

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
институт
Проектирование зданий и экспертиза недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 Р.А. Назиров
подпись инициалы, фамилия
« » 20 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Разработка проектных решений зданий – укрытий для предприятий аграрного
комплекса»

тема

08.04.01. «Строительство»

код и наименование направления

08.04.01.04 «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	<u> </u> подпись, дата	<u>К.т.н. , доцент</u> <u>Е.М. Сергуничева</u> должность, ученая степень инициалы, фамилия
Выпускник	<u> </u> подпись, дата	<u>А.С. Демьянов</u> инициалы, фамилия
Рецензент	<u> </u> подпись, дата	<u> </u> должность, ученая степень инициалы, фамилия

Красноярск 2022

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
институт
Проектирование зданий и экспертиза недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Р.А. Назиров
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 20 ____ г

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Студенту Демьянов Алексей Сергеевич

фамилия, имя, отчество

Группа СФ20-04М Направление (специальность) 08.04.01. Строительство

номер

код и наименование

08.04.01.04 Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение

код и наименование

Тема магистерской диссертации «Разработка проектных решений зданий-укрытий для предприятий аграрного комплекса»

Утверждена приказом по университету № 16668/с от 27 октября 2020

Научный руководитель Сергуничева Елена Михайловна, к.т.н., доцент каф. ПЗИЭН,

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для магистерской диссертации: нормативно – правовые документы, учебники, справочники, методические пособия, диссертации, научные статьи, доклады, отчеты, материалы конференций и семинаров, справочные данные сети интернет, материалы научно – исследовательской практики.

Перечень разделов магистерской диссертации:

- Ведение;
- ГЛАВА 1. Общие понятия о теплицах. Анализ Отечественного и зарубежного опыта в тепличестроении
- ГЛАВА 2. Расчет теплотерь теплицы при использовании различных покрытий для города Красноярска и более суровых природно – климатических условий. Подбор оборудования для искусственной досветки растений;
- ГЛАВА 3. Оценка экономической эффективности использования различных покрытий теплицы;
- Заключение;
- Список использованных источников;
- Приложение 1;
- Перечень графического материала презентация.

Научный руководитель

подпись

Е.М. Сергуничева

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

А.С. Демьянов

инициалы, фамилия

« ___ » _____ 20__ г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
ГЛАВА 1. Общие понятия о теплицах. Анализ Отечественного и зарубежного опыта в тепличестроении	8
1.1. Теплицы: определения, история, номенклатура, системы отопления	8
1.2. Зарубежный опыт и технологии	11
1.2.1. Американская технология Джейкоба Митлайдера	11
1.2.2. Геодезическая сфера – купол.....	13
1.2.3. Голландская теплица (промышленная)	15
1.3. Отечественный опыт.....	18
1.3.1. Нормативная документация.....	18
1.3.2. Конструктивные решения	20
1.3.3. Методы снижения затрат на отопление зимних тепличных комплексов	21
1.4. Светодиодная досетка растений	22
ГЛАВА 2. Расчет теплопотерь теплицы при использовании различных покрытий для города Красноярска и более суровых природно – климатических условий. Подбор оборудования для искусственной досветки растений.....	26
2.1. Варианты покрытия теплицы.....	26
2.1.1. Покрытие из стекла.....	26
2.1.2. Покрытие и поликарбоната.....	26
2.1.3. Покрытие из сэндвич – панелей.....	30
2.2. Расчет теплопотерь теплицы для города Красноярска	32
2.2.1. Климатические показатели	34
2.2.2 Моделирование покрытий в программном комплексе COMSOL Multiphysics.....	36
2.2.3 Расчет покрытия из поликарбоната	39
2.2.4 Расчет покрытия из тепличного стекла	41
2.2.5 Расчет покрытия из сэндвич - панелей	42

2.3 Расчет тепловых потерь теплицы, с покрытием из сэндвич – панелей при эксплуатации в более суровых природно – климатических условиях (г. Енисейск)	44
2.3.1 Климатические показатели района строительства.....	44
2.3.2 Моделирование покрытий в программном комплексе COMSOL Multiphysics.....	45
2.3.3 Расчет покрытия из сэндвич - панелей.....	47
2.4 Сравнение тепловых потерь теплицы с различными покрытиями и при разных природно-климатических условиях	48
2.5 Подбор оборудования для искусственной досветки растений. Расчет тепловых эффектов от оборудования. Расчет затрат на электроэнергию.....	50
2.6 Сравнение полных затрат на эксплуатацию теплицы.....	53
ГЛАВА 3. Оценка экономической эффективности использования различных покрытий теплицы.	54
3.1 Расчет затрат на отопление за расчетный период	54
3.2 Определение стоимости устройства различных покрытий теплицы	56
3.3 Сравнение полных затрат на эксплуатацию 1м ² покрытия и затрат на монтаж.....	57
3.4 Определение экономической эффективности проекта	57
Заключение	70
Список использованных источников.	72
Приложение 1	77

Введение

История возникновения теплиц восходит к 1-2 векам до нашей эры, в то время начинается возвращение сельскохозяйственной продукции в условиях максимально приближенных к тепличным.

Современные же теплицы (какими мы их привыкли видеть), получают широкое распространение в Европе в 13-15 веке. Тогда они использовались в первую очередь как оранжереи для привезенных экзотических растений.

На сегодняшний день в мире порядка 700 тысяч гектаров теплиц. За последние несколько лет площадь закрытого грунта в мире выросла на четверть. Наиболее широкое распространение имеют теплицы покрытые пластиком, их доля составляет порядка 90 %. Ежегодно площадь закрытого грунта в мире возрастает на 10-12% [1]. В данный момент Европа является лидером по площади тепличных хозяйств, имея на своей территории 210 тысяч гектаров закрытого грунта, что составляет примерно 45% от общемирового количества [1].

Активное развитие тепличных хозяйств, происходит за счет повышения потребности населения планеты в свежих овощах и фруктах. И данный вопрос в современном мире в первую очередь решается уже не за счет увеличения площади закрытого грунта, а с помощью внедрения различных инновационных технологий.

Проблема обеспеченностью зимними теплицами и теплицами круглогодичного использования как никогда остро стоит для Красноярского края. Ведь в связи с его большой протяженностью с Севера на Юг климат очень неоднороден. На территории региона выделяют три климатических пояса: Арктический, Субарктический, Умеренный. Для Северных районов характерен континентальный климат с продолжительной зимой. В некоторых районах установлена вечная мерзлота. Для центральной части региона, преимущественно равниной, характерна холодная продолжительная зима и короткое лето, с быстрой сменой температур. На юге жаркое лето и умеренная зима. Средняя температура Января колеблется от -36 на севере до -18 на юге.

Если для южных регионов никаких вопросов в плане постройки теплиц, их конструктивных решений, энергоэффективности как в теории, так и на практике не возникает, то для центральных и северных районов края с более суровым климатом этот вопрос очень даже актуален.

Огромные площади необрабатываемых равнин, которые расположены в центральной части края подходят под застройку тепличными массивами. Возникает вопрос постройки зимних теплиц и теплиц круглогодичного использования на данных территориях.

Целью работ являлась разработка покрытия для теплиц, состоящее из непрозрачного ограждения, которое может работать в комбинации с оборудованием для искусственного обогрева и освещения растений.

Для решения поставленных целей были выполнены следующие задачи:

1. Анализа отечественного и зарубежного опыта по снижению теплопотерь в теплицах
2. Исследование характеристик различных покрытий теплиц, выбор наиболее рационального варианта покрытия
3. Численной моделирование теплопотерь теплицы в зависимости от вариантов покрытия
4. Анализ денежных затрат на эксплуатацию теплицы в зависимости от вида покрытия
5. Анализ устройства искусственной досветки растений, подбор наиболее рационального варианта
6. Подбор комбинации ограждающей конструкции теплицы и оборудования для искусственной досветки
7. Оценка экономической эффективности при замене светопрозрачных покрытий на непрозрачные.

ГЛАВА 1. Общие понятия о теплицах. Анализ Отечественного и зарубежного опыта в тепличестроении

1.1. Теплицы: определения, история, номенклатура, системы отопления

Теплица - это простое здание, в котором выращиваются растения. Эти здания могут быть небольшими или довольно массивными по размеру.

Целью использования теплиц является защита сельскохозяйственных культур от чрезмерного холода или жары и нежелательных вредителей.

Теплица позволяет выращивать определенные виды сельскохозяйственных культур круглый год, а фрукты, табачные растения, овощи и цветы - это то, что чаще всего выращивается в теплицах. В высокогорных странах теплицы наиболее распространены; это связано с проблемами, связанными с поддержанием жизнеспособных поставок продовольствия. Например, Альмерия, Испания, является местом одной из самых больших теплиц на планете, где ее площадь составляет более 26 000 га [2].

Италия 13-го века была местом первых современных теплиц. Первоначально теплицы были более распространены на благосостоянии, но вскоре они также разветвились в университетах. В 19 веке были построены одни из самых больших когда-либо построенных теплиц, а в 20-м веке популяризировался геодезический купол для использования во многих теплицах.

Современные тепличные комплексы имеют огромное разнообразие конструкций, инженерных систем, технологий выращивания растений.

Классификация теплиц и тепличных комплексов распределяется по многим параметрам.

- 1) По назначению:
 - овощные;
 - рассадные;

- рассадно -овощные.
- 2) По срокам использования:
 - круглогодичного;
 - весенне-летне-осеннего.
 - 3) Планировочному решению:
 - однопролетные;
 - многопролетные.
 - 4) По разрезу:
 - отдельно-стоящие (укрытия, ангарные);
 - блочные (тепличный комплекс).

Кроме этого теплицы могут подразделяться на виды в зависимости от размеров и площадей. Данное деление на сегодняшний день является основным [3].

В настоящее время в современной сфере теплицестроения внедряются линии новых недавно разработанных технологических и конструктивных решений. На основании этого можно рассмотреть современное распределение по типированию теплиц и тепличных комплексов

По основному назначению рассматриваются теплицы производственные, также называемые промышленными разной площади (3 га и более) для массового выращивания сельскохозяйственной продукции и блок фермерских теплиц площадью от 0,3 до 2,5 га. Стоит отметить, что последние очень часто интегрируются в действующие промышленные площадки более крупных производственных предприятий [3].

Также в отдельную группу взяты теплицы, которые используют в качестве базы для проведения всевозможных исследований. Это селекционные и репродукционные теплицы, а также фитотронно-тепличные комплексы, например, исследовательский центр Академии наук Республики Беларусь в Минской области в город Несвиж [4].

Также выделяют группу так называемых оригинальных теплиц, к которым относят оранжереи, зимние сады, торговые центры (Greenshop) и многие другие здания укрытия для растений, которые не входят в общую номенклатуру [4].

На сегодняшний день, в более современной классификации учитываются такие параметры как время и скорость разработки, конструктивные и технологические решения, и исходя из этого все существующие теплицы и тепличные комплексы относят к одному из шести поколений. Первые два поколения (двускатные стеллажные и ангарные) представляют наименьший интерес, так как массово используются только в индивидуальном хозяйстве. Также уже почти выведены из обращения теплицы третьего поколения, называемые еще антрацитовские (по названию города Антрацит в Луганской области, где они производились).

Наиболее распространенными сегодня являются теплицы четвертого поколения (типа «Venlo»), которые массово строятся во многих частях света (Европа, Северная Америка) последние 20 лет. [4].

Теплицы пятого поколения называют сильно модифицированным видом теплиц «Venlo». Они имеют огромное разнообразия названий, которое во многом зависит от страны - производителя например UltraClima, ModulAir, Eco-Greenhouse, OptimAir, SuprimAir и многие другие [4].

Отдельные образцы теплиц пятого поколения построены в Европе и Северной Америке, а также в России (ТК «Липецк-Агро», г. Данков, Липецкой области)[4].

В настоящее время идет теоретическая разработка теплиц шестого поколения, так называемых полностью закрытых теплиц, идея постройки которых состоит в повышении сопротивления теплопередачи наружных покрытий, то есть светопрозрачных ограждающих конструкций, путем их замены на непрозрачные. Данное мероприятие относится не только ко вновь построенным теплицам, но и к уже существующим, относящимся к

предыдущим поколениям. В этом случае экономия тепловой энергии достигается путем реконструкции, капитального ремонта и модернизации.

Материалом для покрытия теплиц обычно является стекло или пластик, иными словами светопрозрачная конструкция, которая не препятствует проникновению солнечного света в теплицу. Это нужно потому, что солнечный свет является неотъемлемой частью здания - укрытия, поскольку он нагревает землю внутри теплицы, которая за счет парникового эффекта задерживает и распределяет тепло между растениями [2].

По принципу отопления различают следующие виды теплиц:

- Естественное «отопление» (солнечный свет) [5];
- Воздушное отопление (вентиляторный нагреватель) [5];
- Кабельное отопление (теплый пол)[5];
- Инфракрасное отопление (лампы – обогреватели) [5];
- Водяной обогрев (трубы с горячей водой и радиаторы) [5];
- Печное отопление (дровяная или угольная печь)[5].

1.2. Зарубежный опыт и технологии

1.2.1. Американская технология Джейкоба Митлайдера

Широкое применение получила теплица по американской технологии Джейкоба Митлайдера.

Джейкоб Митлайдер – заслуженный сельскохозяйственный специалист, создавший новый тип теплицы, выгодно выделяющийся на фоне обычных парников. У нас эта конструкция также известна как «американская теплица» или «американка». Представляет собой теплицу среднего размера с вертикальными стенками и двухскатной крышей.

От обычного парника она отличается тем, что уровень скатов различается – один из них, обращенный к северной стороне, выше, а южный, наоборот, ниже. Посередине, на стыке скатов, расположена вертикальная стенка с фрамугами по всей длине теплицы [5].

Благодаря этим фрамугам в теплице Митлайдера обеспечивается эффективная вентиляция – теплый воздух, поднимаясь, уходит наружу. Холодный воздух поступает в парник через форточки или фрамуги, расположенные в стене, обращенной на юг. Воздухообмен в теплице Митлайдера представлен на рисунке 1.

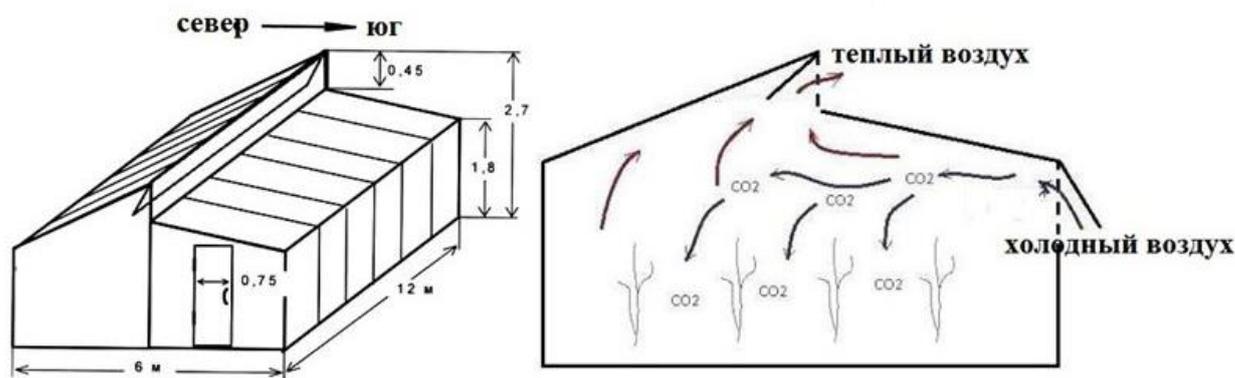


Рисунок 1.- Воздухообмен в теплице Митлайдера

Особенности и преимущества парника, построенного по методу Митлайдера:

- Эффективная вентиляция. Как уже было рассказано выше, благодаря расположению фрамуг и форточек, растения в теплице не перегреваются. Кроме того, отпадает необходимость в монтаже системы принудительной вентиляции, поэтому стоимость обслуживания такой теплицы ниже.

- При сборке подобного парника в качестве крепежа используются саморезы и болты, потому он легко разбирается, переносится на новое место и собирается. Также при сооружении митлайдеровской теплицы стенки и крышу можно изготовить как два отдельных модуля, соединяемые на заключительном этапе постройки. При такой конструкции демонтаж теплицы или замена поврежденных элементов обшивки значительно упрощается.

- Высота стенок теплицы подобрана таким образом, чтобы обеспечить удобство работы.
- Площадь и высота теплицы подобраны так, чтобы обеспечить в ней устойчивый микроклимат и предоставить достаточно места для выращивания различных сельскохозяйственных культур.
- Обшивка митлайдеровского парника располагается в два слоя, а между ними – воздушная прослойка толщиной 50-70 миллиметров. С ее помощью обеспечивается удовлетворительная теплоизоляция постройки.

Суть работы данной теплицы в разности высоты скатов, высокий скат чаще всего располагается с Северной стороны, что позволяет защищать теплицу от ветра, а нижний ориентирован на юг. В вертикальном пространстве между скатами устраивают зону для проветривания, чаще всего в виде форточек. Каркас для данной теплицы выполняют из двух вариантов конструкций: стальные трубы, либо деревянные балки. Материалом покрытия для данной теплицы служит сотовый поликарбонат, либо тепличное стекло [5].

1.2.2. Геодезическая сфера – купол

Первым геодезическим куполом (на основе икосаэдра) стал открытый 18 июля 1926 в Йене планетарий, созданным немецким инженером Вальтером Бауэрсфельдом [5].

Популяризировал идею теплицы – купола Ричард Фуллер, изучавший в конце 1940-х годов свойства куполов, и получивший патент на их конструирование [5].

Конструкция геодезического купола заинтересовала Фуллера прежде всего благодаря малой массе при большом внутреннем пространстве. Фуллер надеялся, что геодезики помогут решить послевоенный жилищный кризис.

Купола нашли своё применение в различных архитектурных строениях — больших оранжереях, планетариях, аудиториях, складах, ангарах. Жилые же купола не оправдали своих надежд из-за высокой стоимости.

Купольная теплица (Рисунок 2) или, как ее называют по-другому, геокупол – это сферическая конструкция, напоминающая собой огромную полусферу. Она строится путем тщательного соединения множества треугольных или шестиугольных сегментов в единое целое. За счет сферической формы конструкция способна лучше, чем стандартная теплица, создать необходимый микроклимат для растений в осенне-весенний период даже без специальной системы обогрева.



Рисунок 2 – Купольный тепличный комплекс

Отличительной чертой купола является то, что чем большего он размера, тем меньше себестоимость его возведения. Сама конструкция устроена таким образом, что чем больше внешняя нагрузка, тем прочнее она становится. Обычная прямая поверхность постоянно испытывает нагрузку от собственного веса и внешнего воздействия. При этом нагрузка на поверхность происходит на излом. В купольной конструкции все наоборот -нагрузка плавно перетекает с центральной части вниз и, поэтому, чем плавней форма купола, тем плавней эта нагрузка его обтекает.

Покрывают купольную теплицу различными материалами – полиэтиленом, сотовым поликарбонатом, стеклом. Также бывают такие виды теплиц, как геокупол с затемнением. Такая конструкция может достаточно хорошо держать тепло и использоваться даже зимой, если строилась капитально и с утеплением [5].

Каркас геокупола чаще всего выполняют из дерева, пластика или металла. Конечно, самым надежным вариантом является оцинкованная сталь, но своими руками проще собрать каркас из дерева – его проще обрабатывать, чем металл. К тому же дерево более экологично, но требует принятия более значительных защитных мер, чем тот же металл. Пластик – наименее прочный материал и

служит меньше, но зато не боится практически никаких химических воздействий. Она может иметь практически любой размер, при этом конструкция будет надежной и устойчивой даже без дополнительных подпорок. Размеры геодезического купола могут быть самыми большими. Поскольку нет больших площадей поверхности, против которых ветер может давить, воздух просто течет вокруг купола и над ним [5].

Теплица-купол, как и любое другое сооружение, обладает своими плюсами и минусами. Однако, в зависимости от требований и пожеланий самого садовода, некоторые из положительных или отрицательных характеристик не будут играть большой роли. Потому решение о том, нужна ли такая теплица, вы должны принимать самостоятельно.

Преимущества купольных теплиц:

- 1) прочность;
- 2) устойчивость;
- 3) меньший расход материала (в сравнение с классической прямоугольной теплицей).

Среди минусов выделяют:

- 1) сложность монтажа;
- 2) более сложные расчеты при проектировании;
- 3) использование сложных деталей и конструкций;
- 4) минимальный допуск при монтаже.

1.2.3. Голландская теплица (промышленная)

Промышленные теплицы, произведенные в Голландии (Рисунок 3), являются наиболее современными и экологическими, обладают высокой долговечностью и надежностью, за счет чего они получили широкое распространение не только в своей стране, но и в мире.



Рисунок 3 – Тепличный комплекс Venlo (Голландия)

Одной из основных особенностей технологии строительства данных теплиц, является расширение несущего металлического каркаса по мере его приближения к фундаменту, что повышает светопропускающую способность его стен, а также позволяет снижать теплопотери здания в целом.

В данных теплицах можно выращивать любые сельскохозяйственные культуры, как правило еще на стадии проектирования, конструкторами учитывается ее назначение, то есть продукция которая будет выращиваться в конкретной теплице.

Каркас голландской теплицы как правило выполняется в двух вариантах:

- Стальные конструкции
- Алюминиевые конструкции

Еще одной особенностью данных теплиц является специальный алюминиевый желоб, который позволяет регулировать отведение дождевой воды. Кроме того, в данных сооружениях также предусмотрены дополнительные технологические решения, позволяющие снижать ветровую и снеговую нагрузки на несущие элементы теплицы.

Материалом покрытия данной теплицы выступает современное стекло «флоат» (Рисунок 4) [6], которое увеличивает светопропускающую способность покрытия до 95%, вместо 80-85% у обычного тепличного стекла. Чаще всего голландские теплицы имеют двухслойное остекление. Кроме этого на самих покрытиях предусматриваются дополнительные экраны с функцией открытия -

закрытия, что позволяет регулировать световой поток, который поступает в теплицу через покрытие.



Рисунок 4 –Стекло «Флоат»

В базовую комплектацию данных теплиц входит теплорегулирующее оборудование, которое позволяет устанавливать и уравнивать температуру в любой точке теплицы. Кроме этого в нее входят системы вентилирования и кондиционирования теплицы, что позволяет исключить какие либо перепады микроклимата внутри помещения [6]. Сам микроклимат контролируется с помощью искусственного интеллекта.

В данных теплицах предусматривается система «умного» автоматизированного полива и сбора урожая, кроме того имеется компьютеризированная система отчистки кровли от дождя и снега.

Отопление данной теплицы осуществляется за счет горячего источника воды, которая поступает по трубам, укрытым в грунте теплицы и на поверхности пола. Наравне с этим используются солнечные коллекторы, которые накапливают солнечную энергию и за счет нее подогревают воду в трубах отопления теплицы.

Освещение данной теплицы строится в основном на естественных источниках света, однако в некоторых экземплярах теплиц, присутствует стандартное ультрафиолетовое или люминесцентное освещение[6].

1.3. Отечественный опыт

По оценкам «Интерагро», Россия занимает 23 место (1%) в мире по площади закрытого грунта и 12 место (2%) в Европе. Площади теплиц в России по данным Росстат медленно, с 3,1 тыс. га в 2019 году до 3,3 тыс. га в 2021 году. По планам Минсельхоза до 2025 года в России должно быть построено не менее 2 тыс. га, что увеличит площади практически в полтора раза [5].

В России за последние 3 года внедрено много новых интересных разработок, позволяющих отрасли стабильно развиваться. Кроме того, развитию отрасли также способствует государственная поддержка: компенсация затрат на строительство теплиц в размере 20% (для регионов Дальнего Востока компенсация составит 25%) и льготное кредитование – 1-5% годовых.

В 2017 году Минсельхозом было отобрано 27 проектов, которым возмещена часть затрат на строительство и оборудование теплиц. Площадь теплиц, построенных с учетом господдержки, составила 231,7 га. В общей сложности субсидии составили 6,3 млрд. рублей. Крупнейшим инвестиционным проектом стала третья очередь комплекса «Овощи Ставрополя» (холдинг «Это-Культура») – 5,3 млрд. рублей, площадь 21,8 га [4].

Рентабельность вновь построенных тепличных комплексов доходит до 40%, а старых теплиц с высоким расходом энергии и некруглогодичным периодом сбора овощей составляет 15-30%. Все это способствует резкому повышению коммерческой привлекательности выращивания овощей в защищенном грунте не только для профильных, но и для непрофильных инвесторов. По этой причине уже заявлено строительство более ста крупных теплиц (от 20 га) и средних (10-20 га).

1.3.1. Нормативная документация

Из нормативной документации, регламентирующей строительство и эксплуатацию тепличных хозяйств, хотелось бы выделить:

СП 107.13330.2012 Теплицы и парники. Данный свод правил распространяет свое действие как строящиеся объекты, так и на объекты уже введенные в эксплуатацию и реконструируемые объекты. Также он вводит понятие зимних и сезонных теплиц, устанавливает классы пожарной опасности для данных сооружений. Вводит понятие и рекомендации по объемно-планировочным и конструктивным решениям, водоснабжению, отоплению и вентиляции [7].

РД-АПК 1.10.09.01-14 Устанавливает методические рекомендации при проектировании и конструировании тепличных комплексов, выбору площадки под строительство. Также данный документ вводит номенклатуру тепличных комбинатов, состав их зданий и помещений, устанавливает необходимые параметры микроклимата в данных помещениях, а именно световой, температурно-влажностный режимы. Кроме этого дает рекомендации по газовому составу и скорости движения воздуха в теплицах [3].

ГОСТ Р 55202-2012 Устанавливает требование безопасности для смесителей газовых водонагревателей, которые предназначены для применения в теплицах и сельскохозяйственных помещениях, при необходимости дополнительного обогрева [8].

ГОСТ Р 57671-2017 распространяет свое действие на облучательные приборы со светодиодными источниками света, применяемые для облучения растений в теплицах индивидуального и промышленного пользования [9].

НТП-АПК 1.10.09.001-02 определяет основные требования к проектированию селекционных комплексов, распространяется на проектно-сметную документацию для строительства новых или реконструкции действующих тепличных комплексов, также используется при инвестиционном обосновании строительства [10].

СанПин № 5791-91 регламентирует гигиенические требования к проектированию и эксплуатации теплиц, организацию рабочих мест, санитарно-бытовое и медицинское обеспечение [11].

1.3.2. Конструктивные решения

Одной из тенденций современного сельского хозяйства является круглогодичное выращивание продукции в теплицах, расположенных в центральных и северных районах России [12]. Покрытие данных теплиц в данный момент устраивается с использованием одно – двухслойных материалов, таких как стекло или поликарбонат. Стоимость отопление этих сооружений, вне зависимости от вида теплицы остается на достаточно высоком уровне, и практически не зависит от ее вида (блочная или ангарная).

Для зимней теплицы вышеперечисленные варианты покрытия являются достаточно плохой теплоизоляцией, поэтому в них обязательно предусматривается дополнительная система отопления, которая может быть электрической, печной или водяной [14].

Кроме этого, в зимний период происходит снижение светового дня, и как следствие снижение количества солнечного света, который необходим для растений в теплицах. В связи с этим в них предусматривается дополнительное оборудование для досветки растений. Оно как правило бывает светодиодным или люминесцентным.

Все это способствовало появлению в области теплицестроения современных гелилтеплиц [15]. Их особенность состоит в наличии непрозрачной стены с высокими теплоизолирующими свойствами. Данная стена располагается с теневой стороны теплицы, что позволяет снижать ее теплопотери, значительно не снижая при этом объем поступающего солнечного света.

В [16] нашему вниманию представлен вариант энергосберегающий теплицы и проанализированы основные критерии и принципы строительства зимних теплиц, состоящих в том, что основным при разработке проекта теплицы является упор на ее теплоизоляцию, а именно непрозрачные покрытие с внутренней стороны, а также дополнительное устройство теплоизоляции на фундаментах.

Пример конструктивного решения теплиц для условий Сибири представлен на рисунке 5.

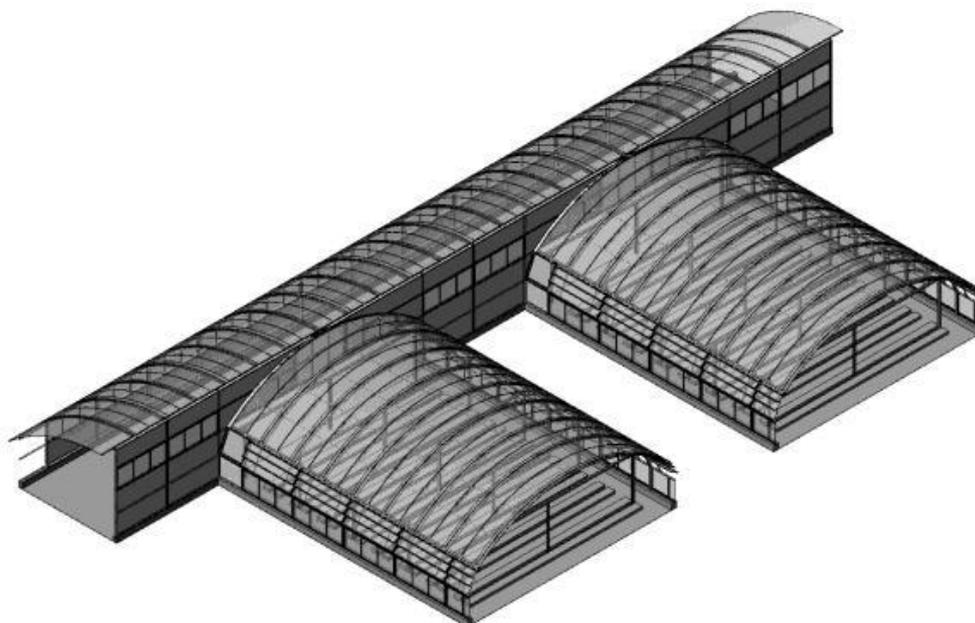


Рисунок 5 - Конструктивное решение для теплиц Сибири

Экономически целесообразным является постройка не отдельно взятой теплицы, а целого комплекса, преимущественно ангарных теплиц, за счет устройства общей системы отопления. Это позволяет снижать затраты на отопление, а также в какой-то мере нивелировать их с помощью объемов производимой продукции.

1.3.3. Методы снижения затрат на отопление зимних тепличных комплексов

Вопросы отопления тепличного комплекса поднимались в пункте 1.1, сейчас же мы более подробно остановимся на сравнении отопления зимних теплиц для климата Красноярского края.

Одним из способов снижения затрат на отопление зимних теплиц является использование энергосберегающего покрытия, отдельные образцы теплиц с таким покрытием построены в городе Красноярске [18].

В способе отопления при использовании угольных печей, единственным вариантом является закрытие печных заслонок, что позволяет препятствовать

выходу тепла через дымоход. Данный вид отопления является достаточно затратным и практически не используется в современном тепличестроении не только за счет высокой стоимости, но и за счет отрицательного влияния на экологию [19].

Отопление с помощью газовых обогревателей до сих пор актуально, одного тоже постепенно отходит на второй план, в связи с появлением более современных вариантов [18].

Наиболее часто распространенным является обогрев теплицы с помощью электричества, этот способ достаточно удобный, однако дорогостоящий [20]. Данный вид обогрева может осуществляться с помощью обогревателей, либо с помощью системы теплых полов, а дополнительное устройство теплорегулирующего оборудования позволяет поддерживать заданное значение температуры, исключая перерасход тепловой энергии и перегрев здания. Иными словами данный способ является наиболее автоматизированным [19].

Также в [21] был предложен альтернативный вариант обогрева растений в теплицах, который заключается, в использовании облучательной системы для теплиц, позволяющей снизить энергоемкость продукции и расход электроэнергии.

1.4. Светодиодная досетка растений

При выборе оборудования для искусственного освещения растений нужно учитывать некоторые факторы, которые влияют на их рост и развитие. К ним можно отнести интенсивность и спектральный состав излучения. Существующий спектральный диапазон, который составляет 280–750 нм подразделяется на следующие виды [22]:

- Ультрафиолетовое излучение с длинами волн 280 - 295 нм, может вызывать разрушение белков в клетках растений;
- 320–400 нм оказывает отрицательное воздействие при сконцентрированном и постоянном облучении, однако допускается наличие данного света в общем лучевом потоке в количестве нескольких процентов;

- 400–500 нм («синий») оказывает положительный эффект при формировании низкорослых растений с массивным стеблем;
- 500–600 нм («зеленый») является одним из основных катализаторов фотосинтеза в утолщенных листьях растений;
- 600–700 нм («красный») необходим для формирования фотосинтеза, а также для роста растений, однако при высокой интенсивности, возможен аномальный рост и даже гибель растений;
- 700–750 нм не является необходимым, не оказывает особого влияния на рост и развитие растений, однако допускается его присутствие в общем излучении в количестве нескольких процентов.

Ясно, что кроме определенного спектрального состава, поглощаемого растениями, необходимо соблюдать требуемые значения интенсивности излучения (энергетическая составляющая действия излучения). На Рисунке 6 показана зависимость эффективности фотосинтетического действия ОИ в зависимости от его интенсивности. Эта зависимость качественно показывает, что существует определенный оптимальный поток излучения.



Рисунок 6. - Типовая световая кривая фотосинтеза 1-2 – «отрицательный» фотосинтез, 2 – световая компенсационная точка фотосинтеза, 3-4 – уменьшение резерва усвоения энергии за счет увеличения числа поглощенных квантов, 4-5 – плато насыщения

У растений одновременно с процессом фотосинтеза происходит и процесс дыхания (фотодыхания), при котором происходит деструкция ранее синтезированных органических соединений. Разлагая органические вещества, растения затрачивают энергию на дыхание (участок 1-2 на рис. 1.5). При этом они выделяют углекислый газ и поглощают кислород («отрицательный» фотосинтез). При малых значениях облученности интенсивность фотосинтеза бывает настолько мала, что усваиваемой при этом энергии бывает недостаточно для покрытия расхода ее на дыхание. При увеличении числа квантов излучения (интенсивности) растет и фотосинтез [26].

Наиболее эффективным является использование красного света [27]. Однако исследования [28], [29] показывают, что при одном узкополосном красном свете растения плохо развиваются; для синтеза хлорофилла и вегетативного роста к красному свету следует добавить синий свет. Работа [30] убедительно показывает, что зеленый свет имеет как энергетическую, так и регулирующие функции, а узкополосный красный и синий свет в ряде случаев угнетает рост растений. Исследование [31] показывает, что добавление зеленого света к красному и синему спектру значительно увеличивает урожай салата. Исследование [32] показывает, что добавление белого светодиодного света, заполняющего пробел в зеленой области, к красному и синему свету улучшает внешний вид и вкус салата.

В настоящее время белый светодиодный свет с дополнительным красным светом является более перспективным световым спектром для повышения эффективности фотосинтеза растений [33]. Но есть данные, что изменение доли красного света в потоке падающих фотонов при типичной интенсивности облучения, при которой выход биомассы пропорционален интенсивности освещения, не оказывало существенного влияния на урожай [34]. Следовательно, добавление красного света к спектру белого светодиода целесообразно для улучшения цветопередачи. Но не стоит добавлять красный свет в избытке, придавая белому цвету светло-розовый оттенок. Энергоэффективный свет для растений может быть белым.

Экспериментальное исследование салата, редьки и перца [35] показывает, что развитие растений не зависит от того, используете ли вы непрерывный или узкополосный спектр. В частности, замена люминесцентной лампы, красных и синих, а также красных, синих и зеленых светодиодов на белые светодиоды с той же интенсивностью освещения и долей синего компонента не повлияла на развитие растения. Следовательно, развитие растения определяется балансом основных спектральных составляющих; тонкие особенности спектра не важны. Свет для растений может иметь спектр различной формы, в том числе предназначенный для человеческого зрения.

ГЛАВА 2. Расчет теплопотерь теплицы при использовании различных покрытий для города Красноярска и более суровых природно – климатических условий. Подбор оборудования для искусственной досветки растений.

2.1. Варианты покрытия теплицы

Для моделирования и расчета были выбраны 3 варианта покрытия теплицы:

- стекло листовое тепличное;
- поликарбонат сотовый;
- сэндвич-панель из минераловатных плит.

2.1.1. Покрытие из стекла

Стекло [36] – материал или группа материалов, общим показателем для которых является свойство переходить при охлаждении из жидкого состояния в твердое, без образования кристаллической решетки.

Основные преимущества данного материала, при использовании его в качестве покрытия для теплиц является прозрачность, которая обеспечивает беспрепятственное прохождение солнечного света в теплицу

Основным недостатком данного материала является хрупкость. То есть при механическом воздействии у него практически отсутствует стадия деформации, и оно просто разрушается.

2.1.2. Покрытие из поликарбоната

Поликарбонат [37] – полимерный материал, используемый для изготовления прозрачных гибких стройматериалов. Как правило, применяется для создания светопрозрачных конструкций. Является наиболее удачным в плане стоимости и долговечности заменителем силикатного стекла.

Под поликарбонатом подразумевается целая группа синтетических смол с подобными качествами. Это не один материал, поэтому в изделиях из

поликарбоната на самом деле может быть отличающийся состав, а значит соответственно и свойства. Однако отличия настолько небольшие, что практически несущественны. Группа материалов под названием поликарбонаты была открыта во время исследования лекарственного болеутоляющего препарата. Во время экспериментов при химической реакции компонентов образовался побочный продукт, представляющий собой прозрачный, твердый и крепкий полимер.

При дальнейших исследованиях непосредственно этого полимера было разработано 3 технологии его промышленного производства, делающие это рентабельным, так как естественно изначальный способ для глобального внедрения непригодный.

Изначально поликарбонат использовался неохотно в силу недостатка – помутнение в результате воздействия ультрафиолета. В настоящее время данная проблема решена включением в состав специальных светостабилизирующих добавок. Они позволяют поликарбонату сохранять прозрачность долгие годы, не реагируя на солнечный свет. Часто светостабилизатором выступает прозрачная пленка, поэтому материал нужно монтировать ею вверх.

На химических предприятиях поликарбонаты производятся в виде гранул. Такой полуфабрикат закупается более мелкими производствами, которые переплавляют его в листовую пластик и прочие изделия. Для этого применяется специально автоклавное оборудование.

Поликарбонат является достаточно востребованным прозрачным листовым материалом. Он не единственный в своем роде, однако, имеет ряд положительных качеств, что позволяет ему пользоваться постоянным спросом.

Из поликарбоната изготавливают обшивочные материалы, а также прозрачные листы для остекления. В первую очередь это 4 вида материала:

- сотовый;
- монолитный;
- рельефный;

- волнистый.

Каждая разновидность материала имеет свою сферу применения.

Сотовый предназначен для сооружения теплиц, парников, козырьков перед входными дверями, беседок. Он состоит из 2-х слоев, между которыми оставляется воздушная прослойка. Между собой они объединяются ребрами жесткости. Между ребрами формируются соты, за что материал и получил свое название. Наличие ребер жесткости не позволяет сгибать лист в поперечном направлении. При продольном он легко гнется почти под любым углом. При монтаже сотового поликарбоната нужно позиционировать его так, чтобы при необходимости изгиба он проходил без деформации ребер жесткости.

Монолитный поликарбонат очень похож на обычное стекло, но отличается некоторой гибкостью. Он имеет хорошую прозрачность, поэтому может использоваться для остекления. Такие стекла являются противоударными, поскольку при механическом воздействии гасят столкновение. Разбить его конечно можно, но это будет сложнее, чем обычное стекло. Также монолитные поликарбонаты могут применяться для изготовления витрин и защиты рекламных стендов.

Рельефный также является монолитным, но имеет не гладкую, а рельефную поверхность. Это позволяет ему эффективно рассеивать свет. Кроме этого рельефная поверхность при механическом воздействии меньше получает видимых царапин. Этот материал существенно крепче сотового поликарбоната, и естественно тяжелее, чем он. Его используют для накрытия козырьков. Также нужно отметить, что рельефные листы прочнее гладких монолитных. Это позволяет их использовать для закрытия проемов на кованых воротах.

Волнистый практически повторяет форму шифера. Он отличается хорошей прозрачностью. Его используют как кровельный материал. Волны выступают в качестве ребер жесткости. Это позволяет материалу держать большую снеговую нагрузку.

К достоинствам поликарбоната можно отнести:

- 1) низкий коэффициент теплопроводности;

- 2) шумоизоляционные качества;
- 3) не отбрасывает тень, за исключением рельефного и волнистого;
- 4) имеет широкий температурный диапазон использования;
- 5) отличается малым весом;
- 6) нет острых осколков при разбивании;
- 7) выдерживает большие нагрузки;
- 8) не горит.

Низкий коэффициент теплопроводности делает его материалом №1 для использования при перекрытии теплиц и парников. Он не является самым теплым из всей группы прозрачных материалов, однако он достаточно дешевый, чтобы его применение в сфере выращивания растений было рентабельным.

Хорошая прозрачность материала позволяет создать под ним комфортные условия для роста растений. Листы поликарбоната для теплиц и парников не отбрасывают тень. В продаже можно встретить материалы разной прозрачности и цвета. Бесцветные листы монолитного поликарбоната пропускают 87-89% света. У обычного стекла этот показатель равен 91%. Листы сотового поликарбоната пропускают свет хуже. Светопрозрачность у них может составить 80-88%. Волнистый материал имеет прозрачность порядка 85%.

Листы поликарбоната имеют широкий температурный диапазон использования. Однако на морозе материал становится ломким. При недостаточной толщине и сильной ветровой нагрузке его деформация может повлечь образование трещин. В первую очередь это касается сотового поликарбоната.

Листы поликарбоната имеют малую массу. Это позволяет строить из них светопрозрачные конструкции без фундамента. Также можно отказаться от усиленного металлокаркаса. Что касается стойкости к нагрузкам, то это касается всех видов поликарбоната, кроме тонкого сотового. Именно он преимущественно применяется при строительстве теплиц благодаря своей дешевизне. В результате шквального ветра он нередко разрывается. Данная

проблема есть, но в оправдание поликарбоната можно заметить, что почти любой другой прозрачный материал при столь малой толщине окажется не лучше [38].

Поликарбонат – это негорючий материал. При воздействии высоких температур он просто плавится, превращаясь в вязкую массу. После остывания она снова становится твердой. Его максимальная температурная стойкость составляет +145°C. При более высоком нагреве он плавится.

Также в пользу его безопасности можно отметить, что при повреждении он не разлетается на осколки как стекло. Его кромки не отличаются остротой. Чтобы разрушить лист монолитного поликарбоната, нужно приложить усилие более 400 Дж. Это почти в 10 раз выше, чем для обычного не каленного стекла. Сотовые листы существенно слабее, для них достаточно 27 Дж [38].

К явным недостаткам его можно отнести:

- 1) недостаточную абразивную стойкость (он боится царапин);
- 2) разрушение под воздействием ультрафиолета;
- 3) интенсивность теплового расширения (под действием высоких и низких температур материал, соответственно, расширяется и сужается, что создает определенные сложности при монтаже – необходимо учитывать в конструкции из поликарбонатных листов наличие т.н. теплового зазора).

2.1.3. Покрытие из сэндвич – панелей

Сэндвич панели – многослойная конструкция, предназначенная для строительства. Состоит она из металлических листов со слоем утеплителя между ними. Данная конструкция приведена на рисунке 7.

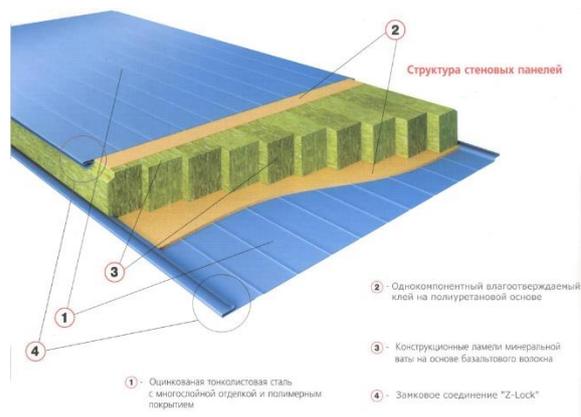


Рисунок 7 –Сэндвич - панель

Она является отличным строительный материал для быстровозводимых зданий и сооружений. В зависимости от того, из какого материала создан каркас быстровозводимого здания, крепление сэндвич панели к нему осуществляется при помощи самонарезающих болтов по дереву или по металлу, либо при помощи специальных дюбелей, если необходимо прикрепить сэндвич панели к каркасу из бетона [39].

Как правило, утеплителем в сэндвич - панелях является либо базальтовое волокно (т.е. минеральная вата). Одна из основных характеристик сэндвич - панелей – коэффициент теплопроводности, который имеет достаточно низкое значение, что позволяет использовать их в качестве плит для утепления здания, достаточно удобных в монтаже, с дополнительной защитой утеплителя от проникновения влаги.

Стоит отметить что, несмотря на то, что пенополистирольный утеплитель имеет более высокий чем, скажем, пенополиуретановый коэффициент теплопроводности, благодаря значительно меньшей горючести, он используется гораздо более широко. Пенополистирольные сэндвич панели эффективны в строительстве зданий, к которым предъявляются повышенные требования по пожарной безопасности.

Виды сэндвич–панелей в зависимости от материала утеплителя [39]:

- Сэндвич – панели, с утеплителем из пенополистирола, имеют небольшой вес, что позволяет снижать нагрузку на несущие конструкции здания небольшим. В основном они используются при строительстве зданий с

производственным назначением, а также холодильных объектов промышленности.

- Сэндвич– панели, с утеплителем из пенополиуретана, имеют более высокие теплозащитные характеристики. Используются как стеновые ограждения или как конструкции кровле в различных промышленных зданиях и сооружениях.

- Сэндвич– панели, с утеплителем из минерального волокна, имеют высокую огнестойкость, за счет того, что материал утеплителя является негорючим, также имеют достаточно низкий коэффициент теплопроводности, что позволяет использовать их в качестве панелей утепления.

Преимущества сэндвич – панелей [39]:

- 1) возможность монтажа в любое время года;
- 2) высокая скорость монтажа;
- 3) низкая нагрузка на несущие конструкции и фундамент здания;
- 4) не требуют дополнительной внешней и внутренней отделки стены.

У сэндвич – панелей имеются свои недостатки:

- 1) является самонесущей конструкцией, не способна воспринимать дополнительную нагрузку;
- 2) возможность повреждения при транспортировке и монтаже, во многих случаях может привести к непригодности конструкции;
- 3) требовательны к соблюдению технологии монтажа.

2.2. Расчет теплотерь теплицы для города Красноярска

Проектом предусматривается строительство тепличного комплекса в г. Красноярске.

Здание одноэтажное в плане имеет прямоугольную форму. Размеры в осях А - Д= 18000 мм. В осях 1-3= 26450 мм.

Высота этажа 7700 мм. За относительную отметку +0,000 уровня чистого пола первого этажа Конструктивная система здания – Каркасная. Графическое изображение теплицы представлено на рисунках 8-10.

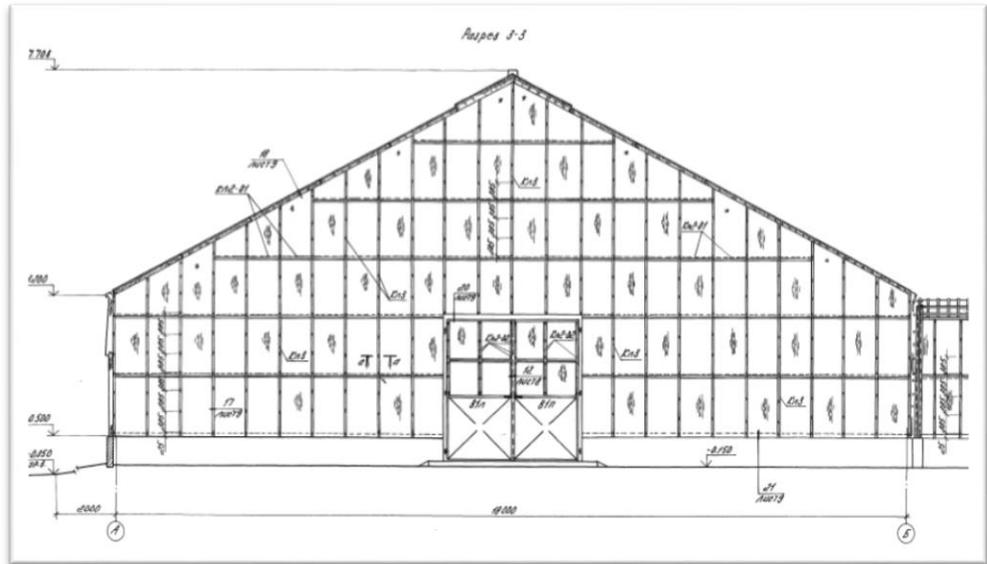


Рисунок 8 – Фасад А –Б

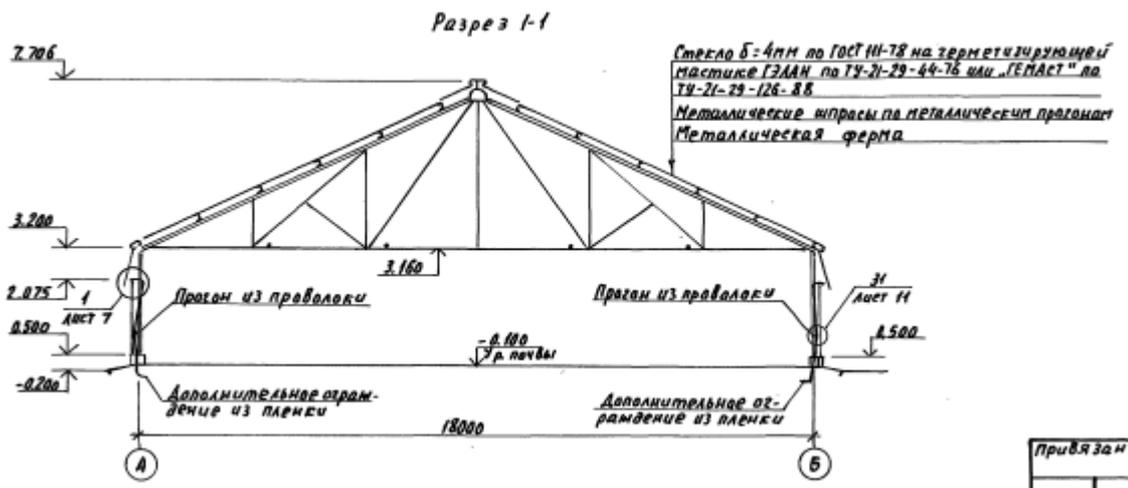


Рисунок 9 –Разрез 1-1

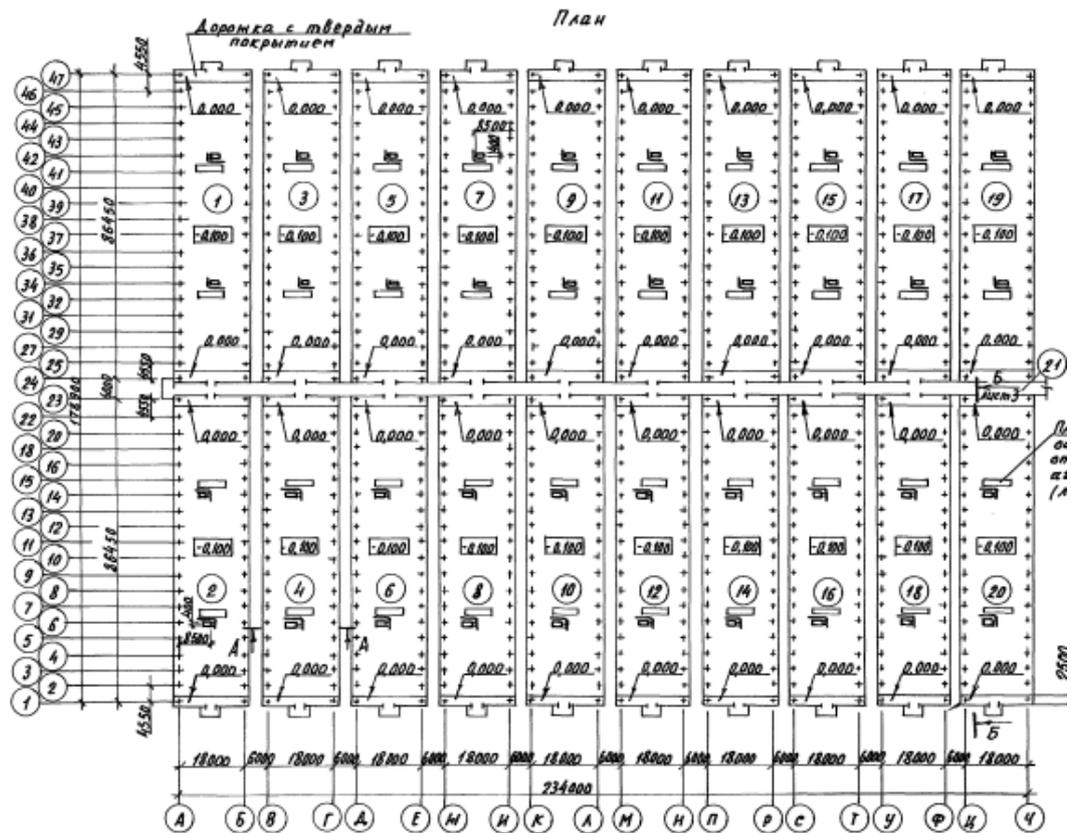


Рисунок 10 – План этажа теплицы

Таблица 1 – Геометрические характеристики объекта

Параметр	Итого
Отапливаемый объем $V_{от}$, м ³	2586,9
Сумма площадей этажей здания $A_{от}$, м ²	476,1
Общая площадь наружных ОКА _{ст} , м ² , из них:	893,8
фасадов здания $A_{фас.}$, м ²	893,8

Коэффициент остекленности фасада: $k = 1$

2.2.1. Климатические показатели

Район строительства – г. Красноярск

Расчетная температура наружного воздуха $t_n = -37$ °С [40];

Расчетная температура внутреннего воздуха $t_{в.} = 26$ °С [41];

Продолжительность отопительного периода $z_{от} = 234$ сут. [40];

Средняя суточная температура отопительного периода $t_{от} = -7,1$ °С [41];

Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь $v = 4,3$ м/с;

Расчетная относительная влажность внутреннего воздуха $\phi_{вн.} = 70 \%$ [41];

Значение температуры точки росы для $t_{р.} = 11,6 \text{ }^\circ\text{C}$ [41];

Расчет градусо-суток отопительного периода (ГСОП) для наружных ограждающих конструкций теплицы вычисляется по формуле (1)[41]:

$$\text{ГСОП} = (t_{в} - t_{от}) \cdot z_{от} \quad (1)$$

где $t_{от}$, $z_{от}$ — средняя температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по [41]
 $t_{в}$ — расчетная температура внутреннего воздуха здания, $^\circ\text{C}$.

$$\text{ГСОП} = (26 + 7,1) \cdot 234 = 7745 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{сут/год}$$

Определим значения базовых требуемых и нормируемых сопротивлений теплопередаче наружных ограждающих конструкций по формуле (2) [41]:

$$R^{тр}_{п} = a \cdot \text{ГСОП} + b \quad (2)$$

где a, b — коэффициенты, значения которых следует принимать по данным Таблицы 3 [41].

ГСОП— градусо – сутки отопительного периода, $^\circ\text{C} \cdot \text{сут/год}$

$$R^{тр}_{п} = 0,0002 \cdot 7745 + 1 = 2,54 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C/Вт};$$

Определяем нормируемое сопротивление теплопередачи по формуле (3):

$$R^{норм}_{п} = R^{тр}_{п} \cdot m_p \quad (3)$$

где $R^{тр}_{п}$ — базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C/Вт}$, следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода, (ГСОП), $^\circ\text{C} \cdot \text{сут/год}$, региона строительства и определять по таблице 3[41].

m_p — коэффициент, учитывающий особенности региона строительства, $m_p = 0,95$

$$R^{норм}_{п} = 2,54 \cdot 0,95 = 2,41 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C/Вт}$$

Для моделирования и расчета теплопотерь здания было выбрано 3 вида покрытий:

Наружная ограждающая конструкция №1:

Поликарбонат сотовый по ГОСТ Р 56712-2015 толщиной 6 мм

Наружная ограждающая конструкция №2:

Стекло по ГОСТ 111-2014 толщиной 6мм

Наружная ограждающая конструкция №3:

Сэндвич панель из Мин. плита на базальтовой основе толщина металла 0,45мм с двух сторон, мин плита – 50мм

2.2.2 Моделирование покрытий в программном комплексе COMSOL Multiphysics

Характеристики используемых материалов покрытия представлены в Таблице 2.

Таблица 2 – Материалы покрытия теплицы

Материал	Толщина слоя покрытия, δ_s , мм	Коэффициент теплопроводности λ_A , Вт/(м*°C)
Стекло	6	0,9
Поликарбонат	6	0,14
Сталь	0,1	58
Мин плита	50	0,04

Площадь поверхности фрагмента ограждающей конструкции для расчета приведенного сопротивления теплопередаче $R_{o}^{пр}$ составляет: $A_{ст} = 1024 \text{ м}^2$;

Площадь стены составляет: $A_{ст.} = 893,8 \text{ м}^2$; Доля плоского элемента от общей площади конструкции составляет: $a_1 = 893,8/893,8 = 1,000$;

Граничные условия расчета представлены в Таблице 3.

Таблица 3 – Граничные условия расчета для города Красноярск

	Коэффициент теплоотдачи α_n , Вт/м ² *°C	Температура, °C	Влажность, %
Внешняя	23	-37	72
Внутренняя	8,7	26	70

Результаты моделирования теплового потока в программном комплексе COMSOL Multiphysics представлены на рисунках 11-13.

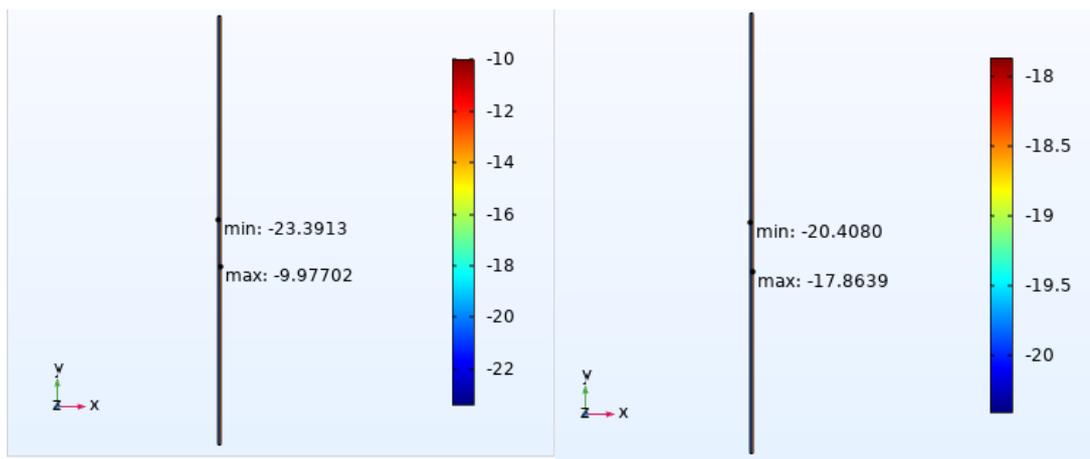


Рисунок 11- Поликарбонат сотовый

Рисунок 12 – Стекло тепличное

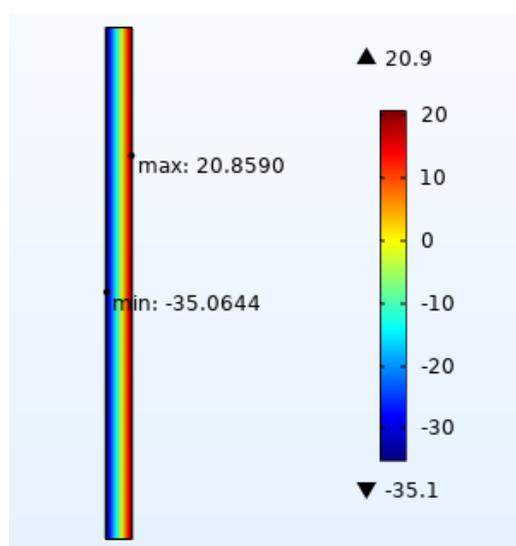


Рисунок 13 – Сэндвич-панель

Все температурные поля рассчитываются для температуры наружного воздуха минус 37 °С и температуры внутреннего воздуха 26 °С.

Приведённое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции определяется по формуле (4):

$$R_0^{пр} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{1}{\alpha_{н}} + \sum_{i=1}^s \frac{\delta_s}{\lambda_s}, \quad (4)$$

где $\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции [41];

$\alpha_{н}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции;

δ_s – толщина слоя, м;

λ_s – расчетная теплопроводность материала слоя, Вт/(м·°C), в случае отсутствия данных принимается по приложению Т.

Удельные потери теплоты для плоского элемента определяются по формуле (5) [41]:

$$U_1 = 1/R_o^{пр}, \quad (5)$$

где $R_o^{пр}$ - Приведённое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м²·°C/Вт

Рассчитаем потери теплоты для плоского элемента №1:

$$R_{o1}^{пр} = 1/8,7 + 0,006/0,14 + 1/23 = 0,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

$$U_1 = 1/0,2 = 5,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Рассчитаем потери теплоты для плоского элемента №2:

$$R_{o2}^{пр} = 1/8,7 + 0,006/0,9 + 1/23 = 0,17 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

$$U_2 = 1/0,17 = 5,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Рассчитаем потери теплоты для плоского элемента №3:

$$R_{o3}^{пр} = 1/8,7 + (0,00045/58)*2 + 0,05/0,04 + 1/23 = 1,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

$$U_3 = 1/1,4 = 0,714 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Сведенные данные по результатам моделирования и расчета в ПК COMSOL представлены в Таблице 4.

Таблица 4 – Потери теплоты через плоский участок стены

Элемент фрагмента	Потери теплоты через однородный участок стены	Удельные потери теплоты	Удельный геометрический показатель
№1	$Q_1 = 313 \text{ Вт}/\text{м}^2$	$U_1 = 5,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	$a_1=1$
№2	$Q_2 = 381,6 \text{ Вт}/\text{м}^2$	$U_2 = 5,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	$a_1=1$
№3	$Q_3 = 44,7 \text{ Вт}/\text{м}^2$	$U_3 = 0,714 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	$a_1=1$

2.2.3 Расчет покрытия из поликарбоната

Приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены №1 равно условному сопротивлению теплопередачи, так как рассчитываемый элемент является плоским:

$$R_{пр}^{ст} = R_{01}^{усл} = 0,2$$

Определим нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности покрытия Δt по формуле (6) [41]:

$$\Delta t = \frac{(t_{в} - t_{н})}{R_{пр} a_{в}}, \quad (6)$$

Где $t_{в}$ - внутренняя температура воздуха, °С

$t_{н}$ - температура наружного воздуха, °С

$R_{пр}$ -приведенное сопротивление теплопередачи наружной стены

$a_{в}$ -коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности, Вт/(м²*°С)

Для покрытия №1 получаем:

$$\Delta t = \frac{(26 - (-37))}{0,19 \cdot 8,7} = 38,1 \text{ °С.}$$

$$\Delta t = 38,1 \text{ °С} > t_{в} - t_{п} = 6,0 \text{ °С.}$$

Расчетный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности выше нормируемого. Условия не выполняются.

Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитывается по формуле (7) [41]:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от}} \sum_i (n_{t,i} * \frac{A_{ф,i}}{R_{0,i}^{пр}}) = K_{комп} * K_{общ}, \quad (7)$$

где $R_{0,i}^{пр}$ - приведенное сопротивление теплопередаче -го фрагмента теплозащитной оболочки здания, (м²·°С)/Вт;

$A_{ф,i}$ - площадь соответствующего фрагмента теплозащитной оболочки здания, м²

$V_{от}$ - отапливаемый объем здания, м³;

$n_{t,i}$ - коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от принятых в расчете ГСОП, определяется по формуле (5.3) [40];

$K_{общ}$ - общий коэффициент теплопередачи здания, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле (8):

$$K_{общ} = \frac{1}{A_n^{сум}} \sum_i (n_{t,i} \frac{A_{ф,i}}{R_{o,i}}) \quad (8)$$

$K_{комп}$ - коэффициент компактности здания, м⁻¹, определяемый по формуле (9):

$$K_{комп} = \frac{A_n^{сум}}{V_{от}} \quad (9)$$

$A_n^{сум}$ - сумма площадей (по внутреннему обмеру всех наружных ограждений теплозащитной оболочки здания, м².

Удельная теплозащитная характеристика здания для покрытия №1 равна:

$$k_{об} = 1/V_{от} \cdot \sum(n_{t,i} \cdot A_{ф,i}/R_{o,i,инп}) = 1/2586,9 \cdot 4469 = 1,73 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

Таблица 5- Удельная теплозащитная характеристика здания

Наименование фрагмента	$n_{t,i}$	$A_{ф,i}, \text{ м}^2$	$R_{o,i,инп} \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	$n_{t,i} \cdot A_{ф,i} / R_{o,i,инп}, \text{ Вт}/\text{°C}$	%
Стеновое ограждение	1,000	893,8	0,2	4469	100

Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период рассчитывается по формуле (10) [41]:

$$q_{от^P} = k_{об} \cdot \beta_h, \quad (10)$$

Где $k_{об}$ – удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м³ · °C)

β_h - коэффициент увеличения значения удельной теплозащитной характеристики здания, $\beta_h=1,13$

$$q_{от^P} = 1,73 \cdot 1,13 = 1,95 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$$

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{от}^{год}$, кВт·ч/год, определяется по формуле (11) [41]:

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot V_{от} \cdot q_{от^P}, \quad (11)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода

$V_{от}$ – отапливаемый объем здания, м³

$q_{от}^p$ - Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период, Вт/(м³ · °С)

Для покрытия №1:

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot 7745 \cdot 2586,9 \cdot 1,95 = 937663,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}$$

Переведем кВт*ч/год в Гкал/год

$$Q_{от}^{год} = 937663,3 / 1163 = 806,2 \text{ Гкал/год}$$

Годовые затраты на отопление здания вычисляются по формуле (12):

$$C = Q_{от}^{год} \cdot T_{от}, \quad (12)$$

Где $T_{т.э.}$ – тариф на тепловую энергию [42]

Тариф на тепловую энергию для потребителей ООО «КрасТЭК» на 2 п/г 2021 года = 1766,5 руб [42].

$$C = 806,2 \cdot 1766,5 = 1424152,3 \text{ руб/год}$$

2.2.4 Расчет покрытия из тепличного стекла

Приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены №2 равно условному сопротивлению теплопередачи, так как рассчитываемый элемент является плоским:

$$R_{пр}^{ст} = R_{о1}^{усл} = 0,17$$

Определим нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности покрытия Δt для покрытия №2 по формуле (6):

$$\Delta t = \frac{(26 - (-37))}{0,17 \cdot 8,7} = 45,3 \text{ °С.}$$

$$\Delta t = 42,6 \text{ °С} > t_b - t_p = 6,0 \text{ °С.}$$

Расчетный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности выше нормируемого. Условия не выполняются.

Удельная теплозащитная характеристика здания для покрытия №2 определяется по формуле (7):

$$k_{об} = 1/V_{от} \cdot \sum(n_{t,i} \cdot A_{ф,i}/R_{o,инп}) = 1/2586,9 \cdot 5257,6 = 2,03 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

Таблица 6- Удельная теплозащитная характеристика здания

Наименование фрагмента	$n_{t,i}$	$A_{ф,i}, \text{ м}^2$	$R_{o,инп} \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	$n_{t,i} \cdot A_{ф,i}/ R_{o,инп}, \text{ Вт}/\text{°C}$	%
Стеновое ограждение	1,000	893,8	0,17	5257,6	100

Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период для покрытия №2 определяется по формуле (10):

$$q_{от}^p = 2,03 \cdot 1,13 = 2,29 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$$

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{от}^{год}$, кВт·ч/год, для покрытия №2 определяется по формуле (11):

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot 7745 \cdot 2586,9 \cdot 2,29 = 1101153,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{год}$$

Переведем кВт·ч/год в Гкал/год:

$$Q_{от}^{год} = 1101153,3 / 1163 = 946,8 \text{ Гкал}/\text{год}$$

Годовые затраты на отопление здания для покрытия №2 определяются по формуле (12):

$$C = 946,8 \cdot 1766,5 = 1672522,2 \text{ руб}/\text{год}$$

2.2.5 Расчет покрытия из сэндвич - панелей

Приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены №3 равно условному сопротивлению теплопередачи, так как рассчитываемый элемент является плоским:

$$R_{пр}^{ст} = R_{ол}^{усл} = 1,4$$

Определим нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности покрытия Δt для покрытия №3 определяются по формуле (6):

$$\Delta t = \frac{(26 - (-37))}{1,4 \cdot 8,7} = 5,17 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t = 5,17 \text{ }^\circ\text{C} < t_g - t_p = 6,0 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Расчетный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ниже нормируемого. Условия выполняются.

Удельная теплозащитная характеристика здания для покрытия №3 определяется по формуле (7) :

$$k_{об} = 1/V_{от} \cdot \sum(n_{t,i} \cdot A_{ф,i}/R_{o,инп}) = 1/2586,9 \cdot 638,4 = 0,25 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C}).$$

Таблица 7- Удельная теплозащитная характеристика здания

Наименование фрагмента	$n_{t,i}$	$A_{ф,i}, \text{ м}^2$	$R_{o,инп} \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$n_{t,i} \cdot A_{ф,i}/ R_{o,инп}, \text{ Вт}/\text{ }^\circ\text{C}$	%
Стеновое ограждение	1,000	893,8	1,4	638,4	100

Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период для покрытия №3 определяется по формуле (10):

$$q_{от}^p = 0,25 \cdot 1,13 = 0,28 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$$

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{от}^{год}$, кВт·ч/год, для покрытия №3 определяется по формуле (11):

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot 7745 \cdot 2586,9 \cdot 0,28 = 134638,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{год}$$

Переведем кВт·ч/год в Гкал/год

$$Q_{от}^{год} = 134638,8 / 1163 = 115,8 \text{ Гкал}/\text{год}$$

Годовые затраты на отопление здания для покрытия №3 определяется по формуле (12):

$$C = 115,8 \cdot 1766,5 = 204560,4 \text{ руб}/\text{год}$$

2.3 Расчет тепловых потерь теплицы, с покрытием из сэндвич – панелей при эксплуатации в более суровых природно – климатических условиях (г. Енисейск)

Для сравнения теплотерь теплицы при ее эксплуатации в более суровых природно-климатических условиях был проведен расчет покрытия теплицы из сэндвич – панелей для города Енисейска.

Проектом предусматривается строительство тепличного комплекса в г.Енисейске.

Здание одноэтажное в плане имеет прямоугольную форму. Размеры в осях А-Д= 12000мм. В осях 1-3= 24000мм.

Высота этажа 6000мм. За относительную отметку +0,000 принята отметка. Конструктивная система здания – Каркасная.

Таблица 8 – Геометрические характеристики объекта

Параметр	Итого
Отапливаемый объем $V_{от}$, м ³	2586,9
Сумма площадей этажей здания $A_{от}$, м ²	476,1
Общая площадь наружных ОК $A_{ст}$, м ² , из них:	893,8
фасадов здания $A_{фас.}$, м ²	893,8

Коэффициент остеклённости фасада: $k = 1$

2.3.1 Климатические показатели района строительства

Район строительства – г. Енисейск

Расчетная температура наружного воздуха $t_n = -44$ °С [40];

Расчетная температура внутреннего воздуха $t_{в.} = 26$ °С [41];

Продолжительность отопительного периода $z_{от} = 246$ сут. [40];

Средняя суточная температура отопительного периода $t_{от} = -9,1$ °С [40];

Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь $v = 3,1$ м/с;

Расчетная относительная влажность внутреннего воздуха $\phi_{в.} = 70$ % [7];

Значение температуры точки росы для $t_{p..} = 11,6 \text{ }^\circ\text{C}$ [41];

Расчет градусо - суток отопительного периода (ГСОП) для наружных ограждающих конструкций теплицы вычисляется по формуле (1):

$$\text{ГСОП} = (26 + 9,1) \cdot 246 = 8635 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$$

Определим значения базовых требуемых и нормируемых сопротивлений теплопередаче наружных ограждающих конструкций по табл. 3 [41]:

Наружная ограждающая конструкция:

$$R_{\text{ст}}^{\text{тп}} = 0,0002 \cdot 8635 + 1 = 2,73 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

$$R_{\text{ст}}^{\text{норм}} = 2,73 \cdot 0,95 = 2,59 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

Наружная ограждающая конструкция:

Сэндвич панель из Мин. плита на базальтовой основе толщина металла 0,45мм с двух сторон, мин плита – 50мм

2.3.2 Моделирование покрытий в программном комплексе COMSOL Multiphysics

Характеристики используемых материалов покрытия представлены в Таблице 9.

Таблица 9 – Материалы покрытия теплицы

Наименование материала	Коэффициент теплопроводности λ_A , Вт/(м*°C)
Сталь	58
Минеральная вата	0,04

Площадь поверхности фрагмента ограждающей конструкции для расчета приведенного сопротивления теплопередаче $R_o^{\text{пр}}$ составляет: $A_{\text{ст}} = 893,8 \text{ м}^2$;

Площадь стены составляет: $A_{\text{ст.}} = 893,8 \text{ м}^2$;

Доля плоского элемента от общей площади конструкции составляет:

$$a_1 = 893,8/893,8 = 1,000;$$

Граничные условия расчета представлены в Таблице 10.

Таблица 10 – Граничные условия расчета для города Енисейска

	Коэффициент теплоотдачи α_n , Вт/м ² * °С	Температура, °С	Влажность, %
Внешняя	23	-44	76
Внутренняя	8,7	26	70

Результаты моделирования теплотерь покрытия для города Енисейска представлены на рисунке 14.

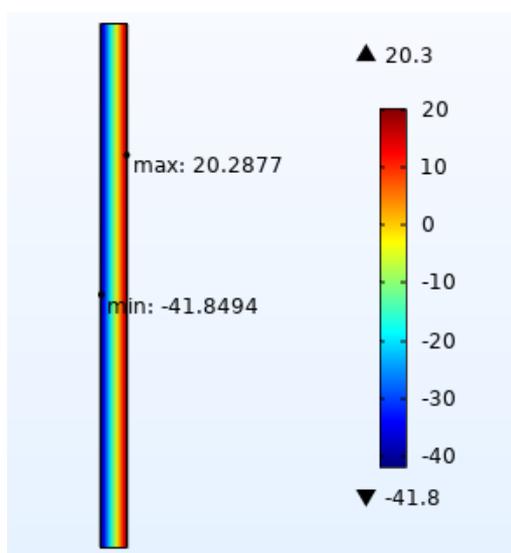


Рисунок 14 – Сендвич – панель (г. Енисейск)

Все температурные поля рассчитываются для температуры наружного воздуха минус 44 °С и температуры внутреннего воздуха 26 °С.

Приведённое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции определяется по формуле.

Для плоского элемента удельные потери теплоты определяются по формулам (4) и (5) [41]:

$$R_{o1}^{pp} = 1/8,7 + (0,00045/58)*2 + 0,05/0,04 + 1/23 = 1,4 \text{ м}_2 \cdot \text{°С}/\text{В}$$

$$U_1 = 1/R_{o1}^{pp} = 1/1,4 = 0,714 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}).$$

Результаты моделирования и расчета в ПК COMSOL представлены в Таблице 11.

Таблица 11 – Потери теплоты через покрытие (Енисейск)

Элемент фрагмента	Потери теплоты через однородный участок стены	Удельные потери теплоты	Удельный геометрический показатель
Сэндвич - панель	$Q_1 = 49,7 \text{ Вт/м}^2$	$U_1 = 0,714 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$	$a_1=1$

2.3.3 Расчет покрытия из сэндвич - панелей

Приведенное сопротивление теплопередаче наружного покрытия для города Енисейска равно условному сопротивлению теплопередачи, так как рассчитываемый элемент является плоским:

$$R_{пр}^{ст} = R_{о1}^{усл} = 1,4$$

Определим нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности покрытия Δt для покрытия №2 по формуле (6):

$$\Delta t = \frac{(26 - (-44))}{1,4 \cdot 8,7} = 5,7 \text{ °C.}$$

$$\Delta t = 5,7 \text{ °C} < t_e - t_p = 6,0 \text{ °C.}$$

Расчетный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ниже нормируемого. Условия выполняются.

Удельная теплозащитная характеристика здания для покрытия №2 определяются по формуле (7):

$$k_{об} = 1/V_{от} \cdot \sum(n_{t,i} \cdot A_{ф,i}/R_{о,инп}) = 1/2586,9 \cdot 638,4 = 0,25 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C)}.$$

Таблица 12- Удельная теплозащитная характеристика здания

Наименование фрагмента	$n_{t,i}$	$A_{ф,i}, \text{ м}^2$	$R_{о,инп} \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$	$n_{t,i} \cdot A_{ф,i}/ R_{о,инп}, \text{ Вт/ оC}$	%
Стеновое ограждение	1,000	893,8	1,4	638,4	100

Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период для покрытия из сэндвич-панелей определяется по формуле (10):

$$q_{от}^p = 0,25 * 1,13 = 0,28 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$$

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{от}^{год}$, кВт·ч/год, для покрытия для покрытия из сэндвич-панелей определяется по формуле (11):

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot 8635 \cdot 2586,9 \cdot 0,28 = 150110,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{год}$$

Переведем кВт·ч/год в Гкал/год

$$Q_{от}^{год} = 150110,6 / 1163 = 129,1 \text{ Гкал}/\text{год}$$

Тариф на тепловую энергию для города Енисейска на первое полугодие 2022 года равен 3413,41. [43]

Годовые затраты на отопление здания для покрытия из сэндвич-панелей определяется по формуле (12):

$$C = 129,1 * 3413,41 = 440669,94 \text{ руб}/\text{год}$$

2.4 Сравнение тепловых потерь теплицы с различными покрытиями и при разных природно-климатических условиях

Сведенные результаты расчета теплотерь и затрат на отопление теплицы при использовании различных покрытий для города Красноярска представлены в Таблице 13.

Таблица 13 – Сравнение теплотерь теплицы при использовании различных покрытий

Материал покрытия	Потер теплоты через однородный участок стены Q, Вт/м2	Удельные потери теплоты U, Вт/(м2·°C)	Расходы тепловой энергии на отопление теплицы, $Q_{от}^{год}$, Гкал/год	Затраты на отопление, С, тыс. руб/год
Стекло	381,6	5,9	946,8	1672,5
Поликарбонат	313	5,0	806,2	1424,2
Сэндвич панель	44,7	0,71	115,8	204,6

Из таблицы видно, что, затраты на отопление теплицы покрытой сэндвич - панелями примерно в 11 и 8 раз меньше чем на отопление аналогичных теплиц, покрытых стеклом и поликарбонатом соответственно.

Однако, несмотря на то, что использование покрытия из сэндвич – панелей в разы уменьшает затраты на отопление, нужно учитывать, то что оно полностью перекрывает поступление солнечного света, необходимого для нормального роста и развития растений. В связи с этим необходимо устройство дополнительного оборудования для искусственной досветки растений. Данное светодиодное освещение, будет компенсировать недостаток солнечного света, а также в определенной мере обогревать теплицу, тем самым уменьшая затраты на отопление.

Также был проведен расчет теплотерь теплицы и затрат на ее отопление в зависимости от природно - климатических условий. Для этого объект рассчитывался и моделировался для условий города Красноярск и города Енисейска при конкретном покрытии (сэндвич-панель). Результаты расчета представлены в Таблице 14.

Таблица 14 - Затраты на отопления теплицы в зависимости от природно-климатических условий

Город	Расчетная температура наружного воздуха, °С	Потер теплоты через однородный участок стены Q, Вт/м2	Расход тепловой энергии, Гкал/год	Тарифы на тепловую энергию, руб/Гкал	Затраты на отопление, тыс. Руб/год
Красноярск	-37	44,7	115,8	1766, 5	204,6
Енисейск	-44	49,7	129,1	3413,4	440,7

Из Таблицы14 можно видеть, что затраты на отопление теплицы в северных районах Красноярского края в более чем 2 раза выше чем в городе Красноярске. На это влияют следующие факторы: тепловые потери теплицы,

которые зависят от одного параметра - условий расчета, т. е. от расчетной температуры наружного воздуха, и затраты на отопление, которые зависят уже от двух параметров – это расчетная температура наружного воздуха, и тариф на тепловую энергию. В нашем случае основное удорожание затрат на отопление приходится на фактор тарифной политики для Северных районов.

2.5 Подбор оборудование для искусственной досветки растений. Расчет тепловых эффектов от оборудования. Расчет затрат на электроэнергию.

Исходя из исследований, приведенных в пункте 1.4, был произведен подбор светодиодного оборудования для досветки растений в теплице. Был выбран фитосветильник DS-FITO A 75 [44].

DS-FITO A 75 [44] - это светильник полного спектра для теплиц и оранжерей. Он дает освещение, максимально приближенное к солнечному. Растение получает весь необходимый для роста и развития световой диапазон: синий 440-460 нм-17%; красный 640 нм-79%; дальний красный 730 нм-4%. Его эффективность подтверждена практическим опытом в крупнейших агрохолдингах и гидропонных фермах Азии. Светодиодные фитосветильники в 3 раза эффективнее ламп ДНаТ, мгновенно включаются и выходят на полную мощность [44].

Характеристики фитосветильника DS-FITO A 75 приведены в Таблице 15 [44].

Таблица 15 –Характеристики светильника DS-FITO A 75

Мощность, P, Вт	75
Напряжение, U, В	220
Срок службы, тыс.ч	75
Световой поток, лм	7650
Световая отдача, лм/Вт	102
Температура цвета, К	2700
Габариты (длина*ширина*высота), мм	760*85*78
Угол расхождения цветового потока, град	120
Потребляемый ток, А	0,34
Вес, кг	2,1

Определим количество светильников для теплицы по формуле (13):

$$N = \frac{S_m}{S_o}, \quad (13)$$

где S_m - площадь теплицы, м²;

S_o - площадь освещения одного светильника. Для данного вида светильника $S_o=1,8\text{м}^2$ [45].

$$N = \frac{476,1}{1,8} = 265$$

При использовании светодиодных светильников часть выработанной энергии будет уходить в тепловую. КПД светодиодных светильников оценивается в 95%, т.е. 5% перейдет в тепловую энергию [45]. Вычислим долю тепловой энергии для данного светильника по формуле (14):

$$P_T = P * (100 - \text{КПД}), \quad (14)$$

где P – мощность светильника, Вт

КПД – коэффициент полезного действия. Для данного светильника КПД=95%.

Долю тепловой энергии для выбранного светильника равна:

$$P_T = 75 * (100 - 0,95) = 3,75 \text{Вт}$$

В теплице не должно быть организовано круглосуточное освещение растений, т.к. это будет отрицательно влиять на их рост и развитие. Освещение в теплице должно функционировать не более 16 часов в сутки [46].

Сельскохозяйственные растения делятся по фотопериодичности на два типа:

- 1) Культуры короткого светового дня. (освещение не более 12 часов)
- 2) Культуры длинного светового дня (освещение 12-16 часов)

В расчете для данной теплицы принимаем среднюю продолжительность освещения – 14 ч [46]. В это случае продолжительность работы светильника за год определяется по формуле (15):

$$P = t * q, \quad (15)$$

где t – время работы светильника за день, ч;

q – Количество дней в году;

Годовая работа для выбранного светильника получается равной:

$$P = 14 * 365 = 5110 \text{ ч/год}$$

Тогда тепловой эффект светильников за год определяется по формуле (16):

$$Q_c = P * P_t * N, \quad (16)$$

Где P - продолжительность работы светильника за год, ч;

P_t – тепловая энергия одного светильника, Вт;

N – Количество светильников;

Тепловой эффект для данного вида светильников получается равен:

$$Q_c = 5110 * 3,75 * 265 = 5078062,5 \text{ Вт*ч} = 5078,1 \text{ кВт*ч/год}$$

Переведем тепловую энергию из кВт*ч/год в Гкал/год

$$Q_c = 5078,1 / 1163 = 4,4 \text{ Гкал/год}$$

Вычислим годовую денежную экономию от теплового эффекта светильников:

$$C_c = 4,4 * 1766,5 = 7772,6 \text{ руб/год}$$

Рассчитаем годовые затраты на электроэнергию при использовании светильников DS-FITO A 75 по формуле (17):

$$C_{\text{эн}} = P \cdot t \cdot q \cdot N \cdot T_{\text{э}}, \quad (17)$$

где P – мощность одного светильника, кВт;

t – Время работы светильника за день, ч;

q – количество дней в году;

N – количество светильников;

$T_{\text{э}}$ – тариф на электроэнергию. Для города Красноярска $T_{\text{э}} = 3,8$ руб/кВт*ч [47].

Затрата на электроэнергию при использовании светильников DS-FITO А 75 равны:

$$C_{\text{эн}} = 0,075 \cdot 14 \cdot 365 \cdot 265 \cdot 3,8 = 385932,8 \text{ руб/год}$$

2.6 Сравнение полных затрат на эксплуатацию теплицы

Данные по полным затратам на эксплуатацию теплицы приведены в Таблице 16

Таблица 16 – Полные затраты на эксплуатацию теплицы

Виды затрат	Стекло тепличное	Поликарбонат сотовый	Сэндвич-панель
Затраты на отопление, тыс.руб/год	1672,5	1424,2	204,6
Затраты на электроэнергию, тыс.руб/год	-	-	385,9
Тепловой эффект от электрооборудования, тыс.руб/год	-	-	-7,8
Всего, тыс.руб/год	1672,5	1424,2	582,7

Из данной таблицы видно, что при устройстве комбинации сэндвич-панелей с искусственной досветкой растений, появляется такая статья расходов как: затраты на электроэнергию, и она примерно в 3,5 раза превышает затраты

на отопление здания, но также появляется положительный эффект, такой как: тепловой эффект от эксплуатации оборудования для досветки растений, который позволяет экономить небольшую сумму денег на отоплении здания.

Даже с учетом удорожания варианта покрытия теплицы сэндвич-панелями, он по-прежнему остается наиболее оптимальным (в 1,5 раза дешевле стекла, и в 1,3 раза дешевле поликарбоната). Данный вариант является наиболее экономически и энергетически целесообразным.

ГЛАВА 3. Оценка экономической эффективности использования различных покрытий теплицы.

3.1 Расчет затрат на отопление за расчетный период

Из расчетов представленных в Главе 2, видно что замена светопрозрачных ограждающих конструкций на непрозрачные и применение искусственной досветки растений позволяет значительно снижать теплопотери теплицы и затраты на ее эксплуатацию.

Но при этом необходимо проведение оценки экономической эффективности данных мероприятий, которая будет включать в себя не только затраты на эксплуатацию, но и затраты на устройство данных покрытий.

Для оценки экономической эффективности необходимо определить затраты на отопление с 1 м^2 покрытия за расчетный период. Затраты на отопление в год, руб/ м^2 , определяются по формуле (18):

$$Z=Q \cdot T_{т.э} , \tag{18}$$

где Q – потери теплоты через участок однородной стены, Вт·ч/ м^2 , определяются по результатам моделирования в COMSOL Multiphysics представленном в Таблице 6.

$T_{т.э}$. – тариф на тепловую энергию[18].

Тариф на тепловую энергию для потребителей ООО «КрасТЭК» на 2 п/г 2021 года = 1766,5 руб. [42].

Потери теплоты через участок однородной стены для различных покрытий теплицы, а также их перевод в годовые потери представлены в Таблице 17.

Таблице 17- Потери теплоты через участок однородной стены для различных покрытий теплицы

Потери теплоты	Стекло	Поликарбонат	Сэндвич -панель
Потери теплоты через участок однородной стены, Q, Вт·ч/м ²	381,6	313	44,7
Потери теплоты через участок однородной стены, Q, Гкал/год	2,87	2,35	0,34

Рассчитаем годовые теплопотери теплицы через 1м² покрытия по формуле (18).

Для покрытия из стекла:

$$Z=1,82*1766,5 =3215,0 \text{ руб/м}^2$$

Для покрытия из поликарбоната:

$$Z=1,5*1766,5 =2649,8 \text{ руб/м}^2$$

Для покрытия из сэндвич - панелей:

$$Z=0,21*1766,5 =371,0 \text{ руб/м}^2$$

Сведенные результаты расчета затрат на отопление представлены в Таблице 18.

Таблица 18 – Сравнение вариантов покрытия теплицы

Показатель	Стекло	Поликарбонат	Сэндвич-панель
Общие теплопотери через участок стены за отопительный период, Вт/м ²	381,6	313	44,7
Общие теплопотери здания за отопительный период, Гкал·год/м ²	1,82	1,5	0,21
Затраты на отопление, руб/м ²	3215,0	2649,8	371,0

3.2 Определение стоимости устройства различных покрытий теплицы

Для определения стоимости устройства покрытия из стекла, поликарбоната и комбинации покрытия из сэндвич-панелей и искусственной досветки, произведен локальный сметный расчет стоимости устройства 1м² покрытия базисно-индексным методом [48-50].

Расчет представлен в Приложении 1. Результаты расчетов представлены в Таблице 19.

Таблица 19 – Стоимость устройства различных видов покрытия теплицы

Показатель	Стекло	Поликарбонат	Сэндвич-панель	Сэндвич-панели с досветкой
Стоимость устройства покрытий в ценах на 3й квартал 2021 года, руб/м ²	713,48	1525,5	5201,31	15150,49

Из Таблицы 21 видно, что монтаж 1м² сэндвич – панелей стоит значительно дороже чем стекла (в 7,3 раза) и поликарбоната (в 3,4 раза). Кроме этого, внедрение оборудования для искусственной досветки растений приводит к общему удорожанию комбинации (сэндвич – панель с досветкой) практически в 3 раза.

3.3 Сравнение полных затрат на эксплуатацию 1м² покрытия и затрат на монтаж

Полные затраты на эксплуатацию теплицы, складываются из затрат на тепловую энергию и затрат на электроэнергию (при использовании оборудования для досветки). Данные приведены в Таблице 20.

Таблица 20 – Сравнение полных затрат на эксплуатацию теплицы

Показатель	Стекло	Поликарбонат	Сэндвич-панель	Сэндвич-панели с досветкой
Затраты на электроэнергию, руб/м ²	-	-	-	810,6
Затраты на тепловую энергию, руб/м ²	3215,0	2649,8	371,0	371,0
Всего затрат на эксплуатацию за год, руб/м²	3215,0	2649,8	371,0	1181,6
Стоимость устройства 1 м ² , руб	713,48	1525,57	5201,31	15150,49

Исходя из полученных расчетов можно сделать вывод, что, не смотря на высокую стоимость устройства покрытия из сэндвич-панелей с искусственной досветкой (в 20 раз больше стекла и в 10 раз больше поликарбоната), оно позволяет экономить на стоимости эксплуатации здания в целом (в 3 и 1,5 раз соответственно, чем покрытие из стекла и поликарбоната). И может приносить стабильный доход за счет экономии данных затрат.

3.4 Определение экономической эффективности проекта

Для определения экономической эффективности мероприятий по замене стеклопрозрачных ограждающих конструкций на непрозрачные необходимо вычислить основные показатели: Денежный поток от операционной деятельности (P_0), чистый дисконтированный доход (NPV), чистый доход (NV) и срок окупаемости проекта (PP).

Для начала рассчитаем чистый дисконтированный доход (NPV) и чистый доход (NV) от реализации проекта по замене тепличного стекла и сотового поликарбоната на комбинацию из сэндвич-панелей и искусственной досветки.

Определим чистый доход по формуле (19):

$$NV = \sum_1^n \varphi_t, \quad (19)$$

где φ_t - денежный поток за все шаги расчетного периода;

n - Продолжительность жизни проекта, годы, n=50.

Определим чистый дисконтированный доход проекта по формуле (20):

$$NPV = \sum_1^n \frac{P_t}{(1+d)^t} - I_0, \quad (20)$$

где P_t - объем денежных средств в периоде t, руб

d – норма дисконта (ставка дисконтирования). Ставка дисконтирования – равна ключевой ставке Центробанка, d = 8,5% [51] (безрисковый метод);

n - продолжительность жизни проекта, годы, n=50;

I_0 – первоначальные инвестиционные затраты, руб. Проектом не предполагается использование сторонних инвестиций, $I_0=0$.

Денежный поток от операционной деятельности принимаем равным экономии денежных затрат на эксплуатацию 1м² покрытия при замене стеклопрозрачных ограждающих конструкций на непрозрачные сэндвич – панели с использованием оборудования для искусственной досветки растений.

Определим денежный поток от операционной деятельности, по формуле (21):

$$P_0 = P_2 - P_1, \quad (21)$$

где P_2 – затраты на эксплуатацию теплицы при использовании сэндвич – панелей с досветкой;

P_1 - затраты на эксплуатацию теплицы при использовании светопрозрачных ограждающих конструкций.

При сравнении с тепличным стеклом:

$$P_0 = 3215,0 - 1181,6 = 2033,4 \text{ руб}$$

При сравнении с поликарбонатом сотовым:

$$P_0 = 2649,8 - 1181,6 = 1468,2 \text{ руб}$$

Данные для расчета NPV и NV представлены в Таблицах 21-22.

Продолжение Таблицы 21

показатель	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
денежный поток от операционной деятельности	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2
сальдо инвестиционной деятельности	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
сальдо суммарного потока	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2
сальдо накопленного потока	15681,7	17149,9	18618,1	20086,3	21554,5	23022,7	24490,9	25959,1	27427	28895,5
коэффициент дисконтирования	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09
дисконтированное сальдо суммарного потока	2827,28	2849,75	2851,36	2835,22	2804,11	2760,47	2706,46	2643,97	2574,66	2499,99
дисконтированные инвестиции	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение Таблицы 21

показатель	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
денежный поток от операционной деятельности	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2
сальдо инвестиционной деятельности	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
сальдо суммарного потока	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2
сальдо накопленного потока	30363,7	31831,9	33300,1	34768	36236,5	37704,7	39172,9	40641,1	42109,3	43577,5
коэффициент дисконтирования	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
дисконтированное сальдо суммарного потока	2421,21	2339,43	2255,61	2170,56	2085,00	1999,52	1914,63	1830,78	1748,31	1667,53
дисконтированные инвестиции	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение Таблицы 21

показатель	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
денежный поток от операционной деятельности	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2
сальдо инвестиционной деятельности	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
сальдо суммарного потока	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2	1468,2
сальдо накопленного потока	45045,7	46513,9	47982,1	49450	50918,5	52386,7	53854,9	55323,1	56791,3	58259,5
коэффициент дисконтирования	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
дисконтированное сальдо суммарного потока	1588,67	1511,94	1437,48	1365,40	1295,80	1228,72	1164,20	1102,25	1042,86	986,01
дисконтированные инвестиции	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 22 – Расчет экономических составляющих проекта по замене тепличного стекла на сэндвич - панели

показатель	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
денежный поток от операционной деятельности	0	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4
сальдо инвестиционной деятельности	-15150,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
сальдо суммарного потока	-15150,5	1468,2	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4
сальдо накопленного потока	-15150,5	-13682,3	-11648,9	-9615,5	-7582	-5548,7	-3515,3	-1481,9	551,5	2584,9	4618,3
коэффициент дисконтирования	1	0,92	0,85	0,78	0,72	0,67	0,61	0,56	0,52	0,48	0,44
дисконтированное сальдо суммарного потока	-15150,5	-12610,41	-9895,22	-7528,05	-5471,05	-3690,14	-2154,69	-837,16	287,15	1240,44	2042,61
дисконтированные инвестиции	-15150,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение Таблицы 22

показатель	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
денежный поток от операционной деятельности	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4
сальдо инвестиционной деятельности	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
сальдо суммарного потока	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4
сальдо накопленного потока	6651,7	8685,1	10718,5	12751,9	14785,3	16818,7	18852,1	20885,5	22918,9	24952,3
коэффициент дисконтирования	0,41	0,38	0,35	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20
дисконтированное сальдо суммарного потока	2711,47	3263,01	3711,48	4069,66	4348,95	4559,49	4710,36	4809,61	4864,39	4881,08
дисконтированные инвестиции	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение Таблицы 22

показатель	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
денежный поток от операционной деятельности	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4
сальдо инвестиционной деятельности	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
сальдо суммарного потока	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	1468,2	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4
сальдо накопленного потока	26985,7	29019,1	31052,5	33085,9	35119,3	36587,5	38620,9	40654,3	42688	44721,1
коэффициент дисконтирования	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09
дисконтированное сальдо суммарного потока	4865,30	4822,03	4755,68	4670,13	4568,80	4386,92	4267,95	4140,70	4007,19	3869,19
дисконтированные инвестиции	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение Таблицы 22

показатель	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
денежный поток от операционной деятельности	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4
сальдо инвестиционной деятельности	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
сальдо суммарного потока	1468,2	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4
сальдо накопленного потока	46189,3	48222,7	50256,1	52290	54322,9	56356,3	58389,7	60423,1	62456,5	64489,9
коэффициент дисконтирования	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
дисконтированное сальдо суммарного потока	3683,15	3544,05	3404,14	3264,40	3125,66	2988,63	2853,88	2721,90	2593,09	2467,76
дисконтированные инвестиции	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение Таблицы 22

показатель	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
денежный поток от операционной деятельности	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4
сальдо инвестиционной деятельности	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
сальдо суммарного потока	1468,2	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4	2033,4
сальдо накопленного потока	65958,1	67991,5	70024,9	72058	74091,7	76125,1	78158,5	80191,9	82225,3	84258,7
коэффициент дисконтирования	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
дисконтированное сальдо суммарного потока	2326,21	2210,07	2097,85	1989,64	1885,52	1785,50	1689,58	1597,73	1509,90	1426,03
дисконтированные инвестиции	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Показатели экономической эффективности проекта при замене тепличного стекла на сэндвич – панели с искусственной досветкой получаются равны:

$$NPV_1 = 11760,7 > 0.$$

$$NV=1099280$$

Показатели экономической эффективности проекта при замене сотового поликарбоната на сэндвич – панели с искусственной досветкой получаются равны:

$$NPV_1 = 81781,1 > 0.$$

$$NV=1760564$$

Данные результаты означают, что при использованной ставке дисконтирования инвестиционные проекты являются экономически эффективными.

Рассчитаем срок окупаемости (PP) при использовании данных покрытий по формуле (22):

$$PP = n + \frac{P_n}{P_c}, \quad (22)$$

Где n – целое число лет, при переходе через которое сальдо накопленного потока становится неотрицательным

P_n – сальдо накопленного денежного потока к периоду n, руб;

P_c – сальдо суммарного потока на период n, руб;

При замене стекла тепличного получаем:

$$PP = 7 + \frac{1481,9}{2033,4} = 7,73 \text{ года}$$

При замене поликарбоната получаем:

$$PP = 10 + \frac{468,5}{1468,2} = 10,32 \text{ года}$$

Данные по экономической эффективности проекта также отражены на Рисунках 14-17.

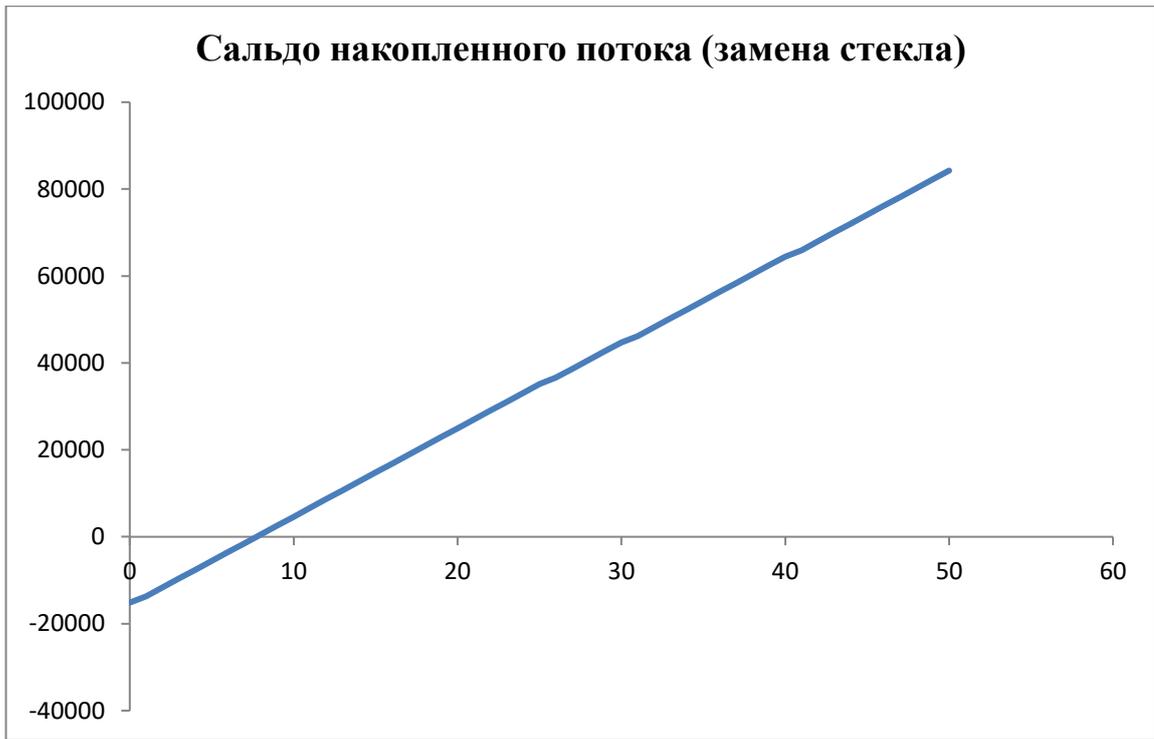


Рисунок 14 – Суммарное сальдо накопленного потока (стекло)

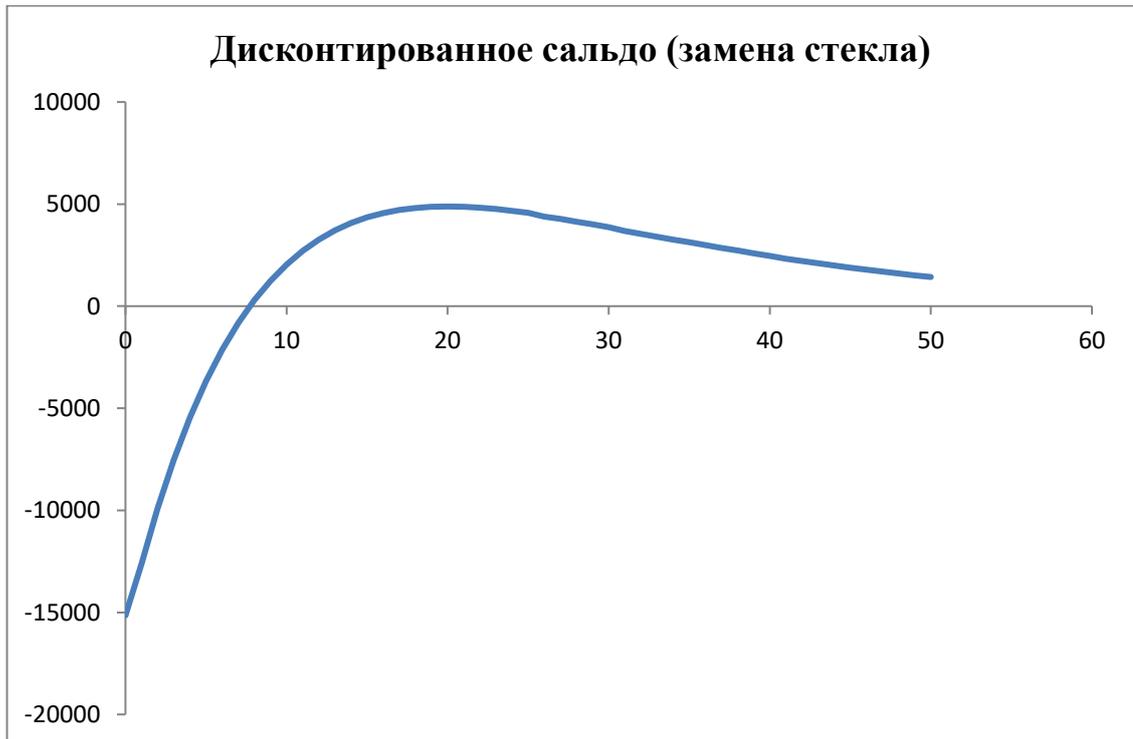


Рисунок 15 – Дисконтированное сальдо накопленного потока (стекло)

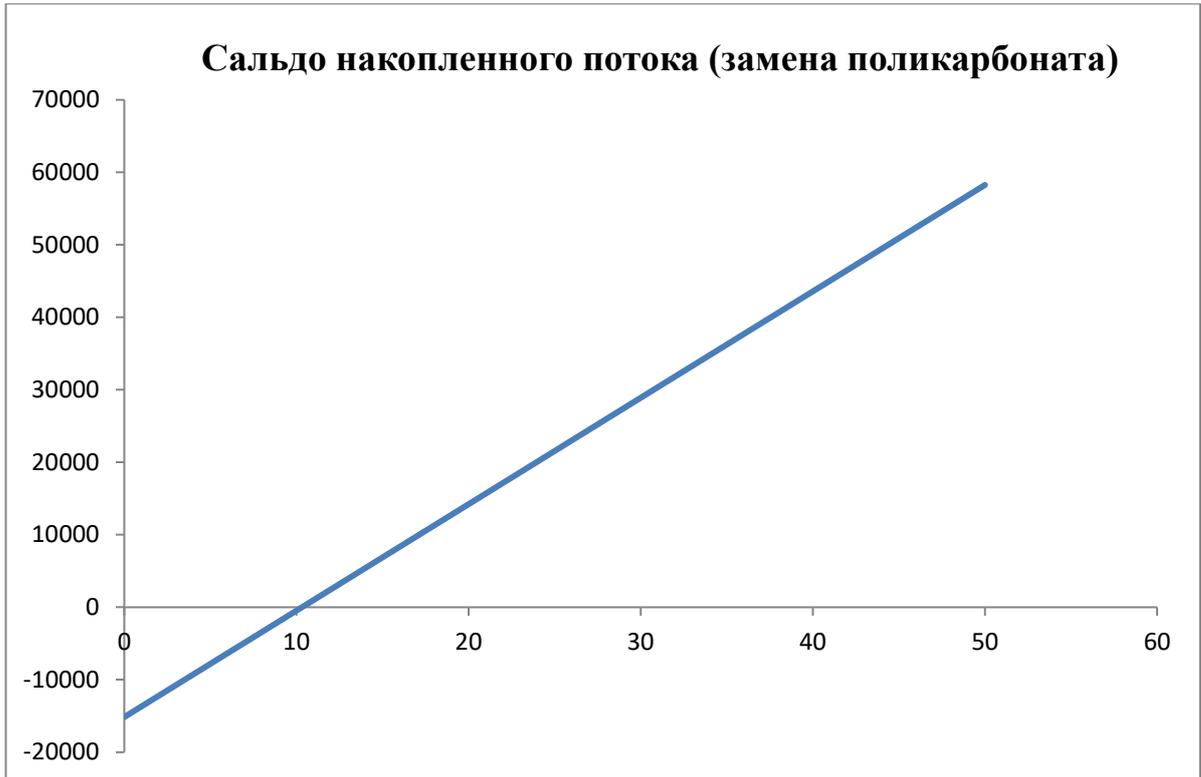


Рисунок 16 – Суммарное сальдо накопленного потока (поликарбонат)

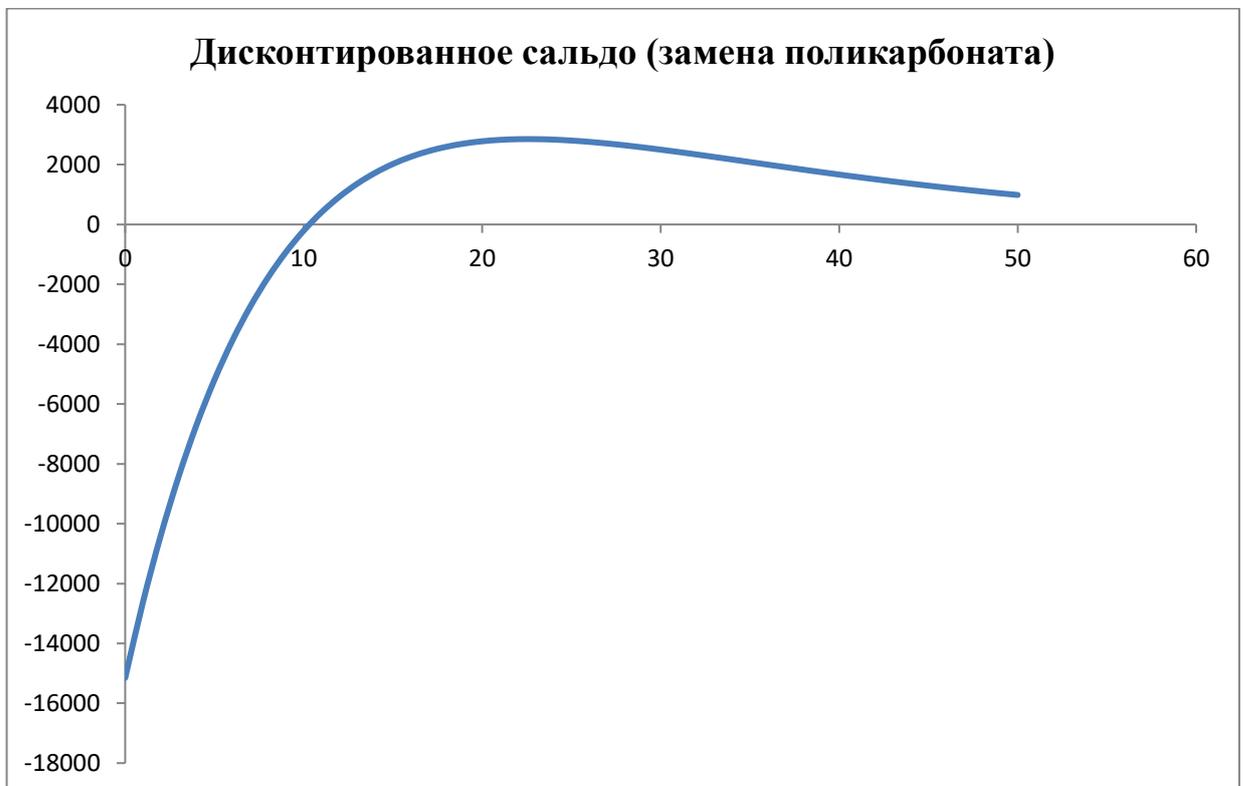


Рисунок 17 – Дисконтированное сальдо накопленного потока (поликарбонат)

По результатам расчета видно, что мероприятия по замене светопрозрачных ограждающих конструкций являются целесообразными. Комбинация из сэндвич – панелей и искусственного освещения растений позволяет экономить значительное количество тепловой энергии, а значит и затраты на обогрев теплицы в отопительный период. Кроме этого данный проект является экономически эффективным, принося прибыль за счет экономии тепловой энергии, имеет срок окупаемости 7,7 лет при замене тепличного стекла и 10,3 лет при замене сотового поликарбоната, то есть после этого периода приносит стабильный доход даже с учетом рисков.

Заключение

В ходе выполнения магистерской диссертации были рассмотрены проблемы высоких затрат тепловой энергии на отопление здания, при эксплуатации зимних теплиц в Красноярском крае.

Был проанализирован отечественный и зарубежный опыт в тепличестроении, рассмотрены основные классификации и номенклатура теплиц, а также современные тенденции в их развитии.

Были рассмотрены три вида покрытий (стекло, поликарбонат, сэндвич – панель), проведено их численное моделирование в программном комплексе COMSOL Multiphysics для города Красноярска, рассчитаны потери тепловой энергии через данные покрытия, годовая стоимость отопления теплицы с покрытием из данных вариантов. Также было проведено сравнения теплотерь лучшего варианта покрытия, при его работе в более суровых природно – климатических условий города Енисейска.

Был произведен подбор оборудования для искусственной досветки растений в теплице, при использовании покрытия из сэндвич – панелей, рассчитано количество необходимых светильников, затраты на электроэнергию, тепловой эффект при их использовании.

Был проведен расчет базисно – индексным методом стоимости устройства 1м² данных покрытий.

Было проведено сравнение полных затрат на эксплуатацию теплицы.

Были рассчитаны основные показатели экономической эффективности проекта: чистый доход, чистый дисконтированный доход, денежный поток от операционной деятельности. В ходе анализа данных показателей, был сделан вывод об эффективности проектов по замене светопрозрачных ограждающих конструкций теплиц на непрозрачные сэндвич – панели. Для экономически эффективных проектов был посчитан их срок окупаемости.

Результаты исследования и расчета показывают, что замена светопрозрачных ограждающих конструкций на непрозрачные сэндвич – панели является энергетически и экономически целесообразным. И, не смотря на высокие

денежные вложения на начальном этапе, в дальнейшем за счет экономии тепловой энергии данный проект окупается и начинает приносить стабильный доход.

Список использованных источников.

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>
2. Траварт [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://travart.ru/teplicy#title4>
3. РД-АПК 1.10.09.01-14 Методические рекомендации по технологическому проектированию теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады.
4. Ассоциация «Теплицы России» [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://rusteplica.ru/k-voprosu-klassifikacii-teplic/>
5. Интерагро. Комплексные решения для агробизнеса, грибных ферм и тепличных хозяйств. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://interagro.info/>
6. VESTASYSTEMS. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://vestasystems.ru/janssens>
7. СП107.13330.2012 Теплицы и парники. Актуализированная редакция СНиП 2.10.04-85 (с Изменениями N 1, 2)
8. ГОСТ Р 55202-2012 Воздухонагреватели газовые смесительные для обогрева теплиц и аналогичных небытовых помещений
9. ГОСТ Р 57671-2017 Приборы облучательные со светодиодными источниками света для теплиц. Общие технические условия
10. [НТП-АПК 1.10.09.001-02](#) Нормы технологического проектирования селекционных комплексов и репродукционных теплиц
11. СанПин № 5791-91 Санитарные правила и нормы по устройству и эксплуатации теплиц и тепличных комбинатов
12. Блажнов А.А. Экономическое решение теплиц круглогодичного использования для фермерских хозяйств// УДК631.234
13. Rodger-Brown J. Wide – span glasshouses. Farmbuilding. – 1967. - №16.
14. Б.Н. Нуралин, д.т.н., Западно-Казахстанский АТУ; В. Г. Некрасов, к.т.н., А. Ж. Мурзагалиев, к.т.н., С.А. Шевченко, инженер, Актюбинский РГУ; М.М. Константинов, д. т. н., профессор, ФГБОУВО Оренбургский ГАУ. Зимние теплицы для континентального климата//Научный журнал: Технические науки С.81-84

15. Иванько А.А., Калиниченко А.П., Шмат Н.А. Солнечный вегетарий. Киев, 1996.
16. А.М. Пучнин, В.В. Смирягин Энергосберегающая мини-теплица для выращивания овощей и выгонки лука на перо в крестьянском индивидуальном секторе/ ISSN 1810-0198. Вестник ТГУ, т.19, вып.1, 2014
17. В.В. Арюпин, В.С. Нестяк. Методология разработки энерго- и ресурсосберегающих тепличных комплексов для условий Сибири// УДК 631.23(571.5) С. 109-115
18. Официальный сайт "Теплицы и парники". [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.teplica.pro/publ/3>.
19. А.В. Соболев Эффективность регулирования микроклимата в теплицах с помощью электричества//УДК 631.544.41. Энегрообеспечение и энерготехнологии С. 154-156
20. Тигранян Р.Э. Микроклимат // Электронные системы обеспечения. – М.: ИП РадиоСофт, 2005. – Вып. 9. – 112 с.
21. П.П. Долгих, М.В. Самойлов. Облучение и обогрев растений в теплицах// УДК 631.544.41:628.8:621.327.532. год 2016 С. 71-86
22. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак, 2006. – 972с.
23. Протасова Н.Н., Уеллс Дж. М., Добровольский М.В., Цоглин Л.Н. Спектральные характеристики источников света и особенности роста растений в условиях искусственного освещения // Физиология растений. – 1990. – Т. 37. – вып. 2. – С. 386–396.
24. Аверчева О.В., Беркович Ю.А., Ерохин А.Н., Жигалова Т.В., Погосян С.И., Смолянина С.О. Особенности роста и фотосинтеза растений китайской капусты при выращивании под светодиодными светильниками // Физиология растений. – 2009. – Т. 56. – № 1. – С. 17–26.
25. Аверчева О.В. Физиологические эффекты узкополосного красно-синего освещения растений (на примере китайской капусты *Brassica chinensis* L.):

автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.01.05 / Аверчева Ольга Владимировна. – Москва, 2010. – 25 с.

26. Козырева И. Н. ФОРМИРОВАНИЕ ФИТОПОТОКОВ СВЕТОДИОДНЫХ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА/ дисс. Тех науки 05.09.07. Томск 2014, 20-21с.

27. Кей Джей МакКри Спектр действия, поглощение и квантовый выход фотосинтеза у сельскохозяйственных растений// Агр. метеорол. , 9 (1972) , стр . 191-216

28. М. Е. Хёнеке , Р. Дж . Була , Т. В. Тиббиттс Важность уровней «синих» фотонов для проростков салата, выращенных под красными светодиодами// HortSci. , 27 (1992) , стр . 427-430 1992 г.

29. BC Tripathy , CS Браун Взаимодействие корней и побегов в киминге проростков пшеницы, выращенных на красном свете Завод// Физиол. , 107 (1995) , стр . 407-411

30. В.В. Птушенко , О.В. Аверчева , Е.М. Басарская , Ю.А. Беркович , А.Н. Ерохин , С.О. Смолянина , Т.В. Жигалова Возможные причины снижения роста пекинской капусты при комбинированном узкополосном красно-синем свете по сравнению с освещением натриевой лампой высокого давления/ Сайентиа Садоводство. , 194 (2015) , стр. 267-277

31. Х. Х. Ким , Г. Д. Гоинс , Р. М. Уилер , Дж . Си Сагер Добавка зеленого света для улучшения роста салата под красными и синими светодиодами/ HortScience , 39 (2004) , стр . 1617-1622 .

32. К. Х. Линь , М. И. Хуан , В. Д. Хуан , М. Х. Сюй , З. В. Ян , К. М. Ян Влияние красного, синего и белого светодиодов на развитие роста и пищевые качества салата-латука, выращенного на гидропонике/ (*Lactuca sativa* L. VarCapitata) Sci/ Хорт. 2013 , 150 (2013) , стр . 86-91 .

33. М. Уррестаразу , К. Наджера , М. Хеа Влияние спектрального качества и интенсивности светодиодов на некоторые садовые культуры/ HortScience , 51 (3) (2016) , стр . 268-271 .

34. О.В. Аверчева , Ю.А. Беркович , И. О. Коновалова , С. Г. Радченко , С. Н. Лапач , Е. М. Басарская , Г. В. Кочетова , Т. В. Жигалова , О. С. Яковлева , И. Г. Тараканов. Оптимизация светодиодного освещения для установки для выращивания космических растений: совместные эффекты плотности потока фотонов, соотношения красного и белого и прерывистых световых импульсов/ Жизнь наук. Космический рез. (2016)
35. К. Р. Коуп , М. Сноуден , Б. Багби Фотобиологические взаимодействия синего света и потока фотосинтетических фотонов: эффекты монохроматических источников света и источников широкого спектра/ Фотохим. Фотобио. (2014)
36. ГОСТ 111-2014 Стекло листовое бесцветное. Технические условия (с Изменением N 1, с Поправкой) / ГОСТ от 16 апреля 2015 г.
37. ГОСТ Р 56712-2015 Панели сотовые из поликарбоната. Технические условия / ГОСТ от 01.05.2016
38. ХимСырье. Листовые пластики и пленки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<https://www.hims.ru/articles/n6/>
39. СП Монтаж. Конструкции сэндвич – панелей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<https://sendwichpanel.ru/preimushhestva-i-nedostatki-sendvich-panelej.html>
40. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. Введ. 25.06.2021. - М.: ФАУ «ФЦС», 2021. – 120 с.
41. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Введ. 01.07.2013. - М.: ФАУ «ФЦС», 2012. – 96 с.
42. Сибирская генерирующая компания [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sibgenco.ru/consumers/tariffs/>
43. ПРИКАЗ МИНИСТЕРСТВО ТАРИФНОЙ ПОЛИТИКИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ от 8 декабря 2020 года N 181-п
44. ДиодСистем [электронный ресурс]. Режим доступа: https://99ds.ru/catalog/ds_fit_o_a_75/
45. Воля. Производство теплиц [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://msk.teplicy.ru/articles/issledovanie-fitolamp-dlya-rasteniy/>

46. Индустрия света [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.disprom.ru/o-kpd-svetilnikov-v-tom-chisle-svetodiodnyih.html>
47. Красноярскэнергосбыт [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://krsk-sbit.ru/index.php?route=information/information&information>
48. Градостроительный кодекс Российской Федерации. Федеральный закон от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ. – Москва, Кремль: АО «Кодекс», 2019. – 540 с.
49. Приказ от 4 августа 2020 года № 421/пр Об утверждении Методики определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации
50. Степанов, И. С. Экономика строительства : учебник / И. С. Степанов. – Москва, Юрайт-Издат. – 2007. – 620 с.
51. Центральный банк Российской Федерации [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cbr.ru/>

1	ФЕР 14-02-004-01	Остекление мерным стеклом теплиц: блочных 100 м2 0,01 0,01									
	1	ОТ					287,28		2,87	29,42	
	2	ЭМ					18,55		0,19		
	3	в т.ч. ОТм					1,08		0,01	0,11	
	4	М					0,00		0,00		
	ФССЦ 01.7.05.03-0007	Лакоткани стеклянные ЛСК-155/180, ширина 690, 790, 890, 940, 990, 1060, 1140 мм, толщина 0,12 мм	10м2				0,001	431,52		0,43152	
	ФССЦ 01.7.20.08-0051	Ветошь	кг				0,02	1,82		0,04	
	ФССЦ 01.8.02.06-0121	Стекло листовое прокатное мерное для теплиц, толщина 6 мм	м2				1,05	24,93		26,18	
	ФССЦ 08.1.02.25-0061	Кляммеры КЛ-1	1000 шт				0,0033	500,00		1,65	
	ФССЦ 14.4.04.13-0212	Эмаль КЧ-728, белая	т				0,000005	27 278,00		0,14	
	ФССЦ 14.5.04.03-0002	Мастика герметизирующая нетвердеющая из синтетического каучука, для заполнения и герметизации швов стеклянного ограждения теплиц	т				0,00046	17 183,00		7,90	
	ЗТ	чел.-ч	33,25			0,3325					
		Итого по расценке					45 725,10		39,39		
		ФОТ							2,88		
	Приказ Минстроя России № 812/пр от 21.12.2020 Прил. п.20	НР Теплоизоляционные работы	%	100		100			2,88	30	
	Приказ Минстроя России № 774/пр от 11.12.2020 Прил. п.20	СП Теплоизоляционные работы	%	55		55			1,59	181	
	Перевод в текущие цены 3 квартала 2021 (Письмо Минстроя России от 20.09.2021 №40123-ИФ/09 Красноярск 1 зона Прочие объекты)	ВСЕГО прямые затраты по смете							39,39	9,74	383,69
		В том числе:									
		Оплата труда							2,88		29,49

	Эксплуатация машин и механизмов	0,19		0,00
	Материальные ресурсы	36,32		0,00
	Всего ФОТ (справочно)	2,88		29,53
	Всего накладные расходы	2,88		29,53
	Всего сметная прибыль	17,71		181,35
	НДС (20%)			118,91
	ВСЕГО по смете (в базисном и текущем уровнях цен)	62,87		713,48

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ №02

Устройство 1 м2 покрытия теплицы поликарбонатом
(наименование конструктивного решения)

Составлен _____ базисно-индексным _____ методом

Основание _____ чертежи теплозащитной конструкции
(проектная и (или) иная техническая документация)

Составлен(а) в текущем уровне цен _____ 4 декабря 2021 г.

Сметная стоимость _____ 1,52 тыс. руб.
в том числе:
 строительных работ _____ 0,956 тыс. руб.
 монтажных работ _____ тыс. руб.
 оборудования _____ тыс. руб.
 прочих затрат _____ тыс. руб.

Средства на оплату труда рабочих _____ 0,13 тыс. руб.
 Нормативные затраты _____ чел.-ч.
 труда рабочих _____
 Нормативные затраты _____ чел.-ч.
 труда машинистов _____
 Расчётный измеритель _____
 конструктивного _____

№ п/п	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.			Индексы	Сметная стоимость в текущем уровне цен, руб.
				на единицу	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу	коэффициенты	всего		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Раздел 1. Монтаж покрытия из поликарбоната											

1	ФЕР 09-03-022-04	Монтаж оконных фонарных покрытий из поликарбонатных и акриловых плит с боковыми планками, профилями и резиновыми прокладками	100 м2	0,01		0,01							
	1	ОТ					1 062,29		10,62			108,78	
	2	ЭМ					2 200,66		22,01				
	3	в т.ч. ОТм					241,79		2,42			24,76	
	4	М					34,06		0,00				
	ФССЦ 01.7.19.01-0011	Изделия резиновые технические: водостойкие	кг				0,01	31,06		0,3106			
	ФССЦ 01.7.15.14-0121	Шурупы для крепления утеплителя и гидроизоляции к профилированному листу E-DB RS HT 4,8x60 мм	100 шт				0,1	144,10		14,41			
	ФССЦ 81-01-2001-И2	Поликарбонат сотовый толщиной 6 мм прозрачный	м2				1,05	38,9		40,85			
		ЗТ	чел.-ч	113,01			1,13						
		Итого по расценке						3 511,07		98,20			
		ФОТ								13,04			
	Приказ Минстроя России № 812/пр от 21.12.2020 Прил. п.20	НР Теплоизоляционные работы	%	100			100			13,04			12
	Приказ Минстроя России № 774/пр от 11.12.2020 Прил. п.20	СП Теплоизоляционные работы	%	55			55			7,17			181
	Перевод в текущие цены 3 квартала 2021 (Письмо Минстроя России от 20.09.2021 №40123-ИФ/09 Красноярск 1 зона Прочие объекты)	ВСЕГО прямые затраты по смете									98,20	9,74	956,42
	В том числе:												
	Оплата труда									13,04		133,54	
	Эксплуатация машин и механизмов									0,19		0,00	

	Материальные ресурсы	84,96		0,00
	Всего ФОТ (справочно)	13,04		133,54
	Всего накладные расходы	13,04		133,54
	Всего сметная прибыль	17,71		181,35
	НДС (20%)			254,26
	ВСЕГО по смете (в базисном и текущем уровнях цен)	141,99		1 525,57

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ №03

Устройство 1 м2 покрытия теплицы сэндвич - панелями
(наименование конструктивного решения)

Составлен _____ базисно-индексным _____ методом

Основание _____ чертежи теплозащитной конструкции
(проектная и (или) иная техническая документация)

Составлен(а) в текущем уровне цен _____ 4 декабря 2021 г.

Сметная стоимость _____ 5,15 тыс. руб.
в том числе:
 строительных работ _____ 2,58 тыс. руб.
 монтажных работ _____ тыс. руб.
 оборудования _____ тыс. руб.
 прочих затрат _____ тыс. руб.

Средства на оплату труда рабочих _____ 0,15 тыс. руб.
 Нормативные затраты _____ чел.-ч.
 труда рабочих _____
 Нормативные затраты _____ чел.-ч.
 труда машинистов _____
 Расчётный измеритель конструктивного _____

№ п/п	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.			Индексы	Сметная стоимость в текущем уровне цен, руб.
				на единицу	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу	коэффициенты	всего		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Раздел 1. Монтаж сэндвич-панелей

1	ФЕР 09-03-022-04	Монтаж ограждающих конструкций стен: из многослойных панелей заводской готовности при высоте здания до 50 м	100 м2	0,01		0,01					
	1	ОТ					1 600,26		16,00		163,87
	2	ЭМ					5 188,07		51,88		
	3	в т.ч. ОТм					435,36		4,35		44,58
	4	М					427,44		0,00		
	ФССЦ 81-01-2001	Сэндвич-панель трехслойная стеновая "Металл Профиль" с видимым креплением Z-LOCK, с наполнителем из минеральной ваты (НГ) плотностью 110 кг/м3, марка МП ТСП-Z, толщина: 50 мм, тип покрытия полиэстер, толщина металлических облицовок 0,5 мм (Россия)	м2			1	185,92		185,92		
	ФССЦ 01.7.15.14-0121	Стальные нащельники и детали обрамления	т			0,0001	10 898,65		1,09		
		ЗТ	чел.-ч	170,24		1,7024					
		Итого по расценке					18 300,34		264,89		
		ФОТ							159,70		
	Приказ Минстроя России № 812/пр от 21.12.2020 Прил. п.20	НР Теплоизоляционные работы	%	100		100			159,70		208
	Приказ Минстроя России № 774/пр от 11.12.2020 Прил. п.20	СП Теплоизоляционные работы	%	55		55			87,83		181
	Перевод в текущие цены 3 квартала 2021 (Письмо Минстроя России от 20.09.2021 №40123-ИФ/09 Красноярск 1 зона Прочие объекты)	ВСЕГО прямые затраты по смете							264,89	9,74	2 580,06

	В том числе:		
	Оплата труда	16,00	155,84
	Эксплуатация машин и механизмов	51,88	0,00
	Материальные ресурсы	197,01	0,00
	Всего ФОТ (справочно)	159,70	1 635,29
	Всего накладные расходы	159,70	1 555,45
	Всего сметная прибыль	15,97	155,54
	НДС (20%)		858,21
	ВСЕГО по смете (в базисном и текущем уровнях цен)	600,26	5 149,26

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ №04

Устройство 1 м2 покрытия теплицы сэндвич -панелями с досветкой
(наименование конструктивного решения)

Составлен _____ базисно-индексным _____ методом

Основание _____ чертежи теплозащитной конструкции
(проектная и (или) иная техническая документация)

Составлен(а) в текущем уровне цен _____ 4 декабря 2021 г.

Сметная стоимость _____ 15,15 тыс. руб.

в том числе:

строительных работ _____ 12,49 тыс. руб.

монтажных работ _____ тыс. руб.

оборудования _____ тыс. руб.

прочих затрат _____ тыс. руб.

Средства на оплату труда рабочих _____ 1,25 тыс. руб.

Нормативные затраты труда рабочих _____ чел.-ч.

Нормативные затраты труда машинистов _____ чел.-ч.

Расчетный измеритель конструктивного _____

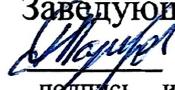
№ п/п	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.			Индексы	Сметная стоимость в текущем уровне цен, руб.
				на единицу	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу	коэффициенты	всего		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Раздел 1. Навесной вентилируемый фасад											
1	ФЕР 09-03-022-04	Монтаж ограждающих конструкций стен: из многослойных панелей заводской готовности при высоте здания до 50 м	100 м2	0,01		0,01					

		1	ОТ					1 600,26		16,00	155,87
		2	ЭМ					5 188,07		51,88	
		3	в т.ч. ОТм					435,36		4,35	42,40
		4	М					427,44		0,00	
	ФССЦ 81-01-2001		Сэндвич-панель трехслойная стеновая "Металл Профиль" с видимым креплением Z-LOCK, с наполнителем из минеральной ваты (НГ) плотностью 110 кг/м3, марка МП ТСП-Z, толщина: 50 мм, тип покрытия полиэстер, толщина металлических облицовок 0,5 мм (Россия)	м2			1	185,92		185,92	
	ФССЦ 01.7.15.14-0121		Стальные нащельники и детали обрамления	т			0,0001	10 898,65		1,09	
			ЗТ	чел.-ч	170,24		1,7024				
			Итого по расценке					18 300,34		264,89	
2	ФЕР 33-04-014-02		Установка светильников: с лампами люминесцентными	шт	1		1				
		1	ОТ					20,29		20,29	
		2	ЭМ					76,6		76,6	
		3	в т.ч. ОТм					9,28		9,28	
		4	М					0,51		20,29	
	ФССЦ 20.3.03.07-0082		Светильник низковольтный DS-FITO А 75	шт/м2			1,2	704,56		845,472	
	ФССЦ 01.7.15.02-0031		Болт анкерный с гайкой, размер: 8,0x40 мм	100 шт			0,2	63		12,6	
	ФССЦ 20.2.06.02-0003		Кронштейн к потолку для лотка PNK 100, длина 250 мм	шт			2	19,15		38,3	
	ФССЦ 502-0801		Провода монтажные с волокнистой или пленочной и поливинилхлоридной изоляцией МГШВ сечением 0,7 мм2	м			2	1,41		2,82	
			ЗТ	чел.-ч	2,29		2,29				
			Итого по расценке					885,52		1016,372	

	ФОТ							49,93		
Приказ Минстроя России № 812/пр от 21.12.2020 Прил. п.87	НР стены	%	100		100			49,93		198
Приказ Минстроя России № 774/пр от 11.12.2020 Прил. п.87	СП Стены	%	55		55			27,46		181
Перевод в текущие цены 3 квартала 2021 (Письмо Минстроя России от 20.09.2021 №40123-ИФ/09 Красноярск 1 зона Жилые здания)	ВСЕГО прямые затраты по смете							1 281,27	9,74	12 479,52
	В том числе:									
	Оплата труда							49,93		486,28
	Эксплуатация машин и механизмов							128,48		1 251,40
	Материальные ресурсы							1 102,86		0,00
	Всего ФОТ (справочно)							49,93		486,28
	Всего накладные расходы							9,99		97,26

	Всего сметная прибыль		4,99		48,63
	НДС (20%)				2 525,08
	ВСЕГО по смете (в базисном и текущем уровнях цен)		1 346,17		15 150,49

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
институт
Проектирование зданий и экспертиза недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 Р.А. Назиров
подпись инициалы, фамилия
« 18 » 06 2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Разработка проектных решений зданий – укрытий для предприятий
аграрного комплекса»

тема

08.04.01. «Строительство»

код и наименование направления

08.04.01.04 «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель

 20.06.22

К.т.н., доцент Е.М. Сергуничева

подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник

 16.06.22

А.С. Демьянов

инициалы, фамилия

Рецензент

 К.Т.И

А.Ф. Божков

подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Красноярск 2022