

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский-технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии имени А.Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технологии
машиностроительного производства»

Еспенбет Данияр Ғалымжанұлы

Расчет ангара методом конечных элементов

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В071200 – Машиностроение

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский-технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии имени А.Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технологии
машиностроительного производства»



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
С.Митишев PhD, ассоц.проф.
Арымбеков Б.С.
« 22 » апреля 2019г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Расчет ангара методом конечных элементов»

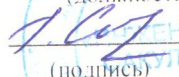
по специальности: 5В071200 - Машиностроение

Выполнил

Еспенбет Д.Ф.

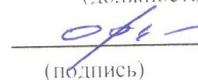
Рецензент

Кандидат технических наук,
ассоциированный профессор
(должность, уч. степень, звание)

 Смаилова Г.А.
(подпись) Ф.И.О

« 26 » 04 2019г.

Научный руководитель
Кандидат технических наук,
ассоциированный профессор
(должность, уч. степень, звание)

 Орлова Е.П.
(подпись) Ф.И.О

« 26 » 04 2019г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский-технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии имени А.Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технологии
машиностроительного производства»

5B071200 - Машиностроение



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Еспенбет Данияру Галымжанұлы

Тема: Расчет ангара методом конечных элементов

Утверждена приказом Ректора Университета № 1252-б от "6" ноября 2018 г.

Срок сдачи законченной работы

"3" мая 2019 г.

Исходные данные к дипломной работе: чертеж ангара.

Краткое содержание дипломной работы:

а) литературно - патентный анализ

б) создание расчетной механической схемы и модели ангара

в) анализ и выводы расчета на прочность и жесткость конструкции ангара

Представлены 16 слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 11 наименований

а) Трофимов, В.И. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений (разработка конструкций, исследования, расчет, изготовление, монтаж): учебное пособие для вузов / В.И. Трофимов, А.М. Каминский. - М.: АСВ, 2002. - 575 с.

б) Строительные нормы и правила: СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах. - М.: Стройиздат, 2000. - 27 с.

ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
Поиск информации Обзор литературы	5-28 Февраля	<i>Выполнено</i>
Общие сведения об ангарах Обзор технологий сборки ангара	1 Марта – 15 Апреля	<i>Выполнено</i>
Построение 3D модели арочного ангара	18 Апреля	<i>Выполнено</i>
Статический расчет, расчет на устойчивость арочного ангара	22 Апреля	<i>Выполнено</i>

Подпись

консультанта и нормоконтролера на законченную дипломную работу
с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Карпеков Р.К., лектор кафедры	<i>29.04.2019</i>	<i>[Подпись]</i>

Научный руководитель *[Подпись]* Орлова Е.П.

Задание принял к исполнению обучающийся *[Подпись]* Еспенбет Д.Г.

Дата *25* *июня* 2018 г.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа на тему «Расчёт ангара методом конечных элементов» представлена в виде расчётной части и пояснительной записки. В данной дипломной работе были рассмотрены конструкции ангаров, существующих на современном рынке, а также были произведены следующие расчеты: статический расчет, расчет на устойчивость, расчет несущей способности.

В теоретической части был сделан обзор технологии сборки ангаров, было проведено сравнение их конструкций.

В расчётно-пояснительной записке показана конструкция арочного ангара. Были созданы и просчитаны 5 комбинаций загружений. Четвертая комбинация загружений оказалась наиболее неблагоприятной. Это поясняется тем, что при этой геометрической форме конструкции действие ветра «разгружает» силовой каркас. Анализ результатов статического расчета показал достаточный коэффициент запаса по прочности.

Основными параметрами расчета арочного ангара, прежде всего являлись: основное сочетание нагрузок, прочностной расчет арочных металлоконструкций, собственный вес конструкции арочного ангара, снеговые и ветровые нагрузки и т.д. Из этих нагрузок были составлены комбинации загружений и проведен статический расчет и расчет на устойчивость. Анализ результата показал достаточный коэффициент запаса прочности, и недостаточный по устойчивости.

АНДАПТА

"Ангардың соңғы элемент әдісін есептеу" тақырыбындағы дипломдық жұмыс есептеу бөлімі және түсіндірме жазба түрінде берілген. Бұл дипломдық жұмыста қазіргі заманғы нарықта бар ангарлардың конструкциялары қарастырылды, сондай-ақ келесі есептеулер жүргізілді: статикалық есеп, орнықтылық есеп, көтеру қабілетін есептеу.

Теориялық бөлімде ангарларды құрастыру технологиясына шолу жасалды, олардың құрылымдарын салыстыру жүргізілді.

Есептік-түсіндірме жазбада арка ангарының конструкциясы көрсетілген. 5 жүктеу комбинациясы құрылды және есептелді. Төртінші жүктеу комбинациясы ең қолайсыз болды. Бұл конструкцияның осы геометриялық формасында желдің әсері күш қаңқасын "жүктейтінің" түсіндіріледі. Статикалық есептің нәтижелерін талдау беріктік бойынша Қордың жеткілікті коэффициентін көрсетті.

Арка ангарын есептеудің негізгі параметрлері ең алдымен: жүктемелердің негізгі үйлесімі, арка металлоконструкцияларының беріктігін есептеу, Арка Ангары конструкциясының меншікті салмағы, қар және жел жүктемелері және т.б. Осы жүктемелерден жүктемелердің комбинациялары құрастырылып, статикалық есеп және орнықтылыққа есеп жүргізілді. Нәтижені талдау беріктілік қорының жеткілікті коэффициентін көрсетті және орнықтылығы бойынша жеткіліксіз коэффициентін көрсетті.

ANNOTATION

The diploma work on the theme "Calculation of the hangar by the finite element method" is presented in the form of a calculation part and an explanatory note. In this thesis work were considered designs of hangars that exist in the modern market, and the following calculations were made: static calculation, stability calculation, calculation of bearing capacity.

In the theoretical part, a review of the hangar assembly technology was made, and their structures were compared. In the settlement and explanatory note shows the design of the arched hangar. 5 load case combinations were created and calculated. The fourth combination of loadings was the most unfavorable. This is explained by the fact that with this geometric shape of the structure, the action of the wind "unloads" the power frame. Analysis of the results of static calculations showed a sufficient safety factor.

The main parameters for the calculation of the arched hangar were primarily: the main combination of loads, the strength calculation of the arched metalwork, the weight of the structure of the arched hangar, snow and wind loads, etc. Combinations of load cases were compiled from these loads, and static and stability calculations were performed. Analysis of the result showed a sufficient safety factor, and insufficient stability.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	9
1	Виды ангаров на современном строительном рынке	10
1.1	Обзор технологий сборки ангаров и их преимущества	10
1.2	Конструктивное различие ангаров	11
1.3	Размеры ангаров	15
1.4	Применение ангаров	15
2	Конструкция ангара	17
3	Расчет арочного ангара	23
3.1	Создание расчетной механической схемы и модели ангара	23
3.2	Анализ и выводы расчета на прочность и жесткость конструкции ангара	26
	Заключение	30
	Список использованной литературы	31
	Приложение А	

ВВЕДЕНИЕ

Металлоконструкции играют весомую роль во всех сферах передового мира, тем более важна она в машиностроении и строительстве. В машиностроении конструкции из металла применяются в 90% промышленности.

Металлоконструкций состоят из большего числа различных элементов: детали, изделия, инженерные сооружения из всевозможных составляющих. Область применения определяет материал металлоконструкций, производятся они из различных материалов: сталь, алюминий, цветные металлы. Металлоконструкции могут быть: закладными, сборными и стационарными.

Изделия классифицируются в зависимости от их изготовления: литье, штамповка, ковка, сварка, обработка на токарных станках.

Одной из разновидностей металлоконструкция является ангар. На сегодняшний день, эти быстровозводимые сооружения из металлоконструкций все больше вытесняют капитальные строения из железобетона и кирпича. Если в 19 веке здания промышленного сектора возводились только, как капитальные с массивными фундаментами, то сегодня можно отметить все большее замещение цехов машиностроительных заводов из железобетона на цеха ангарного типа.

Целью дипломной работы спроектировать ангар из металлоконструкций используя современные системы автоматизированного проектирования [1].

1 Виды ангаров на современном рынке

1.1 Обзор технологий сборки ангаров и их преимущества

В настоящее время для стремительно развивающегося бизнеса необходимо иметь доступные производственные площади. В таком случае долгосрочное строительство, в основном, не входит в планы владельцев компании. Производственные площади желательно получить как можно быстрее, и чтобы оно было надежным, прочным и, сравнительно, недорогим.

Зачастую появляется потребность на крупные промышленные, производственные, складские помещения и сельскохозяйственные угодья. Большие мегаполисы требуют просторные спортивные и торговые комплексы, а кроме того новые коммерческие и офисные здания.

Нынешний строительный рынок готов представить наилучшее решение аналогичных задач – быстромонтируемые ангары, которые состоят из металлоконструкций, рисунок 1. В связи с критериями монтажа и предпочтений клиента возможно подобрать вид, размеры, используемый материал несущих конструкций и, при присутствии необходимых потребностей, дополнительные опции будущего ангара.

Преимущество монтажа быстромонтируемого ангара.

Растущая необходимость на постройку ангаров, в первую очередь, разъясняется стремительными работами в наиболее кратчайшие сроки. Обширный спектр стоимости и использование нынешних строй материалов дают возможность стремительно приобрести готовое сооружение при небольших расходах [1].



Рисунок 1 – Быстромонтируемый ангар [1]

Ангары формируют практически на любом участке. В отличие от капитальной постройки, установка конструкции никак не находится в зависимости от особенностей ландшафта, типа грунта и в том числе от погодных условий территории.

Сжатые сроки работ и сборки. В связи со сложностью конструкции и размеров предстоящей постройки заранее рассчитываются сроки окончания работ. Однако, во всяком случае, через несколько недель новый ангар станет готов к вводу в эксплуатацию.

Возможность переноса конструкции. Зачастую нынешний бизнес имеет необходимость в переездах промышленных либо складских помещений в другие регионы. Это находится в зависимости от экономических, производственных, сырьевых и иных обстоятельств.

Применяя быстромонтируемые арочные ангара, предприятие может перебраться на новое место в наиболее короткие сроки, при минимальных финансовых расходах.

Надежность и удобство. Крепкий стальной каркас и технологичные строительные материалы хорошо защищены от коррозии и разрушений на продолжительный период. Подобные постройки могут находиться в эксплуатации около 50 лет.

Устойчивость воздействиям окружающей среды. Применяемые при постройке использованные материалы никак не подвергаются безудержному воздействию солнечного ультрафиолета и сезонных скачков температур. Конструкции благополучно выдерживают значительную снеговую нагрузку, остаются прочными и устойчивыми даже под мощными порывами ветра, не портятся от морозов и высокой влажности.

Относительно низкая цена. Обычная постройка, содержит в себе: планирование, покупку и доставку строительных материалов, подготовку крепкого фундамента, привлечение специальной техники и другое. В сопоставлении с данными расходами, стоимость быстромонтируемых ангара существенно ниже на абсолютно всех этапах строительства.

Хорошая окупаемость. При интенсивно развивающемся бизнесе это может стать главным условием, так как дешевая цена и быстрый монтаж дает возможность приступить к эксплуатации сооружения в самые кратчайшие сроки. Исходя из этого через какое-то время заказчик уже начнет получать прибыль, что в скором времени перекроет его затраты на приобретение ангара.

Легкое обслуживание. Используемые строительные материалы не имеют необходимости в особенных условиях эксплуатации. Крепкая основа конструкции и высоконадежный каркас выдерживают сезонные снеговые нагрузки и при этом не требуют регулярной чистки [1].

1.2 Конструктивное различие ангара

Постройка быстромонтируемых ангара, сроки и характерные черты выполнения работ зависят от вида конструкции и его материалов.

Арочные ангара используются в основном в качестве сельскохозяйственных помещений, складских хранилищ или производственных площадей. В связи с небольшим весом конструкции допускается строительство

без фундамента и дополнительного укрепления. По этой причине бескаркасные быстромонтируемые ангары, их низкая цена и быстрые сроки строительства считаются основным аспектом подбора аналогичных построек. Однако, необходимо иметь в виду и о недочетах такого рода модели. Характерные черты конструкции арочных ангаров немного снижают их несущую способность, в то же время, увеличивая требования к условиям эксплуатации и подбору участка с целью их постройки [1].

Характерные черты подобных конструкций почти не отличаются от арочных, рисунок 2. Те же положительные моменты в невысокой цене и сроках постройки, и те же ограничения в эксплуатации.

Так как нельзя осуществить качественные утепления подобных помещений, они в основном применяются в теплое время года. Вследствие стремительной окупаемости подобные тентовые ангары быстромонтируемые пользуются большой популярностью.



Рисунок 2 - Каркасно-тентовые сооружения [1]

Постройки подобного вида различаются высокой прочностью и способны выдерживать большие эксплуатационные и технологические нагрузки. Это просторные ангары, в которые можно поместить производственные цеха, большие спортивные комплексы и бассейны, рисунок 3.

Долговечность основания можно объяснить материалом стальных конструкций – он достаточно тяжелый, но прочный. Подобная отличительная черта увеличивает цену транспортировки комплектующих, а потребность обработки конструкции антикоррозийным составом прибавляет экономические расходы [1].



Рисунок 3 - Рамные конструкции [1]

Аналогично постройкам рамного типа, ферменные конструкции довольно крепкие и долговечные, если сравнивать их с рамными конструкциями, они являются наиболее легкими, рисунок 4. Применение стального тонкостенного каркаса дает возможность стремительно построить надежную конструкцию, воплощая, при этом, наиболее всевозможные решения.



Рисунок 4 - Ферменные конструкции ангаров [1]

Авиационные ангары предназначены для хранения, техобслуживания, стоянки и ремонта авиационной техники, рисунок 5. Так как в этих ангарах хранятся дорогая и сложная техника, авиационным ангарам необходимы особые условия хранения.



Рисунок 5 – Ангары для авиации [1]

Для различных видов ангаров применяют различные основы конструкции и разную обшивку, рисунок 6.

В основном, современные стальные сплавы применяют для производства каркаса ангаров. Можно использовать алюминиевые конструкции, так как они являются более легкими, но они значительно уступают в прочности, да и стоимость их гораздо выше.

Если говорить о стальных основах, то в настоящее время подобные каркасы производятся:

- из покрытых оцинковкой холодногнутых профилей;
- из черного металла, их называют горячекатаными профилями;
- из комбинированных двух перечисленных выше материалов [1].



Рисунок 6 – Конструкции ангаров [2]

1.3 Размеры ангаров

Технически, можно реально построить конструкцию длиной в пару сотен метров и шириной пролета до 100 метров. На самом же деле, на практике, учитывают не только индивидуальные требования заказчика, но и организационные моменты.

Сейчас для получения разрешения на строительство ангара площадью более 1500 кв.м. необходимо пройти государственную экспертизу объекта. Для прохождения этой экспертизы обязательно будут расходы на разработку полного пакета документаций, стоимость которого может достигать 3000000 тенге (в зависимости от сложности проекта). Также на прохождение экспертизы потребуются затраты по времени [2].

Максимальные размеры серийных, которые не требуют экспертизы представлены в таблице 1:

Таблица 1 – Размеры ангаров [2]

Ширина пролета, м	Длина, м	Высоты, м	Площадь, кв.м
12	120	3,0; 3,6; 4,2; 4,8; 5,4; 6,0; 6,6; 7,2; 7,8; 8,4	1440
15	96		1440
18	78		1404
21	66		1386
24	60		1440

1.4 Применение ангаров

Ранее быстромонтируемые каркасные ангары в большинстве случаев применялись для помещений без отопления, рисунок 7. С помощью современных технологий и материалов сейчас можно оснастить постройки всеми необходимыми коммуникациями. С такими коммуникациями как: создание системы вентиляции, утепления, канализации, подведение водоснабжения, устройство автономного теплоснабжения, а кроме того подсоединения связи и сети интернет, дают возможность применять помещение ангара в любых целях [1].

Ангары применяют:

- как складские помещения;
- в качестве промышленных предприятий и производственных цехов;
- как зерно- и овощехранилища;
- с целью формирования сельскохозяйственных комплексов;
- в качестве гаражей для автомобилей и другой техники, кроме того для обустройства в них ремонтных мастерских или станций техобслуживания;

- для создания больших торговых павильонов, продуктовых, промышленных баз.

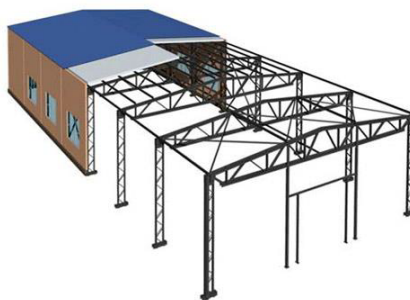


Рисунок 7 – Общий вид ангара [1]

Современные утепленные ангары можно применять в более широком смысле. Эти сооружения можно использовать:

- для открытия современных медицинских центров с бассейном;
- для строительства медицинских учреждений в регионах;
- при строительстве больших спортивных комплексов
- в качестве помещений для автосалонов
- в качестве площадей развлекательных центров;

Современные бескаркасные ангары обретают всю большую популярность, так как у них увеличивается область применения, поэтому спрос на такое строительство будет только расти [1].

2 Конструкция ангара

Так как ангар является легкой конструкцией, он не оказывает большого давления на грунт, хоть и накрывает существенную площадь. Но, несмотря на это на него действуют как вертикальные, так и боковые нагрузки, ввиду конфигурации на фундамент, в особенности если это арочный ангар.

Из-за скопления на крыше снега в зимнее время нагрузка возрастает в 2–2,5 раза, из-за чего основания арок как бы «разъезжаются».

Чтобы компенсировать такие нагрузки в фундаменте отливают столбы, которые называют свай, глубиной 1,7–2,2 м и толщиной 25–35 см в основании каждой арки, рисунок 8 [3].

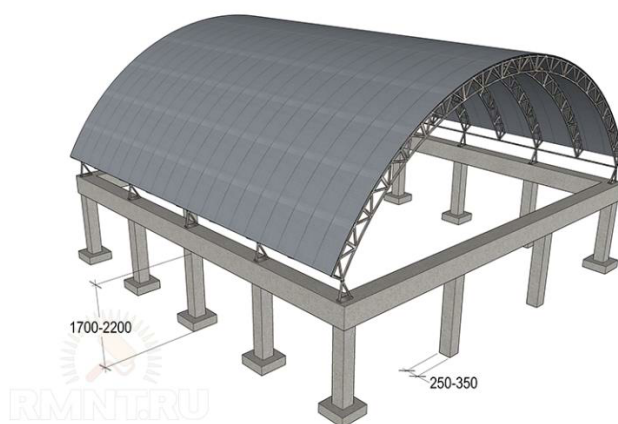


Рисунок 8 - Схема установки свай [3]

Для того чтобы убрать возможность воды затекать внутрь от осадков, фундамент должен образовывать замкнутый контур по периметру. Это относится так же к насыпному полу. Во время заливки столбов необходимо непременно гарантировать перевязку с использованием армированного ростверка, а его устройство в любом случае обязано сопровождаться закладкой выступающей на 20–25 см анкеровки для крепления ферм.

Фундамент окружают отмосткой, в бетон погружают асбестоцементные трубы, которые являются желобами для оттока дождевой воды. До монтажа металлокаркаса рекомендуется провести ряд работ: по устройству пола, копку и устройство смотровых ям и подвалов. Как правило, при строительстве ангара арки покупают. В них могут входить как специальные металлоконструкции, так и старые детали каркаса арочных теплиц.

Форма арок состоит из двух дуг, которые представляют половину полной окружности или её треть, в случае если свод устанавливается на стены высотой 1,5–2 метра, рисунок 9. Фермы комфортнее производить сегментами, опираясь

на длину проката, и сваривать воедино. Сначала необходимо грамотно определить основную хорду и промежуточные хорды.



Рисунок 9 – Арки конструкции ангара [3]

Арочная ферма имеет две дуги.

Внутренняя считается и производится так же, стоит только отнять из радиуса окружности толщину фермы. В наиболее упрощённом виде внутренняя дуга имеет тот же радиус изгиба, но укорачивается, таким образом арка имеет переменную толщину, в нижней части она более узкая и соответствует нормативному значению. Оно обуславливается распределённой нагрузкой, шагом установки ферм и толщиной труб [3].



Рисунок 10 – Крепление верхнего пояса ангара к аркам [3]

Для производства ферм подойдут стальные трубы по ГОСТ 10704–91 (круглые) или ГОСТ 8639–82 (квадратные). Трубы были отобраны из ориентировки на приближённые значения с довольно существенным коэффициентом надёжности, параметры конструкции ангара приведены в таблице 2:

Таблица 2 – Рекомендуемые параметры конструкции ангара [4]

Ширина основания	Диаметр трубы	Толщина стенки	Шаг между фермами
4,5 м	25 мм	2,2 мм	2,25 м
6 м	32 мм	2,5 мм	2,1 м
7,5 м	32 мм	3 мм	1,7 м
9 м	50 мм	3,2 мм	2 м

В период производства дуг не обязательно придерживаться строгих размеров, главное чтобы все сегменты были подобными. Сперва с целью надёжного стыкования вовнутрь труб вваривается небольшие отрезки трубок, внешний диаметр которых подходит проходу дуг.

Затем отрезки наружных и внутренних дуг необходимо разложить на ровной площадке. На этой площадке расположены упоры для краёв — можно считать шаблон. В случае если дуги пребывают на необходимом расстоянии друг от друга, их связывают косыми перемычками, которые располагают под углом в 45–60° к касательной внутренней дуги и шагом приблизительно 40–60 см. Верхние концы перемычек не обязательно обязаны совпадать на внешней дуге [4].

Соединение осуществляют сваркой либо болтовым соединением с приваренными к закладным косынками из листовой стали. Вертикальность легче всего координировать согласно привязанному к вершине отвесу и натянутому между основаниями фермы шнуру. Все без исключения дальнейшие фермы практично временно закреплять при помощи отрезков уголка зафиксированной длины с приваренными на краях «рогами» сделанными из арматуры [4].

Болты наиболее известный метод для строительства ангара, рисунок 11. Применение болтов и скрепляющих гаек дает возможность стремительно и надёжно объединять детали металлоконструкций воедино. Для этого используют болты с различной точностью производства. Точность бывает грубая, нормальная, повышенная. Кроме того бывают болты высокой прочности.

Болты грубой точности учитывают отклонение диаметра до одного миллиметра в одну либо в иную сторону. Отверстия для них обладают зазором в два — три миллиметра.

Болты нормальной точности обладают отклонением от номинального диаметра 0,52 мм. Зазор отверстий для них должен быть вплоть до 2 мм [5].



Рисунок 11- Болтовое соединение в конструкции ангара [5]

Подобные крепежи легко устанавливаются, однако по причине неплотной посадки болтов данные соединения не отличаются надёжностью. В основном их применяют с целью временной фиксации компонентов перед дальнейшей сваркой.

Болты повышенной точности обладают допуском от номинального размера 0,3 мм. Вводятся в отверстия с зазором 0,5 мм. Подобные соединения надёжны, крепки, годятся в целях сдвига из-за точного вхождения в отверстия. Выделяются за счет сложности и трудоёмкости в создании. Однако болтовые соединения все чаще применяются в строительстве, несмотря на то, что они являются металлоёмкими. Основное их преимущество — разъёмное крепление с возможностью демонтажа.

Анкерные болты используют для крепления конструкции к фундаменту, рисунок 12 [6].



Рисунок 12 - Анкерное крепление [6]

Впоследствии установки ферм их соединяют совместно продольной обрешёткой, в основном деревянным брусом, толщина которого на 15 мм больше диаметра применяемых труб. Сначала к брусу саморезами прикручивают 15–20 мм отрезки угловой стали с 3–3,5 мм стенкой. Потом обрешётку прикладывают к аркам в горизонтальном состоянии, прихватывают уголки, откручивают брусок и обваривают кронштейны.

Монтаж продольной обрешётки обязан быть с шагом, допускающим уложить листы обшивки, при этом сохраняя перехлёст в 15–20 см.

Отличным вариантом с целью обшивки мог бы стать профлист, однако из-за его жесткости в продольном направлении, он годен только при крупных радиусах арок и только лишь с наклонным расположением рёбер жёсткости, рисунок 13.

С целью зашивки фронтальных частей профлист вполне можно применять, в случае если заранее подобрать под него облегчённый перекрёстный каркас, который закреплён к ленточному фундаменту и арочной ферме.



Рисунок 13 - Обшивка ангара [6]

Обшивку свода осуществляют с помощью гофрированного профлиста или ровным кровельным железом. С целью длительной эксплуатации толщина металла обязана являться не менее 0,7 мм, слой оцинкования — 30 мкм и более. Стальные листы, которые покрывают полимерным покрытием надёжнее, но у них выше стоимость. Для проектируемого ангара были выбраны листы толщиной 0,5 мм. Для того чтобы края располагались ниже уровня верхней точки свода, при окончании обшивки два последних ряда листов имеют широкий напуск друг на друга [6].

К вершине ангара к фермам прикрепляют парные Г-образные с помощью болтов кронштейны с подкладкой широких шайб, состоящих из камерной резины. Предусмотрены они с целью монтажа проходного трапа, что даст возможность счищать скопившийся снег и осуществлять не большой ремонт.

В таблице 3 представлены профили, используемые для строительства ангара.

Таблица 3 – Профили, используемые для строительства ангара [6].

№	Узел	Прокат
1	Фермы Верхний и нижний пояс	труба профильная 60х40х3 на ребро
2	Стойки и раскосины	труба профильная 40х30х2
3	Опоры	труба профильная 80х80х3
4	Обрешетка	трубы 40х20х2 с шагом в метр
5	Болты	Длина болта l , мм 22
6	Болты анкерные	12х20х80 специальная сталь стойкая к коррозии

3 Расчет арочного ангара

3.1 Создание расчетной механической схемы и модели ангара

Для того, чтобы в точности учесть все строительные и проектные нормативы, каждый заказ клиента следует подвергать обработке, анализу, в соответствии с техническим заданием проекта и условиями места строительства. Расчет арочного ангара, в первую очередь, учитывает:

- основное сочетание нагрузок;
- натяжение канатов;
- прочностной расчет арочных металлоконструкций;
- снеговые и ветровые нагрузки;
- собственный вес конструкции арочного ангара.

Общая расчетная схема арочной металлоконструкции предусматривает:

- собственный вес;
- снеговая нагрузка равномерная;
- снеговая нагрузка неравномерная;
- ветер параллельно;
- ветер перпендикулярно.

Расчет арочного ангара привязывается к участку постройки, так же, чтобы увеличить степень строительно-монтажных работ [7].

Для того, чтобы конструкция арочного ангара справлялась со всеми показателями на всем сроке службы необходимо определить к какому поясу относится регион постройки, предусмотреть среднее число осадков, уровень снежного покрова, порывы ветра. Расчет арочного ангара подразумевает, что значение некоторых нагрузок будет умножаться на поправочные коэффициенты.

Расчет арочного ангара проводится поэтапно:

- расчет конструкции арочного ангара;
- расчет на основное сочетание нагрузок;
- статический расчет;
- расчет на устойчивость;
- расчет несущей способности;
- проверка несущей способности;
- заключение о работоспособности арочной конструкции [7].

Для общего анализа работоспособности конструкции арочного ангара проводятся следующие расчеты: статический расчет, расчет на устойчивость, расчет несущей способности. Расчет конструкции арочного ангара и расчет на основное сочетание нагрузок, включает в себя анализ длительных, постоянных и кратковременных нагрузок, так же они могут быть представлены в различных комбинациях. Контроль несущей способности ведется в соответствии с СНиП II-23-81 «Стальные конструкции» и обнаруживает самые нагруженные места в конструкции арочного ангара, учитывая силовые нагрузки (снег, дождь, ветер и

т.д.). В работе с конструкциями из стали рассматриваются два варианта расчета арочного ангара:

- расчет без учета действия нагрузок;
- расчет на основное сочетание нагрузок.

На основании результатов расчета арочного ангара можно дать вывод о его долговечности, прочности, работоспособности, надежности и устойчивости при разных нагрузках, в соответствии с регионом строительства постройки [8].

Автоматизированный расчет ангара.

Расчетная модель и прочностной расчет конструкции выполнены с помощью модуля APM Structure3D, который относится к системе APM WinMachine. Это САЕ программа, которая рассчитывает конструкции методом конечных элементов. В данном случае для формирования стержневой основы используется одномерные конечные элементы, а для создания пластины применялись двухмерные элементы [8].

Конструкция сооружения предполагает собой комплект арочных однотрубных ферм, которые соединяются между собой с помощью системы прогонов. Несущие арки твердо закрепляются к вертикальным опорным колоннам, сделанным из бетона. Общая расчетная схема арочной однотрубной металлоконструкции представлена на рисунке 14, приложение А. На рисунке 15 представлена модель в APM Structure3D.

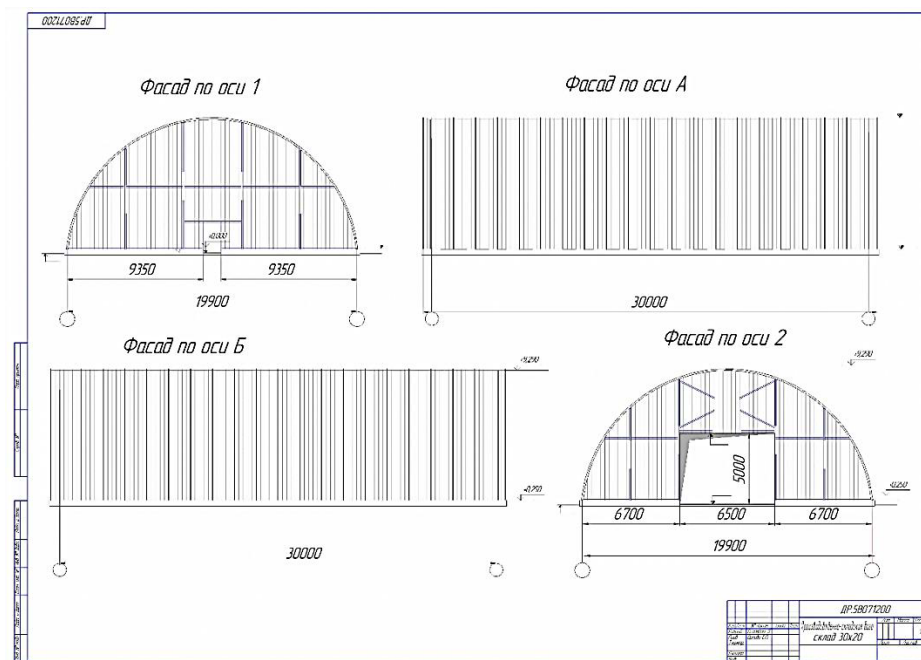


Рисунок 14 - Рабочий чертеж ангара

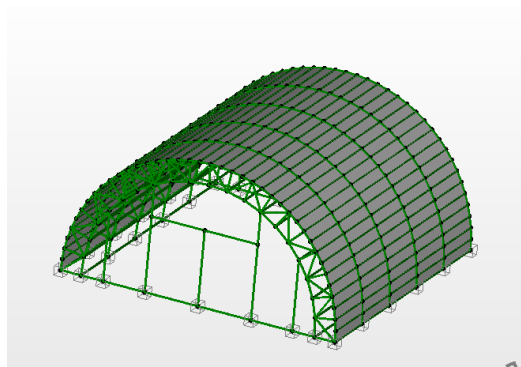


Рисунок 15 - Стержневая-пластинчатая модель в APM Structure3D

Во время расчета арочной однострунной металлоконструкции предусматривались такие нагрузки как: собственный вес сооружения, натяжение канатов, снег и ветер. Всего в рассчитываемой модели установлено 34 опорных точек.

В результате были сформированы следующие загрузки:

- собственный вес;
- снеговая нагрузка неравномерная;
- снеговая нагрузка равномерная;
- ветер перпендикулярно;
- ветер параллельно.

Расчет конструкции сооружения проводится на основное сочетание нагрузок, которая включает в себя постоянные, длительные и кратковременные нагрузки. Так же были созданы пять комбинаций загрузок, таблица 4 [9].

Таблица 4 - Список «Комбинации загрузки»

Комбинация загрузок 1		Комбинация загрузок 2		Комбинация загрузок 3	
Номер	Загрузка	Номер	Загрузка	Номер	Загрузка
0	Собственный вес	0	Собственный вес	0	Собственный вес
1	Снеговая нагрузка	1	Снеговая нагрузка	2	Снеговая нагрузка
4	Ветер параллельно	3	Ветер параллельно	3	Ветер параллельно
Комбинация загрузок 4		Комбинация загрузок 5			
Номер	Загрузка	Номер	Загрузка		
0	Собственный вес	0	Собственный вес		
1	Снеговая нагрузка равномерная	2	Снеговая нагрузка неравномерная		

Комбинации нагрузок под номером 4 и 5 были сделаны специально с целью моделирования ситуации без ветровой нагрузки после снегопада.

3.2 Анализ и выводы расчета на прочность и жесткость конструкции ангара

Для проведения анализа работоспособности сооружения были сделаны следующие расчеты: статический, расчет на устойчивость, расчет несущей способности.

Статический расчет:

Были созданы и просчитаны 5 комбинаций нагрузок (приведенные в таблице 4).

Четвертая комбинация нагрузок оказалась наиболее неблагоприятной. Это поясняется тем, что при этой геометрической форме конструкции действие ветра «разгружает» силовой каркас. Таким образом, это наиболее неблагоприятный вариант нагружения конструкции – если не учитывать ветровую нагрузку. Результаты статического расчета представлены в таблице 5:

Таблица 5 - Результаты статического расчета

№ комбинации	Напряжение, МПа	Перемещение, мм
1	120	0,02
2	98	0,009
3	138	0,01
4	204	0,04
5	112	0,002

Карты результатов для этой комбинации представлены на рисунках 16, 17, 18, 19.

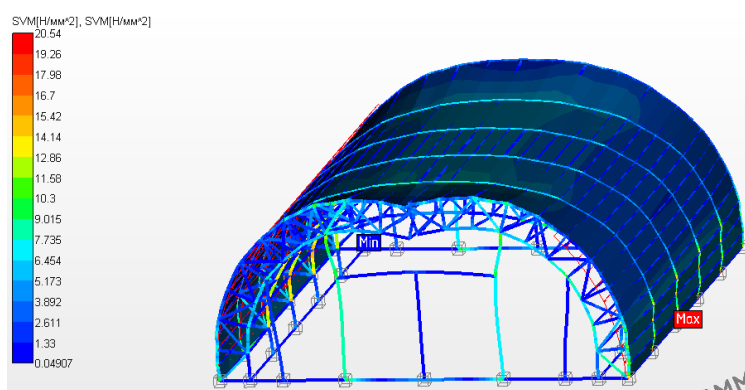


Рисунок 16 - Карта распределения эквивалентных напряжений металлоконструкции ангара для комбинации (собственный вес, снеговая нагрузка)

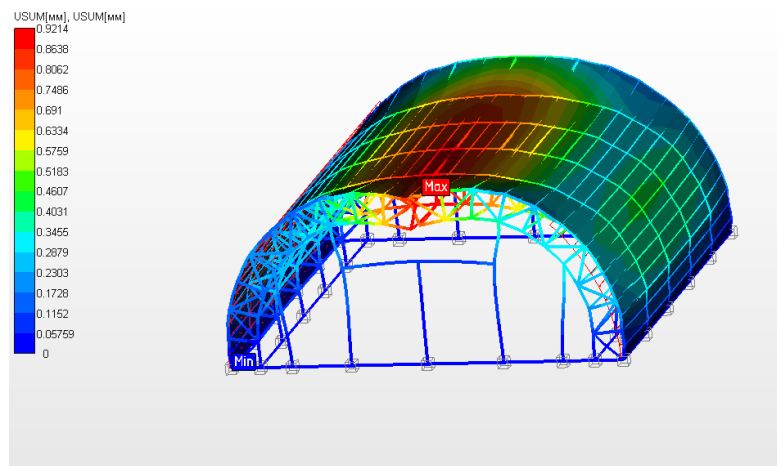


Рисунок 17 - Карта распределения суммарных перемещений элементов металлоконструкции здания

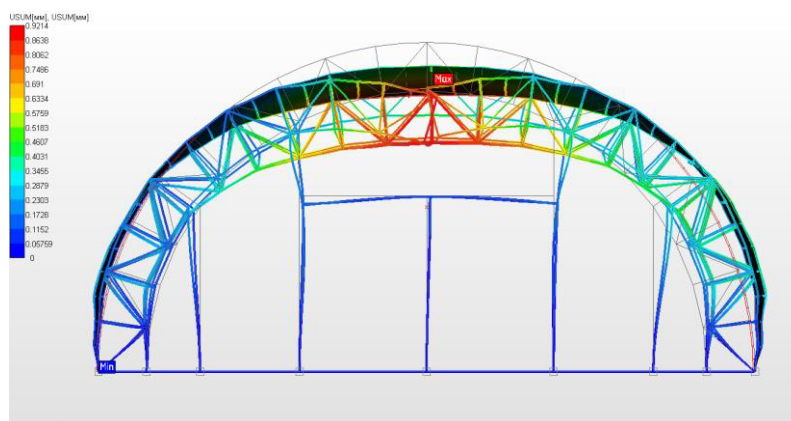


Рисунок 18 - Карта распределения перемещений по оси Z элементов металлоконструкции ангара

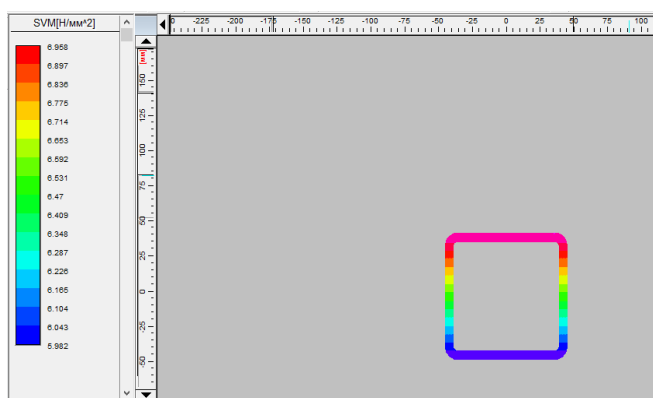


Рисунок 19 - Карта распределения нормальных (осевых) напряжений в сечении металлоконструкции

Анализ результатов статического расчета показал достаточный коэффициент запаса по прочности, причем максимальное значение $\sigma_{\max} = 205$ МПа, максимальное перемещение $y_{\max} = 0.9$ мм, возникают при проверке 4 комбинации (собственный вес + снеговая нагрузка), несмотря на это можно сказать о достаточном коэффициенте прочности и жесткости конструкции.

Так же программа APM STRUCTURE позволяет вывести смету расходов материала, то есть подсчитать необходимое количество стандартного проката.

В данном случае для ангара с заданными размерами потребуется 1610657 мм трубы сечением ГОСТ 8639, рисунок 20 [10].

Расход

Стержни Пластины

Название	Количество	Длина [мм]	Погонная масс...	Масса изделия...	Общая масса[кг]	Площадь
Кв. труба 90х6 ГОСТ 86...	1	1004.277	0.02	15.09	15.09	34602
Кв. труба 90х6 ГОСТ 86...	1	1100.000	0.02	16.53	16.53	37900
Кв. труба 90х6 ГОСТ 86...	1	1546.583	0.02	23.25	23.25	53287
Кв. труба 90х6 ГОСТ 86...	1	1546.583	0.02	23.25	23.25	53287
Кв. труба 90х6 ГОСТ 86...	1	1702.442	0.02	25.59	25.59	58657
Кв. труба 90х6 ГОСТ 86...	4	3761.826	0.02	56.54	226.17	51845
Кв. труба 90х6 ГОСТ 86...	3	1702.442	0.02	25.59	76.76	17597
Кв. труба 90х6 ГОСТ 86...	4	1222.291	0.02	18.37	73.49	16845
Кв. труба 90х6 ГОСТ 86...	4	2272.170	0.02	34.15	136.61	31314
Кв. труба 90х6 ГОСТ 86...	2	5811.078	0.02	87.34	174.68	40043
Кв. труба 90х6 ГОСТ 86...	6	4000.000	0.02	60.12	360.73	82691
Кв. труба 90х6 ГОСТ 86...	2	2905.539	0.02	43.67	87.34	20021
Кв. труба 90х6 ГОСТ 86...	2	2905.539	0.02	43.67	87.34	20021
Всего для сечения						
Кв. труба 90х6 ГОСТ 86...	946	1610657.463	0.02	24208.66	24208.66	554949
Всего для материала					24208.66	554949

OK Отмена Применить

Рисунок 20 - Смета расходов на металлоконструкцию ангара

Расчет на устойчивость:

При расчете четвертой комбинации был получен минимальный коэффициент запаса устойчивости, коэффициент 1,5 является недостаточным рисунок 21.

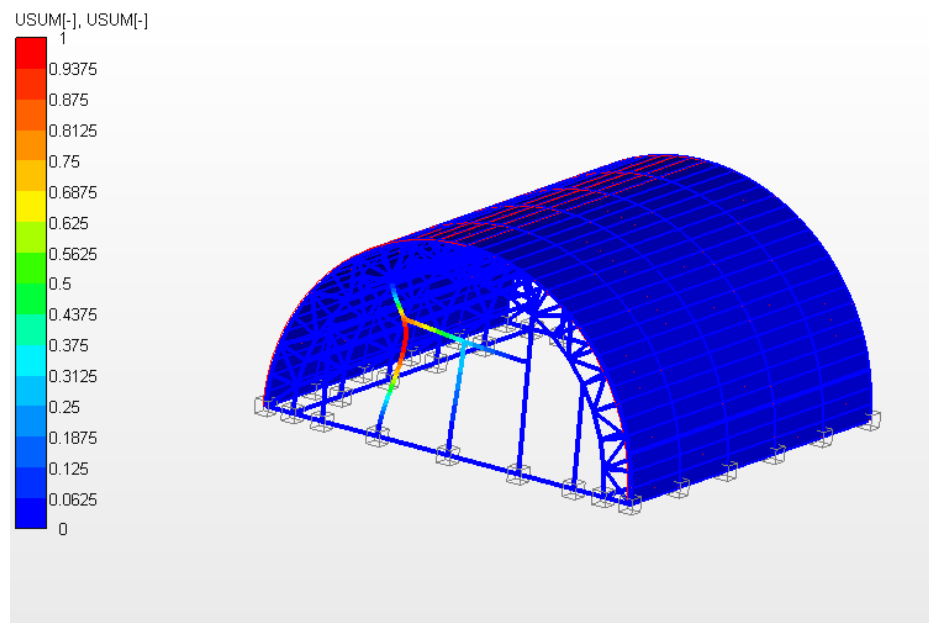


Рисунок 21 - Форма потери устойчивости металлоконструкции ангара

Выводы по расчетам:

В соответствии с СНиП II-23-81* «Стальные конструкции» проведена проверка несущей способности ангара, статический расчет показал достаточный коэффициент запаса для самого неблагоприятного случая загрузки, коэффициент запаса для конструкции из материала С345 с пределом прочности составил $k=2,4$, результаты по жесткости показали также удовлетворительные результаты, так максимальное перемещение составило $y_{max}=0.9$ мм, нормативные показатели по прогибам стальных балок $[y_{норм}]=\frac{l}{400} = 75$ мм.

Для стали нормативный коэффициент запаса устойчивости принимается в пределах от 1,8 до 3, для чугуна — от 5 до 5,5, для дерева — от 2,8 до 3,2. Значения коэффициента запаса по устойчивости при расчете машиностроительных конструкций (например, ходовых винтов металлорежущих станков), для стали принимают $n=4-5$.

С целью повышения устойчивости сжатых стоек можно рекомендовать усиления детали, с помощью которой совершается крепление нижних элементов несущих арок. Если дополнить имеющуюся конструкцию детали четырьмя ребрами жесткости, то можно усилить данную деталь.

На основе результатов проведенного анализа предложенной конструкции ангара были сделаны соответствующие заключения о ее работоспособности при заданных вариантах внешнего нагружения [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломной работе были рассмотрены конструкции ангаров, существующих на современном строительном рынке, были отмечены достоинства и недостатки, приведенных конструкций. Были приведены классические методы расчета стержневых упругих конструкций. Так же в дипломной работе был дан обзор существующих САПР для расчета металлоконструкций.

Были приведены этапы проектирования металлоконструкций – ангара.

Основными параметрами расчета арочного ангара, прежде всего являлись: основное сочетание нагрузок, прочностной расчет арочных металлоконструкций, собственный вес конструкции арочного ангара, снеговые и ветровые нагрузки и т.д. Из этих нагрузок были составлены комбинации загружений и проведен статический расчет и расчет на устойчивость. Анализ результата показал достаточный коэффициент запаса прочности, и недостаточный по устойчивости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 <http://skladovoy.ru/bystrovozvodimye-angary-iz-metallokonstrukcij.html>
- 2 <https://www.air-ventilation.ru>
- 3 Трофимов, В.И. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений (разработка конструкций, исследования, расчет, изготовление, монтаж): учебное пособие для вузов / В.И. Трофимов, А.М. Каминский. – М.: АСВ, 2002. – 575 с.
- 4 Шичков, А.Н. Менеджмент в промышленном производстве региона: Учебн. пособие / А. Н. Шичков. – Вологда: ВоГТУ, 2001. – 104 с.
- 5 <http://www.mostent.ru/elementy-konstrucii-angarov-balki-fermy-svyazi.html>
- 6 samzmk.com/bystrovozvodimye-zdaniya.html
- 7 Строительные нормы и правила: СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах. – М.:Стройиздат, 2000. – 27 с.
- 8 Строительные нормы и правила : СНИП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1985. – 40 с.
- 9 Бирбраер, А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость / А.Н. Бирбраер. – СПб.: Наука, 1998. – 225 с.
- 10 Немчинов, Ю.И. Расчет пространственных конструкций (метод конечных элементов) / Ю.И. Немчинов. - К.: Будивельник, 1980. – 232с.
- 11 «САПР и Графика» [Электронный ресурс]: электронная версия журнала -2007.