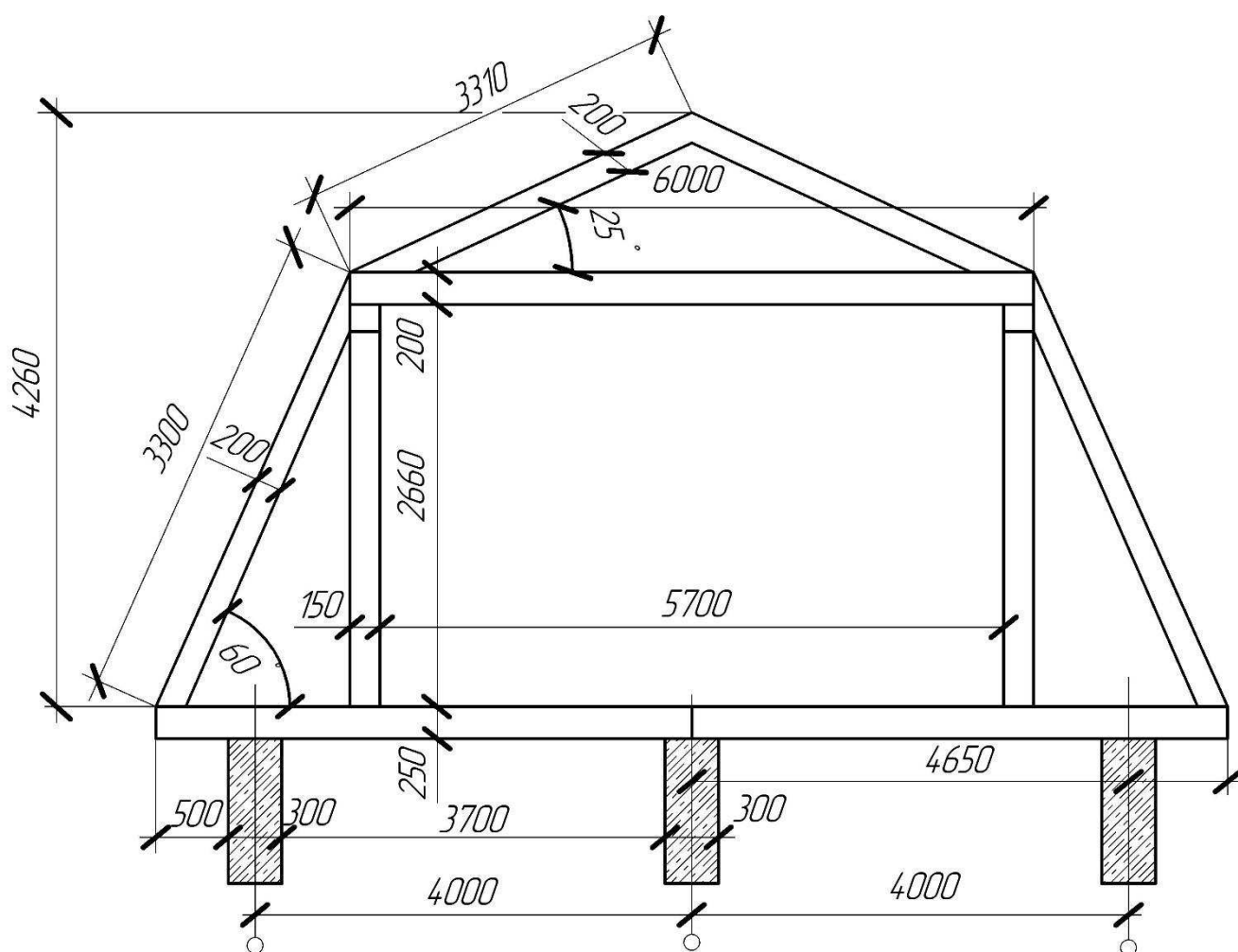


Рисунок 9 – Конструктивная схема

					БР – 15.03.03. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

3.2 Возможные виды расчетов

Первый расчет собственного веса.

Вторым расчетом будет расчет от веса людей на балочное перекрытие. Нормативное давление которого по нормативным документам должно составлять 1,5 кПа на перекрытие с коэффициентом надежности 1,3, данная нагрузка является кратко временной и действует только в пределах мансарды.

Следующей расчет будет от снеговой нагрузки, которых будет два, первый от равномерной снеговой нагрузки, а второй от неравномерной. На неравномерно распределенную будет тоже два расчета. Давление на крышу будет нормативное 1,9 кПа с коэффициентом надежности 1,4. Нагрузки мы находим по карте районирования снегового покрова. Красноярск находится в 3 снеговом районе.

Третий тип расчетов будет на ветровую нагрузку. Для ветра будет две схемы нагружения с поперечным ветром и с фронтальным ветром. Для поперечного ветра пара расчетов, обдув с лева и с права.

Выбрав виды нагружений определимся с их комбинации. Чаще всего бывает, что действует не одна нагрузка, а сочетания рисунок 10. Исходя из наиболее неблагоприятной комбинации нагрузок подобрать сечение. На данном этапе это будет конечной целью, только когда определятся конечные размеры элементов можно будет приступить к конструированию и решению конструктивных вопросов. При расчетах будем руководствоваться СНИП 2.01.07-85 нагрузки и воздействия с картами.

КОМБИНАЦИИ

1 кратк.	2 кратк.	3 кратк.
$ВЕС + 1.0*ЛЮДИ$	$ВЕС + 1.0*ЛЮДИ+0,9*СНЕГ$	$ВЕС + 1.0*ЛЮДИ+0,9*СНЕГ+0,7*ВЕТЕР$
$1.0*СНЕГ$	$1.0*СНЕГ+0,9*ЛЮДИ$	$1.0*СНЕГ+0,9*ЛЮДИ+0,7*ВЕТЕР$
$1.0*ВЕТЕР$	$1.0*ВЕТЕР+0,9*СНЕГ$	$1.0*ВЕТЕР+0,9*СНЕГ+0,7*ЛЮДИ$
.....
3 комбинации	6 комбинаций	6 комбинаций

Рисунок 10 – Комбинации нагружений

3.3 Виды нагрузок

3.3.1 Давление полезного веса на жилое пространство мансарды.

Согласно СНиП 2.01.07-85 нормативные значения равномерно распределенных временных нагрузок на плиты перекрытия, лестницы и полы квартир жилых помещений зданий, спальных помещений детских дошкольных учреждений и школ – интернатов, жилые помещения домов отдыха и пансионатов, общежитий и гостиниц, палаты больниц и санаториев, террасы. Нормативные значения равномерно распределенных нагрузок равна 1,5 кПа (рисунок 11).

Даная нагрузка является кратковременной и действует в пределах мансарды, за стойками данный вид нагрузки отсутствует.

Коэффициент надежности по нагрузке γ_f для равномерно распределенных нагрузок следует принимать 1,3 – при полном нормативном значении менее 2,0 кПа.

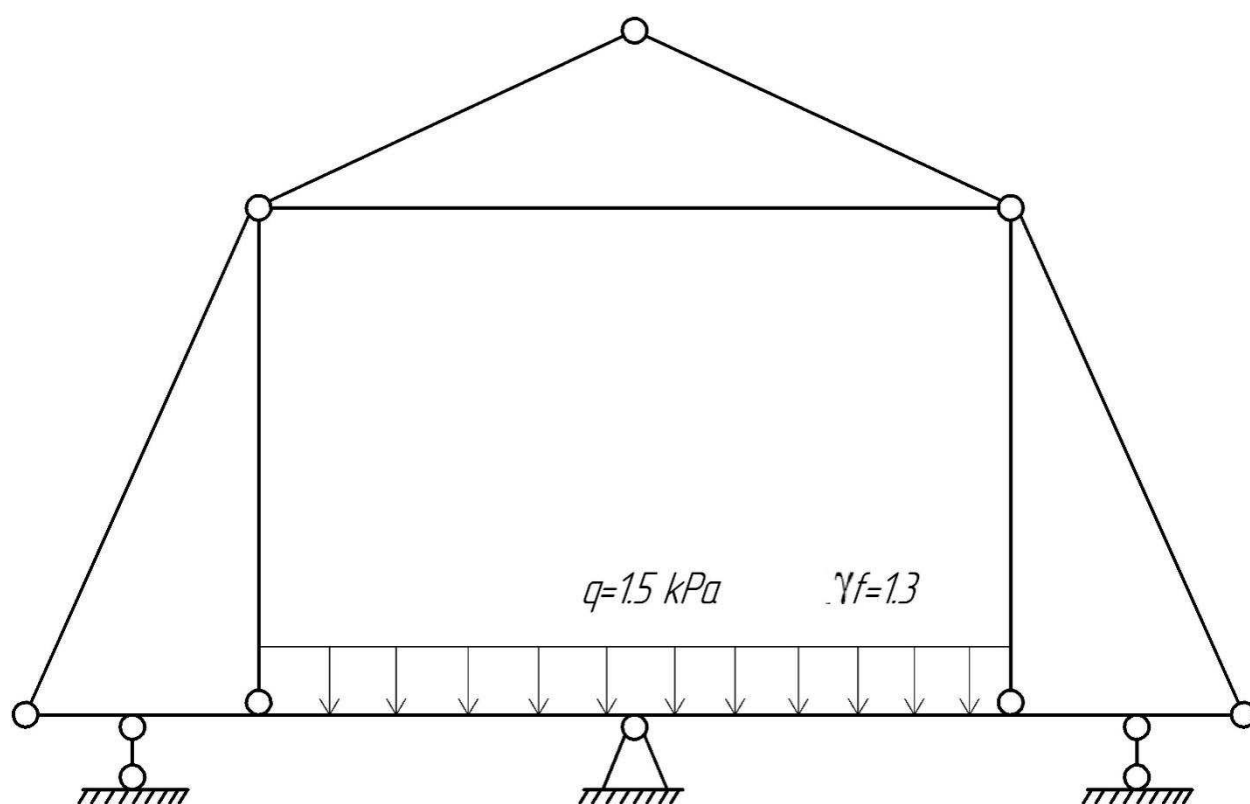


Рисунок 11 – нагрузка от веса людей, мебели и т.д

3.3.2 Снеговая нагрузка

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

$$S = S_g \cdot \mu,$$

где S_g - расчетное значение веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли;

μ – коэффициент, перехода веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли.

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

Значение s_g принимаем равным

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

Так как нагрузка симметричная и угол наклона висячего стропила $\alpha \leq 25^\circ$, рисунок - 12, коэффициент μ принимаем равным

$$\mu = 1$$

а для неравномерно распределённой нагрузки, рисунок 12, коэффициент становится равным

$$\mu = 0,75$$

и

$$\mu = 1,25$$

Подставляем найденные коэффициенты в формулу, получим для равномерной снеговой нагрузки

$$S = 1,8 \cdot 1 = 1,8 \text{ кПа}.$$

для ассиметричной нагрузки

$$S = 1,8 \cdot 0,75 = 1,35 \text{ кПа}.$$

$$S = 1,8 \cdot 1,25 = 2,25 \text{ кПа}.$$

					БР – 15.03.03. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

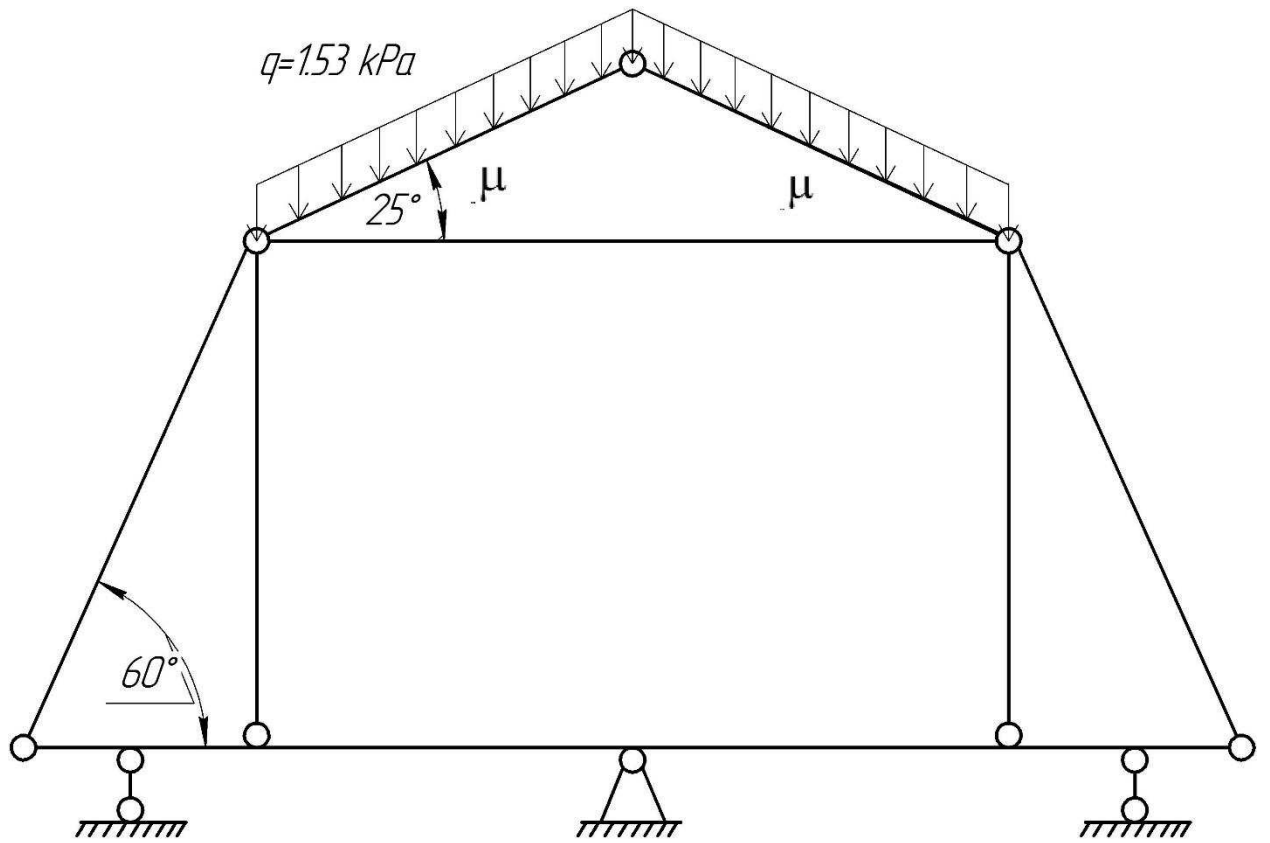


Рисунок 12 – симметричная снеговая нагрузка

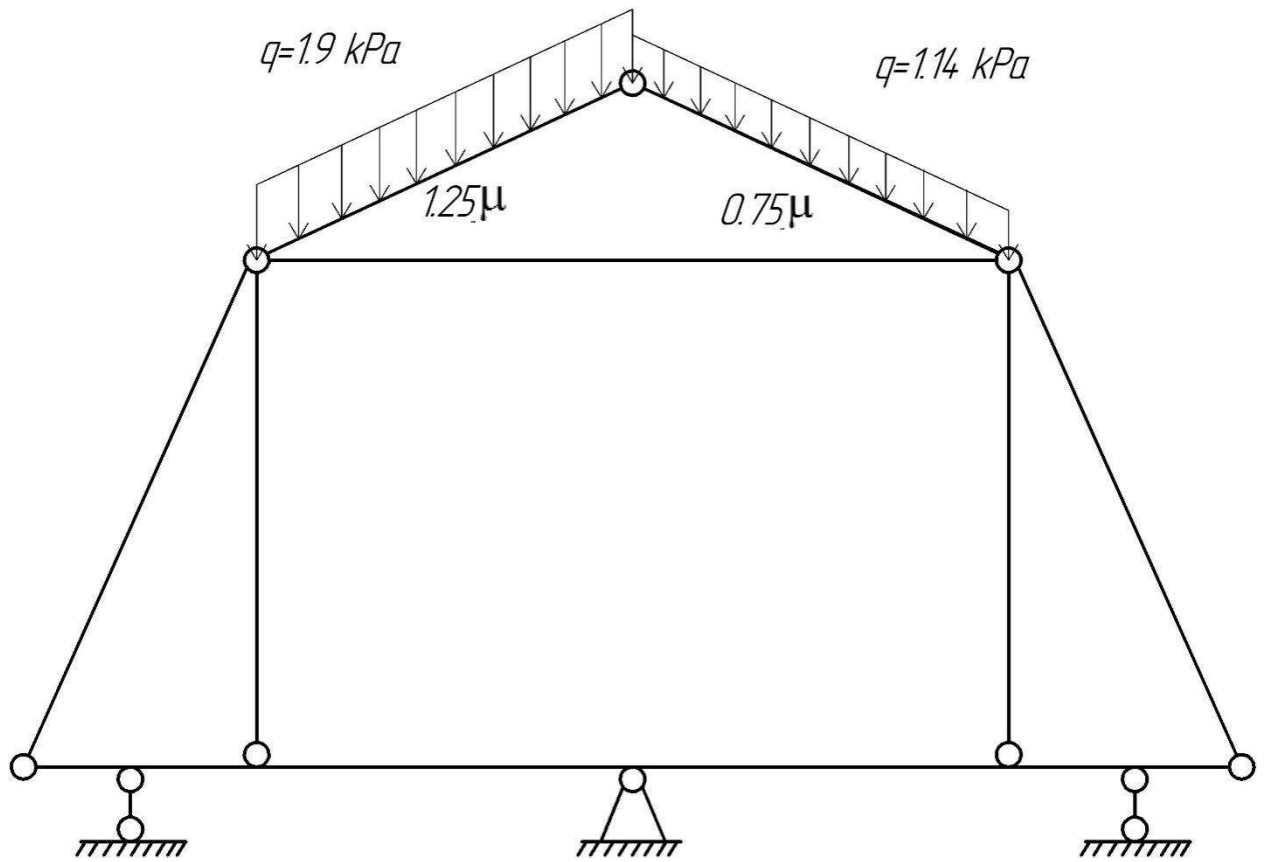


Рисунок 13 – асимметричная снеговая нагрузка

При углах наклона ската кровли более 60° значение μ в расчёте полной снеговой нагрузки не учитывают. Поэтому на наклонные стропила не будет действовать снеговой нагрузки рисунки 13.

3.3.3 Ветровая нагрузка

Согласно СНиП 2.01.07.-85 значение средней составляющей ветровой нагрузки W_m определяются 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;

c – аэродинамический коэффициент.

Нормативное значение ветровой давления W_0 следует принимать в зависимости от ветрового района Российской Федерации. Город Красноярск относится к III району.

Значение W_0 принимаем равным $w_0 = 38 \text{ кгс} / \text{м}^2 = 0,38 \text{ кПа}$.

Коэффициент k , учитывается изменение ветрового давления по высоте z , определяется в зависимости от типа местности. При заданной высоте здания 8,16 м и типе местности В (городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой не более 10 м) коэффициент k принимаем равным $k=0,65$.

Аэродинамический коэффициент равен $c=0,8$.

Подставляем найденные коэффициенты в формулу, получим

$$W_m = 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,8 = 0,19 \text{ кПа}.$$

При определении ветровой нагрузки надо учитывать и тот факт, что направление ветровой нагрузки может быть различной рисунок и .

Знак “плюс” у коэффициента или “минус” соответствует направлению давления ветра. Положительное значение это давление ветра на соответствующую поверхность, а отрицательное от поверхности.

Значение коэффициентов берется из приложения и указаны на рисунках 14 и 15.

					БР – 15.03.03. ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		26

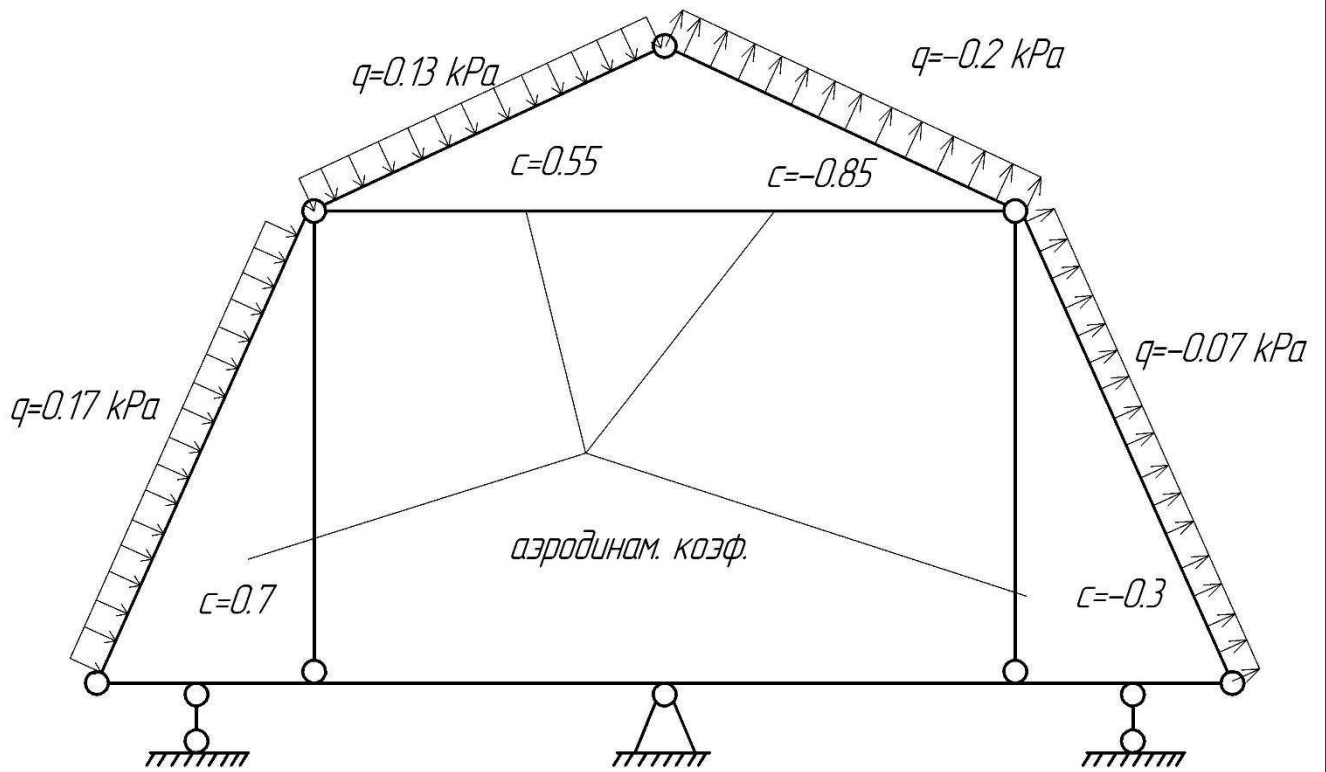


Рисунок 14 – ветровая нагрузка, направление с боку

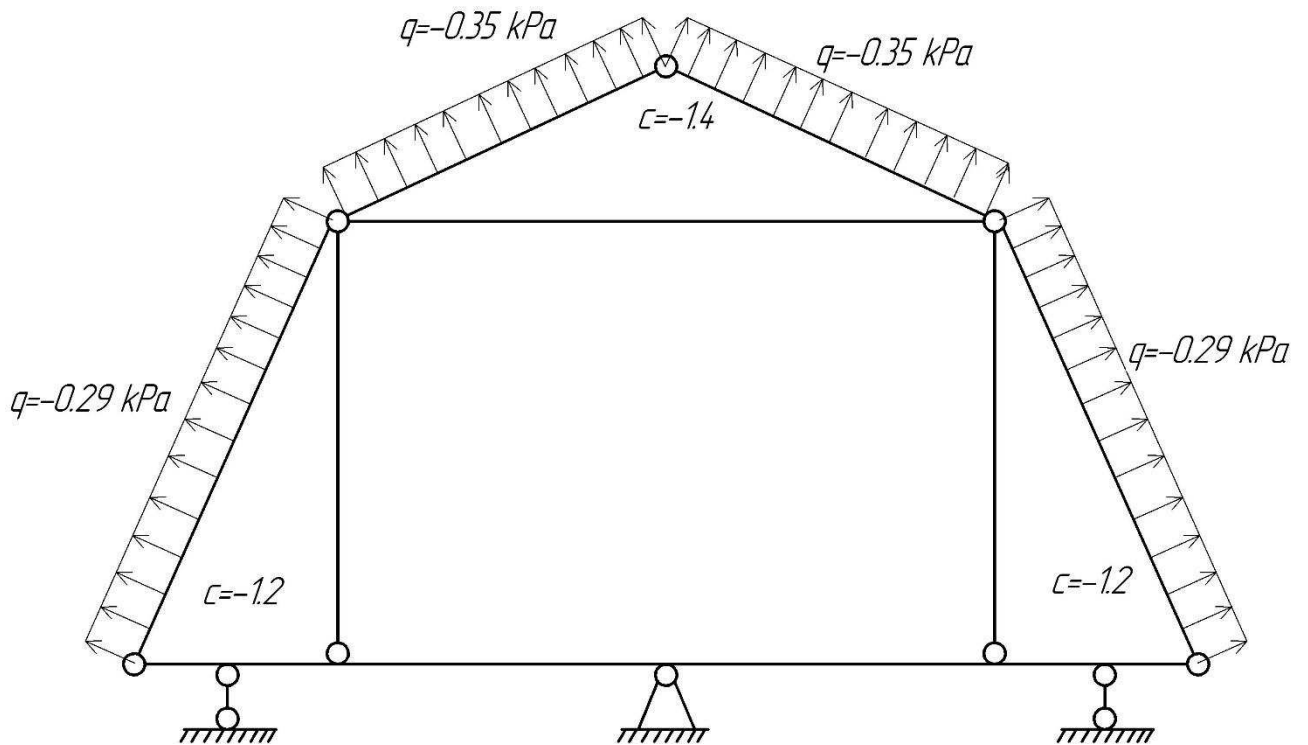


Рисунок 15 – ветровая нагрузка, направление на фронт

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03.03. ПЗ

Лист

27

3.4 Расчет трехшарнирной арки

Висячие стропила делаются в форме замкнутого треугольника, такую схему часто называют трехшарнирной треугольной аркой (рис. 16). Стропила в ней работают на изгиб, затяжка — на растяжение.

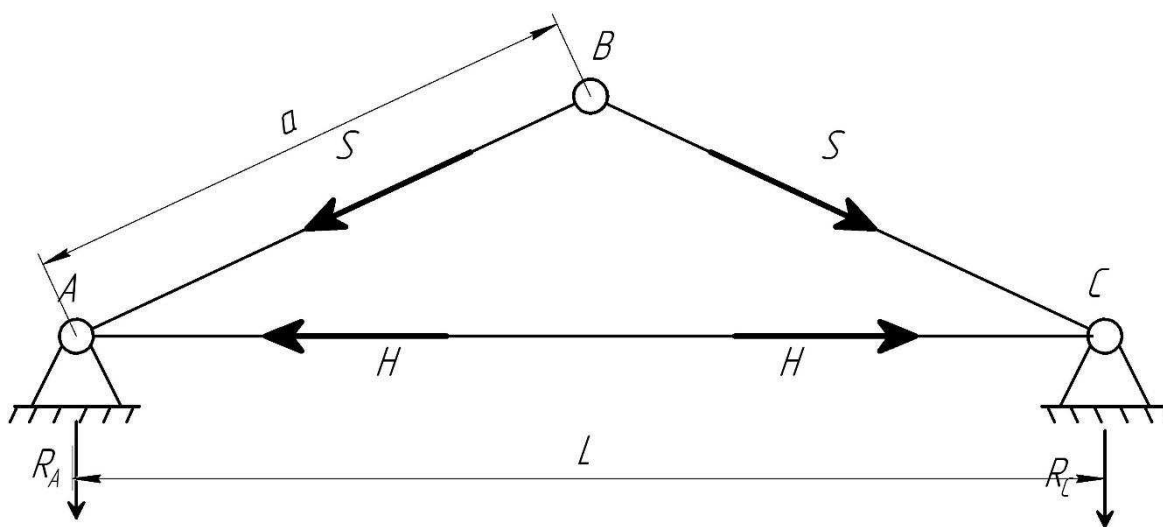


Рисунок 16 – трехшарнирная арка

Расчетные формулы

$$H = \frac{qL^2}{8h}$$

$$S = \frac{qLa}{4h}$$

$$R_a = R_c = \frac{qL}{2}$$

$$M_{\max} = \frac{qL^2}{32}$$

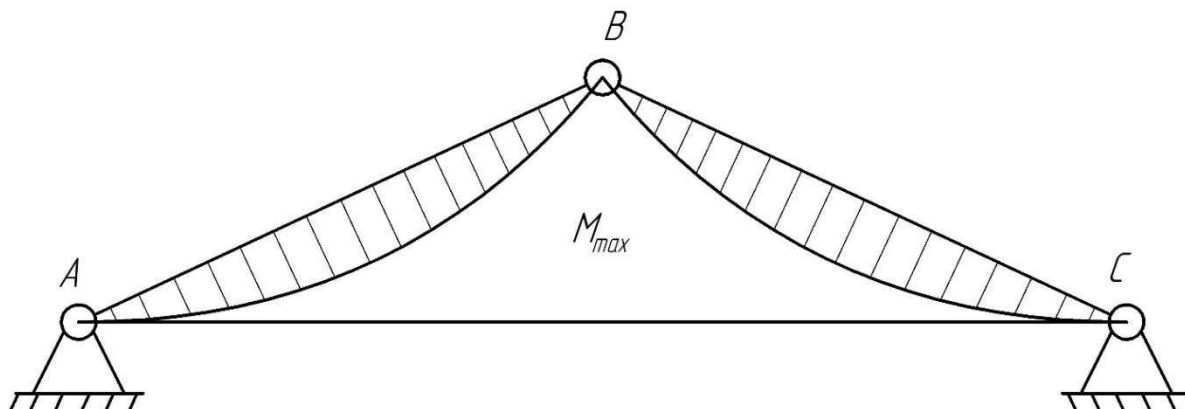


Рисунок 17 – Эпюра моментов без эксцентриситета

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3.5 Расчет балки перекрытия

Балка перекрытия рассчитывается на нагрузку и две сосредоточенные силы от стоек мансарды.

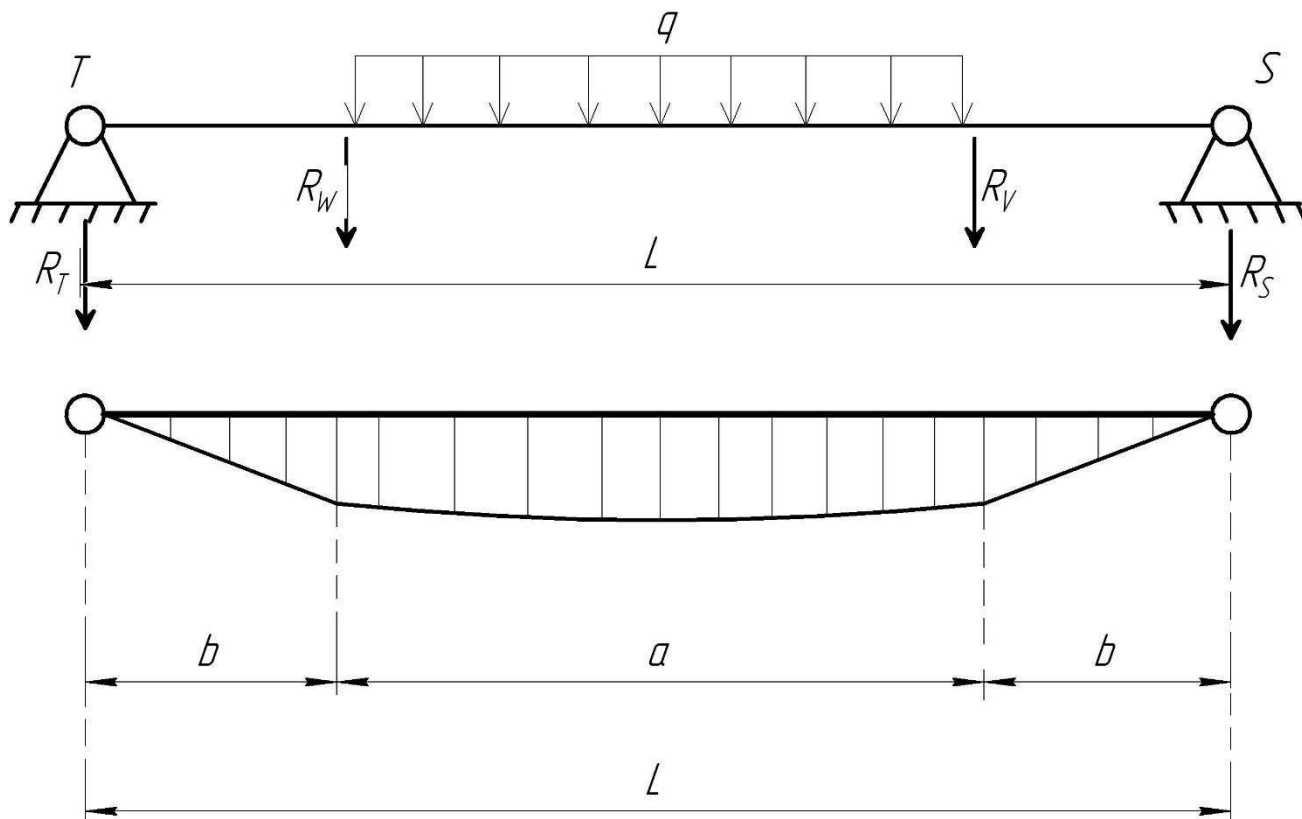


Рисунок 18 – Балка перекрытия

Расчетные формулы

$$R_W = R_V = R_B + R_{B1}$$

$$R_T = R_S = \frac{qL}{2} + R_W$$

$$M = \frac{qa(2L - a)}{8} + R_W b$$

$$f = \frac{qabL^2 \left(1 + \frac{a}{L} - \frac{a^2}{L^2}\right)}{24EJ} + \frac{R_W b(3L^2 - 4b^2)}{24EJ}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03.03. ПЗ

Лист

29

4 Метод конечных элементов в ANSYS

Для того чтобы рассчитать сложные конструкции матричными методами используют метод конечных элементов. Он широко используется при расчете стержневых систем задач механики сплошной среды. В строительной механике и МКЭ методология классических методов сводится к разбиению конструкции на отдельные части более простой структуры, у которых механическое поведение можно легко описать, а затем с помощью условий сплошности и равновесия снова объединением их в единую конструкцию.

Решение задачи проводилось в пакете прикладных программ ANSYS. Решение проводили в трехмерном случае и в силу симметрии конструкции и малой производительности вычислительной машины бралась только часть элемента (рис. 21).

Порядок действий для прощета в ППП ANSYS:

- 1) Построение 3D модели в программном комплексе САПР SolidWorks;
- 2) Импорт модели в ANSYS и построение регулярной сетки
- 3) Задание граничных условий и приложение нагрузки;
- 4) Определение полной деформации
- 5) Определение напряжений
- 6) Определение упругой деформации

4.1 Моделирование четырехскатной мансардной крыши

В система автоматизированного проектирования строим трехмерную модель четырехскатной мансардной крыши (рис. 19)

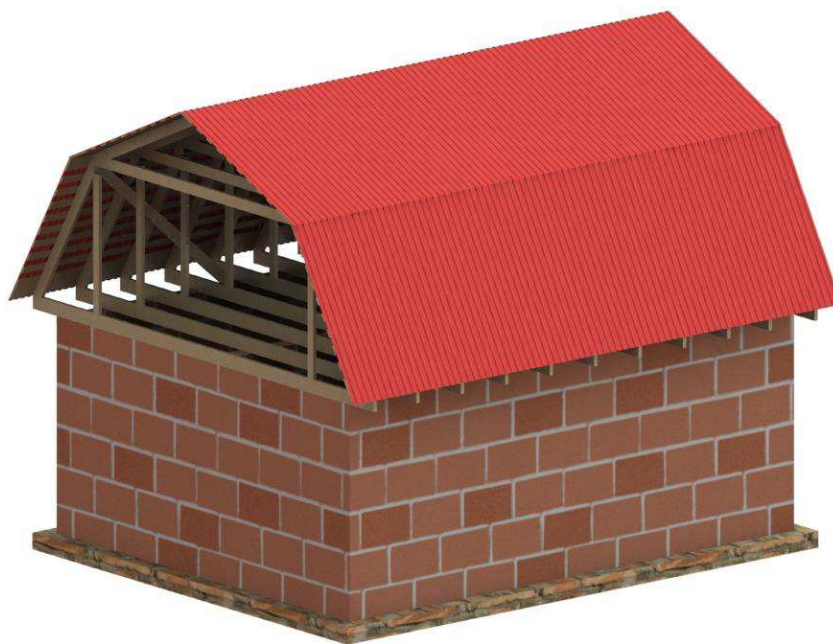


Рисунок 19 – Трехмерная модель мансардной крыши



Рисунок 20 – Модель мансардной крыши: вид без профнастила



Рисунок 21 – Модель для ANSYS



Рисунок 22 – Модель для расчета в ANSYS: вид без профнастила

Импортируем построенный модель ломанной крыши в ANSYS. Выбираем материал и указываем их свойства (рис. 23). Для этих целей в Workbench используем модуль управления материалами, связанный с блоком анализа и представленный элементом EngineeringData.

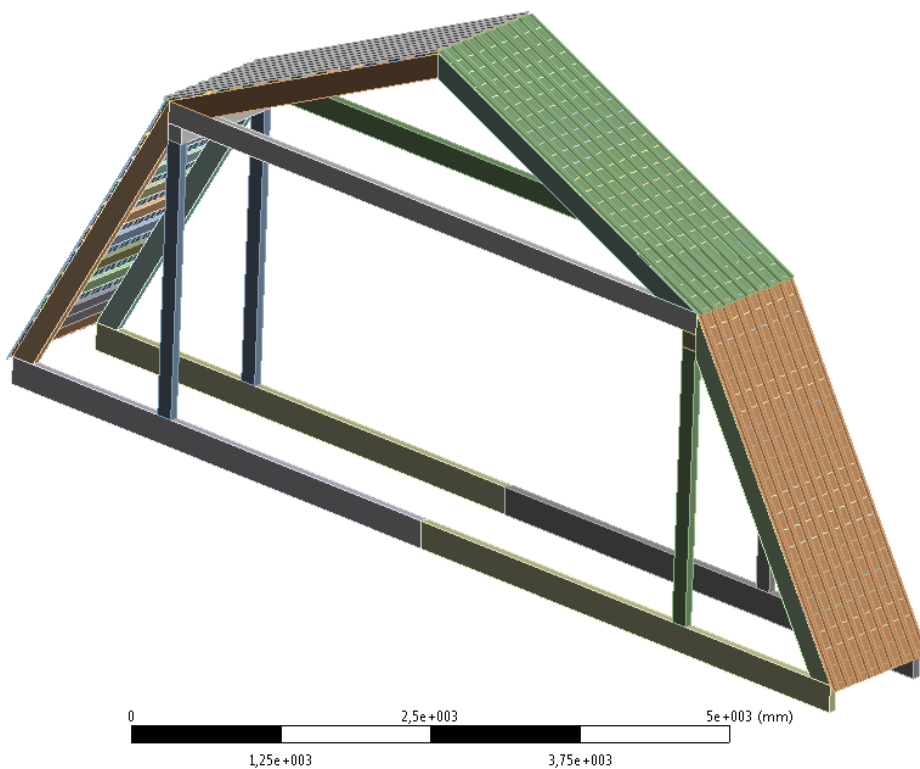


Рисунок 23 – Трехмерный модель ломанной крыши в ANSYS

4.2 Построение элементной сетки

Для получения численного решения необходимо выполнить разбиение геометрических моделей конечно – элементной сеткой. Данная процедура выполняется в модуле симуляции Mechanical.

Сетка генерируется на геометрической модели и является основой для составления и решения системы уравнения в матричном виде. Существует два способа генерации сетки:

- автоматическая генерация сетки с установками по умолчанию при запуске на решение. При этом имеется возможность предварительно просмотреть сетку до запуска на расчет, чтобы оценить её соответствие поставленной задаче;

- генерация сетки с задаваемыми пользователем установками. В этом случае пользователь самостоятельно определяет особенности создаваемой сетки и задает значения необходимых параметров.

Генерируем сетку конечных элементов на модели червячной передачи (рис. 24). Статистика сетки: 160838 узлов, 21188 элементов.

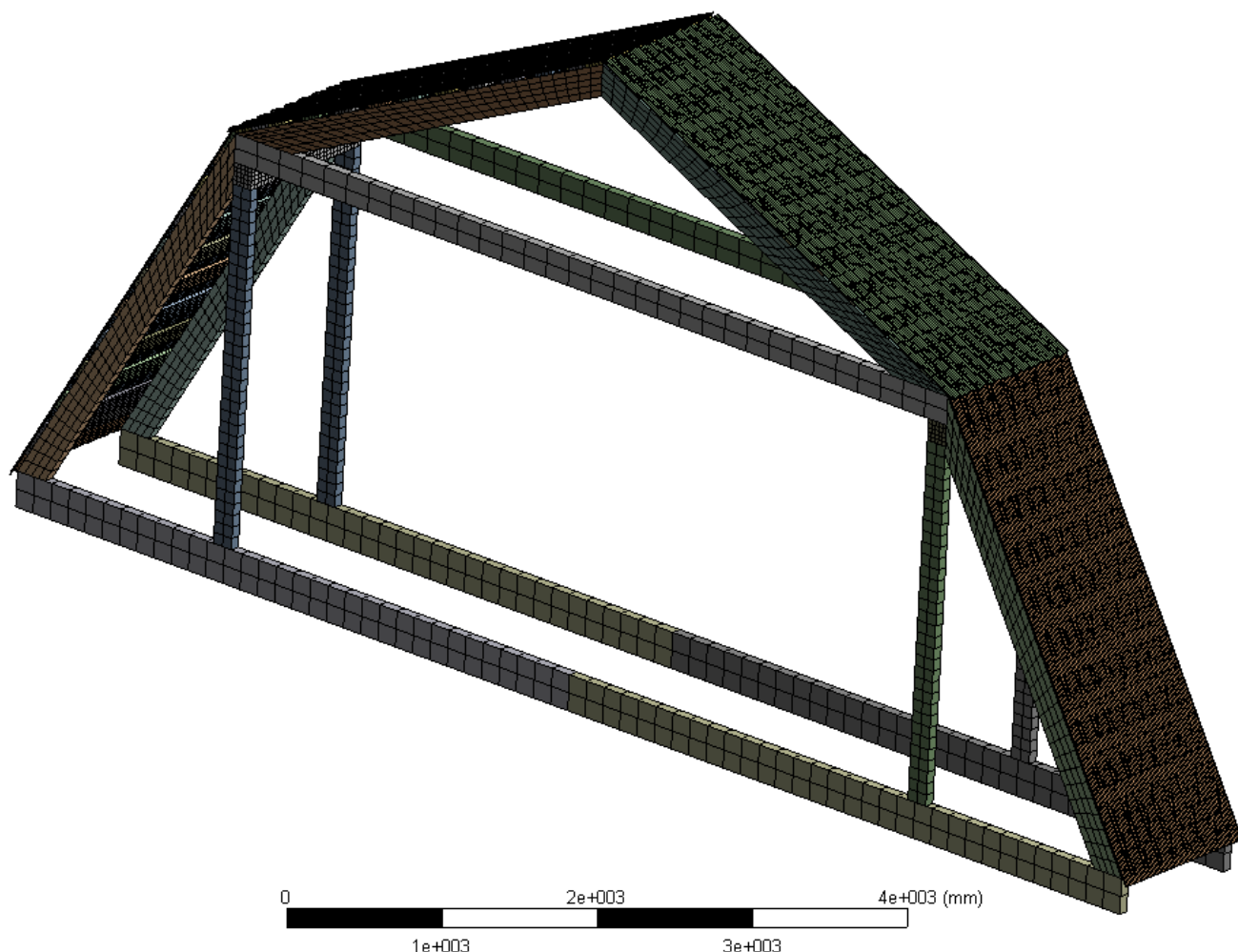


Рисунок 24 – Сетка конечных элементов на трехмерной модели ломанной крыши

4.3 Нагрузки и граничные условия

4.3.1 Граничные условия

Одним из важных этапов подготовки к проведению расчета и получения удовлетворительных результатов является определение внешних воздействий на конструкцию.

Обычно внешнее воздействие определяется на границе созданной модели. Под терминами «ограничение» и «нагрузка» понимаются все разнообразные процессы, которые происходят как на поверхностях твердого тела, так и в отдельных точках внутри него. Под «ограничением» в Workbench понимается: закрепление, то есть ограничение перемещений и вращений в структурном анализе; а под «нагрузкой» – приложение сосредоточенных или распределенных сил.

Граничные условия задаем с помощью функции Joint. Команда Joint будет представлять собой, кинематические связи между двумя телами или между телом и «землей» – неподвижной системой координат.

Задаем условия крепления FixedSupport (рис. 25). Данное условие имитирует крепления на полноценной крыше.

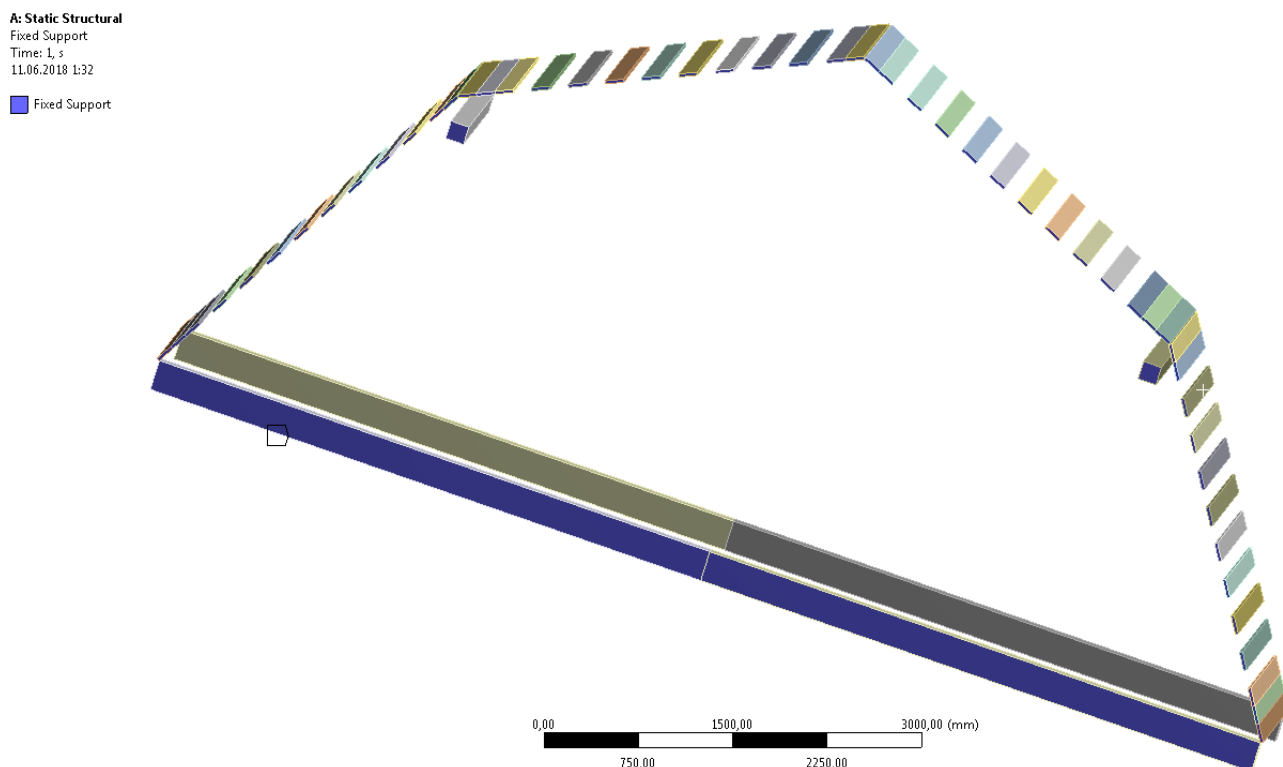


Рисунок 25 – Граничные условия модели ломанной крыши

					БР – 15.03.03. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

4.3.2 Задание нагрузок на конструкцию

Конструкционные нагрузки Workbench задаются в разделе Loads, который отвечает за силы и моменты действующие на детали конструкции панели инструментов Environment.

Приложим снеговую нагрузку на два верхних пролета крыши. Зададим её при помощи функции Pressure (давление) (рис. 26). На нижние пролеты снеговая нагрузка не будет действовать, так как при скатах кровли 60 и более градусов нагрузка не учитывается.

A: Static Structural

Pressure

Time: 1, s

11.06.2018 1:51

■ Pressure: 1,53e-003 MPa
Components: 0,;-1,53e-003;0, MPa

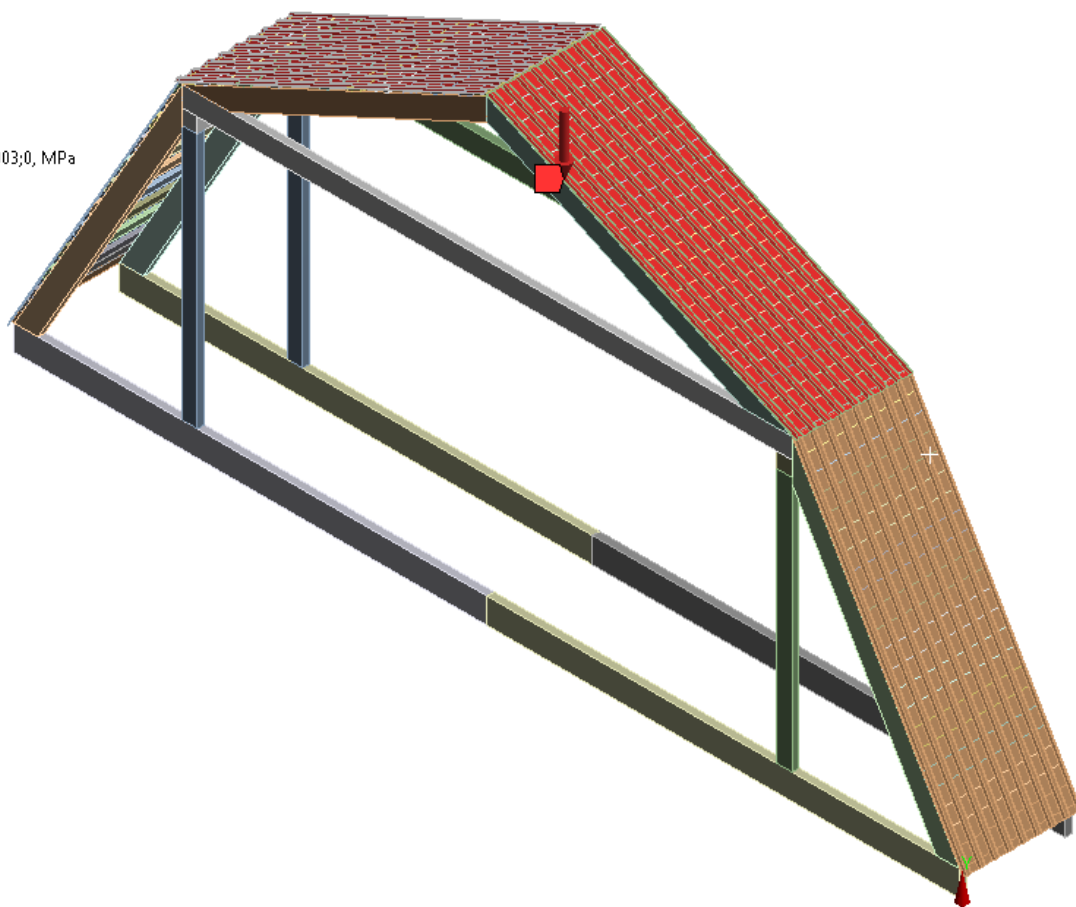


Рисунок 26 – Ломанная крыша с приложенными нагрузками

					БР – 15.03.03. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

4.4 Определение прогиба ломанной крыши

Для определения деформацию с учетом граничных условий воспользуемся функцией TotalDeformation. Данная функция позволяет определить деформацию (рисунок 27).

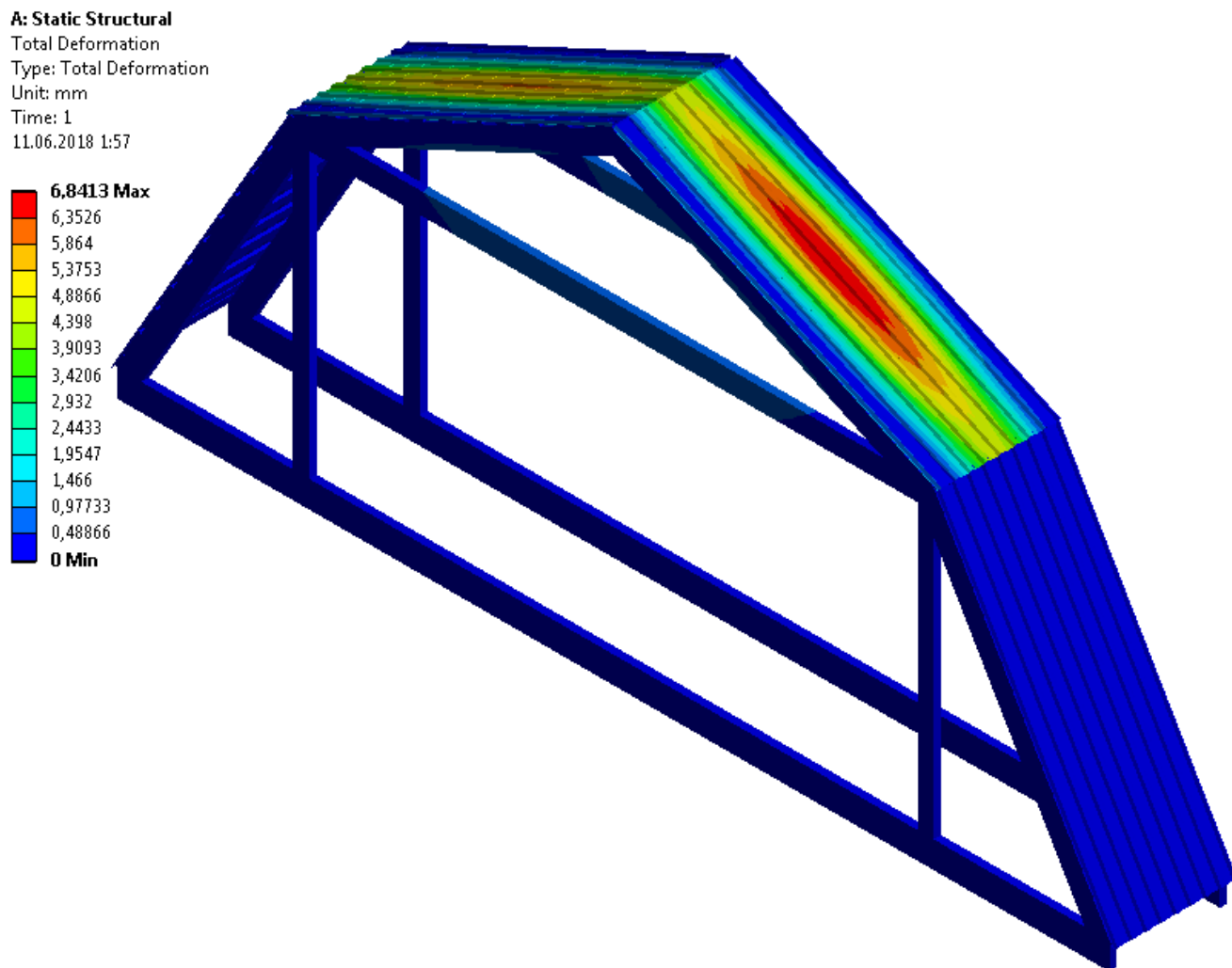


Рисунок 27 – Прогиб скатов крыши

При воздействии снеговой нагрузки крыша начинает прогибаться. В зоне максимальных деформаций возникает прогиб равный 6,8 мм., что не влияет на жесткость конструкции.

4.5 Определение напряжений

Напряжения с учетом граничных условий определяется при помощи функции EquivalentStress (рисунок 28).

Выведем результаты, которые мы хотим увидеть после завершения решения в разделе (Solution), выбрав на панели инструментов команду приведенные напряжения (EquivalentStress) в меню команды (stress). В разделе (details) можно уточнить, для каких именно тел выводить информацию, выделив их предварительно перед этим.

После расчета видим, что максимальное напряжение возникает на кровельном покрытии, локально.

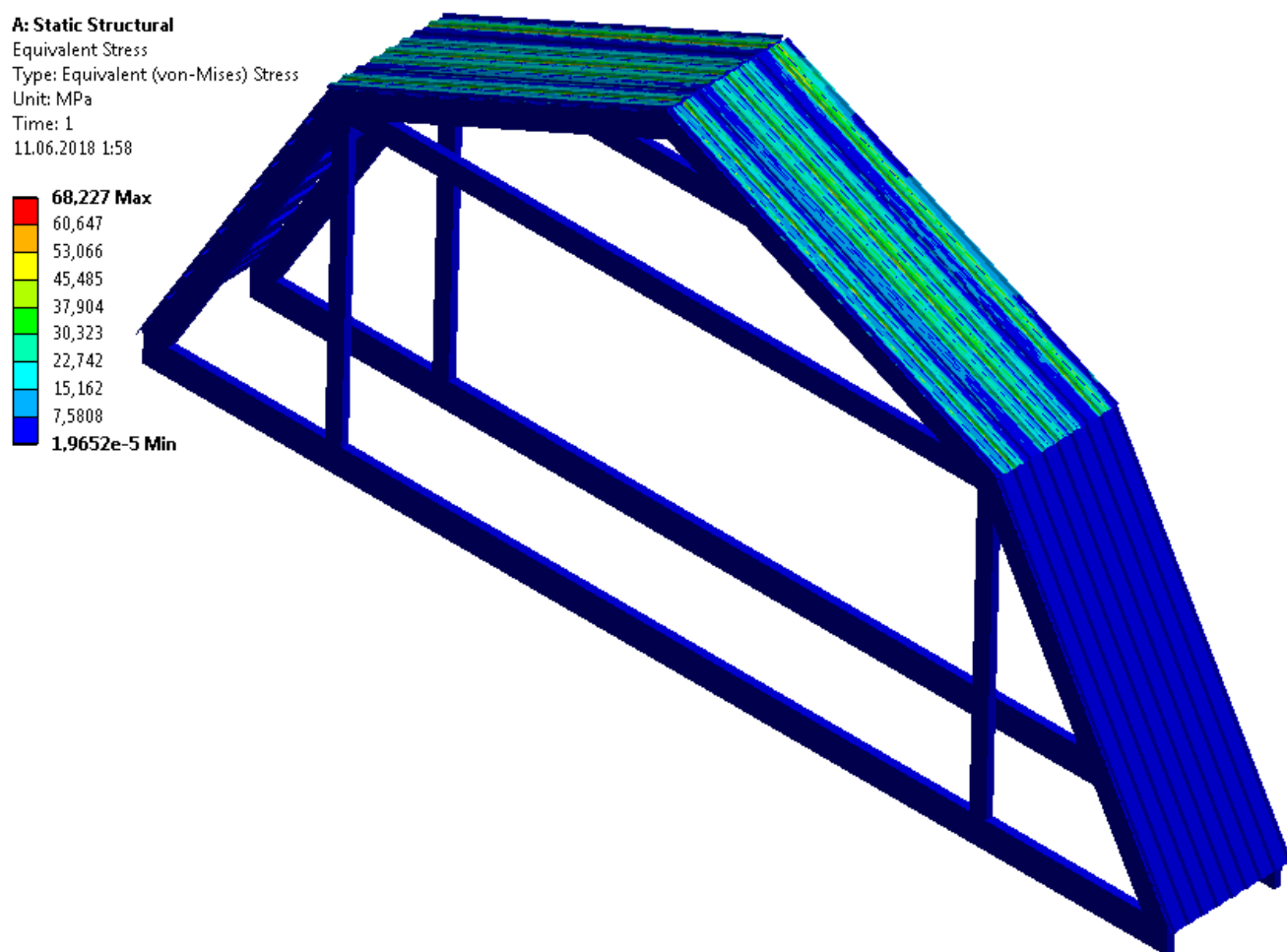


Рисунок 28 – Напряжения

					БР – 15.03.03. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

4.6 Определение упругой деформации

Для определения упругой деформации с учетом граничных условий, воспользуемся функцией EquivalentElasticStrain.

Выведем результаты, которые мы хотим увидеть после завершения решения в разделе (Solution), выбрав на панели инструментов команду приведенные напряжения (EquivalentElasticStrain) в меню команды (strain). В разделе (details) можно уточнить, для каких именно тел выводить информацию, выделив их предварительно перед этим.

После расчета видим, что максимальное напряжение возникает на обрешетка, локально. (рис. 29)

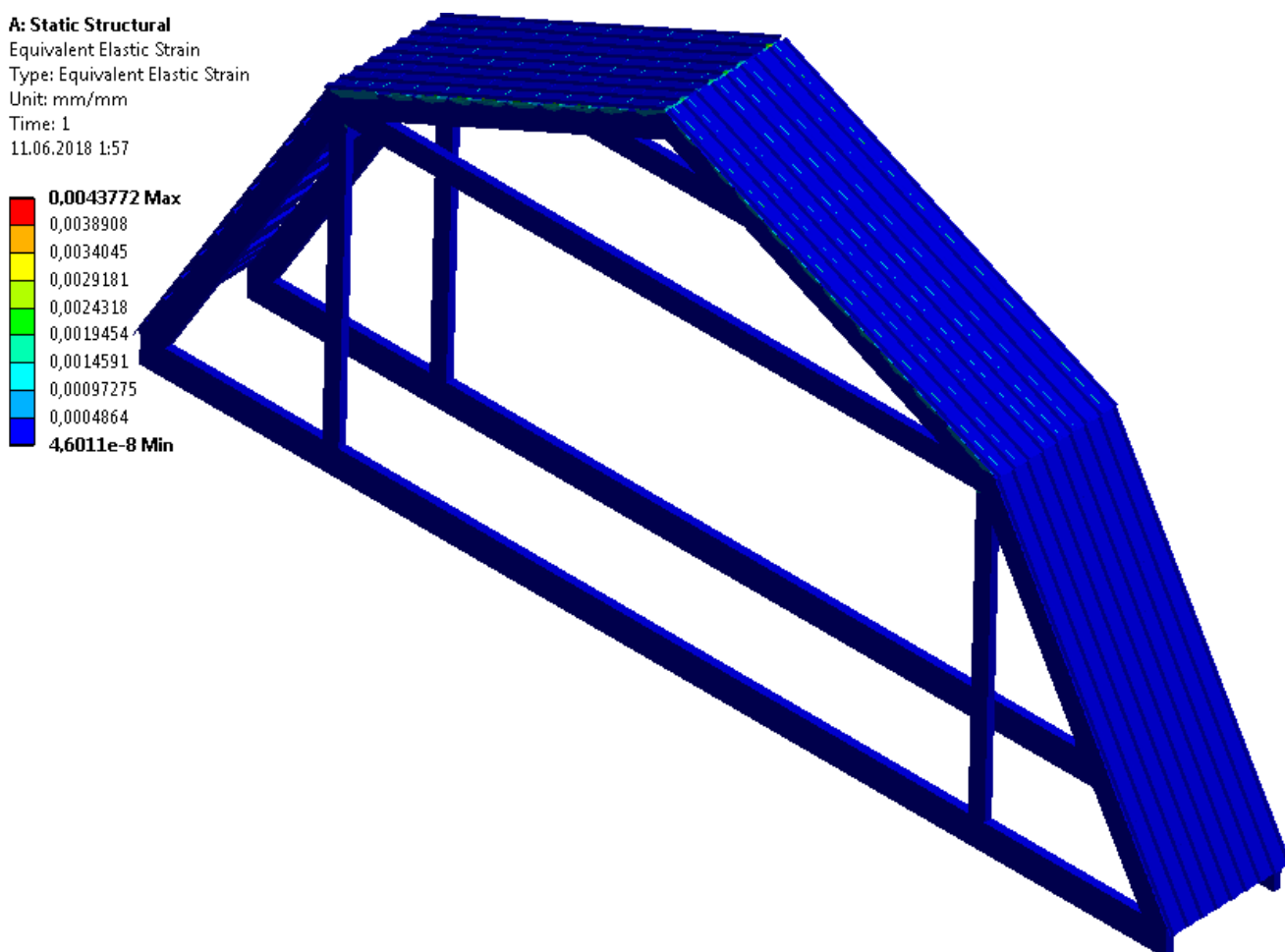


Рисунок 29 – упругая деформация

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы сделано следующее:

- 1) Выполнен обор существующих конструкций мансардной крыши;
- 2) По существующим стандартам определены действующие нагрузки на мансардную крышу;
- 3) Разработаны трехмерные модели четырехскатной мансардной крыши;
- 4) Исследование напряженно – деформированного состояния;
- 5) ВЭВМ выполнен расчет ломанной мансардной крыши методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS на прогиб, напряжения и упругую деформацию.
- 6) По полученным данным был выбран оптимальный вариант конструкции мансардной крыши.

					БР – 15.03.03. ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А. В. Калучин Деревянные конструкции. – М.: Издательство АСВ, 2003. – 224 с., с илл.
2. СНиП 2.01.07-85* “Нагрузки и воздействия”.
3. СНиП II-26-76 “Кровли”.
4. СНиП II-25-80 “Деревянные конструкции”.
5. Андреев В. С., Преображенский А. Б. Крыши, кровли, мансарды и чердаки. Проектирование, монтаж / В. С. Андреев, Преображенский А. Б. – М.: ООО ИКТЦ “ЛАДА”, 2011. – 256 с. (серия “Ваш дом”).
6. СНиП 3102-2001 “Дома жилые многоквартирные”.
7. Бруяка В. А. Б 89 Инженерный анализ в ANSYSWorkbench: Учеб. Пособ. / В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Е. А. Солдусова, Н. А. Глазунова, И. Е. Адеянов. – Самара: Самар, гос, ун-т, 2010. – 271 с.: ил.

					БР – 15.03.03. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40


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

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 А.Е. Митяев

подпись

« 13 » июля 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.03 Прикладная механика

**Анализ напряжено – деформированного состояния элементов
мансардной крыши**

Пояснительная записка

Руководитель


подпись, дата

ДОЦЕНТ, К.Т.Н.

должность, ученая степень

А.В. Колотов

Выпускник


подпись, дата

К.В. Бугаевский

Нормоконтролер


подпись, дата

ДОЦЕНТ, К.Т.Н.

должность, ученая степень

А.В. Колотов

Красноярск 2018