

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
**«КРЫМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени В. И. Вернадского»**
АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ
Архитектурно-строительный факультет
Кафедра геометрического и компьютерного моделирования
энергоэффективных зданий

Кравчук Наталья Сергеевна

Повышение энергоэффективности здания Физико-технического института
Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского за счет
модернизации оболочки

Выпускная квалификационная работа

Обучающейся 2 курса, группы С (ЭУЗиС)-м-о-186

Форма обучения очная

Направление подготовки 08.04.01 «Строительство»

Научный руководитель ВКР,
зав.каф. ГиКМЭЗ, д.т.н., профессор

Дворецкий А.Т.

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ

Зав. кафедрой _____

«_____» _____ 2020 г.

Симферополь, 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Раздел 1. Сведения о нормативных документах по энергоэффективности, методы ее повышения, климатический анализ условий строительства.....	8
1.1. Анализ отечественного и мирового опыта строительства энергоэффективных зданий.....	8
1.1.1. Требования отечественных и зарубежных правовых и нормативных документов в области энергоэффективного проектирования.....	8
1.1.2. Принципы проектирования энергоэффективных конструкций наружных стен.....	11
1.1.3. Принципы проектирования энергоэффективных светопрозрачных конструкций.....	14
1.1.4. Принципы проектирования солнечного воздушного коллектора и стены Тромба.....	15
1.1.5. Принципы проектирования солнцезащитных устройств в климатических условиях Крыма.....	20
1.2. Анализ климата для города Симферополя.....	24
Выводы по Разделу 1.....	35
Раздел 2. Оптимизация оболочки здания с учетом климатических условий места строительства.....	36
2.1. Краткие сведения об определении суммарной солнечной радиации на вертикальную поверхность при действительных условиях облачности и построении карт изолиний.....	36
2.2. Разработка вариантов замены светопрозрачных конструкций.....	40
2.2.1. Применение стеклопакетов с большим сопротивлением теплопередаче.....	40
2.2.2. Применение солнцезащитных стеклопакетов Solar.....	44
2.2.3. Уменьшение площади остекления с учетом соблюдения требований освещенности.....	46

2.3. Разработка и обоснование выбора энергоэффективных солнцезащитных устройств для здания в период перегрева.....	49
2.3.1. Анализ исходной солнцезащиты.....	49
2.3.2. Обоснование выбора солнцезащитных устройств.....	52
2.4. Расчет эффективности применения солнечного воздушного коллектора.....	58
Выводы по Разделу 2.....	63
Раздел 3. Результаты модернизации оболочки здания.....	65
3.1. Комплексная оценка вариантов повышения энергоэффективности объектов, позволяющая выбрать лучший из вариантов модернизации оболочки здания.....	65
3.2. Расчет сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания.....	72
3.3. Сравнение результатов в отопительный период для здания в комплексе с построением теплового баланса.....	77
3.4. Сравнение результатов по тепловым поступлениям в период перегрева для здания в комплексе.....	87
Выводы по Разделу 3.....	89
Заключение.....	91
Список использованных источников.....	92
Приложения.....	97

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. Необходимость и значимость увеличения энергетического потенциала жилищной сферы и зданий общественного назначения определяется стратегической направленностью экономического развития Российской Федерации на формирование энергоэффективной экономики, как в масштабах страны, так и в масштабах отдельных регионов и муниципальных образований [44].

Изучение способов повышения энергоэффективности зданий является достаточно актуальным. Вопрос применения энергосберегающих методов, технологий и материалов связан, прежде всего, с ограниченностью энергетических ресурсов, что приводит к увеличению их стоимости при существующих объемах потребления. При проведении работ по реконструкции с повышением энергоэффективности необходимо применение комплексного подхода. Этот подход обеспечит применение методов, которые позволят снизить теплопотери в зданиях за счет разработки и использования энергоэкономичных объемно-планировочных и конструктивных решений и мероприятий, основанных на использовании энергоэффективного оборудования.

На данный момент одной из приоритетных задач в области строительства стала энергетическая эффективность проектируемых и уже существующих архитектурных объектов в силу преобладающего значения общеэкономических факторов. Для осуществления поставленной задачи был принят целый ряд нормативно-правовых документов, основными из которых являются:

- Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»;
- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 № 1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года»;
- Федеральный закон «О внесении изменений и дополнений в Федеральный закон «О техническом регулировании», который разработан в июле 2009 г. и введен в действие. В соответствии

с ним показатели энергоэффективности предъявляются в качестве обязательных требований к объектам технического регулирования [8].

В сфере строительства и реконструкции применение энергоэффективных материалов, конструктивных решений и специальных приемов, основанных на использовании солнечной энергии, обеспечит уменьшение тепловых потерь и, следовательно, позволит экономить ресурсы и снижать количество выбросов в атмосферу, что в перспективе способствует повышению экологической безопасности.

Расчеты теплопоступлений от светопрозрачных конструкций позволяют на этапе проектирования подобрать наиболее эффективный вид заполнения оконного проема для обеспечения наилучшего энергосбережения. Для получения величины теплопоступлений необходимо значение количества солнечной радиации на вертикальную поверхность при действительных условиях облачности. В справочниках по климатологии эти данные отсутствуют. В работе [11] произведен расчет значений солнечной радиации с построением карт изолиний, что позволяет выполнять расчет теплопоступлений для городов Крыма и Юга России, данные о которых отсутствуют в справочниках.

Степень изученности проблемы. В своих исследованиях Бродач М.М., Гагарин В.Г., Горшков А.С., Корниенко С.В., Кузнецов А.В., Леонова А.Н., Марков Д.И., Корниенко С.В., Орт Д., Смирнова С.Н., Табунщиков Ю.А., Шилкин Н.В., Шойхет Б.М. обращались к вопросу ресурсосбережения и повышения энергоэффективности за счет архитектурно-планировочных решений, применения биопозитивных конструкций.

Изучению методов использования пассивного солнечного нагрева с помощью стены Тромба посвящены работы таких ученых как Балкомб Дж. Д., Брызгалин В.В., Дворецкий А.Т., Казанцев П.А., Косо Й., Поччоев. М.М., Сабади П.Р., Соловьев А.К., Файст В., Холлоуэй Д., Хужаев П.С и солнечных воздушных коллекторов – Блисс Р., Вырлан П.М., Донован М., Клоуз Дж. Д., Леф Дж., Пleshка М.С., Харченко Н.В.

Такие ученые как Буравченко В.С., Дворецкий А.Т., Клевец К.Н., Моргунова М.А., Сергейчук О.В., Спиридонов А.В., Шубин И.Л. в своих трудах занимаются проектированием и разработкой солнцезащитных устройств.

Цель работы – повышение энергоэффективности здания путем совершенствования оболочки здания, использования пассивного солнечного нагрева в зимний период и обеспечения солнцезащиты в летний период для предотвращения перегрева помещения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Рассчитать тепловые потери и поступления здания ФТИ КФУ им. В.И. Вернадского при исходной конструкции здания.
2. Предложить варианты модернизации оболочки здания, включающие в себя методы по повышению теплотехнических показателей конструкции, снижению тепловых потерь, увеличению количества тепловых поступлений за счет использования пассивного солнечного нагрева и организации солнечной защиты в период охлаждения здания.
3. На основе комплексной оценки предложенных вариантов модернизации выбрать вариант с наилучшими показателями, определить для него показатели энергетической эффективности здания и сравнить их с показателями для исходного варианта.

Объект исследования – научно-прикладные основы повышения энергетической эффективности общественного здания с использованием архитектурно-планировочных и конструктивных решений.

Предмет исследования – модернизация оболочки здания с применением эффективной солнцезащиты, устройств пассивного солнечного нагрева и с учётом климатических условий места строительства.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели в работе использованы такие методы исследования: анализ опубликованных ранее материалов и электронных ресурсов по смежным отраслям науки – строительная

физика, строительная климатология, архитектурное проектирование, энергоэффективное проектирование; геометрическое моделирование карт изолиний среднечасовой солнечной радиации по методике, описанной в [30] с помощью ПК SURFER и AutoCAD; использование математического моделирования для численного определения показателей повышения энергоэффективности зданий; применение системного анализа для комплексной оценки объекта строительства для различных вариантов модернизации оболочки здания с использованием программы MS Excel.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии новых методических подходов к модернизации оболочки здания за счет применения ресурсосберегающих, архитектурно-планировочных решений с использованием устройств пассивного солнечного нагрева и устройств солнечной защиты.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что:

- разработан алгоритм поиска наиболее энергоэффективных архитектурных и конструктивных решений общественных зданий;
- разработаны карты изолиний среднечасовой суммарной солнечной радиации при действительных условиях облачности за отопительный период для Крыма и Юга России;
- разработаны критерии комплексной оценки показателей энергетической эффективности, что позволяет выбрать лучший из вариантов модернизации оболочки объектов строительства;
- предложен методика моделирования солнцезащитных устройств с целью минимизации величины нежелательной солнечной инсоляции.

Краткая характеристика структуры работы. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех разделов, заключения. Работа изложена на 96 страницах. Содержит 47 рисунков, 37 таблиц, список литературы из 45 источников, 1 приложение.

Раздел 1

Сведения о нормативных документах по энергоэффективности, методы ее повышения, климатический анализ условий строительства

1.1. Анализ отечественного и мирового опыта строительства энергоэффективных зданий

1.1.1. Требования отечественных и зарубежных правовых и нормативных документов в области энергоэффективного проектирования

Первостепенными направлениями развития науки и техники Российской Федерации являются энергоэффективность и энергосбережение. Принятая ООН 1 января 2016 года всемирная Повестка дня в области устойчивого развития базируется на эффективном и экономном потреблении ресурсов и энергии. Значительная доля в потреблении ресурсов принадлежит зданиям, следовательно, повышение энергетической эффективности зданий является одной из первых задач современной строительной отрасли.

Энергоэффективным называется здание, которое отвечает нормативным требованиям надежности и безопасности, совокупность его конструктивных и архитектурно-планировочных решений предоставляет необходимый уровень комфорта при нормативных или меньших затратах на энергетические ресурсы за период всего жизненного цикла [21].

Таким образом, Федеральным законом № 261-ФЗ поставлена задача разработки системы установления и объективного (приборного) контроля по показателям как теплового, так и электрического энергопотребления зданий.

Отношение к нормированию энергоэффективности поменялось с принятием Федерального закона Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Закон включает три основные задачи, направленные на энергоэффективность зданий:

- маркировка энергоэффективности зданий;

- приборный учет ресурсов, потребляемых зданиями;
- энергетические обследования зданий.

Предусмотренные законом акты и соответствующие нормативы должны были сформировать систему нормирования энергоэффективности зданий, подобную EPBD, но к сожалению, до настоящего времени не создана даже концепция этой системы [40].

В проекте приказа Министерства регионального развития Российской Федерации от 17 мая 2011 г. № 224 «Об утверждении требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений» были приложены усилия по разработке базовых удельных показателей энергоемкости зданий, однако, без учета потребления электроэнергии на системы инженерного обеспечения зданий [25].

Основные направления энергетической политики ЕС в области энергоэффективности заложены в Директиве 2012/27 об энергоэффективности (Energy Efficiency Directive) от 2012 г., которая определяет набор обязательных мер, направленных на достижение какой цели, как повышение энергоэффективности на 20% к 2020 г. Данная цель заложена в энергетической стратегии ЕС на период до 2020 г. (2020 Energy Strategy).

В соответствии с Директивой 2012/27, которая является основополагающим нормативно-правовым документом в области энергоэффективности, все страны Европейского Союза должны максимально эффективно использовать энергию на всех стадиях энергетической цепи: от производства до конечного потребления. Комплекс мероприятий, описанных в документе, позволит обеспечить значительную экономию энергии как для индивидуальных потребителей, так и для промышленных предприятий.

30 ноября 2016 г. Европейская Комиссия рекомендовала внести обновления в Директиву 2012/27 в рамках принятия энергетического пакета мер по сохранению конкурентоспособности ЕС «Чистая энергия для всех европейцев» (Clean Energy For All Europeans), в частности обеспечения 30% цели повышения энергоэффективности к 2030 г. Еще одним основным

законодательным актом ЕС в области энергоэффективности является Директива 2010/31 об энергоэффективности зданий (Energy Performance of Buildings Directive), принятая в 2010 г, которая 20 декабря 2017 г. была обновлена.

Кроме вышеперечисленных Директив, в ЕС была принята в 2010 г. Директива 2010/30 по энергетической маркировке (EU's Energy Labelling Directive), но в июле 2017 г. был принят новый Регламент 2017/1369 о маркировке (Energy Labelling Regulation) с целью поэтапной замены Директивы по энергетической маркировке. Новый Регламент вводит обновленную систему маркировки продукции с применением более простой шкалы от А до G с цветовой маркировкой от темно-зеленого (максимальная энергетическая эффективность) до красного (минимальная энергетическая эффективность), отражаемую на соответствующих табличках и информирующая потребителя об энергоэффективности изделий [18].

В США Министерство энергетики способствует энергоэффективности зданий путем реализации программы внедрения норм и правил энергоэффективности зданий (BECP) и при помощи разработки и применения типовых норм, правил и стандартов. Однако, нормы и правила энергоэффективности зданий не являются обязательными на федеральном уровне. Международный кодекс энергосбережения (IECC) и стандарт 90.1 ANSI/ASHREA/IESNA – это два основополагающих стандарта энергоэффективности зданий, которые приняты в штатах. Кодекс IECC охватывает все жилые и коммерческие здания; стандарт ASHRAE 90.1 применяется для коммерческих зданий и многоквартирных домов с тремя и менее этажами.

Энергетическую паспортизацию (сертификацию) и маркировку зданий в США выполняют в рамках нескольких типов энергетических рейтинговых систем. Наиболее распространенные из них - RESNET, «Energystar» [12].

В Южной Корее национальной организацией по стандартизации Южной Кореи – Агентством технологий и стандартов (Korean Agency for Technology and

Standards, KATS) был принят стандарт KS A 4000:2007 Energy Management System в июне 2007 года и введен в действие в декабре 2007 года. Его разработка стала ответом на потребности корейских компаний, стремящихся продемонстрировать, в первую очередь своим бизнес-партнерам, предпринимаемые в компаниях меры по энергосбережению. Подобно американским стандартам корейский также использует цикл PDCA и подходит для сертификации и аудитов. Его отличие от американского в том, что, используя в планировании энергоменеджмента термин «энергоаспект», корейский стандарт близок к европейскому подходу. Донг Муэнг Хвон, представляющий южнокорейский Университет Йонсей, утверждает, что в планы ряда ведущих корейских компаний входит следующее: во-первых, сертификация на соответствие корейскому стандарту; во-вторых, обучение экспертов и энергоаудиторов; в-третьих, разработка необходимого программного обеспечения, компьютеризированных программ самооценки и чек-листов для проведения аудитов. Представители южнокорейского агентства KATS активно участвовали в деятельности Рабочей группы ИСО/ТК 242 и разработке проекта ISO 50001 [42].

1.1.2. Принципы проектирования энергоэффективных конструкции наружных стен

Правильно и качественно выполненная теплоизоляция оболочки здания позволяет значительно сократить потребление тепловой энергии на отопление. Для достижения максимального эффекта эта теплоизоляция должна укладываться плотно и без зазоров в пределах всего здания.

В последнее время были разработаны такие варианты энергоэффективных конструкций наружных стен (рисунок 1.1):

- 1) теплоизоляционная система для наружных стен (двухслойная конструкция), в которой толщина утеплителя составляет более 25 см;
- 2) несъемная пенополистирольная опалубка, которая заполняется бетоном на стройплощадке. При увеличении внешнего слоя опалубки из

пенополистирола на несколько сантиметров можно достигнуть стандарта пассивного дома;

- 3) элементы стен из деревянных щитов с двутавровыми легкими балками и слоем утеплителя толщиной более 30 см;
- 4) заводские многослойные стеновые элементы с утеплителем из пенополиуретана;
- 5) готовые элементы из легкого бетона с интегрированной теплоизоляцией;
- 6) блочные шпунтовые дощатые стены с утеплителем, находящимся с наружной стороны

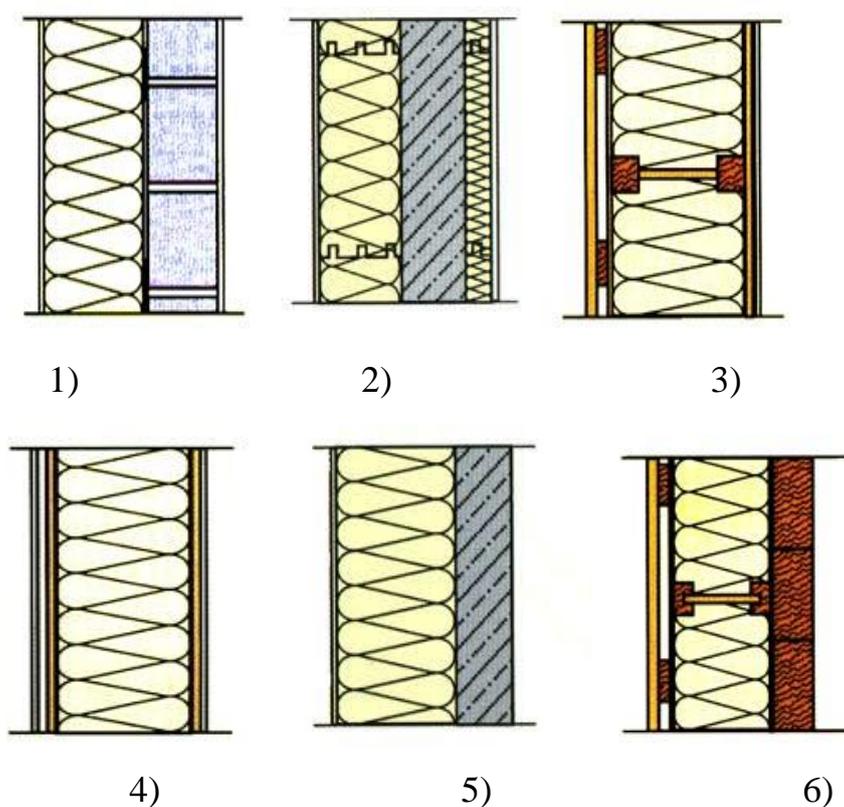


Рис. 1.1 Энергоэффективные конструкции наружных стен [17, 19, 39]

Продолжают разрабатываться новые энергоэффективные конструкции, например, пористый бетон в сочетании с утеплителем из минеральной ваты.

В качестве энергоэффективных наружных стен общественных зданий находят применение навесные вентилируемые фасады. Такие фасадные системы представляют собой конструкцию, закрепленную на ограждающей стене и

состоящую из утеплителя, который примыкает к стене, направляющих для крепления облицовки и непосредственно облицовочных панелей (рисунок 1.2).

Энергоэффективность навесных вентилируемых фасадов достигается прежде всего за счет многослойности конструкции. Между утеплителем и фасадными панелями устраивается воздушный зазор, благодаря перепаду давления в зазоре создается естественное движение воздуха. Вследствие этого теплоизоляция и стена остаются сухими, так как влага и конденсат выводятся потоком воздуха. В дополнение, воздушная прослойка является и температурным буфером.

Такая навесная система уменьшает тепловые потери и снижает необходимость отопления в зимний период приблизительно на 30%. В летний период навесной фасад наоборот отводит тепло. Устраняется одна из основных причин повреждения облицовочных панелей – воздействие температурных перепадов. Единственным «мостиком холода» в данной конструкции является металлический кронштейн, а металл имеет высокую теплопроводность. В некоторой степени промерзание утеплителя устраняется за счет утеплителя. Помимо этого, между кронштейном и стеной необходимо устраивать морозостойкую прокладку.

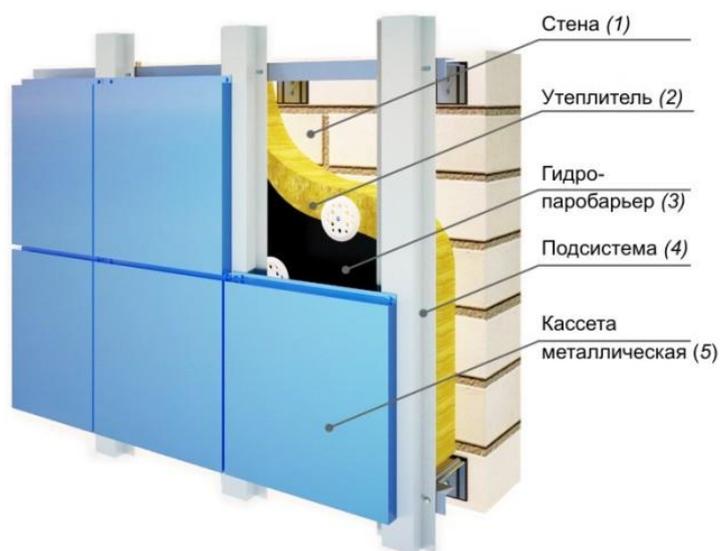


Рис. 1.2 Навесной вентилируемый фасад [2]

1.1.3. Принципы проектирования энергоэффективных светопрозрачных конструкций

С точки зрения энергоэффективности наиболее слабым звеном в здании являются окна. Теплотери через окна достигают 20-25 % от общих тепловых потерь через ограждающие конструкции здания. На данный момент разработаны специальные высокоэффективные теплозащитные стеклопакеты, обеспечивающие коэффициент сопротивления теплопередаче до $2 \text{ м}^2 \times \text{°C/Вт}$.

Существуют стекла со специальным покрытием: твердым или мягким. Твердое покрытие обладает стойкостью к различным атмосферным воздействиям. Наносится это покрытие пиролитическим способом: раствор, распыляемый на стекло, выпаривается и на его поверхности создается прочное покрытие. Мягкое покрытие наносится напылением в вакуумных камерах и является менее стойким к климатическим воздействиям. На рисунке 1.3 изображен принцип работы энергоэффективного окна.

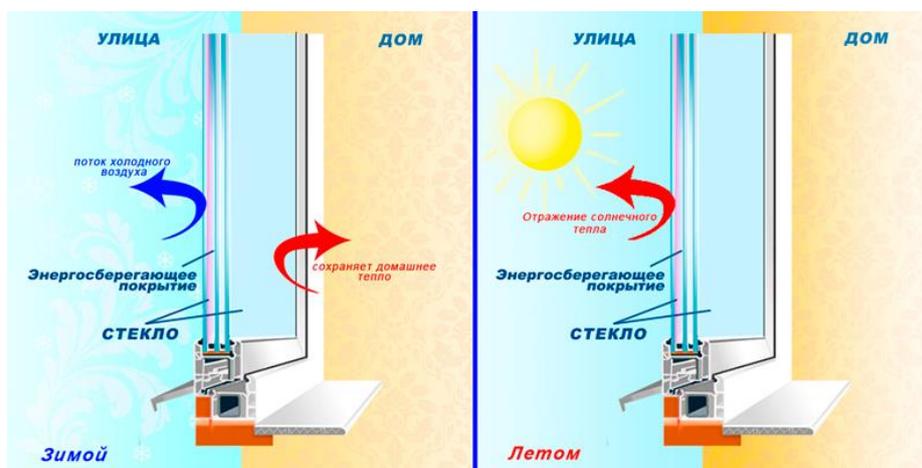


Рис. 1.3 Принцип работы энергоэффективного окна [45].

Стекла с твердым напылением можно устанавливать как внутри стеклопакета, так и снаружи, а с мягким – только внутри. Теплосберегающие свойства объясняются тем, что стекла с напылением излучают меньше тепла, чем обычные.

Высокой эффективности окон по сбережению тепла можно достичь путем заполнения инертными газами (аргоном или криптоном) в сочетании с применением низкоэмиссионного стекла. Коэффициент сопротивления

теплопередаче таких окон, по оценке Московского научно-исследовательского института типового и экспериментального проектирования (МНИИТЭП), в ближайшее время будет повышен до $0,8-1,0 \text{ м}^2 \times \text{°C/Вт}$, а в перспективе – до $1,5-2,0 \text{ м}^2 \times \text{°C/Вт}$. Данный результат будет получен благодаря использованию в двухкамерном стеклопакете двух низкоэмиссионных стекол, теплоизолирующих дистанционных рамок и заполнения его инертными газами (рисунок 1.4).



Рис.1.4 Энергосберегающий стеклопакет, заполненный аргоном [13]

Применение таких окон обеспечивает не только повышение тепловой защиты здания, но и улучшает микроклимат, так как специальное покрытие способствует лучшему светопропусканию как летом, так и зимой, при этом данные окна не замерзают [22].

1.1.4. Принципы проектирования солнечного воздушного коллектора и стены Тромба

Среди пассивных систем солнечного отопления одной из наиболее эффективных является стена Тромба. Это массивная стена из теплоемкого материала (бетон, камень, полнотелый кирпич), окрашенного в черный цвет. Снаружи на некотором расстоянии эта стена ограждена стеклом. Наружная поверхность стены в течение дня нагревается от прямого и рассеянного солнечного излучения. Следовательно, воздух, который циркулирует в промежутке между стеной и остеклением, нагревается и далее поступает в

помещение. Происходит естественное движение воздуха: нагретый воздух в конструкции стены поднимается вверх и там проходит через отверстия в помещении, а холодный воздух поступает через нижнее отверстие вместо теплого (рисунок 1.5). Этот цикл повторяется до тех пор, пока имеет место солнечная инсоляция [43]. К времени захода солнца стена успевает равномерно прогреться и отапливает помещение.

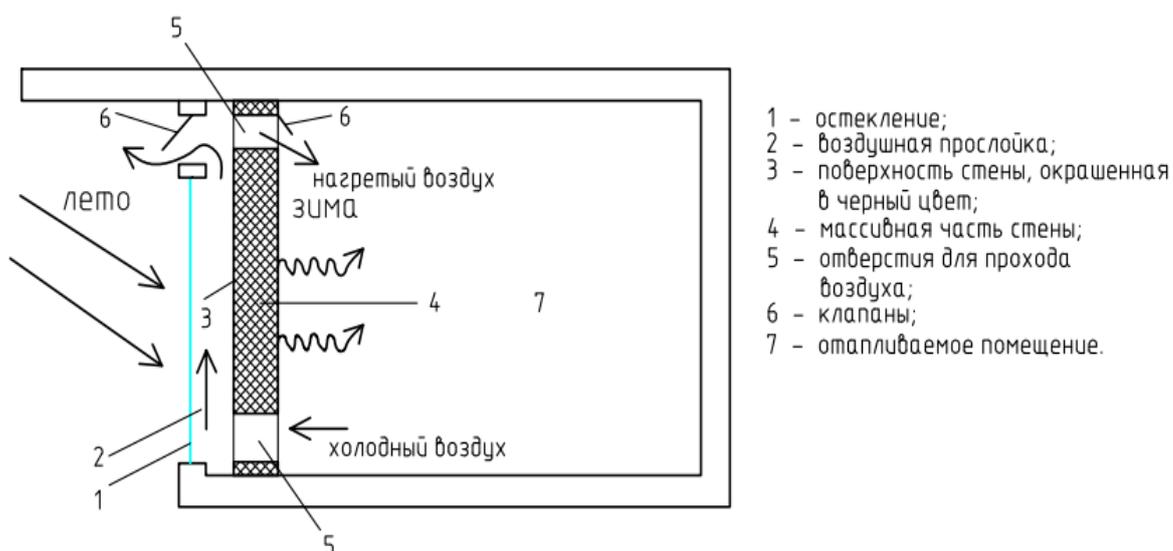


Рис. 1.5 Устройство стены Тромба [37]

В целях уменьшения количества тепловых потерь можно использовать двойное остекление и специальные теплоизолирующие шторы, которые возможно закрывать на ночь. Чтобы добиться быстрого нагрева воздуха в утреннее время, когда стена еще недостаточно согрета с внешней стороны, между стеной и стеклом перпендикулярно стене можно расположить дополнительные ребра. Эти ребра имеют черный цвет и смогут нагреться значительно быстрее [4].

Данная система прямого солнечного нагрева должна быть ориентирована на географический юг, хотя изменение ориентации на 30° к востоку или западу незначительно снизит эффективность системы. Недостатком стены Тромба в данном случае является то, что она закрывает вид на окружающую среду. Стена Тромба может быть угловой, а также спроектированной таким образом, чтобы интегрироваться практически с любым фасадом, ориентированным на юг (рисунок 1.6). Ориентация на географический юг в может изменяться не более

чем на 30° к востоку или западу с относительно небольшой потерей общей эффективности системы солнечного отопления.

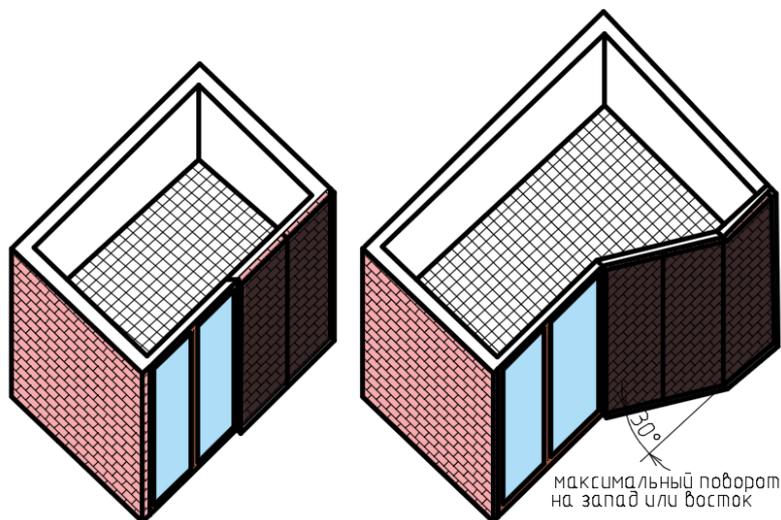


Рис. 1.6 Варианты интеграции стены Тромба с фасадом [24]

Солнечный воздушный коллектор – это тепловой абсорбер, в котором в роли рабочего тела используется воздух, а в роли источника тепла – солнечное излучение. Абсорбер – это совокупность плоской лучепоглощающей поверхности и труб (каналов) для теплоносителя. Для лучшего поглощения солнечной энергии верхняя поверхность абсорбера должна быть окрашена в черный цвет или иметь специальное покрытие [41].

Холодный воздух движется в системе каналов, где он нагревается за счет солнечного тепла и поднимается вверх, так как нагретый воздух легче холодного, после чего поступает в помещение через воздуховод. Тем самым инициируется процесс воздухозамещения. При циркуляции под действием естественных процессов движение воздуха достаточно медленное и происходят потери тепла, поэтому часто в трубопроводе системы устанавливается вентилятор. Принцип работы показан на рисунке 1.7.

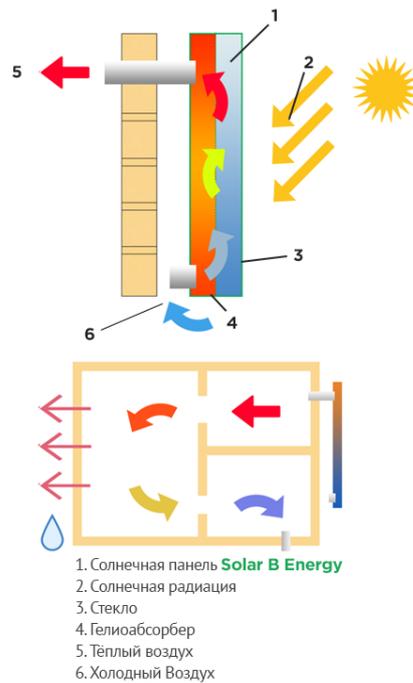


Рис. 1.7 Принципиальная схема работы воздушного солнечного коллектора [5].

Такой коллектор монтируется на южном фасаде здания. Для увеличения площади теплоотдачи абсорбер имеет ребристую форму или перфорацию. Работа происходит при значительно меньших температурах, чем при традиционных жидкостных солнечных коллекторах. В традиционных системах температура на коллекторе для начала работы должна превышать 45-50°C, а для воздушных достаточно 25-30°C.

Важным соображением при конструировании солнечного коллектора является предупреждение утечки воздуха. Поскольку, нагретый солнцем воздух, подается вентилятором под давлением, существует возможность утечки даже через небольшие щели, а также засасывание в эти щели холодного наружного воздуха. Многие конструкторы считают, что предупреждение утечки важно для жидкостных солнечных установок, но это имеет не меньшее значение для повышения КПД воздушных солнечных коллекторов [16].

На рисунке 1.8 показаны примеры применения СВК в виде фасада с двойной оболочкой (ФДО) – в аэропорту Торонто, Канада, на крыше и наклонной стене производственного здания в г. Бутбей Харбор, Мэн, США, в средней школе в г. Шервуде, Массачусетс, США, на базе ВМС США в

Портсмуте. Здание авиационной администрации в аэропорту Торонто удостоено серебряного сертификата LEED – за высокие энергосберегающие и экологические свойства.

Важное свойство сочетания СВК – ФДО в том, что в жаркое время года эта система охлаждает здание. Вверху и внизу системы устроены заслонки, которые обычно закрыты в холодное время. Воздух через перфорированные отверстия (в некоторых профильных системах выполнены специальные щели) в режиме работы СВК проникает в межфасадное пространство ФДО, поднимается вверх и поступает в распределительные каналы для обогрева. В жаркое время года верхние и нижние заслонки полностью открываются, каналы для обогрева перекрываются, и нагретый воздух интенсивно вентилирует межфасадный зазор. Избыточное тепло уносится вверх, а само здание не перегревается. Автоматика регулирует поворот наружных заслонок и степень открывания каналов для забора теплого воздуха внутрь здания. Ночью заслонки закрываются, и СВК–ФДО служит буфером, препятствующим потере тепла зданием.



Рис. 1.8 СВК типа «солнечная стена» на фасадах общественных и производственных зданий в Канаде и США [27]

Отличие стены Тромба от солнечного воздушного коллектора заключается в том, что при расчете тепловых поступлений от нее необходимо учитывать, что массивная часть стены накапливает тепло и еще некоторое время после захода солнца будет отдавать его помещению.

1.1.5. Принципы проектирования солнцезащитных устройств в климатических условиях Крыма

В условиях теплого климата Крыма и особенно жаркого лета с высоким уровнем инсоляции научно обоснованное использование солнцезащитных устройств позволит значительно снизить расход электроэнергии на кондиционирование, создавая комфортные условия в жилых, общественных и производственных зданиях.

Солнцезащитное устройство (СЗУ) – стационарный или регулируемый элемент конструкции здания, предназначенный для защиты помещений от воздействия прямой солнечной радиации.

В период, требующий охлаждения зданий, в целях уменьшения влияния прямой солнечной радиации на перегрев помещений необходимо использование солнцезащиты. К солнцезащитным принципам и устройствам относятся: рациональная ориентация фасадов по сторонам горизонта, рациональное планирование помещений зданий (устройство лоджий, козырьков на фасадах, ориентированных по солнечным румбам горизонта и пр.), посадка зеленых насаждений у фасадов зданий, оборудование светопрозрачных конструкций солнцезащитными устройствами.

Влияние солнцезащитных устройств на микроклимат помещений и сбережение энергии заключается в следующем:

- снижение тепловых поступлений в помещения в теплый период года;
- снижение тепловых потерь и увеличение тепловых поступлений в помещения в отопительный период;
- повышение зрительного комфорта, в том числе, устранение слепящей яркости в производственных и общественных зданиях [32].

Южные фасады (или близкие по ориентации к этому направлению), наиболее подвержены солнечной радиации около полудня, хотя в это время угол падения солнечных лучей в низких широтах относительно велик. Наиболее эффективная защита от таких лучей обеспечивается за счет горизонтальных конструкций, устанавливаемых снаружи фасада. Проекция тени определяется

максимальным углом падения солнечных лучей, т.е. максимальным углом между солнечными лучами и горизонталью.

Также в Крыму следует защищать от перегрева в летнее время западные фасады. Для этих фасадов наиболее подходят комбинированные солнцезащитные устройства и закрепленные наклонно по отношению к плоскости фасада. Основными элементами солнцезащитных конструкций могут быть щиты и листы, планки и пластинки, решетки, ткани. По конструктивным решениям такими элементами могут быть: закрепленные щиты, пластинки или решетки; сдвигающиеся щиты; поворачивающиеся вокруг закрепленной оси пластинки; пластинки, жалюзи, ставни; шторы, тенты, козырьки. Цель этих конструкций – защищать помещения от прямой солнечной радиации, и пропускать необходимое количество в пасмурную погоду. Солнцезащитные устройства, устанавливаемые снаружи фасада, не должны препятствовать движению воздуха между ними и поверхностью фасада, а, напротив, способствовать ему, что особенно важно в летнее время для защиты от перегрева.

Наружные устройства — наиболее эффективный тип солнцезащитных устройств, но они обладают рядом недостатков. Прежде всего они представляют собой весьма жесткую и поэтому дорогую конструкцию. Также они подвержены повреждению ветром и обледенению зимой, поэтому вызывают сложности в эксплуатации. Конструкции креплений могут затемнять помещения.

Солнцезащитные устройства могут быть выполнены из ламелей, которые располагаются как перпендикулярно к плоскости фасада, так и под определенным углом к ней (рисунок 1.9).

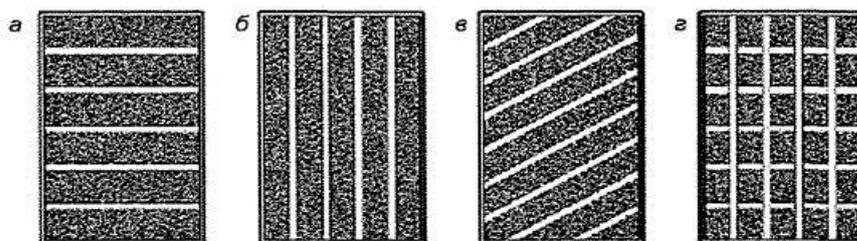


Рис. 1.9 Классификация СЗУ по положению затеняющих элементов:
а-горизонтальные; б-вертикальные; в-общего положения; г-комбинированные

Горизонтальные СЗУ наиболее эффективны при южной ориентации окон; вертикальные - целесообразно применять при ориентации окон на север, северо-восток и северо-запад; комбинированные - наиболее эффективны при юго-западной и юго-восточной ориентациях; СЗУ общего положения - целесообразны при юго-западной, западной и юго-восточной ориентациях; солнцезащитные кожухи универсальны - их можно применять при любой ориентации фасада.

В [32] предлагаются различные виды СЗУ, состоящие из отсеков плоскостей и ламелей, а также представлены их теневые маски (рисунок 1.10).

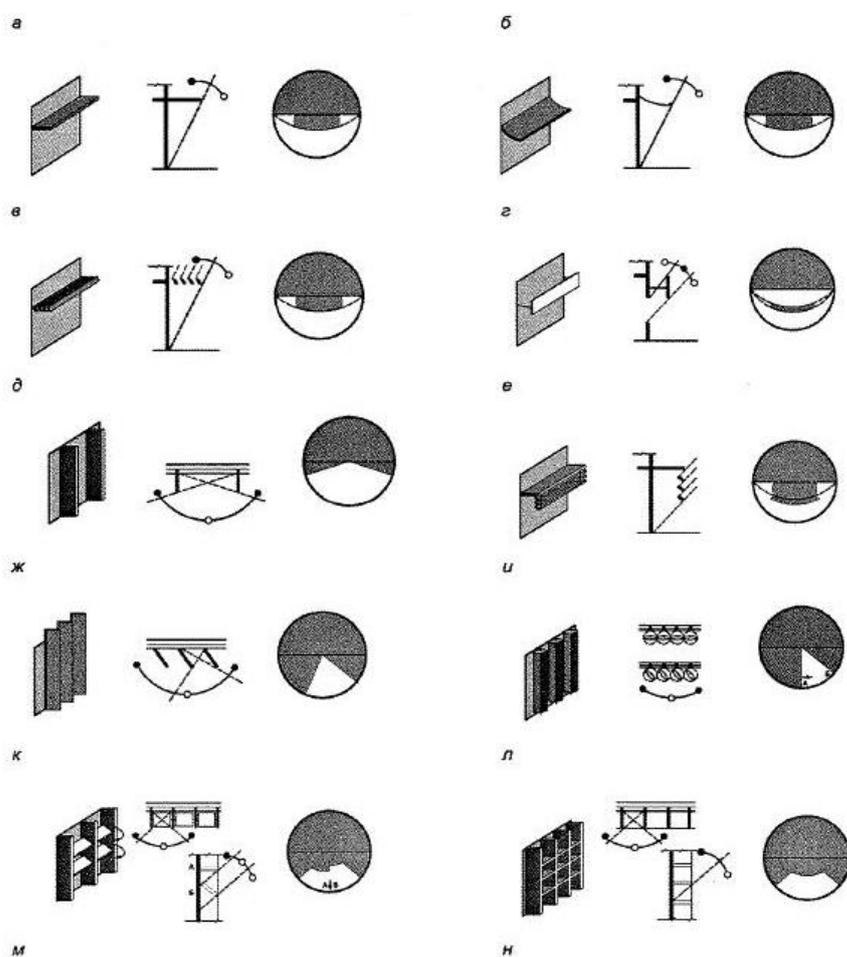


Рис. 1.10 Виды СЗУ: а-горизонтальный козырек; б-криволинейный козырек; в-составной козырек; г-козырек с экраном на отnose; д-вертикальные экраны перпендикулярные фасаду; е-комбинированное СЗУ; ж-вертикальные экраны, расположенные под углом к фасаду; и-регулируемые вертикальные экраны; к-комбинированное СЗУ с наклонными горизонтальными экранами; л-комбинированное (сотовое) СЗУ [32]

Теневая маска – графическое отображение на солнечной карте зоны экранирования небосвода непрозрачным объектом, например, элементами солнцезащитных устройств.

Для упрощения расчетов эффективности применения СЗУ с ламелями разработаны теневые угломеры для горизонтальных, вертикальных, а также наклонных СЗУ с различными углами наклона для восточного и западного фасадов (рисунок 1.11).

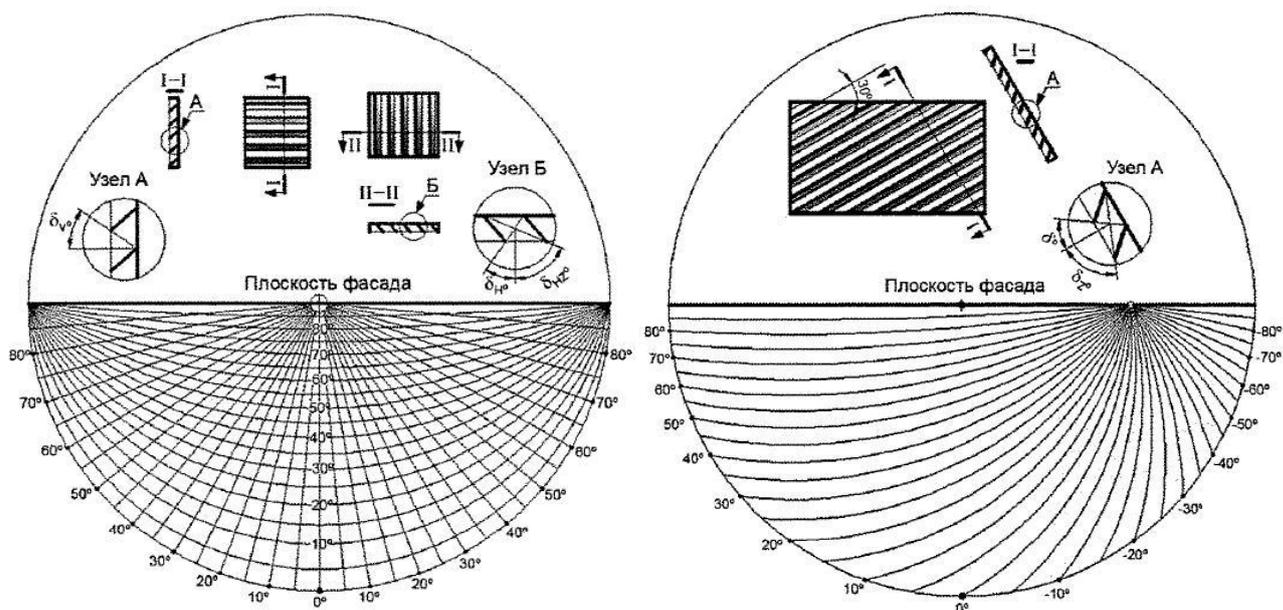


Рис. 1.11 Примеры теневых угломеров [32]

Расчеты и проектирование солнцезащитных устройств должны основываться на комплексном учете климатических особенностей местности (температура, влажность, облачность, прозрачность атмосферы, ветер и др.), а также требований к освещению помещений и их вентиляции.

1.2. Анализ климата для города Симферополя

1.2.1. Температуры наружного воздуха

Таблица 1.1

Среднемесячная температура воздуха, °С ([29], табл.3.1)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
-0,3	0,3	3,7	9,9	15,1	19,2	21,9	21,5	16,6	10,9	6,1	1,9	10,6

Температура воздуха наиболее холодной пятидневки ([29], табл.3.1) с обеспеченностью 0,98 – -17,0 °С, с обеспеченностью 0,92 – -14,0 °С.

Средняя температура воздуха в отопительный период ([29], табл.3.1) – $t_{от} = +2,9$ °С.

1.2.2. Продолжительность отопительного периода

Продолжительность отопительного периода ([29], табл.3.1) – $z_{оп} = 153$ сут.

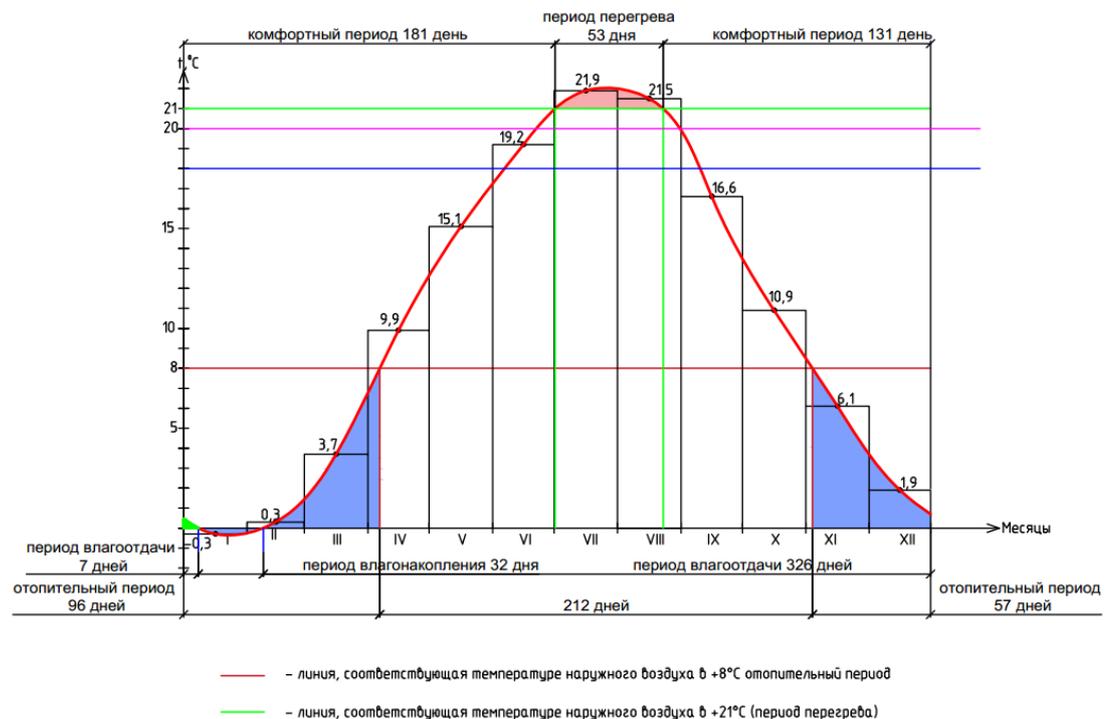


Рис. 1.12 Годовой ход температуры наружного воздуха

Отопительный период – с 4 ноября по 5 апреля (153 дня).

Период влагонакопления – с 8 января по 8 февраля (32 дня).

Период перегрева – с 1 июля по 22 августа (53 дня).

1.2.3. Определение требуемых сопротивлений теплопередаче

Показатель градусосуток отопительного периода:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \times z_{\text{оп}} = (18 - 2,9) \times 153 = 2310 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут/год}$$

где $t_{\text{в}} = +18^\circ\text{C}$ для аудиторий, учебных кабинетов, лабораторий без выделения вредных веществ (неприятных запахов), залов курсового и дипломного проектирования, читальных залов, конференц-залов, актовых залов, служебных помещений (в [30], табл.7.2).

Требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций [33]:

$$\text{окна} - R_{\text{ок}}^{\text{тр}} = 0,512 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}};$$

$$\text{стены} - R_{\text{ст}}^{\text{тр}} = 0,0003 \times 2310 + 1,2 = 1,893 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}};$$

$$\text{перекрытий чердачных, над подвалами} - R_{\text{перекр}}^{\text{тр}} = 0,00035 \times 2310 + 1,3 = 2,109 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}};$$

$$\text{двери} R_{\text{дв}}^{\text{тр}} = 0,6 \times \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{хп}})}{\Delta t^{\text{н}} \alpha_{\text{в}}} = 0,6 \times \frac{(18 - (-14))}{4,5 \times 8,7} = 0,49 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}},$$

где $t_{\text{хп}}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, $^\circ\text{C}$;

$\Delta t^{\text{н}}$ – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, $^\circ\text{C}$;

$\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \times ^\circ\text{C})$

1.2.4. Розы ветров

Таблица 1.2

$\frac{\text{Повторяемость, \%}}{\text{Средняя скорость, м/с}}$ по направлениям ветра в январе, % ([26], Прил.4)

С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
<u>5</u>	<u>23</u>	<u>11</u>	<u>17</u>	<u>12</u>	<u>19</u>	<u>7</u>	<u>6</u>
3,4	5,8	3,9	3,2	5,2	6	5,8	3,8

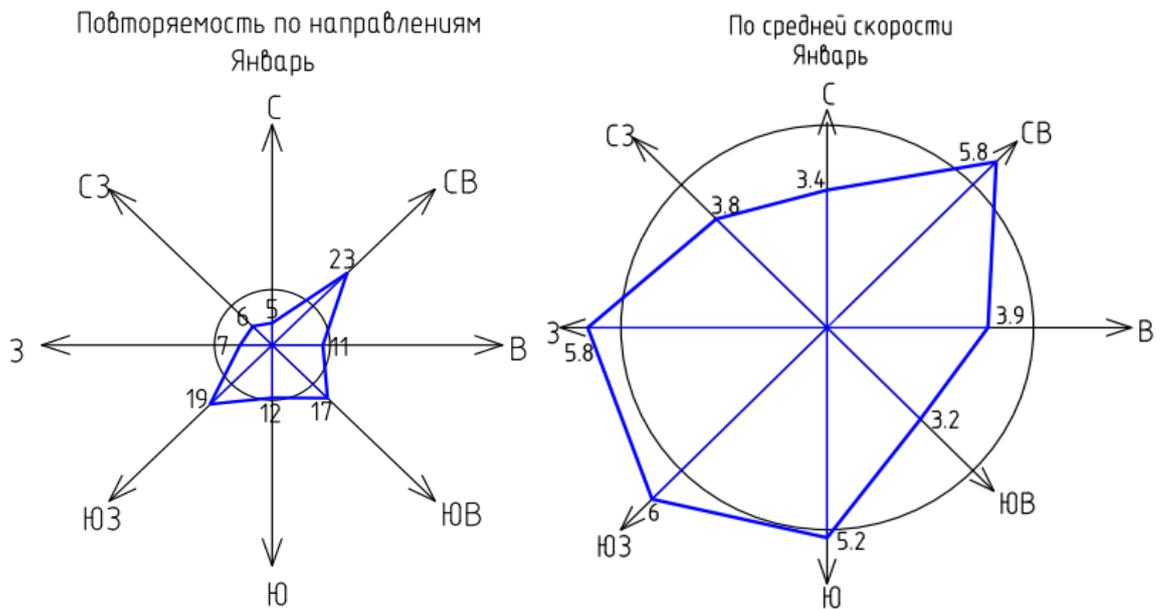


Рис. 1.13 Розы ветров для января

Таблица 1.3

$\frac{\text{Повторяемость, \%}}{\text{Средняя скорость, м/с}}$ по направлениям ветра в июле, % ([26], Прил.4)

С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
<u>6</u>	<u>12</u>	<u>17</u>	<u>20</u>	<u>6</u>	<u>14</u>	<u>17</u>	<u>8</u>
4,1	4,6	3	2,8	3,1	4,6	5,1	4,4

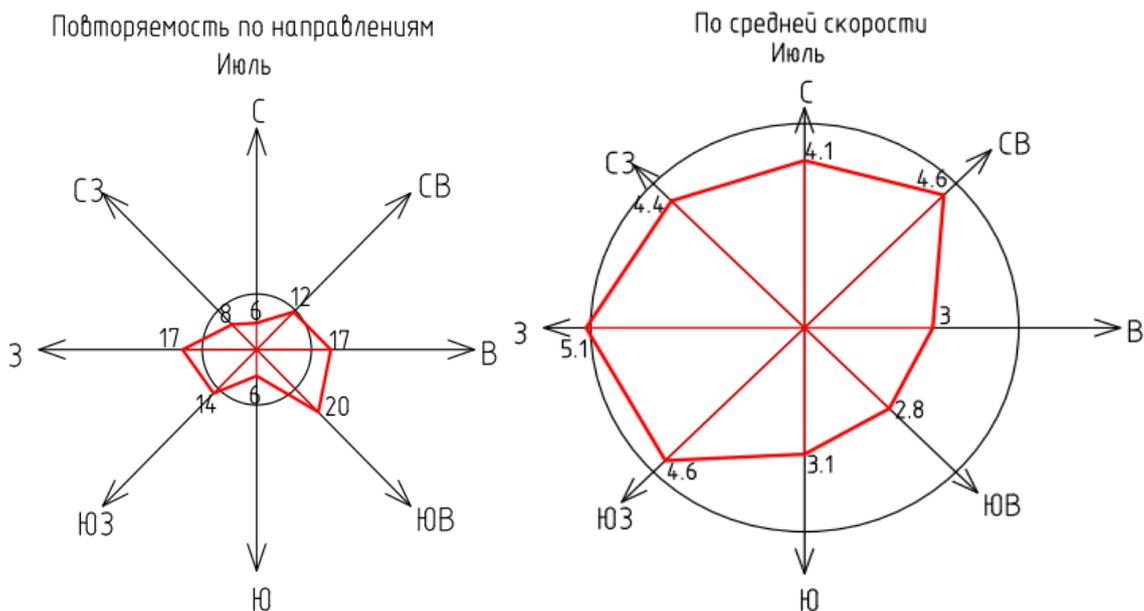


Рис. 1.14 Розы ветров для июля

1.2.5. Анализ температурно-влажностного режима

Таблица 1.4

Относительная влажность воздуха, % ([20], табл. 4.7)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\varphi, \%$	84	83	77	68	68	65	63	62	67	75	82	85
$t, ^\circ\text{C}$	-0,3	0,3	3,7	9,9	15,1	19,2	21,9	21,5	16,6	10,9	6,1	1,9

Таблица 1.5

Месячное и годовое количество осадков ([20], табл.4.23)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>мм</i>	46	36	37	35	44	65	61	37	38	39	45	49

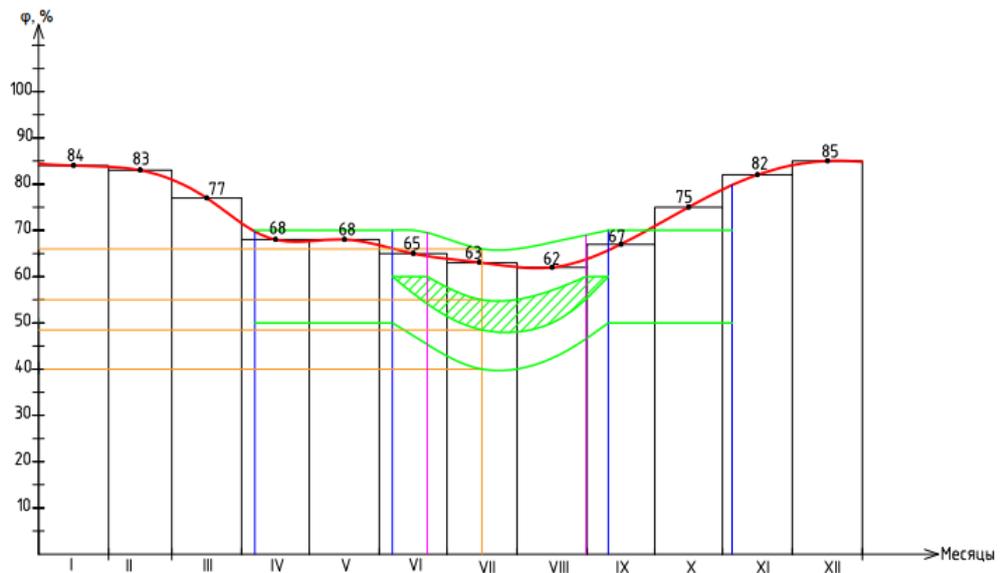


Рис. 1.15 График температурно-влажностного режима

1.2.6. Анализ температурно-ветрового режима

Таблица 1.6

Средняя скорость ветра, м/с ([20], табл.3.3)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$v, \text{ м/с}$	5,1	5,4	5,4	4,8	4,3	4,1	3,9	3,8	3,9	4,3	4,8	5,1
$t, \text{ }^\circ\text{C}$	-0,3	0,3	3,7	9,9	15,1	19,2	21,9	21,5	16,6	10,9	6,1	1,9

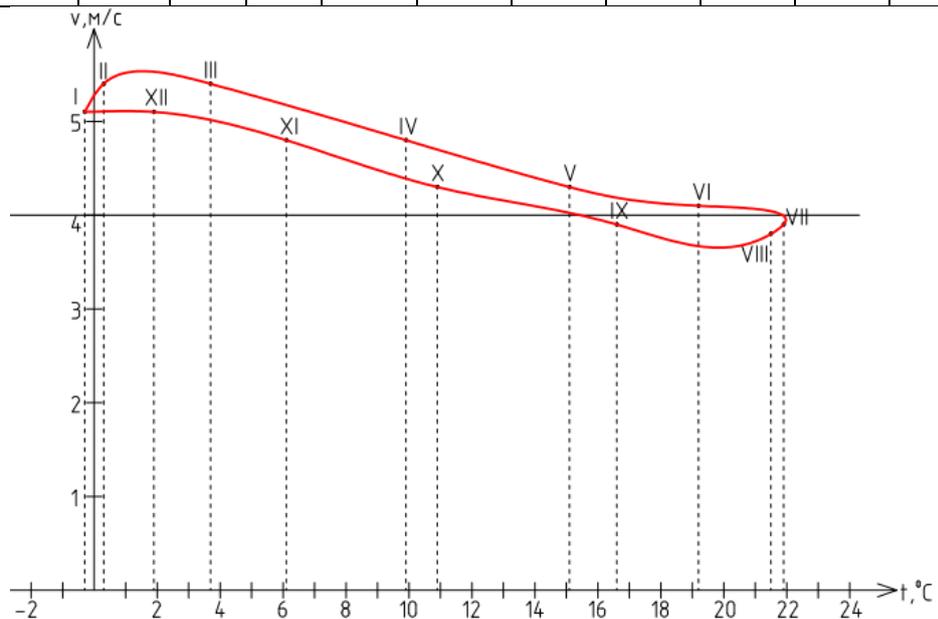


Рис. 1.16 График температурно-ветрового режима

1.2.7. Определение количества суммарной солнечной радиации на вертикальную поверхность при действительных условиях облачности

Суммарная (прямая, рассеянная и отраженная) солнечная радиация на вертикальную поверхность, МДж/м², при действительных условиях облачности за отопительный период определяется по формуле:

$$Q_i^{ver} = \sum_{j=1}^m (S_{ji}^{ver} + D_i^{ver} + R_i^{ver}) = \sum_{j=1}^m (S_i^{hor} k_{ij} + \frac{D_i^{hor}}{2} + \frac{Q_i^{hor} A_i^{cal}}{200})$$

где S_{ji}^{ver} - прямая солнечная радиация на вертикальную поверхность при действительных условиях облачности в i -м месяце отопительного периода для j -й ориентации, МДж/м²;

D_i^{ver}, R_i^{ver} - рассеянная и отраженная солнечная радиация на вертикальную поверхность при действительных условиях облачности в i -м месяце отопительного периода, МДж/м²;

S_i^{hor}, D_i^{hor} - прямая и рассеянная солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности в i -м месяце отопительного периода, МДж/м², принимаются по данным таблиц 1.8, 1.9 [20];

Q_i^{hor} - суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности для i -го месяца отопительного периода, МДж/м², принимается по данным таблицы 1.10 [20];

A_i^{cal} - альbedo деятельной поверхности в i -м месяце отопительного периода, %, принимается по данным таблицы 1.10 [20];

k_{ij} - коэффициент пересчета прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную i -го месяца отопительного периода для j -й ориентации, принимается по данным таблицы В.2 в [30].

Таблица 1.7

Количество суммарной солнечной радиации, МДж/м²

Расчетные характеристики солнечной радиации для определения количества суммарной солнечной радиации на вертикальную поверхность при действительных условиях облачности, г.Симферополь 44,95° в.д., 34,10° с.ш.

Месяц	S _{hor} ^{hor} , МДж/м ² С	k _{ij}								S _{ij} ^{ver} , МДж/м ²								D _i ^{hor} , D _i ^{ver} , Q _i ^{hor} , A _i ^{hor} , % R _i ^{ver} ,				Q _i ^{ver} , МДж/м ²								
		СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	МДж/м ²	МДж/м ²	МДж/м ²	МДж/м ²	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ			
Январь	55	0.02	0.02	0.62	1.78	2.68	1.93	0.62	0.02	1.10	1.10	34.10	97.90	147.40	106.15	34.10	1.10	90.00	45.00	145.00	27.00	19.58	65.68	65.68	98.68	162.48	211.98	170.73	98.68	65.68
Февраль	65	0.05	0.06	0.56	1.25	1.78	1.35	0.55	0.06	3.25	3.90	36.40	81.25	115.70	87.75	35.75	3.90	120.00	60.00	185.00	25.00	23.13	86.38	87.03	119.53	164.38	198.83	170.88	118.88	87.03
Март	176	0.09	0.13	0.56	0.88	1.06	0.91	0.56	0.13	15.84	22.88	98.56	154.88	185.68	160.16	98.56	22.88	190.00	95.00	366.00	20.00	36.60	147.44	154.48	230.16	286.48	317.28	291.76	230.16	154.48
Апрель	278	0.07	0.20	0.48	0.64	0.62	0.61	0.44	0.18	19.46	55.60	133.44	177.92	170.97	169.58	122.32	50.04	235.00	117.50	513.00	20.00	51.30	188.26	224.40	302.24	346.72	339.77	338.38	291.12	218.84
Май	366	0.02	0.24	0.43	0.47	0.35	0.46	0.39	0.22	7.32	87.84	157.38	172.02	128.10	168.36	142.74	80.52	299.00	149.50	665.00	20.00	66.50	223.32	303.84	373.38	388.02	344.10	384.36	358.74	296.52
Июнь	479		0.27	0.43	0.38	0.26	0.39	0.37	0.23	0.00	129.33	205.97	182.02	124.54	186.81	177.23	110.17	287.00	143.50	766.00	19.00	72.77	216.27	345.60	422.24	398.29	340.81	403.08	393.50	326.44
Июль	509		0.25	0.44	0.41	0.30	0.41	0.41	0.23	0.00	127.25	223.96	208.69	152.70	208.69	208.69	117.07	273.00	136.50	782.00	19.00	74.29	210.79	338.04	434.75	419.48	363.49	419.48	419.48	327.86
Август	431		0.22	0.44	0.54	0.49	0.54	0.42	0.21	0.00	94.82	189.64	232.74	211.19	232.74	181.02	90.51	231.00	115.50	662.00	19.00	62.89	178.39	273.21	368.03	411.13	389.58	411.13	359.41	268.90
Сентябрь	313		0.16	0.44	0.77	0.83	1.11	0.46	0.15	0.00	50.08	137.72	241.01	259.79	347.43	143.98	46.95	192.00	96.00	505.00	20.00	50.50	146.50	196.58	284.22	387.51	406.29	493.93	290.48	193.45
Октябрь	201		0.09	0.54	1.13	1.48	0.77	0.50	0.08	0.00	18.09	108.54	227.13	297.48	154.77	100.50	16.08	151.00	75.50	352.00	21.00	36.96	112.46	130.55	221.00	339.59	409.94	267.23	212.96	128.54
Ноябрь	72		0.04	0.60	1.60	2.30	1.11	0.60	0.04	0.00	2.88	43.20	115.20	165.60	79.92	43.20	2.88	101.00	50.50	173.00	21.00	18.17	68.67	71.55	111.87	183.87	234.27	148.59	111.87	71.55
Декабрь	33		0.01	0.67	2.03	2.95	1.03	0.67	0.01	0.00	0.33	22.11	66.99	97.35	33.99	22.11	0.33	76.00	38.00	109.00	22.00	11.99	49.99	50.32	72.10	116.98	147.34	83.98	72.10	50.32
год	2978																	2245.00	5223.00			1694	2241	3038	3605	3704	3584	2957	2190	

Таблица 1.8

Количество суммарной солнечной радиации на вертикальную поверхность, кВтч/м²

Ориентация \ Месяц	Север	Восток	Юг	Запад
Январь	18,24	27,41	58,88	27,41
Февраль	23,99	33,2	55,23	33,02
Март	40,96	63,93	88,13	63,93
Апрель	52,29	83,96	94,38	80,87
Май	62,03	103,72	95,58	99,65
Июнь	60,08	117,29	94,67	109,31
Июль	58,55	120,76	100,97	116,52
Август	49,55	102,23	108,22	99,84
Сентябрь	40,69	78,95	112,86	80,69
Октябрь	31,24	61,39	113,87	59,16
Ноябрь	19,08	31,08	65,08	31,08
Декабрь	13,89	20,03	40,93	20,03
Год	471	844	1029	821

Таблица 1.9

Общее количество суммарной солнечной радиации на вертикальную поверхность, кВтч/м², за отопительный период и за период перегрева

Ориентация \ Период	Север	Восток	Юг	Запад
Отопительный период	122,96	186,54	317,47	185,84
Период перегрева	245,47	478,97	466,42	463,1

1.2.8. Определение периода перегрева

Таблица 1.10

Истинное солнечное время (час мин) восхода (В) и захода (З) солнца [20]

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>В</i>	7 ²⁷	6 ⁴⁹	6 ⁰⁵	5 ¹⁶	4 ³⁴	4 ¹²	4 ²¹	4 ⁵⁷	5 ⁴¹	6 ²⁹	7 ¹⁵	7 ³⁶
<i>З</i>	16 ³³	17 ¹¹	17 ⁵⁵	18 ⁴⁴	19 ²⁶	19 ⁴⁸	19 ³⁹	19 ⁰³	18 ¹⁹	17 ³¹	16 ⁴⁵	16 ²⁴

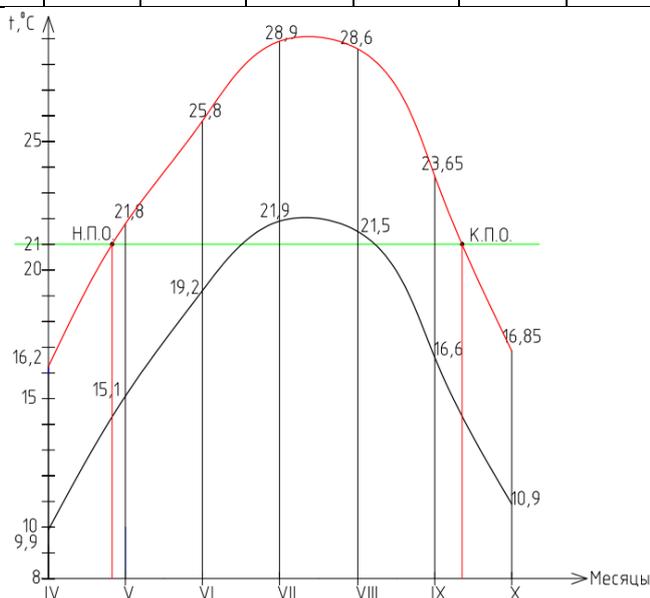


Рис. 1.17 График максимального хода температуры

Период перегрева составляет 139 сут.

где н.п.о. – начало периода охлаждения – 11 мая

где к.п.о. – конец периода охлаждения – 26 сентября

Среднесуточная температура наружного воздуха с учетом амплитуды за период охлаждения:

$$t_{cp}^{п.охл.} = \frac{21.8 \times 21 + 25.8 \times 30 + 28.9 \times 31 + 28.6 \times 31 + 23.65 \times 26}{139} = 26,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

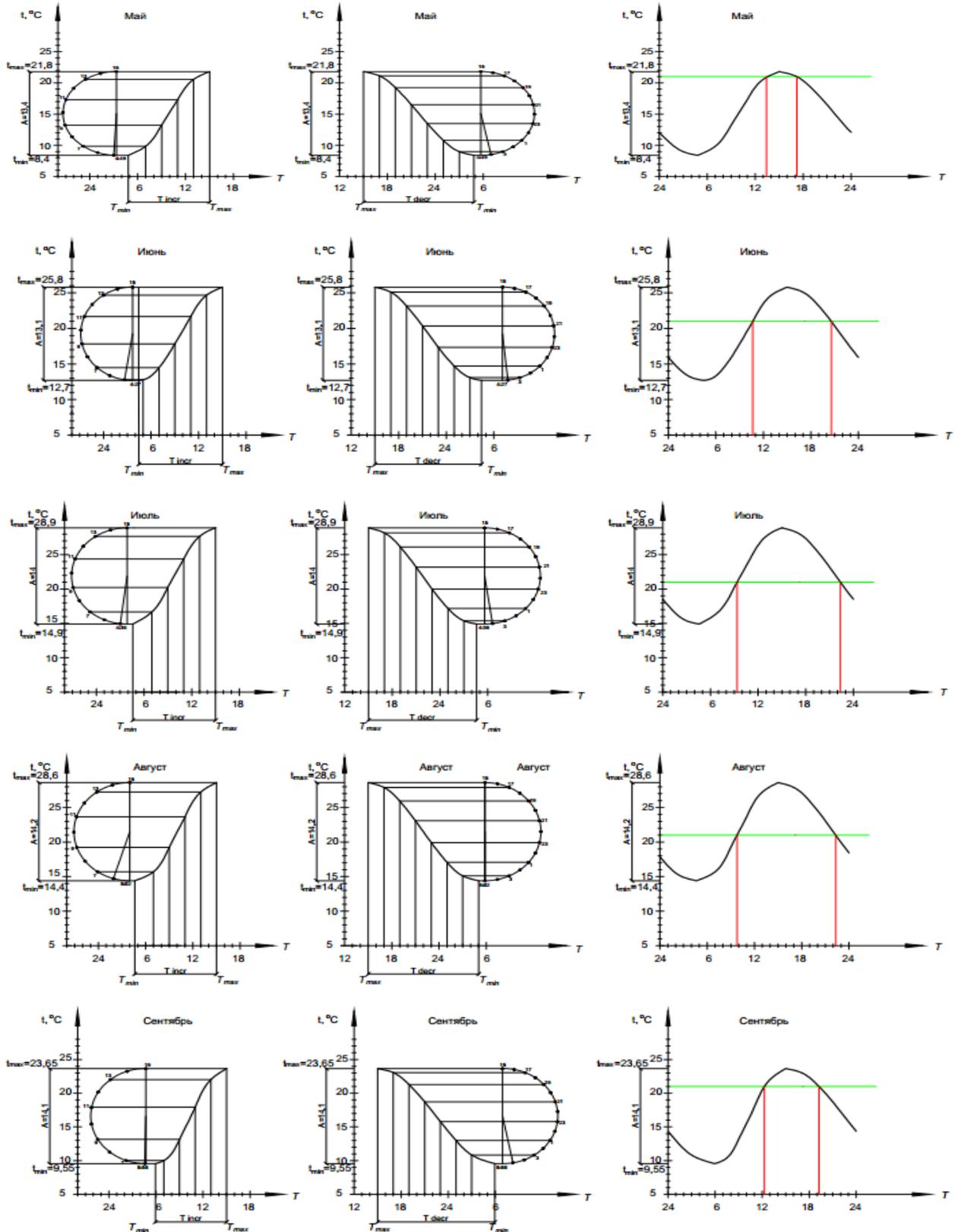


Рис. 1.18 Анализ суточного хода температуры

Таблица 1.11

Определение суточного промежутка времени периода охлаждения для каждого
месяца

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t, °C	-0,3	0,3	3,7	9,9	15,1	19,2	21,9	21,5	16,6	10,9	6,1	1,9
A, °C	8,2	8,7	10,0	12,5	13,4	13,1	14,0	14,2	14,1	11,9	9,6	8,2
t _{max} , °C	3,8	4,65	8,7	16,2	21,8	25,8	28,9	28,6	23,65	16,85	10,9	6,0
t _{min} , °C	-4,4	-4,1	-1,3	3,65	8,4	12,7	14,9	14,4	9,55	4,95	1,3	-2,2
Время восх., ч	7:27	6:49	6:05	5:16	4:34	4:12	4:21	4:57	5:41	6:29	7:15	7:36
Время зах., ч	16:33	17:11	17:55	18:44	19:26	19:48	19:39	19:03	18:19	17:31	16:45	16:24
T _{min} , ч.мин	7:42	7:04	6:20	5:31	4:49	4:27	4:36	5:02	5:56	6:44	7:30	7:51
T _{incr} , ч.мин	7:18	7:56	8:40	9:29	10:11	10:33	10:24	9:58	9:04	8:16	7:30	7:09
T _{decr} , ч.мин	16:42	16:04	15:20	14:31	13:49	13:27	13:36	14:02	14:56	15:44	16:30	16:51
начало	-	-	-	-	13:24	10:40	9:21	9:48	12:17	-	-	-
конец	-	-	-	-	17:12	20:34	22:22	22:19	19:15	-	-	-
К-во час охлаж.	-	-	-	-	3:48	9:54	13:01	12:31	6:58	-	-	-
К-во дней охлажд.	-	-	-	-	21	30	31	31	26	-	-	-
Прод. пер. охл. ч	-	-	-	-	80	297	403,5	388	181	-	-	-

где t – среднемесячная температура воздуха, °C ([29], табл.3.1);

A – средняя суточная амплитуда наружного воздуха, °C в [30], табл.11.1);

Максимальная температура, °C:

$$t_{max} = t + \frac{A}{2}$$

Минимальная температура, °C:

$$t_{min} = t - \frac{A}{2}$$

Время минимальной температуры (T_{min}) принимается на 15 минут позже рассвета. Время рассвета определяется по ([20], табл.1.1).

Время максимальной температуры (T_{max}) принимается в 15 часов по солнечному времени.

Продолжительность периода повышения температуры (T_{incr}) и понижения (T_{decr}) вычисляются по формулам:

$$T_{incr} = T_{max} - T_{min}$$

$$T_{decr} = 24 - T_{incr}$$

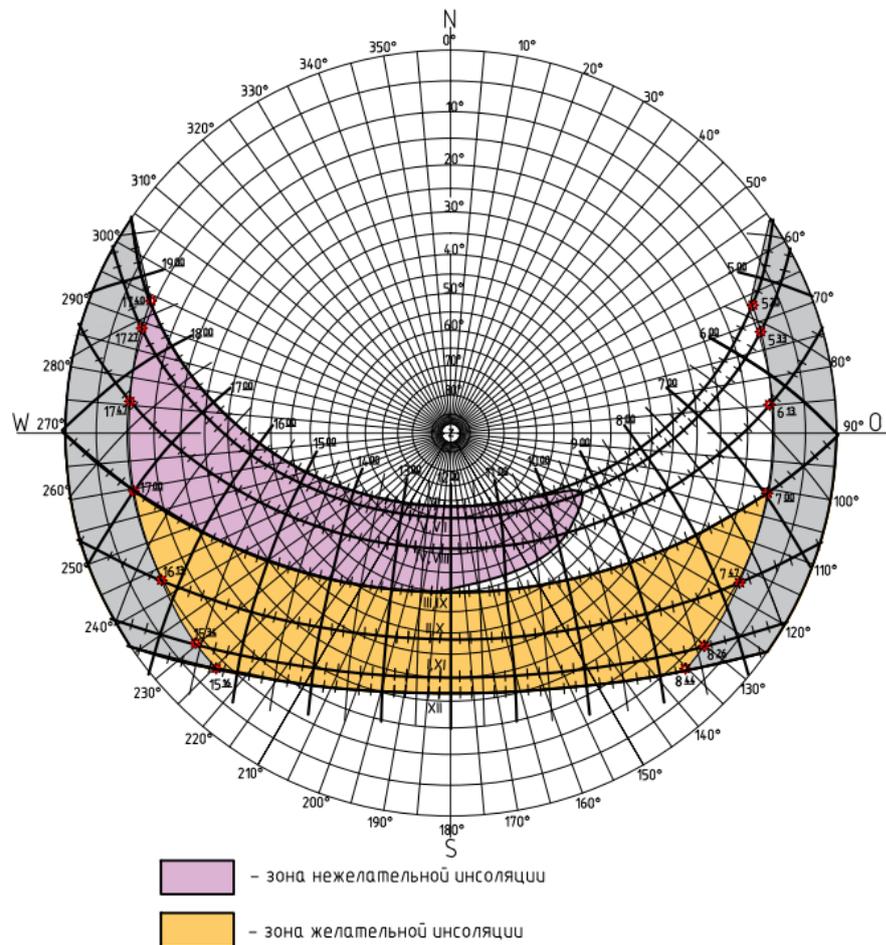


Рис. 1.19 Солнечная карта с нанесением зон желательной и нежелательной ИНСОЛЯЦИИ

Выводы по Разделу 1.

В данном разделе проведен обзор литературы, анализ возможных методов повышения энергетической эффективности зданий и климатических условий для города Симферополя. На основе этого в следующем разделе выполняется оптимизация оболочки здания, расчет эффективности применяемых методов и выбор наилучшего из них с целью энергосбережения и повышения экологической безопасности.

Раздел 2

Оптимизация оболочки здания с учетом климатических условий места строительства

2.1. Краткие сведения об определении суммарной солнечной радиации на вертикальную поверхность при действительных условиях облачности и построении карт изолиний

При проектировании зданий важно знать количество солнечной радиации на вертикальную поверхность при действительных условиях облачности для определения тепловых поступлений за счет солнечного нагрева. В справочниках по климату [20] даны величины суммарной солнечной радиации только на горизонтальную поверхность и только при ясном небе. В работе [9] были получены карты изолиний градусосуток отопительного периода для всей территории Российской Федерации, которые могут быть использованы при выборе материалов ограждающих конструкций при проектировании энергоэффективных зданий. Также в [10] была представлена карта поступлений солнечной радиации за отопительный период на южный вертикальный фасад для юга России.

Совместно с кафедрой геометрического и компьютерного моделирования энергоэффективных зданий выполнен статья по расчету суммарной солнечной радиации при действительных условиях облачности на вертикальную поверхность, результаты и методика которой применены в выпускной работе.

Данный расчет суммарной солнечной радиации при действительных условиях облачности в статье проводится по методике, предложенной в [30]. Суммы радиации в справочнике по климату представлены в МДж/м². Для наших расчетов берем данные для некоторых городов Российской Федерации, и для корректного отображения карты изолиний – данные для городов Азербайджана и Украины. Для восьми сторон света вычисляем показатель прямой солнечной радиации на вертикальную поверхность при действительных условиях

облачности (S_i^{ver} , МДж/м²), рассеянной (D_i^{ver} , МДж/м²), отраженной (R_i^{ver} , МДж/м²) и суммарной (Q_i^{ver} , МДж/м²). Формулы расчета приведены в п.1.2.7 выпускной работы.

Рассчитываем значения радиации для всех выбранных городов. Для примера в табл. 2.1 показан расчет для г.Ялта.

Таблица 2.1

Годовые значения солнечной радиации на вертикальную поверхность для г.Ялта [11]

Месяц	Расчетные характеристики солнечной радиации для определения количества суммарной солнечной радиации на вертикальную поверхность при действительных условиях облачности, г.Ялта (Никитский сад), 34.16° в.д., 44.49° с.ш.																													
	S_i^{hor} , МДж/м ²	K_{ij}								S_{ij}^{ver} , МДж/м ²								D_i^{hor} , МДж/м ²	D_i^{ver} , МДж/м ²	Q_i^{hor} , МДж/м ²	A_i^{cal} , %	R_i^{ver} , МДж/м ²	Q_i^{ver} , МДж/м ²							
		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ						С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Январь	53	0,02	0,02	0,52	1,70	2,50	1,80	0,62	0,02	1,1	1,1	27,6	90,1	132,5	95,4	32,9	1,1	74	37	127	27	17,15	55	55	82	144	187	150	87	55
Февраль	74	0,05	0,06	0,44	1,20	1,70	1,30	0,56	0,06	3,7	4,4	32,6	88,8	125,8	96,2	41,4	4,4	104	52	178	25	22,25	78	79	107	163	200	170	116	79
Март	166	0,08	0,12	0,42	0,85	1,03	0,90	0,52	0,13	13,3	19,9	69,7	141,1	171,0	149,4	86,3	21,6	176	88	342	20	34,20	135	142	192	263	293	272	209	144
Апрель	254	0,07	0,20	0,47	0,62	0,60	0,59	0,43	0,18	17,8	50,8	119,4	157,5	152,4	149,9	109,2	45,7	227	114	481	20	48,10	179	212	281	319	314	311	271	207
Май	332	0,02	0,23	0,42	0,45	0,33	0,45	0,38	0,22	6,6	76,4	139,4	149,4	109,6	149,4	126,2	73,0	269	135	601	20	60,10	201	271	334	344	304	344	321	268
Июнь	450	0,27	0,42	0,37	0,24	0,38	0,36	0,23	0,0	0,0	121,5	189,0	166,5	108,0	171,0	162,0	103,5	258	129	708	19	67,26	196	318	385	363	304	367	358	300
Июль	481	0,25	0,44	0,40	0,28	0,40	0,40	0,23	0,0	0,0	120,3	211,6	192,4	134,7	192,4	192,4	110,6	259	130	739	19	70,21	200	320	411	392	334	392	392	310
Август	426	0,21	0,43	0,52	0,47	0,52	0,42	0,21	0,0	0,0	89,5	183,2	221,5	200,2	221,5	178,9	89,5	225	113	651	19	61,85	174	264	358	396	375	396	353	264
Сентябрь	297	0,16	0,48	0,75	0,80	0,75	0,45	0,15	0,0	0,0	47,5	142,6	222,8	237,6	222,8	133,7	44,6	177	89	474	20	47,40	136	183	278	359	374	359	270	180
Октябрь	179	0,09	0,52	1,08	1,45	1,07	0,48	0,08	0,0	0,0	16,1	93,1	193,3	259,6	191,5	85,9	14,3	142	71	321	21	33,71	105	121	198	298	364	296	191	119
Ноябрь	77	0,04	0,54	1,55	2,20	1,60	0,54	0,04	0,0	0,0	3,1	41,6	119,4	169,4	123,2	41,6	3,1	88	44	164	21	17,22	61	64	103	181	231	184	103	64
Декабрь	45	0,01	0,50	1,90	2,80	1,90	0,54	0,01	0,0	0,0	0,5	22,5	85,5	126,0	85,5	24,3	0,5	63	32	107	22	11,77	43	44	66	129	169	129	68	44
Год	2834																						1565	2073	2794	3350	3449	3370	2737	2034

Выбрав значения, например, для юго-западного фасада (для Ялты 3370 МДж/м²), получим карту изолиний (рисунок 2.1):

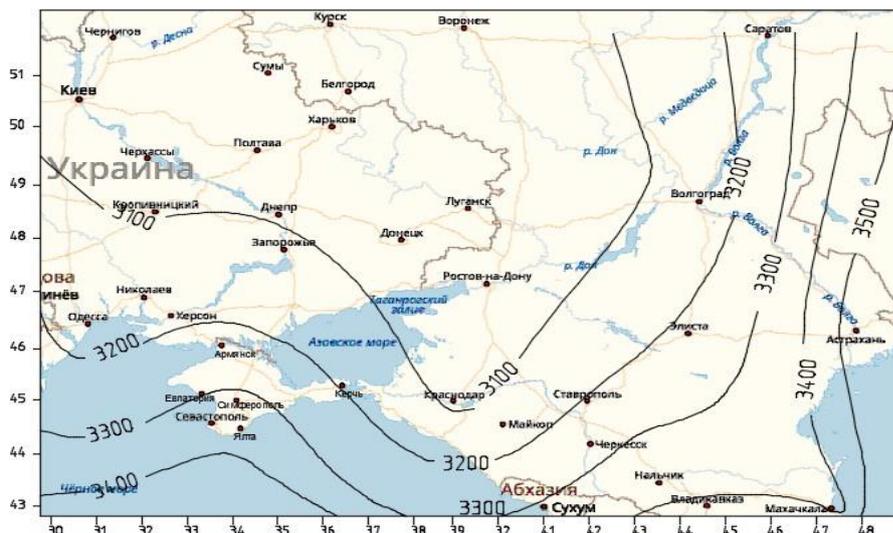


Рис. 2.1 Карта изолиний суммарной солнечной радиации, падающей на вертикальную поверхность юго-западной ориентации за год, МДж/м² [11]

Для удобства в проектировании зданий и сооружений и, в частности,

расчёта теплопоступлений за счет устройств пассивного солнечного нагрева были получены карты изолиний солнечной радиации за отопительный период. Были определены даты точных начала и окончания отопительного периода для рассматриваемых городов путем построения графиков годового хода температуры наружного воздуха.

Для расчета устройств пассивного солнечного нагрева солнечную радиацию удобно перевести в кВт/м². Получаем эти значения, разделив часовую сумму, выраженную в МДж/м², на 3,6. Для определения среднечасовой суммарной солнечной радиации за отопительный период суммарную радиацию за отопительный период делим на число дней отопительного периода и на 24ч и переводим в Вт/м². Получим следующие значения (табл. 2.2):

Таблица 2.2

Среднечасовая суммарная солнечная радиация за отопительный период (Вт/м²)

[11]

№	Город	Ю	ЮЗ	З	ЮВ	В	СВ	С	СЗ
1	Сочи	93	77	48	74	48	31	30	31
2	Ялта-Никитский сад	80	68	44	66	45	29	29	30
3	Махачкала	79	68	48	66	48	36	35	36
4	Краснодар	77	61	44	63	44	30	29	30
5	Астрахань	96	82	54	80	55	35	34	35
6	Одесса	69	59	41	58	41	28	27	28
7	Геническ-Аскания Нова	75	65	46	63	46	33	32	33
8	Херсон	73	63	45	62	45	32	31	32
9	Волгоград	79	70	51	68	51	37	36	37
10	Киев-Борисполь	72	63	44	61	44	32	31	32
11	Полтава	77	65	43	63	43	30	29	30
12	Пятигорск	93	80	55	78	56	40	39	40

Были построены карты изолиний среднечасовой суммарной солнечной радиации в отопительный период для южного, юго-западного, западного и восточного фасадов. Для примера на рисунке 2.2 показана карта изолиний для южного фасада.

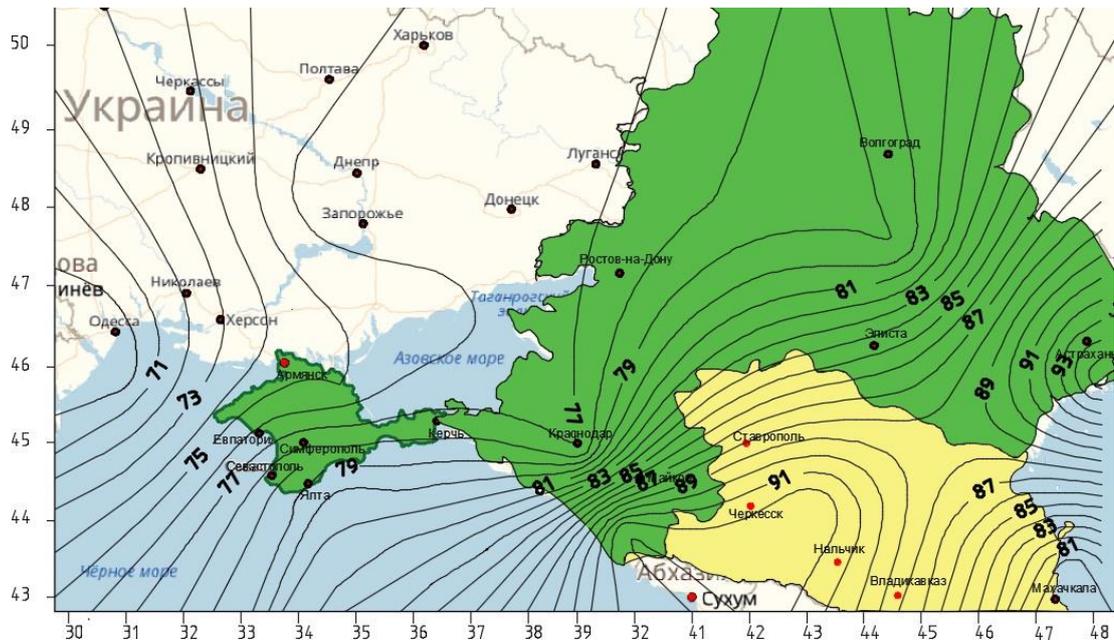


Рис. 2.2 Карта изолиний среднечасовой суммарной солнечной радиации для южного фасада в отопительный период, Вт/м² [11]

Теплопоступления при южной ориентации светопроёма превышают теплопоступления для других ориентаций, поэтому в расчете рассмотрена южная ориентация светопроёма.

Рассчитаны среднечасовые солнечные теплопоступления $Q_{\text{пост}}$ в отопительный период через окно (двойное остекление из обычного стекла в отдельных переплетах) площадью 6м² для города Ялта.

$$Q_{\text{пост}} = Q_{\text{юж}}^{\text{от.пер}} \cdot A_{\text{ок}} \cdot \tau_1 \cdot \tau_2,$$

где $Q_{\text{юж}}^{\text{от.пер}}$ – среднечасовая солнечная радиация (Вт/м²) на южный фасад в отопительный период, которая определяется по карте изолиний (рисунок 1.13),

$A_{\text{ок}}$ – площадь светопроема южного фасада;

τ_1 – коэффициент затенения непрозрачными элементами;

τ_2 – коэффициент относительного пропускания солнечной энергии, по в [30], приложение Л).

Суммарная радиация за весь отопительный период равна:

$$Q_{\text{пост}}^{\text{от.пер}} = Q_{\text{юж}}^{\text{от.пер}} \cdot A_{\text{ок}} \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot N \cdot 24,$$

где N – число дней отопительного периода.

Для Ялты:

$$Q_{\text{пост}}^{\text{от.пер}} = 80 \cdot 6 \cdot 0,65 \cdot 0,62 \cdot 119 \cdot 24 = 553,7 \text{ кВт/м}^2$$

Эти расчеты позволяют подобрать на этапе проектирования в любом городе Крыма и Юга России наиболее эффективный вид заполнения стеклопроема для обеспечения наилучшего энергосбережения. Карты изолиний позволяют выполнить расчет, из которого получить значение количества энергии за счет солнечных теплопоступлений [11].

2.2. Разработка вариантов замены светопрозрачных конструкций

2.2.1. Применение стеклопакетов с большим сопротивлением теплопередаче

В соответствии с [30] светопрозрачные конструкции (окна) должны быть запроектированы таким образом, чтобы их приведенное сопротивление теплопередаче превышало нормируемое (требуемое) значение. Требуемое значение сопротивления теплопередаче было определено в п.3.2 выпускной работы и составляет $R_{\text{ок}}^{\text{тр}} = 0,512 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}$. В проектной документации Физико-технического института КФУ им. В.И.Вернадского применены двухкамерные стеклопакеты в одинарном алюминиевом переплете из стекла обычного (с межстекольным расстоянием 12 мм) с приведенным сопротивлением теплопередаче равным $R_{\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,45 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}$ и $R_{\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,41 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}$ (для лестнично-лифтовых узлов).

$$R_{\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,41 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{С}}{\text{Вт}} < R_{\text{ок}}^{\text{тр}} = 0,512 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{С}}{\text{Вт}};$$

$$R_{\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,45 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{С}}{\text{Вт}} < R_{\text{ок}}^{\text{тр}} = 0,512 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}.$$

Из данных неравенств следует вывод о том, что используемые в проекте стеклопакеты не соответствуют требованиям строительных норм. Таким

образом, необходимо выполнить замену светопрозрачных конструкций на другие, для которых приведенное сопротивление теплопередаче будет выше требуемого.

Дальнейший расчет для корпуса Физико-технического института производится с учетом замены светопрозрачных конструкций на двухкамерные стеклопакеты в одинарном переплете из стекла обычного (с межстекольным расстоянием 12 мм) в ПВХ переплетах. Данные конструкции имеют следующие характеристики [30]:

- приведенное сопротивление теплопередаче $R_{ок}^{пр} = 0,54 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт}$;

$R_{ок}^{пр} = 0,54 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт} > R_{ок}^{тр} = 0,512 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт}$, следовательно, требования норм соблюдены.

- коэффициент затенения непрозрачными элементами $\tau_1=0,8$;

- коэффициент относительного пропускания солнечной радиации $\tau_2=0,74$.

Определение теплотерь и теплопоступлений через стеновые и светопрозрачные конструкции выполняется по следующим формулам:

- тепловые потери за отопительный период:

$$Q^{пот} = \frac{(t_B - t_H)}{R_{огр}} \times A_{огр} \times 24 \times z_{оп}/1000, \text{ кВт} \times \text{час.}$$

где t_B – расчетная температура внутреннего воздуха здания, $^\circ C$;

$t_B = +18^\circ C$ для аудиторий, учебных кабинетов, лабораторий без выделения вредных веществ, залов курсового и дипломного проектирования, читальных залов, конференц-залов, актовых залов, служебных помещений ([28], табл.7.2)

$t_H = 2,9^\circ C$ – средняя температура наружного воздуха, $^\circ C$ [29];

$R_{огр}$ – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $\frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт}$;

$A_{огр}$ – площадь ограждающей конструкции, $м^2$;

$z_{оп}$ – продолжительность отопительного периода, сут [29].

В соответствии с [6] оптимальная температура внутреннего воздуха в теплый период года где $t_B = +23^{\circ}\text{C}$. Так как средняя температура наружного воздуха в период перегрева с учетом амплитуды составляет

$t_H = +26,1^{\circ}\text{C}$ (из п.1.3.8), то тепловые потери отсутствуют.

- тепловые поступления за период перегрева:

$$Q^{\text{пот}} = \frac{(t_B - t_H)}{R_{\text{огр}}} \times A_{\text{огр}} \times 24 \times z_{\text{пп}}/1000, \text{ кВт}\times\text{час},$$

где $z_{\text{пп}} = 139$ сут (из п.1.3.8) – продолжительность периода перегрева, сут.

- тепловые поступления от окон за отопительный период:

$$Q_{\text{ок}}^{\text{пост}} = Q_{ji}^{\text{ver}} \times \tau_1 \times \tau_2 \times A_{\text{ок}},$$

где Q_{ji}^{ver} – суммарная солнечная радиация за отопительный периода, которая поступает на вертикальную поверхность j-ого фасада. Количество суммарной солнечной радиации для г. Симферополя представлено в табл. 1.8 – 1.9;

τ_1 – коэффициент затенения непрозрачными элементами;

τ_2 – коэффициент относительного светопропускания солнечной радиации;

$A_{\text{ок}}$ – площадь окна, м^2 .

Для расчета тепловых потерь и тепловых поступлений через окна и стены воспользуется данными табл. 2.3. Подробный расчет приведенного сопротивления теплопередаче для стеновых конструкций выполнен в п.3.2.

Таблица 2.3

Площади ограждающих конструкций исходного варианта здания с учетом ориентации по сторонам света

Ориентация фасада	Площадь окон ($R=0,45 \frac{\text{м}^2 \times ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$), м^2	Площадь окон ($R=0,41 \frac{\text{м}^2 \times ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$), м^2	Площадь стен (железобетон), м^2	Площадь стен (газобетон), м^2	Общая площадь фасада, м^2
Северный	382,397	30,24	227,71	328,43	968,777
Южный	410,512	26,236	256,31	323,53	1013,588
Западный	892,678	-	906,89	691,7	2491,268
Восточный	858,792	-	786,8	781,76	2427,352

В табл.2.4 отражены результаты расчета тепловых потерь и поступлений для исходного варианта здания (с $R=0,45 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$ и $R=0,41 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$ для окон).

Таблица 2.4

Результаты расчета тепловых потерь и поступлений для исходного варианта

Ориент. фасада	$Q^{\text{пот}}$, кВтч	$Q_{\text{уд}}^{\text{пот}}$, кВтч (на 1м ² фасада)	$Q^{\text{пост}}$, кВтч	$Q_{\text{уд}}^{\text{пост}}$, кВтч (на 1м ² фасада)	ΔQ , кВтч	$\Delta Q_{\text{уд}}$, кВтч (на 1м ² фасада)	$\Delta Q_{\text{уд}}$, кВтч (на 1м ² остекл)
Отопительный период							
С	-69241,3	-71,47	+30036,8	+31,0	-39204,5	-40,47	-63,71
Ю	-66446,0	-65,55	+82083,4	+80,98	+15637,4	+15,43	+64,00
З	-144756,3	-58,10	+98210,0	+39,42	-46546,3	-18,68	-13,20
В	-139511,7	-57,48	+94837,8	+39,07	-44673,9	-18,41	-12,78
Период перегрева							
С	-	-	+72878,1	+75,23	+72878,1	+75,23	+170,78
Ю	-	-	+132988,1	+131,21	+132988,1	+131,21	+299,24
З	-	-	+271731,2	+109,07	+271731,2	+109,07	+297,14
В	-	-	+269531,4	+111,04	+269531,4	+111,04	+313,85

ΔQ – избыток тепловой энергии, кВтч, определяемый по формуле:

$$\Delta Q = Q^{\text{пост}} - Q^{\text{пот}}$$

Полученные величины тепловых потерь и поступлений при большем сопротивлении теплопередаче для окон ($R=0,54 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$) представлены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Результаты расчета тепловых потерь и поступлений для варианта с увеличенным сопротивлением теплопередаче для окон

Ориент. фасада	$Q_{\text{пот}},$ кВтч	$Q_{\text{уд}},$ кВтч (на 1м ² фасада)	$Q_{\text{пост}},$ кВтч	$Q_{\text{уд}},$ кВтч (на 1м ² фасада)	$\Delta Q,$ кВтч	$\Delta Q_{\text{уд}},$ кВтч (на 1м ² фасада)	$\Delta Q_{\text{уд}},$ кВтч (на 1м ² остекл)
Отопительный период							
С	-59520,1	-61,44	+30036,8	+31,0	-29483,3	-30,43	-40,16
Ю	-57161,5	-56,4	+82083,4	+80,98	+24921,9	+24,58	+85,26
З	-126424,3	-50,75	+98210,0	-39,42	-28214,3	-11,33	+7,34
В	-121875,5	-50,21	+94837,8	+39,07	-27037,7	-11,14	+7,75
Период перегрева							
С	-	-	+71064,9	+73,36	+71064,9	+73,36	+166,38
Ю	-	-	+131256,5	+129,5	+131256,5	+129,5	+295,27
З	-	-	+268312,0	+107,7	+268312,0	+107,7	+293,31
В	-	-	+266242,0	+109,68	+266242,0	+109,68	+302,70

2.2.2. Применение солнцезащитных стеклопакетов Solar

Широкое распространение в последнее время нашли мультифункциональные стеклопакеты Clima Guard Solar. Их преимущество перед обычными стеклопакетами заключается в следующем:

- имеют достаточно высокое сопротивление теплопередаче, что позволяет уменьшить тепловые потери и, соответственно, затраты на отопление;

- обладают пониженным пропусканием солнечной энергии через стекло, следовательно, препятствуют нагреву помещения и уменьшают нагрузку на кондиционирующие устройства в летний период. Данный вид стеклопакетов не затрудняет рост растений и является для них безопасным, так как стекло

пропускает достаточно видимого света (примерно 67 %) для свободного протекания фотосинтеза [35].

Однако, следует оценить эффективность применения стеклопакетов Solar с учетом их низкого пропускания солнечных лучей. Так как это свойство уменьшает количество тепловых поступлений в помещение не только в летний период, но и в зимний, когда они особенно необходимы.

Солнцезащитный однокамерный стеклопакет 4ClimaGuard Solar-16-4 обладает следующими характеристиками [36]:

- приведенное сопротивление теплопередаче $R_{ок}^{пр} = 0,59 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт}$;
- коэффициент затенения непрозрачными элементами $\tau_1=0,63$;
- коэффициент относительного пропускания солнечной радиации $\tau_2=0,67$.

Таблица 2.6

Результаты расчета тепловых потерь и поступлений для варианта с применением стеклопакетов Solar

Ориент. фасада	$Q^{пот},$ кВтч	$Q_{уд}^{пот},$ кВтч (на 1м ² фасада)	$Q^{пост},$ кВтч	$Q_{уд}^{пост},$ кВтч (на 1м ² фасада)	$\Delta Q,$ кВтч	$\Delta Q_{уд},$ кВтч (на 1м ² фасада)	$\Delta Q_{уд},$ кВтч (на 1м ² остекл)
Отопительный период							
С	-55570,4	-57,36	+21416,5	+22,11	-34153,9	-35,26	-51,47
Ю	-53361,0	-52,64	+58526,0	+57,74	+5165,0	+5,10	+40,03
З	-118656,5	-47,63	+70024,4	+28,11	-48632,1	-19,52	-15,54
В	-114402,6	-47,13	+67620,0	+27,86	-46782,6	-19,27	-15,24
Период перегрева							
С	-	-	+53119,1	+54,83	+53119,1	+54,83	+122,89
Ю	-	-	+95937,7	+94,65	+95937,7	+94,65	+214,40
З	-	-	+196626,7	+78,93	+196626,7	+78,93	+213,00
В	-	-	+194962,3	+80,32	+194962,3	+80,32	+219,70

2.2.3. Уменьшение площади остекления с учетом соблюдения требований освещенности

Для снижения затрат на отопление, кондиционирование и освещение зданий необходимо рационально использовать светопрозрачные конструкции в составе фасадов. При выборе архитектурных решений необходимо определить площадь остекления и спроектировать его таким образом, чтобы соблюдались требования к естественному освещению и был обеспечен минимальный расход энергетических ресурсов на обогрев и охлаждение здания [23].

В проекте Физико-технического института доля остекления в общей площади фасадов здания довольно высока и составляет 37,7 % (для северного фасада – 42,6%; для южного фасада – 43%; для западного фасада – 35,8%; для восточного фасада – 35,4%). В ходе выпускной работы рассматривается вариант уменьшения площади остекления для фасадов северной, восточной и западной ориентации с обеспечением требований к естественному освещению. Для фасада южной ориентации площадь светопрозрачных конструкций остается неизменной, так как за счет тепловых поступлений от них компенсируется значительная часть тепловых потерь.

В соответствии с [34] для аудиторий, учебных кабинетов, лабораторий высших учебных заведений, кабинетов информатики и лаборантских при учебных кабинетах нормативный коэффициент естественной освещенности (при боковом освещении) равен $e_n=1,2$ %. Плоскость нормирования коэффициента естественной освещенности (КЕО) расположена на высоте 0,8 м над полом.

Исходя из минимально допустимой величины площади остекления определяется процент ее возможного уменьшения для конкретного помещения. Для предварительного расчета площади светопрозрачных конструкций при боковом освещении используется методика, приведенная в [31]. Расчет производится для менее удачных с точки зрения освещенности помещений (например, более глубоких, с небольшой шириной) и по его результатам принимается решение о доле уменьшения площади остекления.

Выполняем предварительный расчет для менее удачного в плане освещенности помещения с окнами западной ориентации:

$$\frac{d_{\text{п}}}{h_{01}} = \frac{8,25}{2,3} = 3,59; A_{\text{п}} = 58,37 \text{ м}^2; A_{\text{исх}} = 16,3 \text{ м}^2,$$

определяем $\frac{A_{\text{со}}}{A_{\text{п}}} = 20 \%$, откуда $A_{\text{со}} = 58,37 \times 20 / 100 = 11,67 \text{ м}^2$,

где $d_{\text{п}}$ – глубина помещения, м;

h_{01} – высота верха световых проемов над уровнем рабочей поверхности, м;

$A_{\text{п}}$ – площадь пола, м^2 ;

$A_{\text{исх}}$ – исходная площадь окна, м^2 ;

$A_{\text{со}}$ – относительная площадь световых проемов, м^2 .

Возможный процент уменьшения площади светопрозрачных конструкций составляет:

$$100 \% - \left(\frac{11,67}{16,3} \times 100 \% \right) = - 28,4 \%$$

Таким образом, площадь окон западной ориентации уменьшаем на 25 %.

Аналогичным образом проводим предварительный расчет для помещения с окнами восточной ориентации:

$$\frac{d_{\text{п}}}{h_{01}} = \frac{8,25}{2,3} = 3,59; A_{\text{п}} = 50,12 \text{ м}^2; A_{\text{исх}} = 13,97 \text{ м}^2,$$

определяем $\frac{A_{\text{со}}}{A_{\text{п}}} = 20 \%$, откуда $A_{\text{со}} = 50,12 \times 20 / 100 = 10,02 \text{ м}^2$

Возможный процент уменьшения площади светопрозрачных конструкций составляет:

$$100 \% - \left(\frac{10,02}{13,97} \times 100 \% \right) = - 28,3 \%$$

Таким образом, площадь окон восточной ориентации уменьшаем на 25 %.

Для светопрозрачных конструкций северной ориентации уменьшение площади выполняется только на первом этаже.

Предварительный расчет для помещения с окнами северной ориентации:

$$\frac{d_{\Pi}}{h_{01}} = \frac{8,0}{2,59} = 3,09; A_{\Pi} = 63,2 \text{ м}^2; A_{\text{исх}} = 20,21 \text{ м}^2,$$

определяем $\frac{A_{\text{со}}}{A_{\Pi}} = 17,5 \%$, откуда $A_{\text{со}} = 63,2 \times 17,5 / 100 = 11,06 \text{ м}^2$

Возможный процент уменьшения площади светопрозрачных конструкций составляет:

$$100 \% - \left(\frac{11,06}{20,21} \times 100 \% \right) = - 45,3 \%$$

Таким образом, площадь окон первого этажа северной ориентации уменьшаем на 45 %.

Процент уменьшения площади окон является приблизительным, конкретное значение определяется из условия заполнения проемов газобетонными блоками длиной 600 мм.

Таблица 2.7

Результаты расчета тепловых потерь и поступлений для варианта с увеличенным сопротивлением теплопередаче и уменьшенной площадью окон

Ориент. фасада	$Q^{\text{пот}}$, кВтч	$Q_{\text{уд}}^{\text{пот}}$, кВтч (на 1м ² фасада)	$Q^{\text{пост}}$, кВтч	$Q_{\text{уд}}^{\text{пост}}$, кВтч (на 1м ² фасада)	ΔQ , кВтч	$\Delta Q_{\text{уд}}$, кВтч (на 1м ² фасада)	$\Delta Q_{\text{уд}}$, кВтч (на 1м ² остекл)
Отопительный период							
С	-55516,6	-57,31	+26853,5	+27,72	-28663,1	-29,59	-40,16
Ю	-	-	-	-	-	-	+85,26
З	-110099,1	-44,19	+76629,2	+30,76	-33469,9	-13,43	+7,34
В	-105921,9	-43,64	+73668,8	+30,35	-32253,1	-13,29	+7,75
Период перегрева							
С	-	-	+63963,3	+66,02	+63963,3	+66,02	+166,38
Ю	-	-	-	-	-	-	+295,27
З	-	-	+211489,4	+84,89	+211489,4	+84,89	+293,31
В	-	-	+208911,6	+86,07	+208911,6	+86,07	+302,70

2.3. Разработка и обоснование выбора солнцезащитных устройств для здания в период перегрева

2.3.1. Анализ исходной солнцезащиты

В проекте корпуса Физико-технического института предусмотрены солнцезащитные устройства в виде профиля из алюминиевого сплава (труба прямоугольного сечения размерами 200 мм × 90 мм), белого цвета RAL 9010. Для западного и восточного фасадов выбраны горизонтальные солнцезащитные устройства, для северного и южного – вертикальные. Однако, описание и обоснование данного выбора отсутствуют и предложенные решения являются не верными. Для подтверждения неправильности примененных решений расчет представлен в наглядной форме с помощью теневых масок, отображенных на солнечной карте.

На рисунке 2.3 изображены разрез по окну восточной и западной ориентаций, а также угломер для горизонтальных солнцезащитных устройств, с помощью которого выполняется построение теневых масок. Теневые маски для западного и восточного фасадов представлены на рисунках 2.3 и 2.4. Данные солнцезащитные устройства размещены таким образом, что в помещение могут поступать только солнечные лучи с углом падения менее 45°.

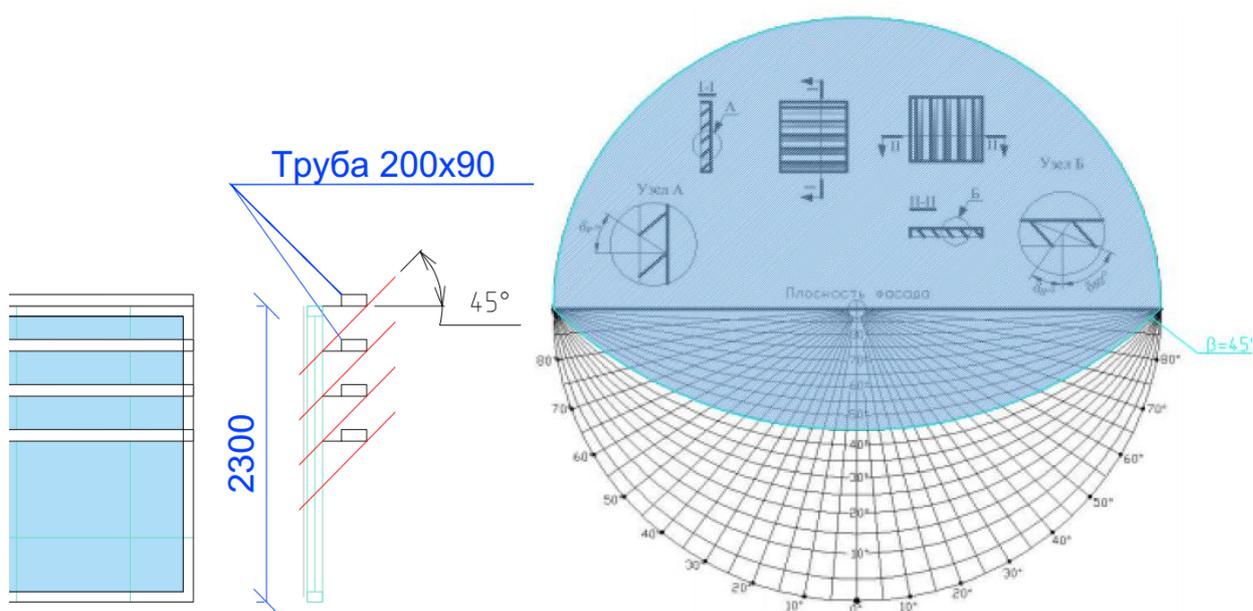


Рис. 2.3 Схема расположения горизонтальных СЗУ и теневой угломер

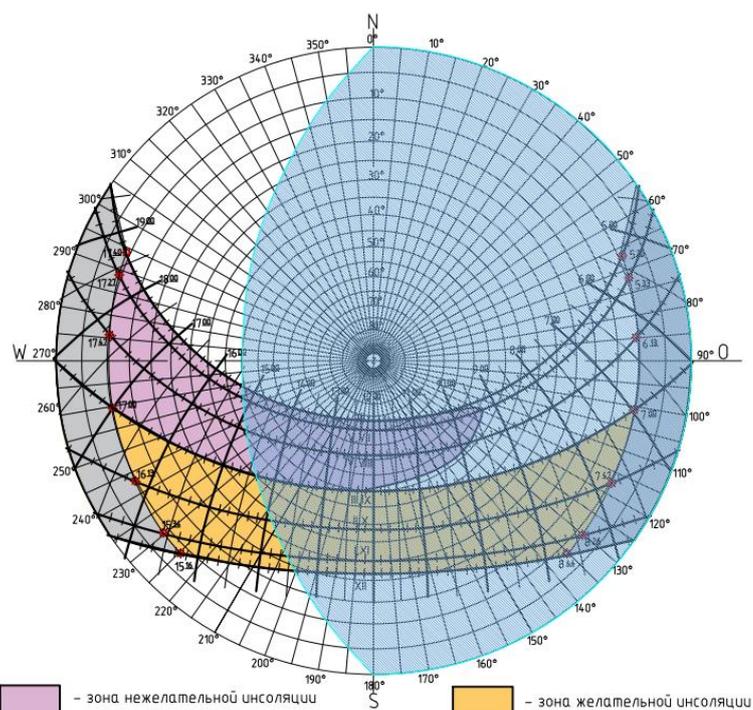


Рис. 2.4 Теневая маска для западного фасада

Полученная теневая маска (рисунок 2.4) дает наглядное представление о том, что выбранный тип солнцезащитных устройств не подходит для окон западной ориентации. Это обусловлено тем, что значительная часть зоны нежелательной инсоляции остается открытой, следовательно, будет происходить перегрев помещения в летнее время.

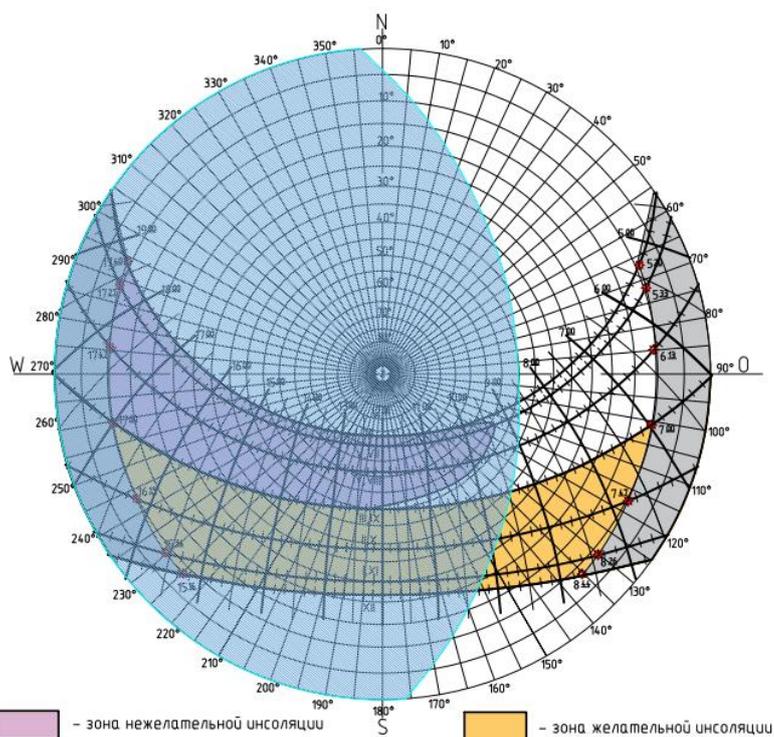


Рис. 2.5 Теневая маска для восточного фасада

Из полученной теневой маски можно сделать вывод о том, что во избежание перегрева для окон восточной ориентации возможна установка горизонтальных солнцезащитных устройств. Однако, наиболее рационально применять наклонные солнцезащитные устройства, так как они в меньшей мере препятствуют желательной инсоляции.

На рисунке 2.6 изображены разрез по окну южной и северной ориентаций, а также угломер для вертикальных солнцезащитных устройств. Теневые маски для южного и северного фасадов представлены на рисунке 2.7.

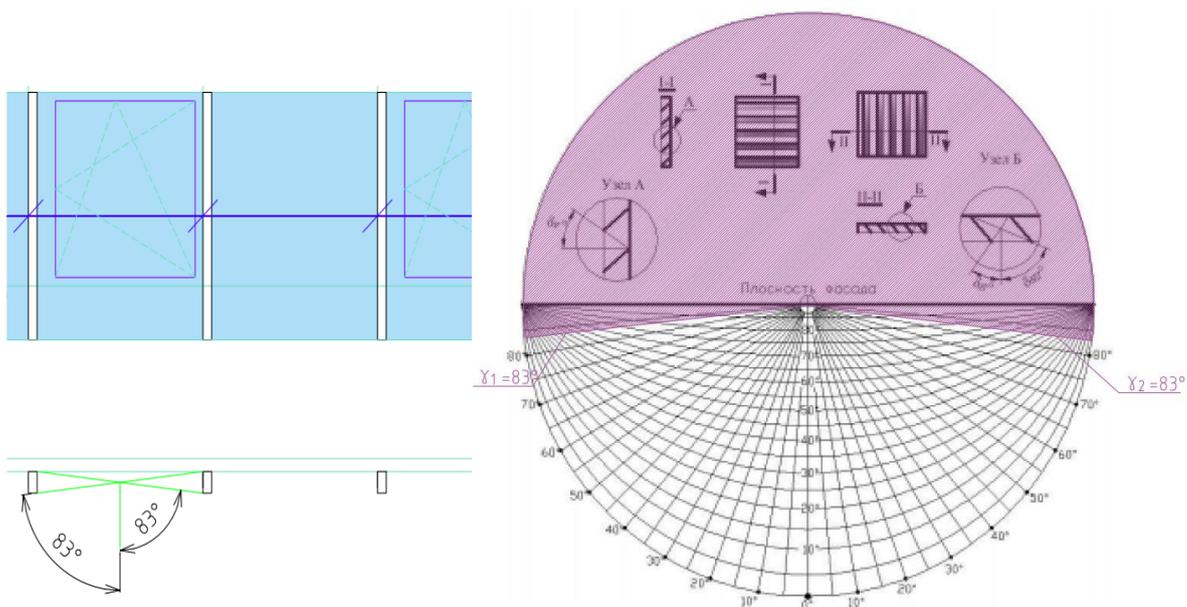


Рис. 2.6 Схема расположения вертикальных СЗУ и теневой угломер

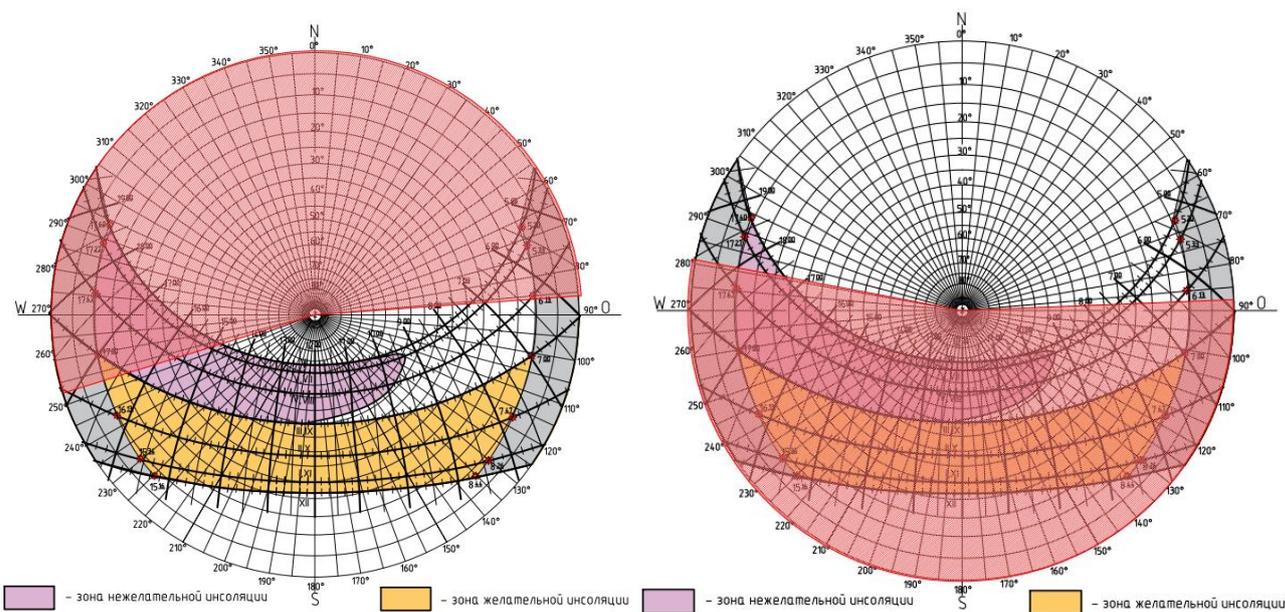


Рис. 2.7 Теневые маски для южного и северного фасадов

Из рисунка 2.7 следует вывод о том, что для окон южного фасада использование вертикальных СЗУ является нецелесообразным так как они даже частично не закрывают зону нежелательной инсоляции. Для окон северного фасада возможно применение вертикальных СЗУ только с меньшим углом инсоляции. Также следует учесть тот факт, что при ориентации окон на север устройство солнцезащиты не обязательно.

2.3.2. Обоснование выбора солнцезащитных устройств

Дальнейшие расчет и проектирование солнцезащитных устройств осуществляется в соответствии с рекомендациями [32]: для южных окон – горизонтальные СЗУ, для западных – СЗУ общего положения (наклонные); для восточных – общего положения (наклонные).

На комплексную солнечную карту (рисунок 1.19) накладываются теневые угломеры. Солнечная карта и теневой угломер должны быть выполнены в одном масштабе и плоскость фасада на них должна совпадать.

Для южного фасада выбраны горизонтальные СЗУ с углом инсоляции, равным 45° , так как теневая маска данного угла максимально эффективно закрывает зону нежелательной инсоляции и меньше всего закрывает зону желательной инсоляции. На южном фасаде применены горизонтальные ламели (угол наклона к плоскости фасада – 45°) шириной 145 мм с шагом установки 205 мм, просвет между ламелями – 103 мм. Теневой угломер для угла инсоляции в 45° и схема установки ламелей представлены на рисунке 2.8.

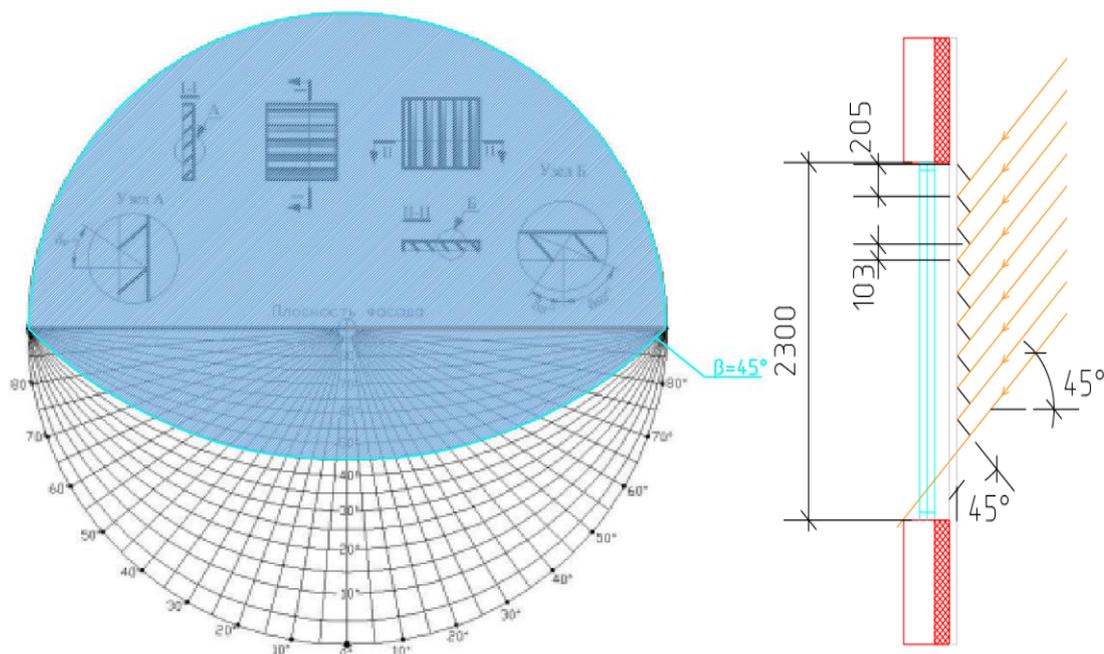


Рис. 2.8 Теневой угломер и схема расположения горизонтальных ламелей
Солнечная карта с нанесением теневой маски изображены на рисунке 2.9.

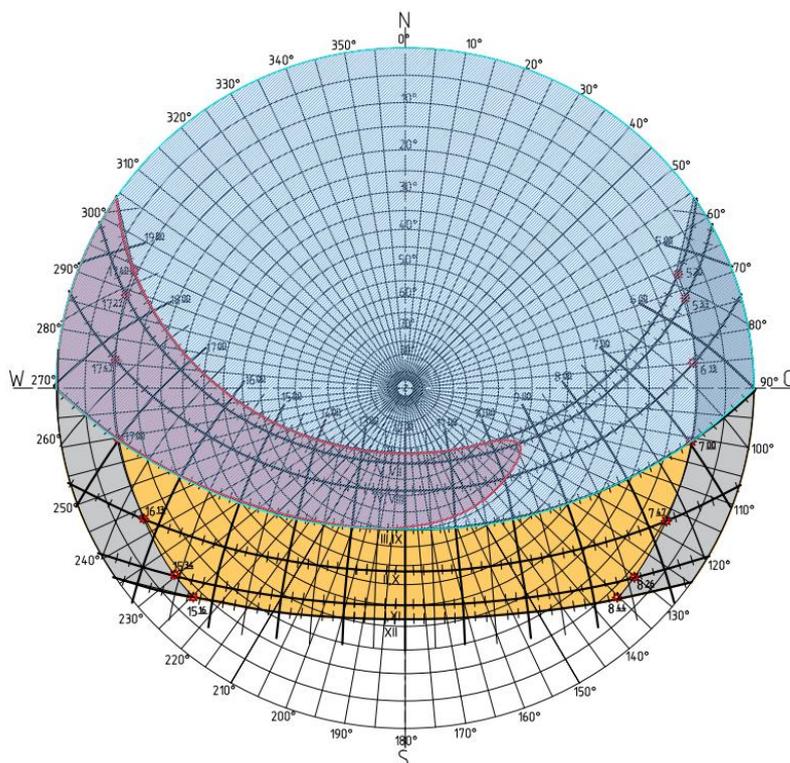


Рис. 2.9 Солнечная карта для южного фасада

Для западного фасада используются солнцезащитные устройства общего положения (наклонные) с углом наклона направляющей ламелей 15° . Ламели шириной 145 мм с шагом установки 139 мм.

Теневой угломер для фасада западной ориентации и схема установки ламелей показаны на рисунке 2.10.

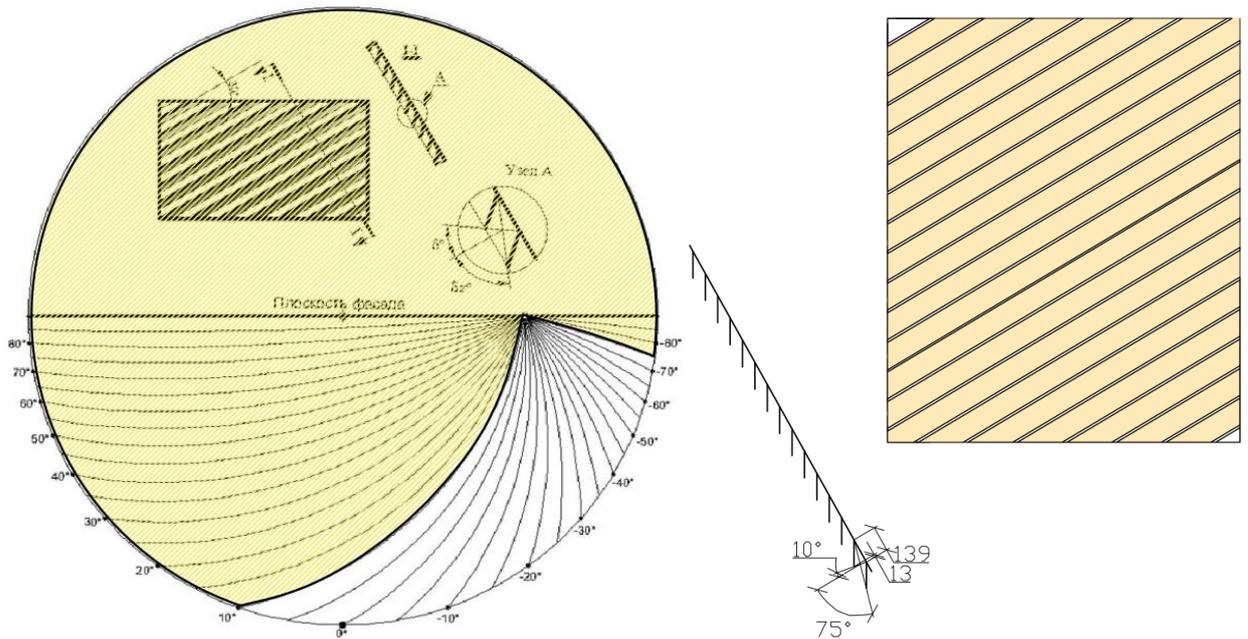


Рис.2.10 Теневой угломер и схема расположения наклонных ламелей

Солнечная карта с нанесением теневой маски изображена на рисунке 2.11.

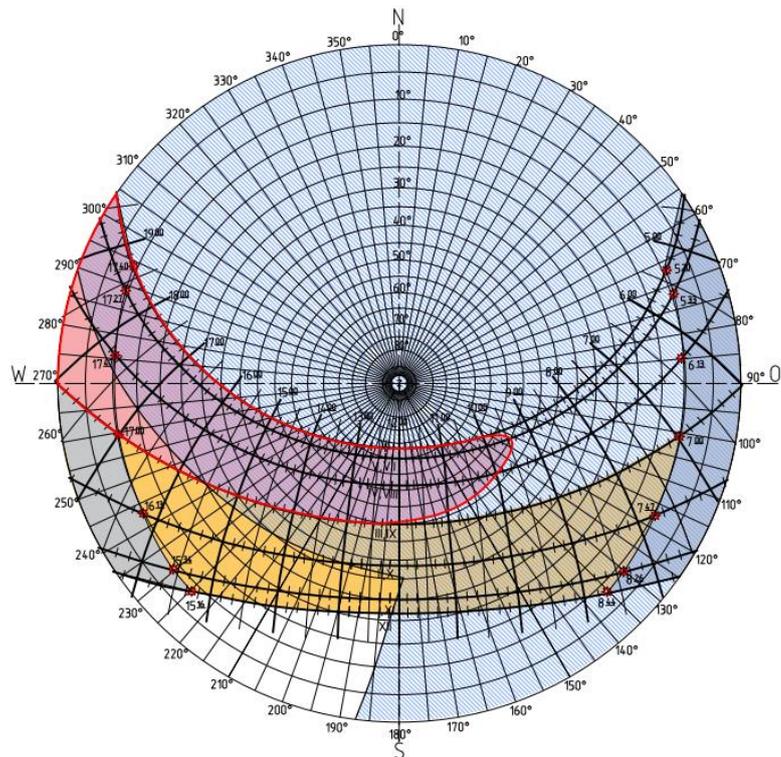


Рис. 2.11 Солнечная карта для западного фасада

Для восточного фасада выбраны солнцезащитные устройства общего положения (наклонные) с углом наклона направляющей ламелей 15° . Ламели

шириной 145 мм с шагом установки 188 мм, просвет между ламелями – 85 мм. Теневой угомер для фасада восточной ориентации и схема установки ламелей показаны на рисунке 2.12.

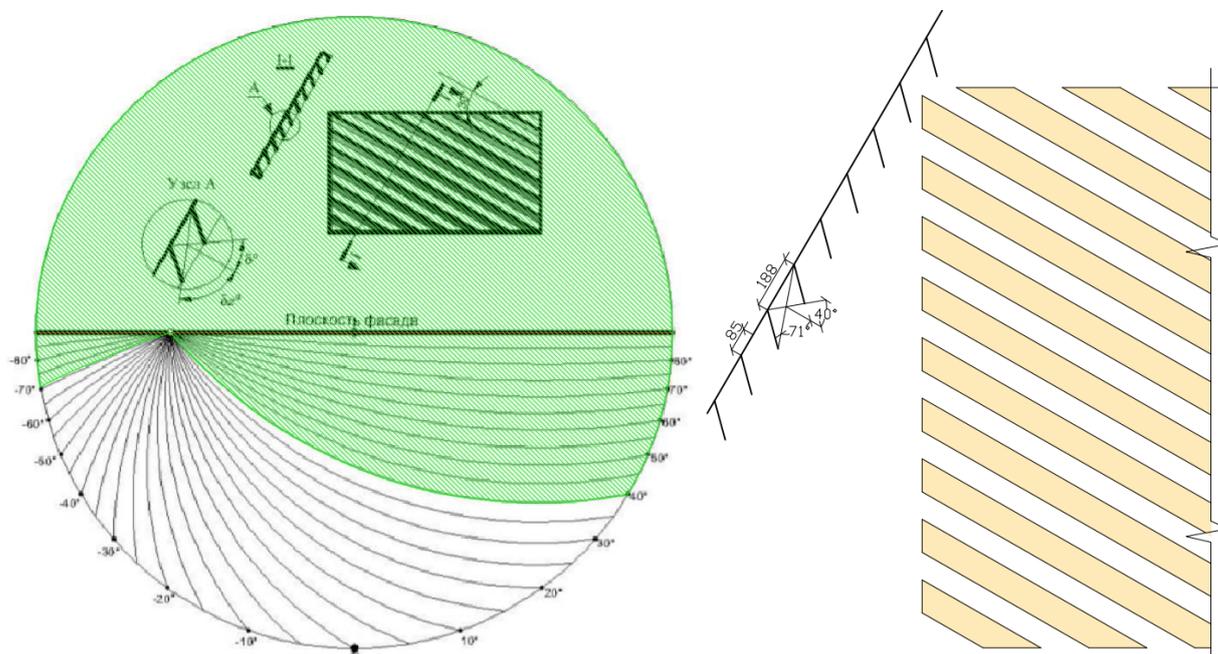


Рис.2.12 Теневой угомер и схема расположения наклонных ламелей

Солнечная карта с нанесением теневой маски изображена на рисунке 2.13.

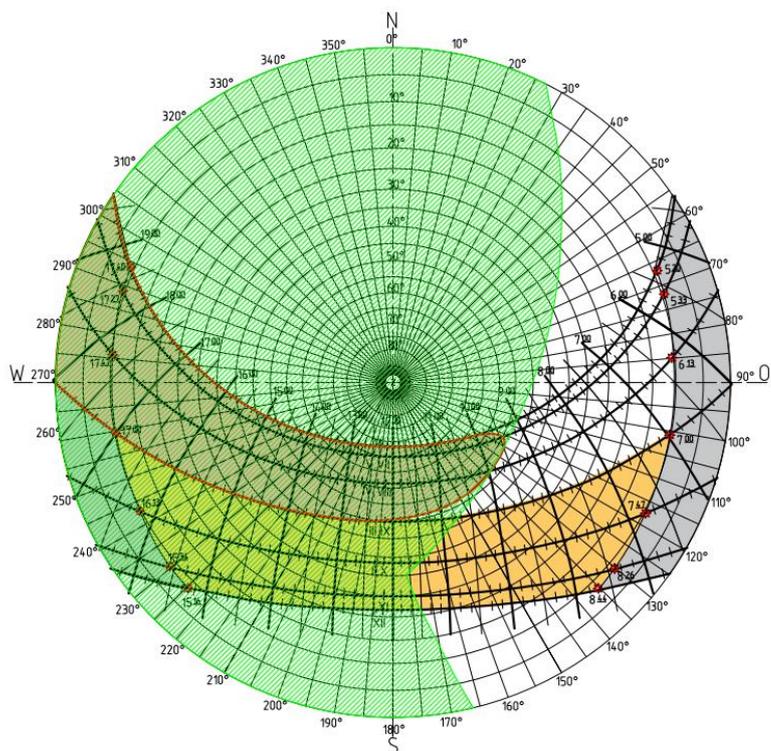


Рис. 2.13 Солнечная карта для западного фасада

Чертежи фасадов с солнцезащитными устройствами (южный фасад в осях А-Х; западный – в осях 1-29; восточный – в осях 29-1) представлены в Приложении А.

Выполним расчет тепловых потерь и поступлений для здания с солнцезащитными устройствами, не учитывая прямую солнечную радиацию там, где на солнечной карте изображена тень.

Таблица 2.8

Общее количество суммарной солнечной радиации на вертикальную поверхность с учетом солнцезащиты, кВтч/м²

Ориентация \ Период	Север	Восток	Юг	Запад
Отопительный период	122,96	172,82	317,47	157,63
Период перегрева	245,47	267,08	244,09	368,33

Для восточных и западных окон выполняется расчет при уменьшенной их площади с учетом солнцезащиты, для южных – при исходной площади, для северного фасада солнцезащита не устраивается. Результаты расчета приведены в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Результаты расчета тепловых потерь и поступлений для варианта с увеличенным сопротивлением теплопередаче для окон и солнцезащитой

Ориент. фасада	$Q^{пот}$, кВтч	$Q_{уд}^{пот}$, кВтч (на 1м ² фасада)	$Q^{пост}$, кВтч	$Q_{уд}^{пост}$, кВтч (на 1м ² фасада)	ΔQ , кВтч	$\Delta Q_{уд}$, кВтч (на 1м ² фасада)	$\Delta Q_{уд}$, кВтч (на 1м ² остекл)
1	2	3	4	5	6	7	8
Отопительный период							
С	-	-	-	-	-	-	-40,16
Ю	-57161,5	-56,4	+82083,4	+80,98	+24921,9	+24,58	+85,26

Продолжение таблицы 2.9

Ориент. фасада	$Q_{\text{пот}}$, кВтч	$Q_{\text{уд}}^{\text{пот}}$, кВтч (на 1м ² фасада)	$Q_{\text{пост}}$, кВтч	$Q_{\text{уд}}^{\text{пост}}$, кВтч (на 1м ² фасада)	ΔQ , кВтч	$\Delta Q_{\text{уд}}$, кВтч (на 1м ² фасада)	$\Delta Q_{\text{уд}}$, кВтч (на 1м ² остекл.)
1	2	3	4	5	6	7	8
З	-110099,1	-44,19	+64997,1	+26,09	-45102,0	-18,1	-9,36
В	-105921,9	-43,64	+68250,42	+28,12	-37671,4	-15,52	-0,37
Период перегрева							
С	-	-	-	-	-	-	+166,38
Ю	-	-	+73772,0	+72,78	+73772,0	+72,78	+163,65
З	-	-	+125232,1	+50,27	+125232,1	+50,27	+169,47
В	-	-	+172412,9	+71,03	+172412,9	+71,03	+247,99

Методика определения освещенности с учетом СЗУ еще не разработана, поэтому необходимо проведение эксперимента.

На рис. 2.14 – 2.15 представлены гистограммы величин удельного избытка (недостатка) тепловой энергии от светопрозрачных конструкций для каждого фасада в отопительный период и период перегрева.

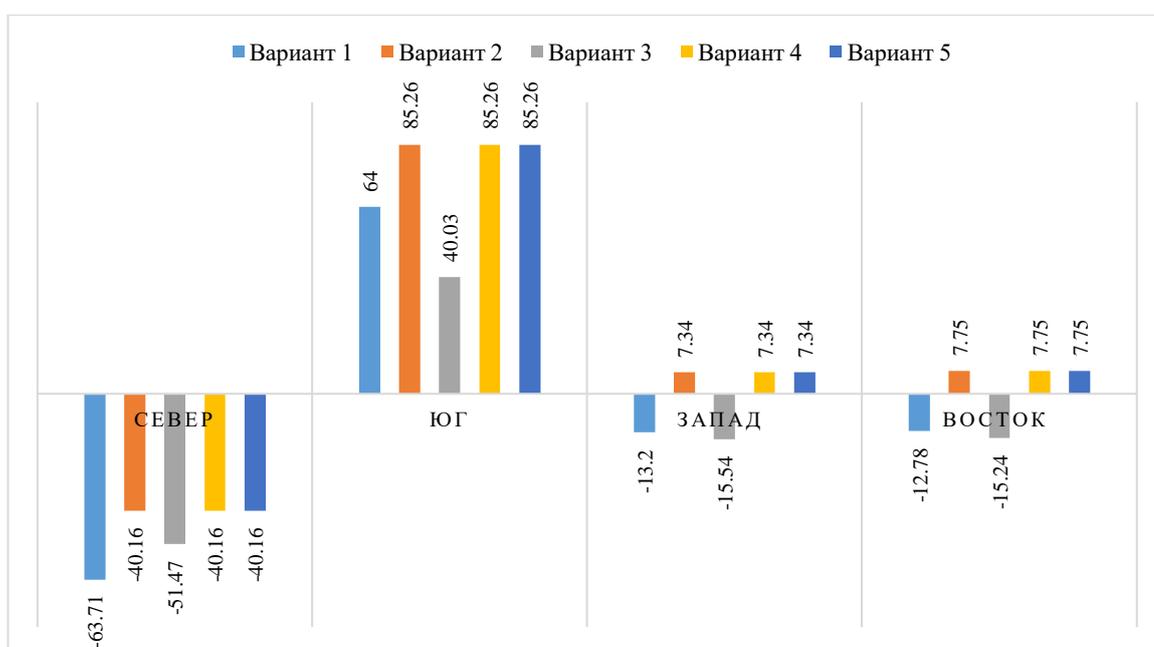


Рис. 2.14 Величины удельного избытка (недостатка) тепловой энергии, кВтч/м² остекления для отопительного периода

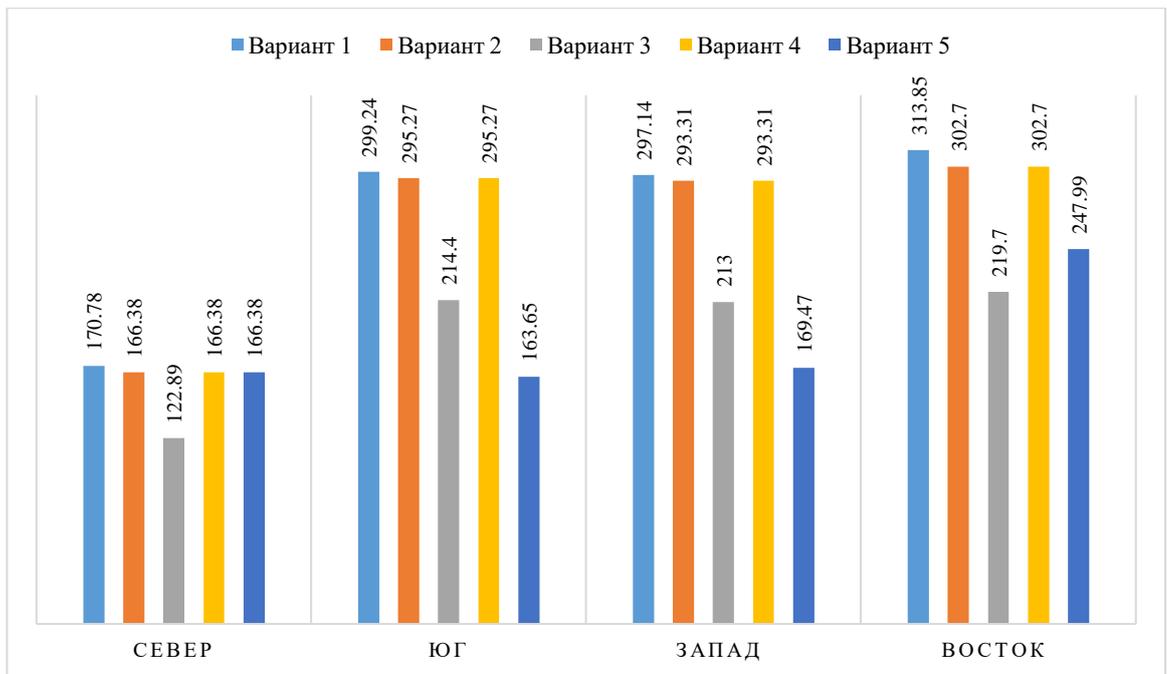


Рис. 2.15 Величины удельного избытка тепловой энергии, кВт/м² остекления для периода перегрева

2.4. Расчет эффективности применения солнечного воздушного коллектора

В проекте применяются готовые солнечные воздушные коллекторы от отечественного производителя – компании Solar-B Energy. Выбранный коллектор представлен на рисунке 2.16.

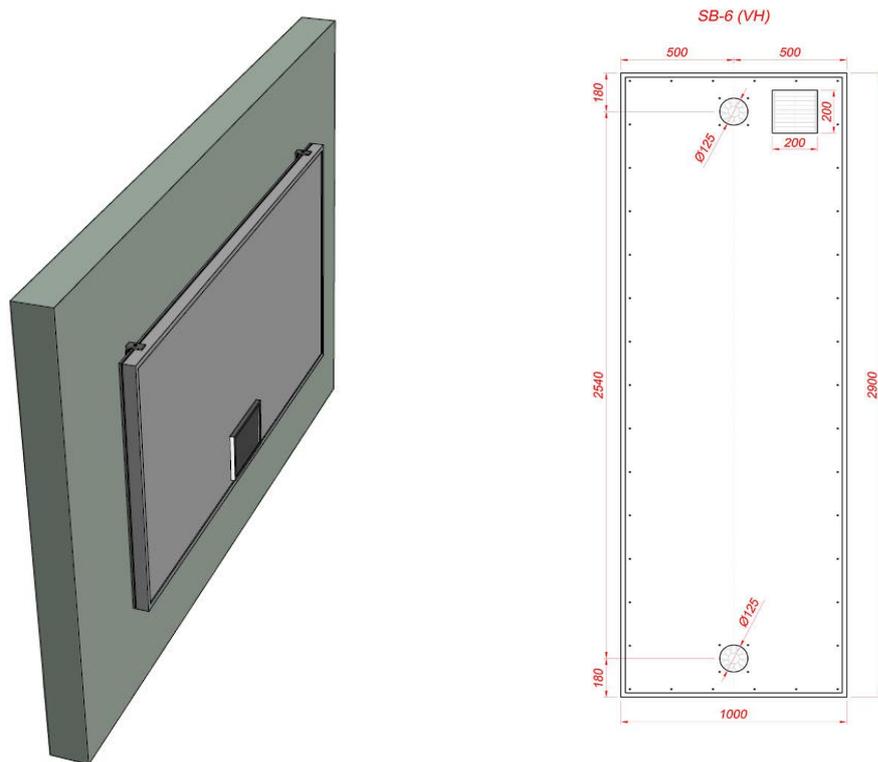


Рис. 2.16 Внешний вид и схема коллектора [5]

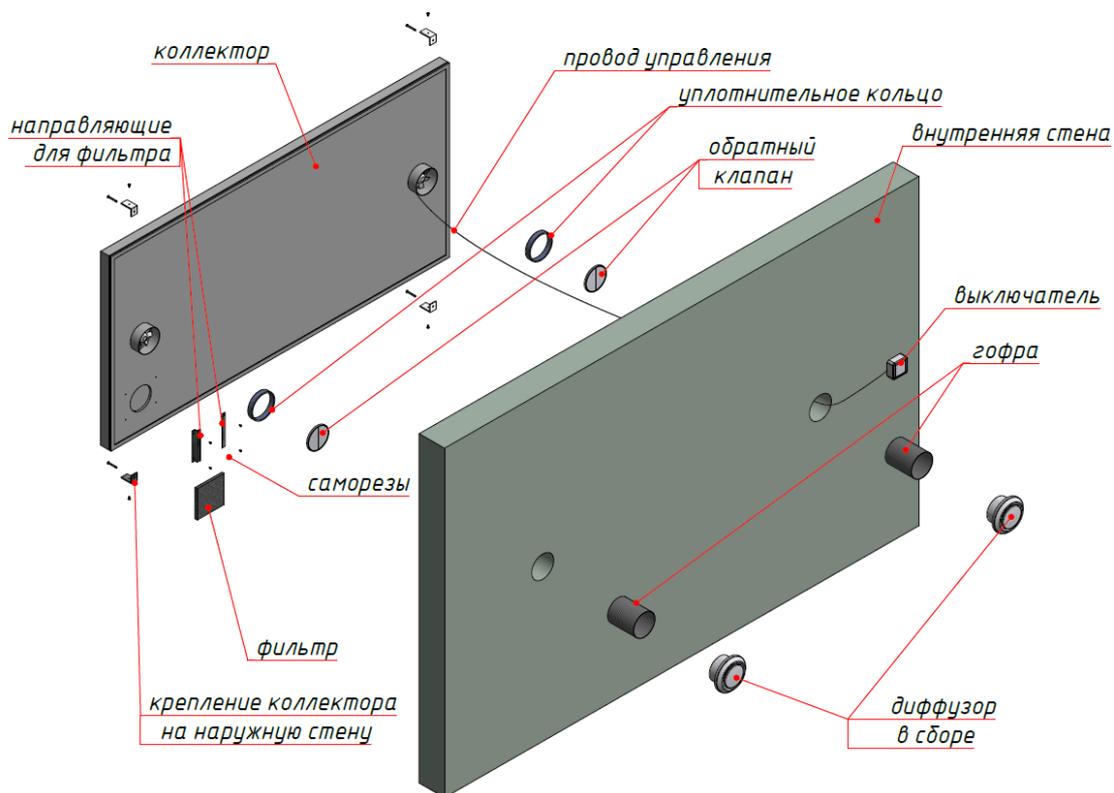


Рис. 2.17 Монтажная схема коллектора на стену [5].

Расчет эффективности применения солнечного воздушного коллектора (СВК) осуществляется по методике, приведенной в [15].

Тепловые поступления через СВК – $Q_{\text{СВК}i}^{\text{пост}}$, кВт·ч, рассчитываются по формуле:

$$Q_{\text{СВК}i}^{\text{пост}} = q \cdot (t_{\text{воз}i} - t_{\text{в}}) + \lambda_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{ст}i} - t_{\text{в}}) \cdot A,$$

где q – приведенное тепло, поглощаемое движущимся воздухом, за время его прохождения вдоль стены, Вт/°С, определяется по формуле:

$$q = a \cdot b \cdot v \cdot \gamma \cdot C,$$

где a – ширина солнечного воздушного коллектора, м;

b – толщина воздушной прослойки между массивной частью стены и СВК, м;

v – скорость движения воздуха в воздушной прослойке, м/с;

γ – плотность воздуха, кг/м³, принимается для воздуха с температурой +18°С, равная 1,213 кг/м³;

C – удельная теплоемкость воздуха, Дж/кг·°С, равная 1005 Дж/кг·°С.

$t_{\text{в}}$ – температура внутреннего воздуха в отапливаемом помещении, °С;

$\lambda_{\text{ст}}$ – теплопроводность массивной части стены, Вт/(м²·°С), которая определяется по формуле:

$$\lambda_{\text{ст}} = \frac{1}{R_{\text{ст}}},$$

где $R_{\text{ст}}$ – расчетное сопротивление теплопередаче массивной части стены, м²·°С/Вт,

A – площадь солнечного воздушного коллектора, м²;

$t_{\text{воз}i}$ – расчетная температура воздуха, поступающего в отапливаемое помещение из воздушной прослойки, в i -тый месяц отопительного периода, °С;

$t_{\text{ст}i}$ – расчетная температура поверхности стены, в i -тый месяц отопительного периода, °С;

Чтобы вычислить значения температур $t_{\text{воз}i}$ и $t_{\text{ст}i}$, необходимо решить систему двух линейных алгебраических уравнений с двумя неизвестными:

$$q \cdot (t_{\text{воз}i} - t_{\text{в}}) = \alpha(v) \cdot [t_{\text{ст}i} - 0,5 \cdot (t_{\text{воз}i} + t_{\text{в}})] \cdot A,$$

$$q \cdot (t_{\text{воз } i} - t_{\text{в}}) + \lambda_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{ст } i} - t_{\text{в}}) \cdot A = Q_i^{\text{пост}} - \lambda_{\text{ок}} \cdot [0,5 \cdot (t_{\text{воз } i} + t_{\text{в}}) - t_i^{\text{н}}] \cdot A,$$

где $\alpha(v)$ – коэффициент теплообмена между наружной поверхностью массивной части стены и движущимся воздухом, Вт/°С. При малой скорости зависимость коэффициента теплообмена от скорости воздуха можно описать выражением [3]:

$$\alpha(v) = 5,8 + 11,6\sqrt{v},$$

где v – скорость движения воздуха в воздушной прослойке, м/с.

$Q_i^{\text{пост}}$ – средние за i -тый месяц отопительного периода тепловые поступления от пассивного солнечного нагрева, кВт·ч;

$\lambda_{\text{ок}}$ – теплопроводность остекления солнечного воздушного коллектора, Вт/(м²·°С), которая определяется по формуле:

$$\lambda_{\text{ок}} = \frac{1}{R_{\text{ок}}},$$

где $R_{\text{ок}}$ – расчетное сопротивление теплопередаче остекления, м²·°С/Вт.

$t_i^{\text{н}}$ – температура наружного воздуха в i -тый месяц отопительного периода для ограждающей конструкции, °С.

Обе части первого уравнения системы описывают количество тепла, полученного воздухом, который движется в воздушной прослойке конструкции. Второе уравнение описывает баланс тепла в системе.

Тепловые потери через солнечный воздушный коллектор (СВК), $Q_{\text{СВК } i}^{\text{пот}}$, кВт·ч, рассчитываются по формуле:

$$Q_{\text{СВК } i}^{\text{пот}} = \lambda \cdot (t_{\text{в}} - t_i^{\text{н}}) \cdot A \cdot T_i^{\text{пот}} \cdot n_i \cdot 0,001,$$

где λ – теплопроводность стены с солнечным воздушным коллектором, Вт/(м²·°С), которая определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{ст}}} + \frac{1}{R_{\text{ок}}} + \frac{1}{R_{\text{воз}}}},$$

где $R_{\text{ст}}, R_{\text{ок}}, R_{\text{воз}}$ – сопротивление теплопередаче стены, остекления солнечного воздушного коллектора и воздушной прослойки между ними соответственно, м²·°С/Вт;

n_i – количество суток в i -том месяце, сут;

$T_i^{пот}$ – время, в течение которого происходят тепловые потери через солнечный воздушный коллектор в i -том месяце, ч. Принимаем, что начало тепловых потерь через солнечный воздушный коллектор произойдет через 1 час после захода Солнца. Следовательно, $T_i^{пот}$ рассчитывается по формуле:

$$T_i^{пот} = 24 - T_i^{CB} - 1,$$

T_i^{CB} – продолжительность светового дня в i -том месяце, ч.

Избыток тепловой энергии за i -тый месяц отопительного периода от стены с солнечным воздушным коллектором $\Delta Q_{СВК i}$, кВт·ч, рассчитывается по формуле:

$$\Delta Q_{СВК i} = Q_{СВК i}^{пост} - Q_{СВК i}^{пот}$$

В ходе работы выполнен расчет тепловых потерь и поступлений для солнечного воздушного коллектора размерами 1,0 м × 2,9 м, расположенного на южном фасаде, результаты которого представлены в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Расчет тепловых потерь и поступлений от СВК

Наименование	Букв.обозн.	Ед.измер.	Значение показателя					
			ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель
ширина стены СВК	a	м	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
толщина воздушной прослойки	b	м	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
скорость движения воздуха в воздушной прослойке СВК	v	м/с	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
плотность воздуха	γ	кг/м ³	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21
удельная теплоемкость воздуха	C	Дж/кг·°C	1005.00	1005.00	1005.00	1005.00	1005.00	1005.00
приведенное тепло, поглощаемое движущимся воздухом	q	Вт/°C	36.57	36.57	36.57	36.57	36.57	36.57
температура внутреннего воздуха в отапливаемом помещении	t _в	°C	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
теплопроводность массивной части СВК	λ _{ст}	Вт/м ² ·°C	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
сопротивление теплопередачи массивной части СВК	R _{ст}	м ² ·°C/Вт	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
площадь остекления	A	м ²	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90
расч. темп. воздуха, поступающего в отапл. помещение из воздушной прослойки СВК	t _{воз}	°C	28.60	23.81	27.00	25.63	28.08	28.44
расчетная температура поверхности стены	t _{ст}	°C	34.30	26.94	31.85	29.73	33.49	34.05
коэфф. теплообмена между наружн. поверхн. массивной части СВК и движущимся возд.	α(v)		12.15	12.15	12.15	12.15	12.15	12.15
расчетная температура наружного воздуха для ограждающей конструкции	t _н	°C	6.10	1.90	-0.30	0.30	3.70	9.90
теплопроводность окна	λ _{ок}	Вт/м ² ·°C	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
сопротивление теплопередачи окна	R _{ок}	м ² ·°C/Вт	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
тепловые поступления за световой час	Q _{пост} (св.ч)	Вт*час	496.55	323.80	465.86	406.53	488.09	469.67
средние за расчетный период тепловые поступления от пассивного солнечного нагрева	Q _{пост}	кВт*час	100.55	70.26	101.09	94.82	151.31	27.01
средняя суммарная солнечная радиация за расчетный период на вертикальную поверхность	Q _с ^{вер}	кВт*час/м ²	58.57	40.93	58.88	55.23	88.13	15.73
коэффициент затенения непрозрачными элементами	τ ₁		0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
коэффициент относительного пропускания солнечной энергии	τ ₂		0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
средние за расчетный период тепловые потери	Q _{пот}	кВт*час	1.86	2.98	3.39	2.72	2.15	0.17
теплопроводность СВК	λ	Вт/м ² ·°C	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
теплопроводность воздуха	λ _{воз}	Вт/м ² ·°C	5.56	5.56	5.56	5.56	5.56	5.56
время, в течении которого происходят тепловые потери через СВК в расчетный период	T _{пот}	час	15.50	16.00	16.00	14.67	13.00	11.50
продолжительность светового дня в расчетный период	T _{св}	час	7.50	7.00	7.00	8.33	10.00	11.50
количество суток в расчетном периоде	n	сут	27.00	31.00	31.00	28.00	31.00	5.00
	X1		387.58	212.63	329.31	279.01	368.47	381.80
	X2		387.58	212.63	329.31	279.01	368.47	381.80
	Y1		404.16	221.73	343.40	290.95	384.24	398.14
	Y2		404.19	221.73	343.40	290.99	384.24	398.14
минимизируемая функция			0.03	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
избыток тепловой энергии от стены с солнечным воздушным коллектором	ΔQ	кВт*час/м ²	98.69	67.28	97.70	92.10	149.15	26.83
							Всего за	
							отоп. период	
							531.76	

Считаем, что в летнее время тепловые поступления и потери от солнечного воздушного коллектора отсутствуют, так как на лето он отключается, а отверстия для прохода воздуха перекрываются.

В выпускной работе применены 4 солнечных воздушных коллектора, их расположение изображено на фасаде А-Х в Приложении А.

Таблица 2.11

Результаты расчета тепловых потерь и поступлений для варианта с увеличенным сопротивлением теплопередаче для окон, солнцезащитой и установкой СВК (для южного фасада)

Ориент. фасада	$Q^{\text{пот}}$, кВтч	$Q_{\text{уд}}^{\text{пот}}$, кВтч (на 1м ² фасада)	$Q^{\text{пост}}$, кВтч	$Q_{\text{уд}}^{\text{пост}}$, кВтч (на 1м ² фасада)	ΔQ , кВтч	$\Delta Q_{\text{уд}}$, кВтч (на 1м ² фасада)
Отопительный период						
Ю	-56935,8	-56,01	+84210,4	+82,84	+27274,6	+26,83
Период перегрева						
Ю	-	-	+73729,9	+72,53	+73729,9	+72,53

Выводы по Разделу 2.

В данном разделе выполнен расчет эффективности исходного варианта оболочки здания (Вариант 1), определены для него тепловые потери и поступления, установлено, что сопротивление теплопередаче применяемых светопрозрачных конструкций не соответствует требованиям строительных норм, предложенная солнцезащита является неэффективной.

Далее предложены варианты модернизации оболочки здания:

Вариант 1 – исходный вариант здания с сопротивлением теплопередаче для окон $R_{\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,45 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$ и $R_{\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,41 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$.

Вариант 2 – здание с заменой на окна с сопротивлением теплопередаче

$$R_{\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,54 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

Вариант 3 – здание с заменой на мультифункциональные окна Solar.

Вариант 4 – с заменой на окна с сопротивлением теплопередаче

$$R_{\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,54 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}} \text{ и уменьшенной площадью остекления.}$$

Вариант 5 – с заменой на окна с сопротивлением теплопередаче

$$R_{\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,54 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}, \text{ уменьшенной площадью остекления и применением СЗУ.}$$

Вариант 6 – с заменой на окна с сопротивлением теплопередаче $R_{\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,54 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$, уменьшенной площадью остекления, применением СЗУ и солнечных воздушных коллекторов на южном фасаде.

Для каждого из вариантов определены тепловые поступления и тепловые потери

В следующем разделе выполняется комплексная оценка с целью выбора лучшего варианта для каждого из фасадов в зависимости от эффективности применения в зимний период, летний период и в зависимости от стоимости материалов. Также выполняется построение теплового баланса для каждого из вариантов и определение в нем доли органического топлива.

Раздел 3

Результаты модернизации оболочки здания

3.1. Комплексная оценка вариантов повышения энергоэффективности объектов, позволяющая выбрать лучший из вариантов модернизации оболочки здания

Комплексная оценка проводится с целью выбора наилучшего результата из предложенных вариантов модернизации здания по заданным показателям.

Выполнить комплексную оценку вариантов повышения энергоэффективности объекта предлагается с помощью метода, разработанного в квалиметрии [1, 14].

Для выполнения комплексной оценки вариантов повышения энергоэффективности используем три показателя:

- 1) избыток (недостаток) тепловой энергии в отопительный период;
- 2) избыток тепловой энергии в период перегрева;
- 3) показатель стоимости материалов, конструкций;

Показатели, используемые для интегральной оценки объектов, относятся к трем типам: стимуляторы, дестимуляторы и показатели, имеющие номинальное значение. Стимуляторами называют показатели, которые должны иметь максимально возможные значения. Дестимуляторы – это показатели, которые, наоборот, должны иметь минимально возможные значения.

Используемые в работе показатели относятся к дестимуляторам, кроме показателя избытка тепловой энергии в отопительный период для южного фасада, который стремится к максимуму.

Приведение значений показателей к сопоставимому виду выполняют по формулам:

$$\text{для стимуляторов: } a_{ij} = \frac{A_{ij}-B_i}{E_i-B_i}$$

$$\text{для дестимуляторов: } a_{ij} = \frac{B_i-A_{ij}}{E_i-B_i}$$

где a_{ij} – значение i -того показателя j -того устройства пассивного солнечного нагрева, приведенного к сопоставимому виду, о.е.;

A_{ij} – значение i -того показателя j -того устройства пассивного солнечного нагрева до приведения его к сопоставимому виду;

E_i – эталонное значение i -того показателя;

B_i – бракованное значение i -того показателя.

Единицы измерения величин A_{ij} E_i B_i соответствуют их физическому смыслу. Весовые коэффициенты показателей выражают в баллах, после чего переводят в относительные единицы по формуле:

$$w_i = \frac{w_i}{\sum_{n=1}^{n=N} w_n}, i=1 \dots N,$$

N – количество показателей, описывающих объект.

Эталонное значение показателя принимаем равным лучшему наблюдаемому значению, увеличенному на небольшую величину, например, на 5% (для стимуляторов); в случае дестимуляторов лучшее значение уменьшается на 5%.

Бракованное значение задаем меньше худшего наблюдаемого значения для стимуляторов и лучше лучшего – для дестимуляторов.

Далее рассчитываем интегральный показатель с учетом показателей и их весовых коэффициентов:

$$\text{ИП}_i = \sum_{n=1}^{n=N} w_n \times q_n,$$

где w_n – нормированные весовые коэффициенты показателей;

q_n – значения показателей, приведенные к сопоставимому виду;

N – количество показателей, описывающих объект.

Для удобства анализа результаты расчета выражаем в относительных единицах путем деления на наибольший из полученных значений.

Характеристики применяемых показателей:

1) Недостаток тепловой энергии в отопительный период – величина, определяемая по формуле:

$$\Delta Q = Q^{\text{пот}} - Q^{\text{пост}}, \text{ кВтч/м}^2.$$

Применяется для комплексной оценки вариантов западного, восточного и северного фасадов, дестимулятор, весовой коэффициент показателя – 9.

- 2) Избыток тепловой энергии в отопительный период – величина, определяемая по формуле:

$$\Delta Q = Q^{\text{пост}} - Q^{\text{пот}}, \text{ кВтч/м}^2.$$

Применяется для комплексной оценки вариантов южного фасада, является стимулятором, весовой коэффициент показателя – 9.

- 3) Избыток тепловой энергии в период перегрева – величина, определяемая по формуле:

$$\Delta Q = Q^{\text{пост}} - Q^{\text{пос}}, \text{ кВтч/м}^2.$$

Применяется для комплексной оценки вариантов западного, восточного, южного и северного фасадов, является дестимулятором, весовой коэффициент показателя – 9.

- 4) Стоимость материалов, конструкций – величина, определяемая на основе текущих цен.

Применяется для комплексной оценки вариантов западного, восточного, южного и северного фасадов, является дестимулятором, весовой коэффициент показателя – 3.

Для определения показателя стоимости воспользуемся ценами на материалы и конструкции на 2020 г (без учета устройства и монтажа):

стоимость 1м³ бетона класса В25 – 4250 руб;

стоимость 1м³ газобетона – 4100 руб;

стоимость 1м² окон алюминиевых – 4500 руб;

стоимость 1м² окон ПВХ – 3500 руб;

стоимость 1м² окон Solar – 4200 руб;

стоимость 1м² солнцезащитных устройств – 3500 руб.

В табл. 2.9 – 2.12 введены следующие обозначения:

Вариант 1 – исходный вариант здания с сопротивлением теплопередаче для окон $R_{ок}^{пр} = 0,45 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт}$ и $R_{ок}^{пр} = 0,41 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт}$.

Вариант 2 – здание с заменой на окна с сопротивлением теплопередаче $R_{ок}^{пр} = 0,54 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт}$.

Вариант 3 – здание с заменой на multifunctional windows Solar.

Вариант 4 – с заменой на окна с сопротивлением теплопередаче $R_{ок}^{пр} = 0,54 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт}$ и уменьшенной площадью остекления.

Вариант 5 – с заменой на окна с сопротивлением теплопередаче $R_{ок}^{пр} = 0,54 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт}$, уменьшенной площадью остекления и применением СЗУ.

Вариант 6 – с заменой окон, уменьшенной площадью остекления, применением СЗУ и солнечных воздушных коллекторов на южном фасаде.

Таблица 3.1

Исходные данные для расчета интегральных показателей (северный фасад)

№ п/п	Исходные данные	Недостаток тепловой энергии (отоп.пер.), кВтч/м ²	Избыток тепл. энергии (пер.перегр), кВтч/м ²	Стоимость материалов, конструкций, тыс.руб	Взвешенная сумма значений показателей, о.е.
1	Вариант 1	40,47	75,23	2360,044	0,159
2	Вариант 2	30,43	73,36	2071,199	0,74
3	Вариант 3	35,26	54,83	2483,836	0,861
4	Вариант 4	29,59	66,02	1962,967	1
5	Вес показателя	9	9	3	-
6	Тип показателя	0	0	0	-
7	Эталон показателя	28	53	1900	-
8	Брак показателя	42	77	2500	-

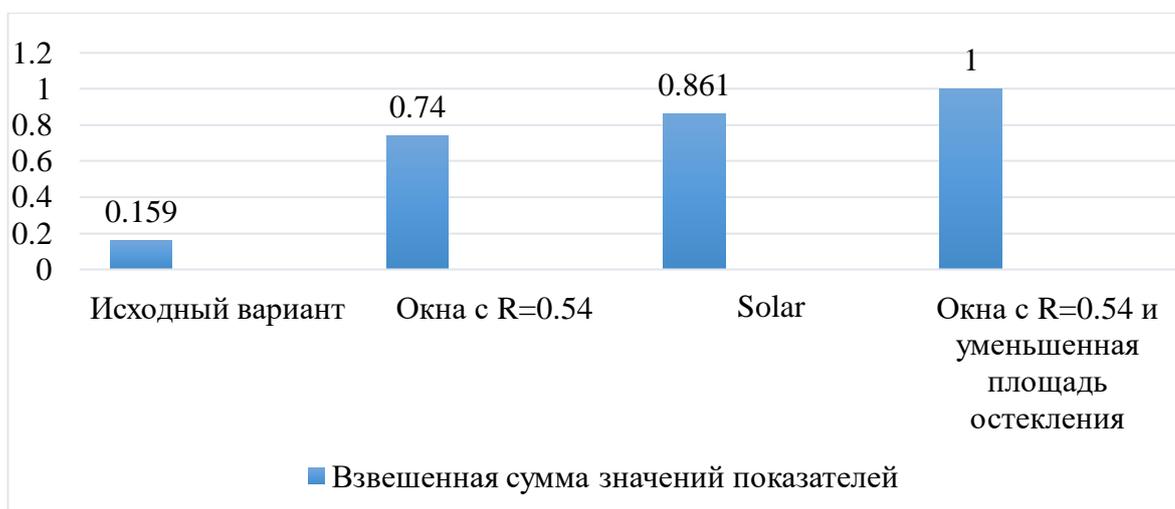


Рисунок 3.1 Интегральный показатель эффективности предложенных вариантов модернизации северного фасада

Из данного анализа следует, что для северного фасада наиболее эффективным является Вариант 4, который характеризуется заменой окон (сопротивление теплопередаче $R_{ок}^{пр} = 0,54 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт}$) и уменьшенной площадью остекления.

Таблица 3.2

Исходные данные для расчета интегральных показателей (восточный фасад)

№ п/п	Исходные данные	Недостаток тепловой энергии (отоп.пер.), кВтч/м ²	Избыток тепл. энергии (пер.перегр), кВтч/м ²	Стоимость материалов, конструкций, тыс.руб	Взвешенная сумма значений показателей, о.е.
1	Вариант 1	18,41	111,04	5411,402	0,172
2	Вариант 2	11,14	109,68	4810,246	0,75
3	Вариант 3	19,27	80,32	5669,038	0,5
4	Вариант 4	13,29	86,07	4335,789	1
5	Вариант 5	15,52	71,03	5433,179	0,91
6	Вес показателя	9	9	3	-
7	Тип показателя	0	0	0	-
8	Эталон показателя	11	70	4300	-
9	Брак показателя	20	113	5700	-

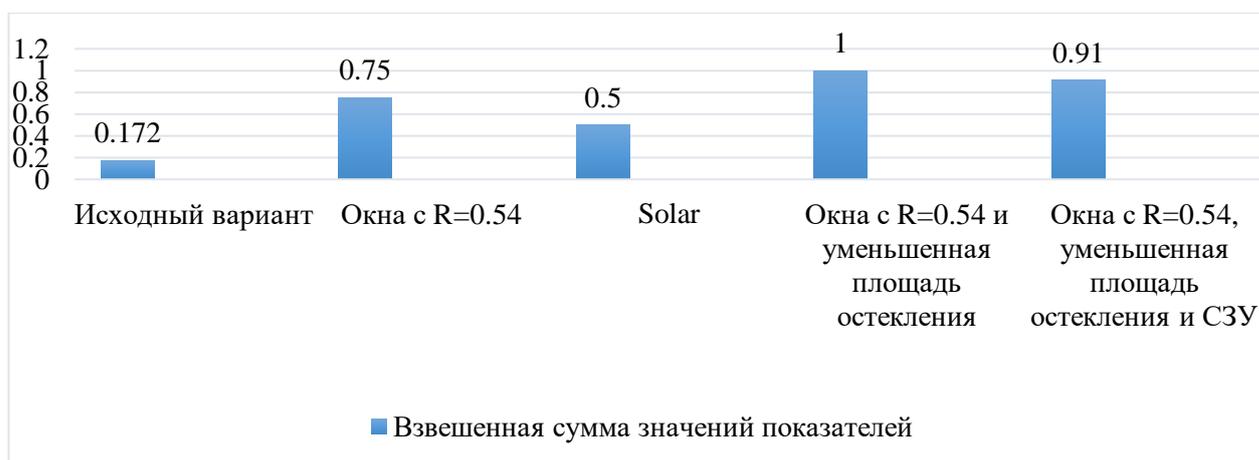


Рисунок 3.2 Интегральный показатель эффективности предложенных вариантов модернизации восточного фасада

Из данного анализа следует, что для восточного фасада наиболее эффективным является Вариант 4. Однако, целесообразнее применять Вариант 5, который предполагает устройство солнцезащиты, что обеспечивает комфорт в помещении в жаркое время года, так как в учебных аудиториях не предусматривается установка систем кондиционирования воздуха.

Таблица 3.3

Исходные данные для расчета интегральных показателей (западный фасад)

№ п/п	Исходные данные	Недостаток тепловой энергии (отоп.пер.), кВтч/м ²	Избыток тепл. энергии (пер.перегр), кВтч/м ²	Стоимость материалов, конструкций, тыс.руб	Взвешенная сумма значений показателей, о.е.
1	Вариант 1	18,68	109,07	5614,559	0,113
2	Вариант 2	11,33	107,7	4989,684	0,608
3	Вариант 3	19,52	78,93	5882,362	0,397
4	Вариант 4	13,43	84,89	4504,154	1
5	Вариант 5	18,1	50,27	6039,954	0,77
6	Вес показателя	9	9	3	-
7	Тип показателя	0	0	0	-
8	Эталон показателя	11	50	4500	-
9	Брак показателя	20	110	6100	-

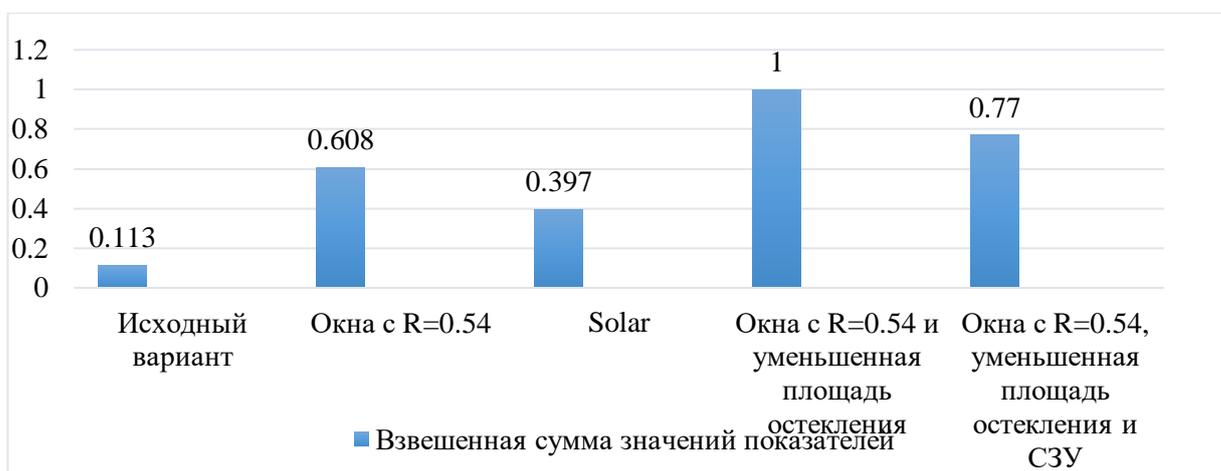


Рисунок 3.3 Интегральный показатель эффективности предложенных вариантов модернизации западного фасада

Из данного анализа следует, что для западного фасада наиболее эффективным является Вариант 4. Однако, целесообразнее применять Вариант 5, который предполагает устройство солнцезащиты и в учебных аудиториях, где не предусмотрена установка кондиционеров, а устройство солнцезащиты обеспечивает комфорт в помещении в жаркое время года.

Таблица 3.4

Исходные данные для расчета интегральных показателей (южный фасад)

№ п/п	Исходные данные	Избыток тепловой энергии (отоп.пер.), кВтч/м ²	Избыток тепл. энергии (пер.перегр), кВтч/м ²	Стоимость материалов, конструкций, тыс.руб	Взвешенная сумма значений показателей, о.е.
1	Вариант 1	15,43	131,21	2492,733	0,354
2	Вариант 2	24,58	129,5	2187,009	0,658
3	Вариант 3	5,1	94,65	2623,757	0,387
4	Вариант 5	22,57	72,78	2569,164	0,977
5	Вариант 6	26,83	72,53	2841,164	1
6	Вес показателя	9	9	3	-
7	Тип показателя	1	0	0	-
8	Эталон показателя	27	72	2100	-
9	Брак показателя	5	132	2900	-

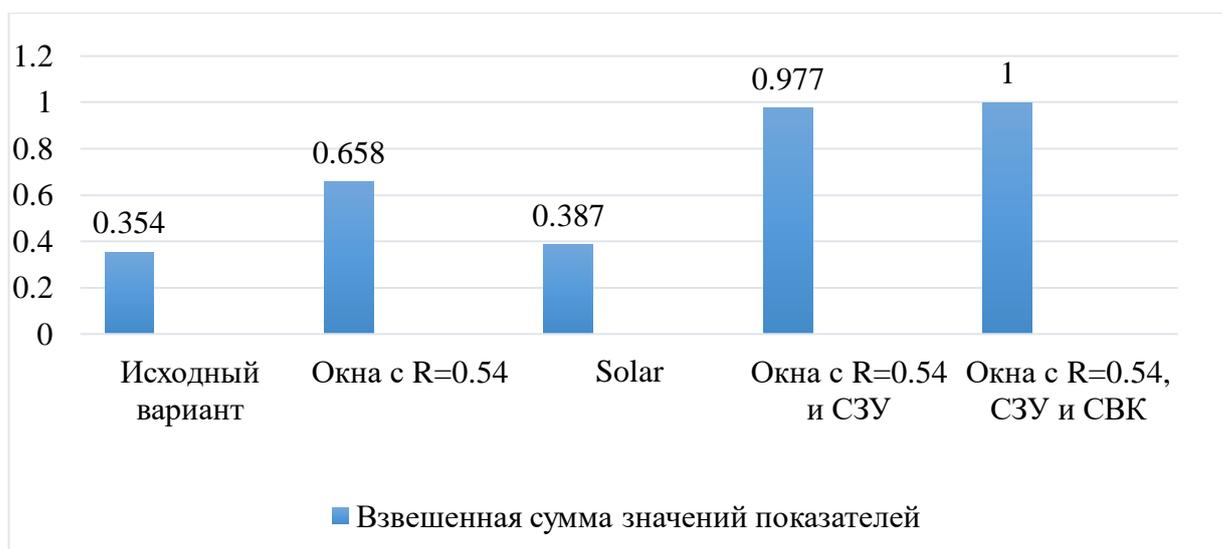


Рисунок 3.4 Интегральный показатель эффективности предложенных вариантов модернизации южного фасада

Из данного анализа следует, что для южного фасада наиболее эффективным является Вариант б, который характеризуется заменой окон (сопротивление теплопередаче $R_{ок}^{пр} = 0,54 \frac{м^2 \times ^\circ C}{Вт}$), устройством солнцезащиты и солнечного воздушного коллектора.

3.2. Расчет сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания

Для определения тепловых потерь для здания в комплексе и построения теплового баланса необходимо определить сопротивление теплопередаче для каждой из конструкций здания. В табл. 3.5 представлены характеристики каждого слоя наружной стены из железобетона.

Таблица 3.5

Характеристики наружной стены здания из монолитного железобетона

№ п/п	Материал	Толщина (δ), м	Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/(м ^{°С})
1	Окраска вододисперсионной краской с пропиточной грунтовкой	0,002	-
2	Финишная шпаклевка (раствор известково-песчаный), плотностью 1600 кг/м ³	0,02	0,7
3	Железобетонная стена, плотностью 2500 кг/м ³	0,2	1,92
4	Плиты минераловатные, плотностью 80 кг/м ³	0,12	0,042

Условное сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции $R_0 \frac{\text{м}^2 \times \text{°С}}{\text{Вт}}$, определяется по формуле [30]:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_i + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}$$

где $\alpha_{\text{в}} = 8,7$; $\alpha_{\text{н}} = 23$ - коэффициент теплопередачи внутренней и наружной поверхности ограждающей конструкции, который принимают по [33];

R_i - сопротивление ограждающей конструкции с последовательно расположенными слоями, $\frac{\text{м}^2 \times \text{°С}}{\text{Вт}}$;

$$R_i = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

где $R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$ - сопротивление теплопередачи каждого отдельного слоя, $\frac{\text{м}^2 \times \text{°С}}{\text{Вт}}$;

$$R_n = \frac{\delta_i}{\lambda_i}$$

где δ_i -толщина слоя, м;

λ_i - расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, принимаемый по [30], $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\times\text{°C}}$.

Расчетное сопротивление теплопередачи стены:

$$R_{\text{ст}} = R_0 \times r ,$$

где r – коэффициент теплотехнической однородности, принимается ввиду отсутствия данных по узлам по [7].

Для наружной стены из монолитного железобетона:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,12}{0,042} + \frac{1}{23} = 3,148 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$$

$$R_{\text{ст}} = 3,148 \times 0,75 = 2,36 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$$

$$R_{\text{ст}} = 2,36 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}} > R_{\text{ст}}^{\text{тр}} = 1,893 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}},$$

следовательно, конструкция стены удовлетворяет требованиям [33].

В табл. 3.6 отображены характеристики каждого слоя наружной стены из газобетона на цементном вяжущем.

Таблица 3.6

Характеристики наружной стены здания из газобетона

№ п/п	Материал	Толщина (δ), м	Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/(м°С)
1	Окраска вододисперсионной краской с пропиточной грунтовкой	0,002	-
2	Финишная шпаклевка (раствор известково-песчаный), плотностью 1600 кг/м ³	0,02	0,7
3	Газобетон на цементном вяжущем, плотностью 800 кг/м ³	0,25	0,33
4	Плиты минераловатные, плотностью 80 кг/м ³	0,12	0,042

Условное сопротивление теплопередачи наружной стены из газобетона:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,25}{0,33} + \frac{0,12}{0,042} + \frac{1}{23} = 3,802 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$$

$$R_{\text{ст}} = 3,802 \times 0,75 = 2,85 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$$

$$R_{\text{ст}} = 2,85 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}} > R_{\text{ст}}^{\text{тр}} = 1,893 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}},$$

следовательно, конструкция стены удовлетворяет требованиям [33].

В табл. 3.7 представлены характеристики покрытия здания.

Таблица 3.7

Характеристики конструкции покрытия

№ п/п	Материал	Толщина (δ), м	Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/($\text{м}^{\circ}\text{C}$)
1	Плита перекрытия, плотность 2500кг/м ³	0,2	1,92
2	Цементно-песчаная затирка, плотность 1800кг/м ³	0,05	0,76
3	Пленка ПВХ	0,002	-
4	ТЕХНОРУФ Н 30	0,1	0,032
5	ТЕХНОРУФ Н 30 КЛИН	0,03	0,032
6	ТЕХНОРУФ В 60	0,05	0,032
7	1 слой ТЕХНОЭЛАСТ ФИКС	0,01	-
8	1 слой ТЕХНОЭЛАСТ ЭКП	0,01	-
9	Мембрана Тefonд "Drain Plus"	0,01	-
10	Галька фр.40-70мм	0,1	1,92

Условное сопротивление теплопередачи конструкции покрытия:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,1}{0,032} + \frac{0,03}{0,032} + \frac{0,05}{0,032} + \frac{0,1}{1,92} + \frac{1}{23} = 6,01 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$$

$$R_{\text{покр}} = 6,01 \times 0,8 = 4,81 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$$

$$R_{\text{покр}} = 4,81 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}} > R_{\text{покр}}^{\text{тр}} = 2,109 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}},$$

следовательно, конструкция покрытия удовлетворяет требованиям [33].

В табл. 3.8 представлены характеристики перекрытия над техническим подпольем здания (расчетная температура в техническом подполе 5°C).

Таблица 3.8

Характеристики конструкции перекрытия над техническим подпольем

№ п/п	Материал	Толщина (δ), м	Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/(м°C)
1	Линолеум на теплоизолирующей подоснове	0,01	0,33
2	Стяжка из цементно-песчаного раствора	0,03	0,76
3	Керамзитобетон, плотность 600кг/м ³	0,06	0,2
4	Железобетонная плита, плотность 2500кг/м ³	0,2	1,92

Условное сопротивление теплопередачи для перекрытия над техническим подпольем:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,33} + \frac{0,03}{0,76} + \frac{0,06}{0,2} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{1}{23} = 0,63 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$$

$$R_{\text{перекр}} = 0,63 \times 0,9 = 0,57 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$$

$$R_{\text{перекр}} = 0,57 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}} < R_{\text{перекр}}^{\text{тр}} = 2,109 \frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}, \text{ что ниже нормативного.}$$

3.3. Сравнение результатов в отопительный период для здания в комплексе с построением теплового баланса

Для сравнения эффективности исходного и предложенных вариантов с построением теплового баланса рассчитываем величину тепловых потерь от каждой из конструкций за отопительный период.

Вариант 1 – исходный вариант здания.

Вариант 2 – здание с заменой на окна с сопротивлением теплопередаче

$$R_{\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,54 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Вариант 3 – здание с заменой на multifunctional окна Solar.

Вариант 4 – с заменой на окна с сопротивлением теплопередаче

$$R_{\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,54 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \text{ и уменьшенной площадью остекления.}$$

Вариант 5 – с заменой на окна с сопротивлением теплопередаче

$R_{\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,54 \frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$, уменьшенной площадью остекления, применением СЗУ и солнечных воздушных коллекторов на южном фасаде.

Результаты расчета для Варианта 1 приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

Расчетные сопротивления конструкций и величины тепловых потерь для
Варианта 1

№ п/п	Наименование конструкции	Расчетное сопротивление, $\frac{\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$	Величина тепловых потерь за отопительный период, кВтч
1	2	3	4
1	Стены (железобетон)	2,36	51700
2	Стены (газобетон)	2,85	41989

Продолжение таблицы 3.9

1	2	3	4
3	Окна	0,45	318220
4	Окна лестнично-лифтовых узлов	0,41	8047
5	Чердачное покрытие	4,81	49787
6	Перекрытие над техническим подпольем	0,57	361705
	Всего		831448

Суммарная величина тепловых потерь за отопительный период от ограждающих конструкций всего здания составляет:

$$Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}} = 831448 \text{ кВтч}$$

Величина тепловых поступлений от всего здания за счет прямого солнечного нагрева (из табл.2.2):

$$Q_{\text{ок1}}^{\text{пост}} = 30036,8 + 82083,4 + 98210 + 94837,8 = 305168 \text{ кВтч}$$

Величина бытовых теплопоступлений, определяемая по [38]:

$$Q_{\text{быт}}^{\text{пост}} = q_{\text{быт}} \times t \times z_{\text{оп}} \times A_{\text{пол}} / 1000, \text{ кВтч}$$

где $q_{\text{быт}}$ – удельная величина бытовых (технологических) тепловых выделений за средний час суток рабочего времени, отнесенная к м^2 полезной площади помещений для общественных зданий, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

t – рабочее время использования помещения в день (среднемесячное), час;

$z_{\text{оп}}$ – продолжительность отопительного периода, сут;

$A_{\text{пол}}$ – полезная площадь помещений общественного здания, м^2 . Данная величина определяется исходя из расчетного количества служащих.

$q_{\text{быт}} = 13,1 \text{ Вт}/\text{м}^2$ для учебно-воспитательных зданий;

$t = 5$ часов для учебно-воспитательных зданий;

$z_{\text{оп}} = 153$ сут (из п.1.3.2);

$A_{\text{пол}} = A_{\text{зас}} \times n = 10 \times 428 = 4280 \text{ м}^2$,

где $A_{\text{зас}} = 10 \text{ м}^2$ – полезная площадь на человека (заселенность) для учебно-воспитательных зданий;

$n = 428$ чел – расчетное количество служащих.

Для здания Физико-технического института величина бытовых теплопоступлений составит:

$$Q_{\text{быт}}^{\text{пост}} = 13,1 \times 5 \times 153 \times 4280/1000 = 42892 \text{ кВтч}$$

Для построения теплового баланса здания за 100 % принимается величина суммарных тепловых потерь через ограждающие конструкции для исходного варианта здания (без учета тепловых поступлений). Таким образом, $Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}} = 831448 \text{ кВтч} - 100 \%$.

Теплопоступления за счет прямого солнечного нагрева, выраженные в процентах от суммарных тепловых потерь за отопительный период:

$$\frac{Q_{\text{ок1}}^{\text{пост}}}{Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}}} \times 100\% = \frac{305168}{831448} \times 100\% = 36,7 \%$$

Бытовые теплопоступления, выраженные в процентах от суммарных тепловых потерь за отопительный период:

$$\frac{Q_{\text{быт}}^{\text{пост}}}{Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}}} \times 100\% = \frac{42892}{831448} \times 100\% = 5,2 \%$$

Оставшаяся величина тепловых потерь приходится на органическое топливо. Результаты представлены в виде круговой диаграммы на рисунке 3.5.

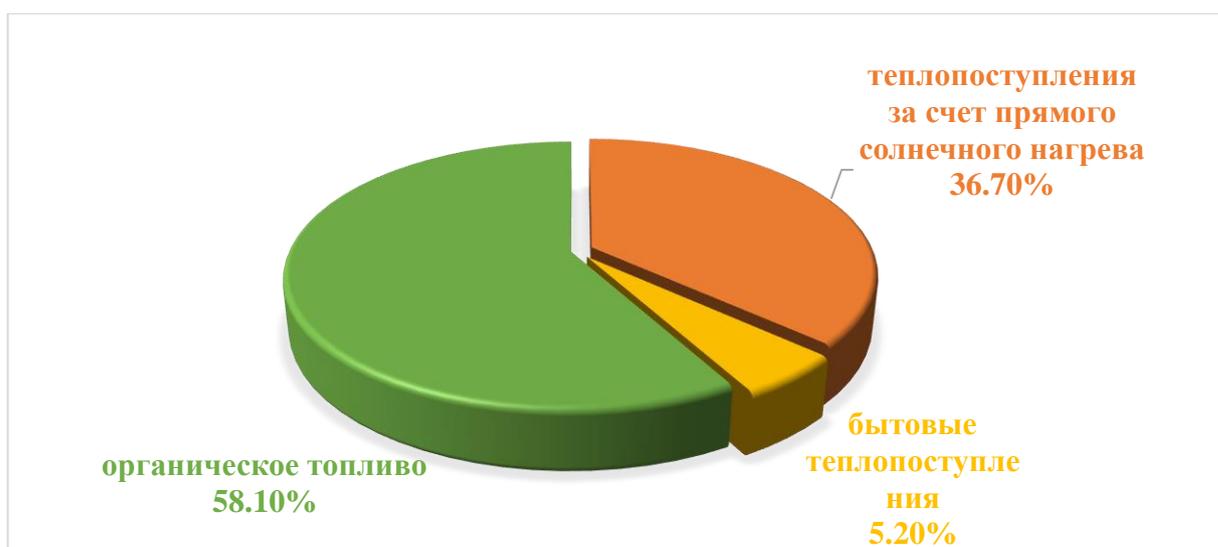


Рис. 3.5 Тепловой баланс для исходного варианта здания (Вариант 1)
Результаты расчета для Варианта 2 приведены в табл. 3.10.

Таблица 3.10

Расчетные сопротивления конструкций и величины тепловых потерь для
Варианта 2

№ п/п	Наименование конструкции	Расчетное сопротивление, $\frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$	Величина тепловых потерь за отопительный период, кВтч
1	Стены (железобетон)	2,36	51700
2	Стены (газобетон)	2,85	41989
3	Окна	0,54	271293
4	Чердачное покрытие	4,81	49787
5	Перекрытие над техническим подпольем	0,57	361705
	Всего		776474

Суммарная величина тепловых потерь за отопительный период от ограждающих конструкций всего здания составляет:

$$Q_{\text{огр}2}^{\text{пот}} = 776474 \text{ кВтч}$$

Величина тепловых поступлений от всего здания за счет прямого солнечного нагрева (из табл.2.3):

$$Q_{\text{ок}2}^{\text{пост}} = 30036,8 + 82083,4 + 98210 + 94837,8 = 305168 \text{ кВтч}$$

$$Q_{\text{быт}}^{\text{пост}} = 13,1 \times 5 \times 153 \times 4280/1000 = 42892 \text{ кВтч}$$

Разница между первоначальными тепловыми потерями и тепловыми потерями для Варианта 2 является результатом изменения архитектурно-планировочного решения и выражается в процентах от суммарных тепловых потерь:

$$\frac{Q_{\text{огр}1}^{\text{пот}} - Q_{\text{огр}2}^{\text{пот}}}{Q_{\text{огр}1}^{\text{пот}}} \times 100\% = \frac{831448 - 776474}{831448} \times 100\% = 6,6 \%$$

Теплопоступления за счет прямого солнечного нагрева, выраженные в процентах от суммарных тепловых потерь за отопительный период:

$$\frac{Q_{\text{ок2}}^{\text{пост}}}{Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}}} \times 100\% = \frac{305168}{831448} \times 100\% = 36,7 \%$$

Бытовые теплопоступления, выраженные в процентах от суммарных тепловых потерь за отопительный период:

$$\frac{Q_{\text{быт}}^{\text{пост}}}{Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}}} \times 100\% = \frac{42892}{831448} \times 100\% = 5,2 \%$$

Результаты представлены на рисунке 3.6.

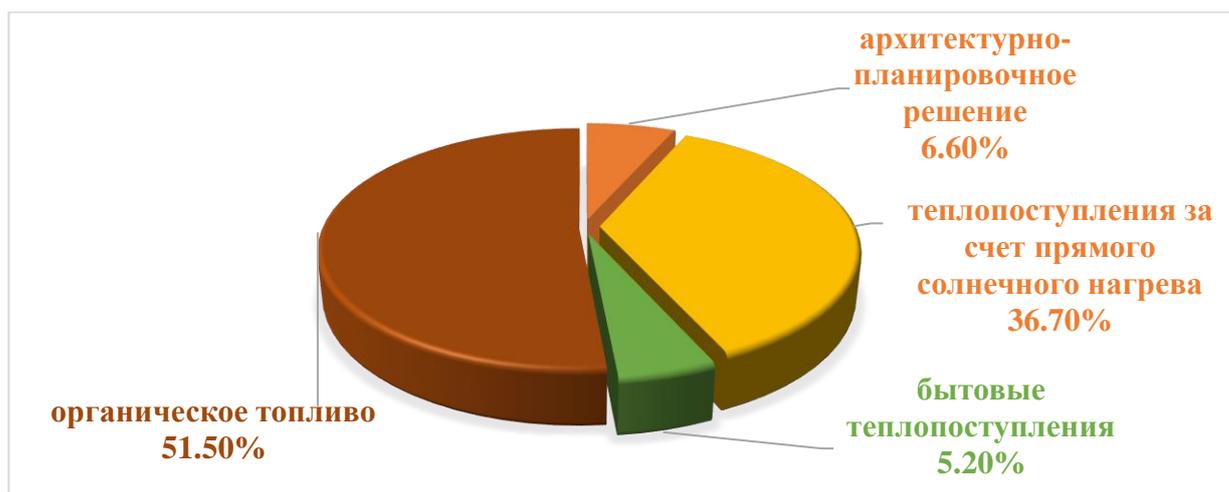


Рис. 3.6 Тепловой баланс здания для Варианта 2

Результаты расчета для Варианта 3 приведены в табл. 3.11.

Таблица 3.11

Расчетные сопротивления конструкций и величины тепловых потерь для Варианта 3

№п/п	Наименование конструкции	Расчетное сопротивление, $\frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$	Величина тепловых потерь за отопительный период, кВтч
1	Стены (железобетон)	2,36	51700
2	Стены (газобетон)	2,85	41989
3	Окна	0,59	248302
4	Чердачное покрытие	4,81	49787
5	Перекрытие над техническим подпольем	0,57	361705
	Всего		753483

Суммарная величина тепловых потерь за отопительный период от ограждающих конструкций всего здания составляет:

$$Q_{\text{огр3}}^{\text{пот}} = 753483 \text{ кВтч}$$

Величина тепловых поступлений от всего здания за счет прямого солнечного нагрева (из табл.2.4):

$$Q_{\text{ок3}}^{\text{пост}} = 21416,5 + 58526,0 + 70024,4 + 67620,0 = 217587 \text{ кВтч}$$

$$Q_{\text{быт}}^{\text{пост}} = 13,1 \times 5 \times 153 \times 4280/1000 = 42892 \text{ кВтч}$$

Разница между первоначальными тепловыми потерями и тепловыми потерями для Варианта 3 является результатом изменения архитектурно-планировочного решения и выражается в процентах от суммарных тепловых потерь:

$$\frac{Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}} - Q_{\text{огр3}}^{\text{пот}}}{Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}}} \times 100\% = \frac{831448 - 753483}{831448} \times 100\% = 9,4 \%$$

Теплопоступления за счет прямого солнечного нагрева, выраженные в процентах от суммарных тепловых потерь за отопительный период:

$$\frac{Q_{\text{ок3}}^{\text{пост}}}{Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}}} \times 100\% = \frac{217587}{831448} \times 100\% = 26,2 \%$$

Бытовые теплопоступления, выраженные в процентах от суммарных тепловых потерь за отопительный период:

$$\frac{Q_{\text{быт}}^{\text{пост}}}{Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}}} \times 100\% = \frac{42892}{831448} \times 100\% = 5,2 \%$$

Результаты представлены на рисунке 3.7.

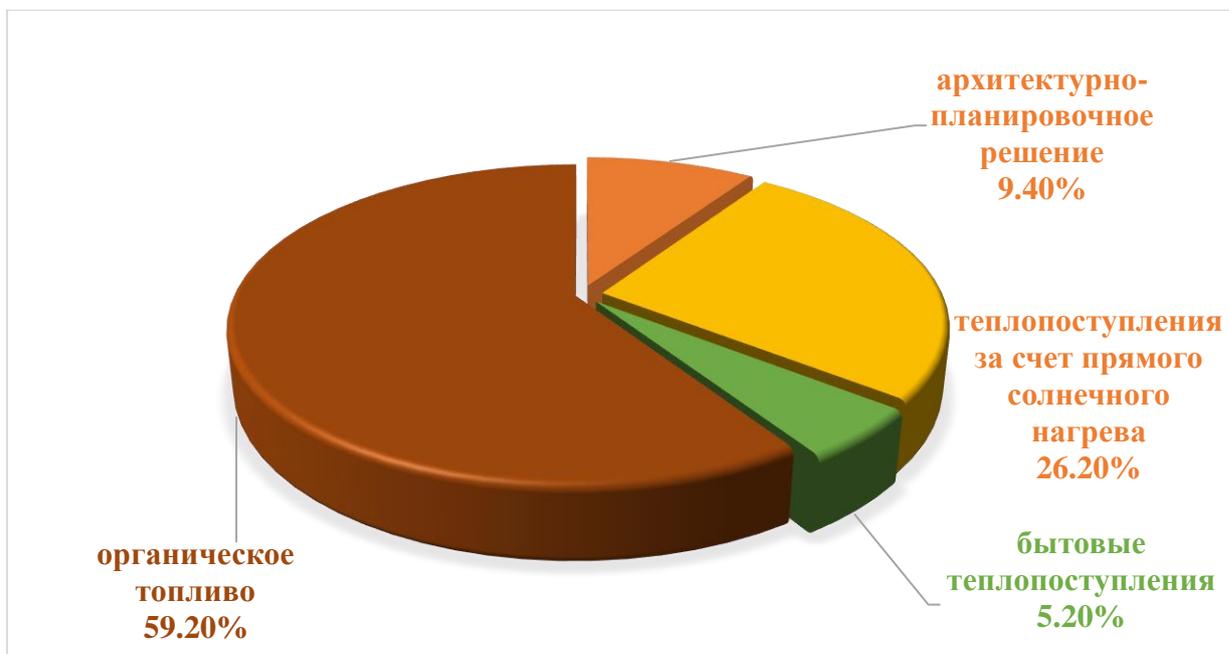


Рис. 3.7 Тепловой баланс здания для Варианта 3

Результаты расчета для Варианта 4 приведены в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Расчетные сопротивления конструкций и величины тепловых потерь для Варианта 4

№ п/п	Наименование конструкции	Расчетное сопротивление, $\frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$	Величина тепловых потерь за отопительный период, кВтч
1	Стены (железобетон)	2,36	51700
2	Стены (газобетон)	2,85	50471
3	Окна	0,54	226529
4	Чердачное покрытие	4,81	49787
5	Перекрытие над техническим подпольем	0,57	361705
	Всего		740192

Суммарная величина тепловых потерь за отопительный период от ограждающих конструкций всего здания составляет:

$$Q_{\text{огр4}}^{\text{пот}} = 740192 \text{ кВтч}$$

Величина тепловых поступлений от всего здания за счет прямого солнечного нагрева (из табл.2.5):

$$Q_{\text{ок4}}^{\text{пост}} = 26853,5 + 82083,4 + 76629,2 + 73668,8 = 259235 \text{ кВтч}$$

$$Q_{\text{быт}}^{\text{пост}} = 13,1 \times 5 \times 153 \times 4280/1000 = 42892 \text{ кВтч}$$

Разница между первоначальными тепловыми потерями и тепловыми потерями для Варианта 4 является результатом изменения архитектурно-планировочного решения и выражается в процентах от суммарных тепловых потерь:

$$\frac{Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}} - Q_{\text{огр4}}^{\text{пот}}}{Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}}} \times 100\% = \frac{831448 - 740192}{831448} \times 100\% = 11,0 \%$$

Теплопоступления за счет прямого солнечного нагрева, выраженные в процентах от суммарных тепловых потерь за отопительный период:

$$\frac{Q_{\text{ок4}}^{\text{пост}}}{Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}}} \times 100\% = \frac{259235}{831448} \times 100\% = 31,2 \%$$

Бытовые теплопоступления, выраженные в процентах от суммарных тепловых потерь за отопительный период:

$$\frac{Q_{\text{быт}}^{\text{пост}}}{Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}}} \times 100\% = \frac{42892}{831448} \times 100\% = 5,2 \%$$

Результаты представлены на рисунке 3.8.

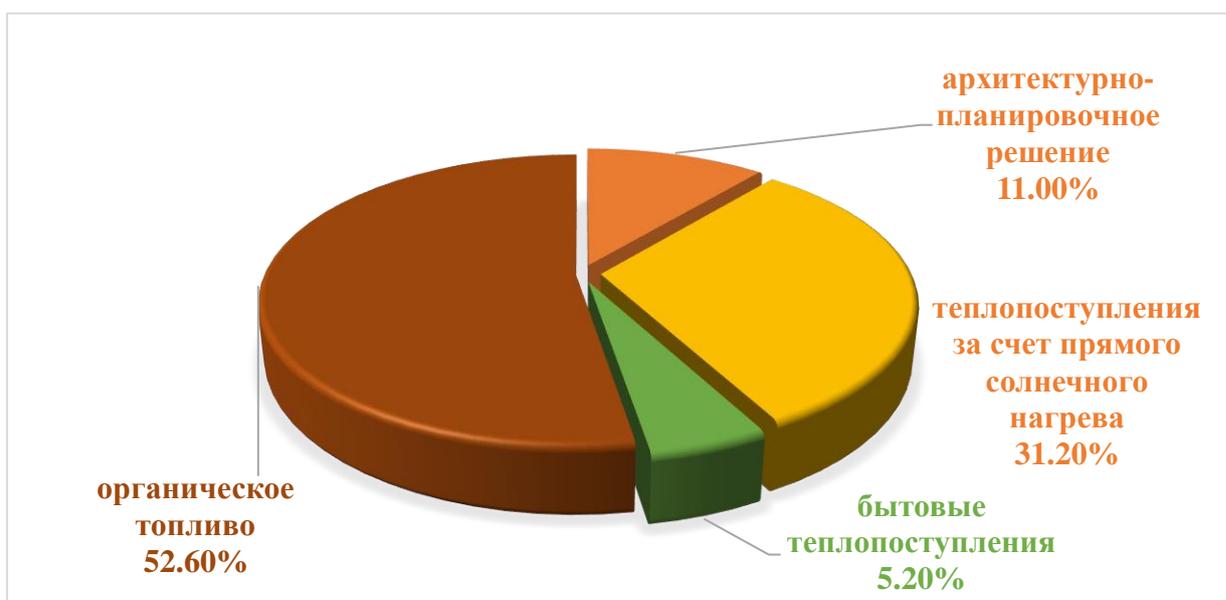


Рис. 3.8 Тепловой баланс здания для Варианта 4

Результаты расчета для Варианта 5 приведены в табл. 3.13.

Таблица 3.13

Расчетные сопротивления конструкций и величины тепловых потерь для
Варианта 5

№п/п	Наименование конструкции	Расчетное сопротивление, $\frac{\text{м}^2 \times \text{°C}}{\text{Вт}}$	Величина тепловых потерь за отопительный период, кВтч
1	Стены (железобетон)	2,36	51700
2	Стены (газобетон)	2,85	50245
3	Окна	0,54	226529
4	Чердачное покрытие	4,81	49787
5	Перекрытие над техническим подпольем	0,57	361705
	Всего		739966

Суммарная величина тепловых потерь за отопительный период от ограждающих конструкций всего здания составляет:

$$Q_{\text{огр}5}^{\text{пот}} = 739966 \text{ кВтч}$$

Величина тепловых поступлений от всего здания за счет прямого солнечного нагрева (из табл.2.6, табл.2.8):

$$Q_{\text{ок}5}^{\text{пост}} = 26853,5 + 82083,4 + 64997,1 + 68250,4 = 242184 \text{ кВтч}$$

Величина тепловых поступлений от солнечного воздушного коллектора, расположенного на южном фасаде:

$$Q_{\text{СВК}}^{\text{пост}} = 2127 \text{ кВтч}$$

$$Q_{\text{быт}}^{\text{пост}} = 13,1 \times 5 \times 153 \times 4280/1000 = 42892 \text{ кВтч}$$

Разница между первоначальными тепловыми потерями и тепловыми потерями для Варианта 5 является результатом изменения архитектурно-планировочного решения и выражается в процентах от суммарных тепловых потерь:

$$\frac{Q_{\text{огр}1}^{\text{пот}} - Q_{\text{огр}5}^{\text{пот}}}{Q_{\text{огр}1}^{\text{пот}}} \times 100\% = \frac{831448 - 739966}{831448} \times 100\% = 11,0 \%$$

Теплопоступления за счет прямого солнечного нагрева, выраженные в процентах от суммарных тепловых потерь за отопительный период:

$$\frac{Q_{\text{ок5}}^{\text{пост}}}{Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}}} \times 100\% = \frac{242184}{831448} \times 100\% = 29,1 \%$$

Теплопоступления от солнечного воздушного коллектора, выраженные в процентах от суммарных тепловых потерь за отопительный период:

$$\frac{Q_{\text{СВК}}^{\text{пост}}}{Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}}} \times 100\% = \frac{2127}{831448} \times 100\% = 0,3 \%$$

Бытовые теплопоступления, выраженные в процентах от суммарных тепловых потерь за отопительный период:

$$\frac{Q_{\text{быт}}^{\text{пост}}}{Q_{\text{огр1}}^{\text{пот}}} \times 100\% = \frac{42892}{831448} \times 100\% = 5,2 \%$$

Результаты расчета представлены в виде круговой диаграммы на рисунке 3.5.

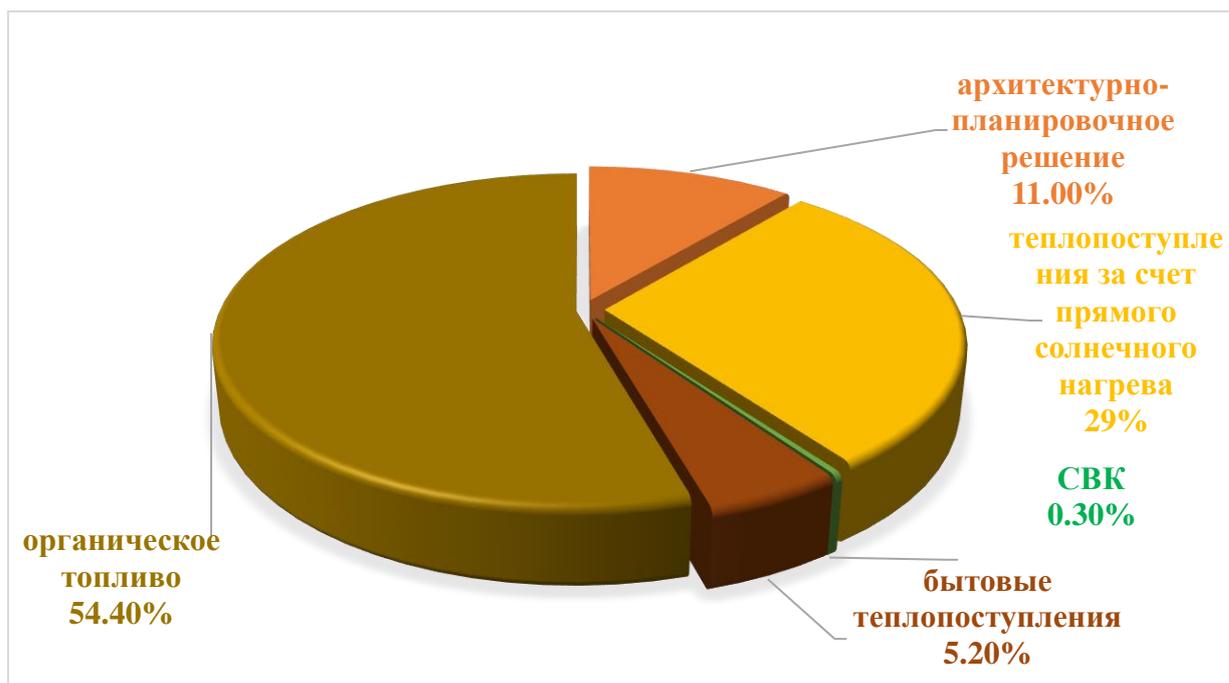


Рис. 3.9 Тепловой баланс здания для Варианта 5

Для исходного варианта здания доля органического топлива в тепловом балансе составила 58,1 %, для предложенного варианта модернизации (Вариант 5) – 54,4 %. Доля тепловых поступлений от солнца для исходного варианта равна 36,7%, для Варианта 5 – 29,3 %.

$$\frac{54,4-58,1}{58,1} \times 100\% = 6,4 \%$$

Потребление органического топлива по сравнению с исходным вариантом в отопительный период уменьшено на 6,4 %.

3.4. Сравнение результатов по тепловым поступлениям в период перегрева для здания в комплексе

В летнее время за счет высокой температуры наружного воздуха и большого количества солнечной радиации происходит перегрев зданий. Таким образом, тепловые поступления можно разделить на два типа: за счет разницы наружной и внутренней температур воздуха и за счет прямого солнечного нагрева. В табл. 3.14 представлены величины тепловых поступлений для здания в комплексе (суммарное значение для всех фасадов) для каждого из предложенных вариантов модернизации оболочки здания.

Таблица 3.14

Тепловые поступления для здания в комплексе

№п/п	Прямой нагрев	Разница температур
Вариант 1	668802	78327
Вариант 2	668802	68073
Вариант 3	476860	63786
Вариант 4	554314	61307
Вариант 5	374073	61307

В наглядном виде на рисунке 3.10 представлены результаты по тепловым поступлениям для каждого из вариантов модернизации за счет прямого нагрева и разницы температур.

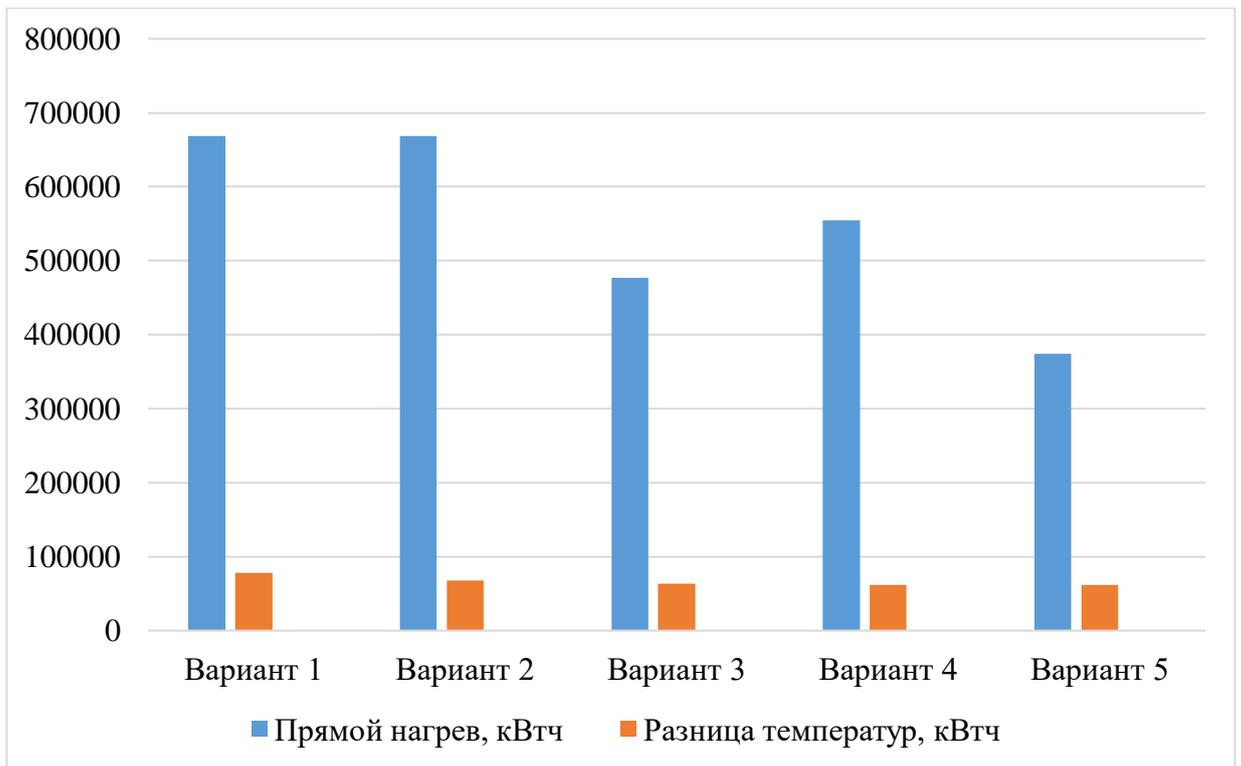


Рис. 3.10 Тепловые поступления за период перегрева для здания в комплексе

Суммарные тепловые поступления с учетом прямого нагрева и разницы температур в период перегрева представлены в табл. 3.15 и на рисунке 3.11.

Таблица 3.15

Суммарные тепловые поступления для здания в комплексе

№п/п	Суммарные тепловые поступления
Вариант 1	747129
Вариант 2	736875
Вариант 3	540646
Вариант 4	615621
Вариант 5	435380

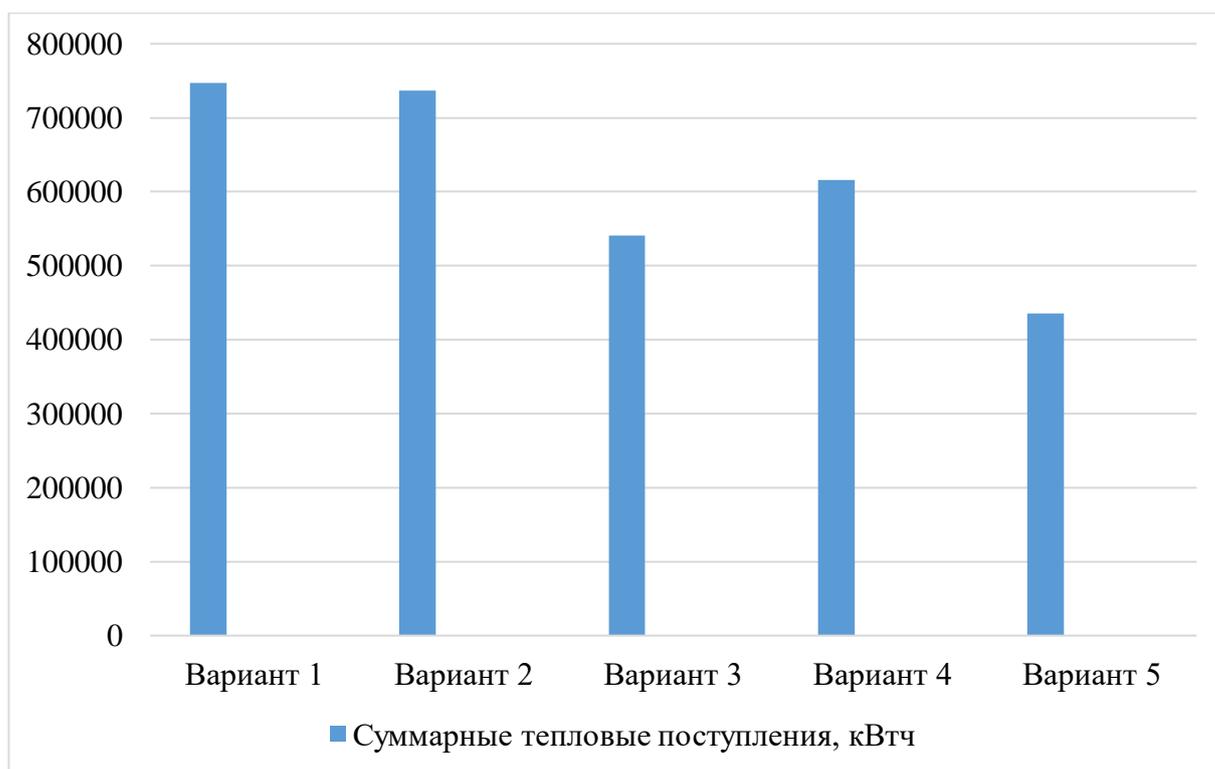


Рис. 3.11 Суммарные тепловые поступления за период перегрева для здания в комплексе

$$\frac{747129 - 435380}{747129} \times 100\% = 41,7 \%$$

Тепловые поступления для модернизированного здания в комплексе (Варианта 5) по сравнению с исходным вариантом уменьшены на 41,7 %, что позволяет значительно снизить дискомфорт в помещении в период его перегрева.

Выводы по Разделу 3.

В соответствии с комплексной оценкой вариантов модернизации оболочки здания получены следующие результаты: для северного фасада наиболее эффективным является вариант с заменой стеклопакетов и уменьшением площади остекления; для восточного и западного фасадов – вариант с заменой стеклопакетов, уменьшением площади остекления и устройством солнцезащиты; для южного фасада – вариант с заменой стеклопакетов, устройством солнцезащиты и солнечного воздушного коллектора.

Были построены тепловые балансы для исходного варианта и для каждого из вариантов модернизации с определением доли органического топлива. Для

выбранного варианта доля органического топлива в тепловом балансе за отопительный период составила 54,4%. Было выполнено сравнение вариантов по тепловым поступлениям в период перегрева, в соответствии с которым для выбранного варианта тепловые поступления по сравнению с исходным уменьшены на 41,7 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы был выполнен анализ возможных методов повышения энергетической эффективности зданий и климатических условий для города Симферополя. Были рассчитаны тепловые потери и тепловые поступления для здания Физико-технического института КФУ им. В. И. Вернадского при исходной конструкции здания. Было установлено, что сопротивление теплопередаче применяемых светопрозрачных конструкций не соответствует требованиям строительных норм, предложенная солнцезащита является неэффективной. В выпускной работе рассмотрены варианты модернизации оболочки здания, которые включают в себя методы по снижению тепловых потерь за счет повышения теплотехнических показателей конструкции, по организации солнечной защиты от перегрева здания в летний период.

На основе комплексной оценки был выбран лучший из предложенных вариантов модернизации оболочки здания: для северного фасада – вариант с заменой стеклопакетов и уменьшением площади остекления; для восточного и западного фасадов – вариант с заменой стеклопакетов, уменьшением площади остекления и устройством солнцезащиты; для южного фасада – вариант с заменой стеклопакетов, устройством солнцезащиты и солнечного воздушного коллектора.

В результате работы построены тепловые балансы для исходного варианта и для каждого из вариантов модернизации с определением доли органического топлива. Для выбранного варианта модернизации доля органического топлива в тепловом балансе за отопительный период составила 54,4%. Было выполнено сравнение вариантов по тепловым поступлениям в период перегрева, в соответствии с которым для модернизированного варианта тепловые поступления по сравнению с исходным уменьшены на 41,7 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Азгальдов, Г.Г. Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании / Г.Г.Азгальдов. – М.: Стройиздат, 1989. – 264 с.
2. Алюян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения – Иваново: ПресСто, 2016. – 276 с.
3. Богословский, А.Н. Отопление / А.Н.Богословский, А.Н.Сканави. – М.: Стройиздат, 1991. – С.49.
4. Брызгалин В.В., Соловьев А.К. Использование пассивных систем солнечного отопления как элемента пассивного дома // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 4 (115). С. 472–481.
5. Воздушные солнечные коллекторы в Москве (Электронный ресурс) URL: <https://solar-b-energy.ru/> (Дата обращения 13.03.2020).
6. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Межгосударственный стандарт. – введ. 01.01.2013. – М.: Стандартиформ, 2013. – 16 с.
7. ГОСТ Р 54851-2011. Конструкции строительные ограждающие неоднородные. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче. – введ. 15.12.2011. – М.: Стандартиформ, 2012. – 23 с.
8. Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности (электронный ресурс). URL: <https://gisee.ru/> (дата обращения 20.01.2020).
9. Дворецкий А.Т., Денисова Т.В., Клевец К.Н. Карта изолиний градусо-суток отопительного периода для территории Российской Федерации// «Строительство и техногенная безопасность» №4(56), Симферополь, 2016. С. 14-18.
10. Дворецкий А.Т., Клевец К.Н., Моргунова М.А., Денисова Т.В. Применение пассивного солнечного нагрева и охлаждения зданий в энергоэффективном строительстве //ЭНЕРГО- И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ

МАЛОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ Сборник докладов III Всероссийской научной конференции с международным участием. 2017. С. 57-61.

11. Денисова Т.В., Кравчук Н.С. Геометрическая модель солнечной радиации на вертикальную поверхность различной ориентации при действительных условиях облачности // «Строительство и техногенная безопасность» №13(65), Симферополь, 2018. С. 11-20.

12. Исследование применения передовых технологий в области энергоэффективности (Электронный ресурс) URL:<http://www.unesco.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/gee21/projects/database> (Дата обращения 19.03.2020).

13. Как выбрать пластиковые окна (Электронный ресурс) URL: <http://remont-master-info.ru/1531-kak-vybrat-plastikovye-okna-kakie-okna-luchshe-stavit-doma.html> (Дата обращения 13.03.2020)].

14. Квалиметрия: учебное пособие / А.Г.Варжапетян. – СПб.: СПбГУАП, 2005. – 176 с.

15. Клевец, К.Н. Повышение экологической безопасности объектов строительства на стадии проектирования за счет пассивного солнечного нагрева: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.19 / Клевец Ксения Николаевна. – Симферополь, 2019. – 172 с.

16. Конструкции воздушных коллекторов (Электронный ресурс) URL:<http://www.mensh.ru/articles/konstrukcii-vozdushnyh-kollektorov> (Дата обращения 13.03.2020).

17. Косо Й. Ваш новый дом (Энергосберегающие технологии) / Йожеф Косо. – Венгрия: Контент, 2008. – 230 с.

18. Кужелева К.С., Грачев Б.С. Энергетическая политика ЕС в области энергоэффективности// «Энергосовет» №1(51), 2018. С. 55-58.

19. Лапин Ю. Н. Автономные экологические дома / Ю. Н. Лапин. – М. : Алгоритм, 2005. – 416 с.

20. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1 - 6, вып. 1 - 34. - Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1989 –1998.
21. Опарина, Л.А. Определение понятия «энергоэффективное здание» / Л.А. Опарина // Жилищное строительство. – 2010. – № 8. – С. 2-4.
22. Опарина, Л.А. Основы ресурсо- и энергосбережения в строительстве: учебное пособие / Л.А. Опарина. – Иваново: ПресСто, 2014. –256 с.
23. Паулаускайте С., Саснаускайте В., Валанчюс К. Влияние характеристик остекления здания на расход энергии в системах ОВК // «Sustainable building technologies» №1, 2018. С. 36-41.
24. Пассивный солнечный дом: Простой метод проектирования (Электронный ресурс) URL: <http://ust.su/solar/media/section-inner55/1919/> (Дата обращения 27.01.2020).
25. Постановление Правительства Российской Федерации от 25.01.2011 № 18 «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов.
26. СНиП 2.01.01-82 Строительная климатология и геофизика / Госстрой СССР. – Взамен СНиП II-A.6-72 «Строительная климатология и геофизика»; введ. 01.01.1984. – М.: Стройиздат, 1983. – 136 с.
27. Солнечные воздушные коллекторы (Электронный ресурс) URL:<https://aw-therm.com.ua/solnechnye-vozdushnye-kollektory/>(Дата обращения 13.03.2020).
28. СП 118.13330.2012* Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009 (с Изменениями N 1, 2).
29. СП 131.13330.2018 Строительная климатология. Актуализированная редакция 23-01-99*. – введ. 29.05.2019. - М.: НИИ строительной физики РААСН, 2018. – 109 с.
30. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий. – Взамен 23-101-2000; введ.1.06.2004. - М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 139 с.

31. СП 23-102-2003 Естественное освещение жилых и общественных зданий. – введ. 18.06.2003. – М.: ФГУП ЦПП, 2003. – 82 с.
32. СП 370.1325800.2017 Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования. – введ. 06.06.2018. – М.: Минстрой России, 2017. – 68 с.
33. СП 50.13330.2012 (Актуализированная версия СНиП 23-02-2003) Тепловая защита зданий. – введ. 01.07.2013. – М.: Минрегион России, 2012. – 139 с.
34. СП 52.13330.2016 (Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*) Естественное и искусственное освещение. – введ. 08.05.2017. - М.: Минрегион России, 2016. – 106 с.
35. Стекло для жилищного строительства ClimaGuard Solar (Электронный ресурс) URL: <https://www.guardianglass.com/ru/ru/products/brands/climaguard/solar> (Дата обращения 12.04.2020).
36. Стеклопакеты ClimaGuard Solar, Glass Max: описание, характеристики, схема (Электронный ресурс) URL: <https://gorod-masterov.net/glass-pack> (Дата обращения 12.04.2020).
37. Стена Тромба-Мишеля (электронный ресурс) URL: http://www.cbias.ru/terias/cont/div04/baz_dan/1/1/2.htm (Дата обращения 27.01.2020).
38. СТО НОП 2.1–2014. Требования по составу и содержанию энергетического паспорта проекта жилого и общественного здания. – введ. 04.06.2014. – М: НИЦ «Строительство», 2014. – 125 с.
39. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов / Вольфганг Файст. – М. : Изд-во Ассоциац. строит. вузов, 2008. – 144 с.
40. Федеральный закон № 261-ФЗ от 23.11.2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
41. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – С.25-30.

42. Хохлявин С. А. Стандарты в области энергоменеджмента: США, Европа, Корея, весь мир // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2009. – №3(27). – С.16–21.
43. Хужаев, П.С. Пассивная система отопления жилого здания [Текст] / П.С. Хужаев, А.А. Сулейманов, М.М. Поччоев, З.А. Сулейманов // Вестник Таджикского технического университета. –Душанбе, 2015. - №2(30). – С.98-102.
44. Чужинова Ю.Ю., Семенова Э.Е. Актуальность проблемы энергосбережения и пути ее решения // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Высокие технологии. Экология. 2014. № 1. С. 138–141.
45. Энергоэффективные окна нового поколения (Электронный ресурс) URL: <https://oknanagoda.com/okna/otveti/ehnergoehffektivnoe-okno.html> (Дата обращения 13.03.2020).