

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Архитектурно-строительный институт
Кафедра «Строительное производство и теория сооружений»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Рецензент:

Заведующий кафедрой:

_____ / _____ /

_____ / Г.А. Пикус /

«___» _____ 2020 г.

«___» _____ 2020 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к выпускной квалификационной работе магистра на тему:

Исследование теплозащитных характеристик зданий для обоснования заключения
энергосервисных контрактов

ЮУрГУ 08.04.01 «Строительство». АС-393. ПЗ ВКР

Консультант:

Руководитель: Доцент, к.т.н.

_____ / _____ /

_____ / К.М. Мозгалев/

«___» _____ 2020 г.

«___» _____ 2020 г.

Консультант:

Проверка по системе антиплагиат: _____%

_____ / _____ /

_____ / К.М. Мозгалев/

«___» _____ 2020 г.

«___» _____ 2020 г.

Нормоконтролер:

Автор ВКР:

_____ / К.М. Мозгалев/

_____ / Е.Л. Дильдина/

«___» _____ 2020 г.

«___» _____ 2020 г.

г. Челябинск - 2020

АННОТАЦИЯ

Дильдина Е.Л. Исследование теплозащитных характеристик зданий для обоснования заключения энергосервисных контрактов. – Челябинск: ЮУрГУ, АС; 2020, 109 с., 15 ил., 29 табл., библиогр. список – 51 наим.

Объектом исследования магистерской диссертации являются нормируемые показатели энергетической эффективности жилых зданий.

Предметом исследования магистерской диссертации являются мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности жилых многоквартирных домов типовой застройки.

Целью работы является теплотехническая и экономическая оценка эффективности комплекса мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности зданий на примере многоэтажного крупнопанельного жилого дома в г. Челябинск, типовой серии для обоснования заключения энергосервисных контрактов.

В результате исследований предоставлено обоснование инвестиций в рамках энергосервисного контракта в реализацию комплекса энергосберегающих мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности здания с учетом исследования теплотехнических характеристик ограждающих конструкций здания для климатических характеристик г. Челябинска и оценке экономической эффективности их реализации и сроков окупаемости.

				АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ			
	<i>Фамилия</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
<i>Зав.каф.</i>	<i>Пикус</i>			<i>Исследование теплозащитных характеристик зданий для обоснования заключения энергосервисных контрактов</i>	<i>Стадия</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Н.контр.</i>	<i>Мозгалев</i>				<i>ВКР</i>	<i>2</i>	<i>109</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Мозгалев</i>				<i>ЮУрГУ</i>		
<i>Консульт.</i>	<i>Мозгалев</i>				<i>Кафедра СПТС</i>		
<i>Разраб.</i>	<i>Дильдина</i>						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОРОСА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ.....	8
1.1 Законодательная и нормативная база энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Российской Федерации.....	8
1.2 Проблемы повышения энергетической эффективности зданий.....	12
1.3 Энергосервисный контракт как механизм повышения энергетической эффективности зданий.....	15
2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ	33
2.1 Исходные данные.....	33
2.2 Вычисление расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.....	42
2.3 Результаты исследования, анализ результатов	63
3. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЛАГАЕМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА.....	71
3.1. Разработка мероприятий направленных на повышение энергетической эффективности здания.....	71
3.1.1 Повышение теплотехнических характеристик окон.....	71
3.1.2 Повышение теплотехнических характеристик чердачного перекрытия.....	75
3.1.3 Повышение теплотехнических характеристик стен.....	76
3.1.4 Установка АИТП и монтаж приборов учета, балансировочных клапанов терморегуляторов на приборах отопления.....	80
3.2. Оптимизация энергосберегающих мероприятий.....	81

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

3.3 Расчет срока окупаемости мероприятий по повышению теплозащитных ограждающих конструкций здания в рамках энергосервисного контракта.....	86
3.3.1 Расчет срока окупаемости мероприятий по утеплению ограждающих конструкций.....	86
3.3.2 Расчет срока окупаемости мероприятий по утеплению ограждающих конструкций, монтажу АИТП и приборов учета, балансировочных клапанов терморегуляторов на приборах отопления.....	90
3.4 Результаты исследования, анализ результатов	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	100
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	104

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Повышение энергетической эффективности зданий и внедрение энергосберегающих технологий является приоритетным направлением политики России в области энергоэффективности и энергосбережения.

Общая площадь эксплуатируемых зданий в России составляет около 5 млрд. кв.м, в том числе более половины этой площади – это жилые дома, и на их отопление расходуется более 25% всех потребляемых энергоресурсов.

Около 90 % жилых зданий России было построено до 2000 года по старым нормам теплотехники и характеризуется низкоэффективным энергопотреблением. Такие жилые здания массовых типовых серий отличаются относительно низкими показателями теплозащиты, избыточной инфильтрацией наружного воздуха и, следовательно, увеличенным расходом тепловой энергии на его нагрев, а также низкой эффективностью регулирования отопления. В среднем, энергопотребление в таких домах в полтора раза выше, чем в странах с похожим климатом.

Исходя из того, что жилищный сектор занимает второе место по энергопотреблению и обладает значительным потенциалом к энергосбережению, проблема повышения энергетической эффективности зданий является актуальной.

Для повышения энергетической эффективности зданий, необходимо проведение энергосберегающих мероприятий, которые имеют более высокую рентабельность и экологическую безопасность по сравнению с наращиванием потребления энергоресурсов. Однако реализация мероприятий, направленных на снижение потребляемой зданиями энергии все равно требует значительных экономических вложений. Одним из наиболее перспективных механизмов повышения энергетической эффективности зданий без привлечения собственных средств является энергосервисный договор (контракт).

На сегодняшний день именно в сокращении потребления энергии и повышении эксплуатационных характеристик зданий при обеспечении

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

необходимого уровня комфортности проживания заложены перспективы реального энергосбережения.

Цель исследования – теплотехническая и экономическая оценка эффективности комплекса мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности зданий на примере многоэтажного крупнопанельного жилого дома в г. Челябинск, типовой серии для обоснования заключения энергосервисных контрактов.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить законодательную и нормативную документацию в области повышения энергетической эффективности существующих зданий;
2. Исследовать теплотехнические характеристики ограждающих конструкций зданий;
3. Провести анализ полученных данных энергопотребления при различных энергетических характеристиках здания и оценить энергосберегающий потенциал;
4. Оценить эффективность мероприятий, необходимых для повышения энергетической эффективности энергопотребления;
5. Рассчитать срок окупаемости мероприятий для оценки возможности заключения энергосервисных контрактов.

Объект исследования:

Нормируемые показатели энергоэффективности жилых зданий.

Предмет исследования:

Мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности жилых многоквартирных домов типовой застройки.

Научная новизна.

Новизна исследования заключается в обосновании инвестиций в рамках энергосервисного контракта в реализацию комплекса энергосберегающих мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности здания с учетом исследования теплотехнических характеристик ограждающих

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

конструкций здания для климатических характеристик г. Челябинска и оценке экономической эффективности их реализации и сроков окупаемости.

Теоретическая и практическая значимость исследования.

Теоретическая значимость исследования состоит в возможности применения предложенного комплекса мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности, к жилым зданиям, построенным по минимальным требованиям к тепловой защите зданий для г. Челябинска. Расчет сроков окупаемости реализуемых мероприятий также дает необходимую информацию о экономической целесообразности реализации мероприятий при обосновании заключения энергосервисных контрактов.

Структура и объем работы.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех глав, основных выводов по результатам исследований, библиографического списка источников из 51 наименования. Объем составляет 109 страниц, содержит 15 рисунков, 29 таблиц.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОРОСА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

1.1 Законодательная и нормативная база энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Российской Федерации

Началом государственной политики в области энергосбережения и повышения энергоэффективности принято считать выход постановления Правительства Российской Федерации № 371 от 1 июня 1992 г. «О неотложных мерах по энергосбережению в области добычи, производства, транспортировки и использования нефти, газа и нефтепродуктов», которое в целях усиления работы по рациональному и экономному использованию ресурсов регламентировало разработать межотраслевые программы для реализации мероприятий по энергосбережению [1]. В том же году Правительством была одобрена и принята концепция энергетической политики России.

Принятый 7 мая 1995 г. Указ Президента Российской Федерации № 472 «Об основных направлениях энергетической политики и структурной перестройки топливно-энергетического комплекса Российской Федерации на период до 2010 года», выбрал приоритетным направлением энергетической политики государства повышение эффективности расходования топливно-энергетических ресурсов. В том же году вышло Постановление Правительства РФ № 1006 от 13.10.1995 г. «Основные положения Энергетической стратегии России на период до 2010 года», которое определило стратегию развития России в области энергосбережения. Так же в 1995 году было принято Постановление Правительства Российской Федерации № 1087 от 2 ноября 1995 г. «О неотложных мерах по энергосбережению», а в начале 1996 года был принят первый закон об энергосбережении – это Федеральный закон № 28-ФЗ от 3 апреля 1996 г. «Об энергосбережении». Фактически, именно этими документами было положено начало созданию правовой базы энергосбережения.

Однако эти меры по снижению энергоемкости оказались недостаточными для того, чтобы остановить динамичный рост спроса на тепловую энергию.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Новым этапом развития в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности считается вышедший в 2008 году Указ Президента Российской Федерации № 889 от 4 июня 2008 г. «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики», цель которого была снизить к 2020 году энергоёмкость валового внутреннего продукта (ВВП) на 40% от уровня 2007 года.

Основой политики страны в области энергосбережения является Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [2], основной целью которого является стимулирование более бережного отношения к потреблению энергоресурсов.

Принятый в 2009 году закон, определил основные направления политики энергосбережения в России и предъявил новые требования, конструктивным и инженерно-техническим решениям, технологиям, устройствам и используемым ресурсам. С целью повышения энергоэффективности эти требования планируют пересматривать каждые 5 лет. Такой подход необходим, поскольку каждый год появляются более современные технологии, методы эксплуатации и другие нововведения.

В области энергосбережения и повышения энергетической эффективности закон №261-ФЗ является основным, но не единственным регулирующим документом. Так, 25 января 2011 г. вступило в силу постановление Правительства РФ №18 «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений и сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов» [5].

В постановлении утверждается необходимость принятия мер для повышения энергоэффективности зданий и снижению удельного потребления энергоресурсов по сравнению с базовым уровнем, нормируемым в 2010 году.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

Далее после установления базового уровня требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений требования энергетической эффективности должны предусматривать уменьшение показателей не реже 1 раза в 5 лет. С 2011 года потребление энергоресурсов должно снизиться на 15%, еще на столько же с 2016 года по 2020 г достигнув 30% от базового уровня потребления и с 2020 года не менее чем на 40% относительно базового уровня потребления.

Постановление впервые в качестве показателя энергетической эффективности утвердило удельную годовую величину расхода энергетических ресурсов в здании, давая возможность органам исполнительной власти субъектов РФ принимать более жёсткие меры для повышения энергетической эффективности зданий. При этом в гарантийных обязательствах предусматривается обязанность застройщика по обязательному подтверждению нормируемых энергетических показателей как при вводе дома в эксплуатацию, так и по последующему подтверждению не реже чем 1 раз в 5 лет.

Долгосрочной программой в области энергосбережения является принятая в декабре 2010 года Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» [3]. Программа направлена на переход к рациональному и экологически ответственному использованию энергетических ресурсов на основе модернизации и технологического развития. А также на повышение энергоэффективности и снижение потребления энергоресурсов при строительстве новых, реконструкции старых и в процессе эксплуатации зданий и сооружений.

Существуют и долгосрочные региональные программы в области энергосбережения, разработка которых обязательна, такие программы приняты в большинстве субъектов РФ.

Наряду с большинством субъектов РФ, в Челябинской области разработана «Государственная программа Челябинской области «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» на 2014 - 2020 годы», которая была

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

утверждена постановлением Правительством Челябинской области № 346-П от 22 октября 2013 года [9]. Основной целью программы является обеспечение снижения показателей удельного потребления топливно-энергетических ресурсов в государственном секторе и обеспечение снижения объема потребления топливно-энергетических ресурсов на объектах коммунального хозяйства и систем инженерной инфраструктуры в муниципальных образованиях Челябинской области. Реализация программы запланирована в один этап в 2014 - 2020 годах. Среди подпрограмм следует отметить «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности объектов при их строительстве, реконструкции, модернизация и капитальном ремонте», которая включает в себя, в том числе мероприятия, направленные на снижение потребления энергетических ресурсов, а также мероприятия по расширению использования в качестве источников энергии вторичных энергетических ресурсов и (или) возобновляемых источников энергии. Одним из ожидаемых результатов реализации программы является экономия топливно-энергетических ресурсов в 2020 году на 4 процента по сравнению с 2014 годом, и на 19 процентов по сравнению с 2009 годом.

Нормативные документы, регламентирующие методы расчёта и допустимые величины основных нормируемых параметров являются неотъемлемой частью вопроса о повышении энергетической эффективности [10].

Основным документом при проектировании тепловой защиты зданий и сооружений является СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» [6], утверждённый приказом Министерства регионального развития РФ №265 от 30 июня 2012 г.

Принципиальные отличия актуализированной версии от предыдущей, является то, что оценка эффективности производится по совершенно новому показателю - удельной теплозащитной характеристике здания, $K_{об}$, Вт/(м³·°С), тогда как в [7] основным показателем был удельный расход тепловой энергии на отопление здания q_h^{des} , кДж/(м²·°С·сут).

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

Также изменения коснулись и расчета теплопередачи, так в [6] расчёт приведённого сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или любой выделенной ограждающей конструкции основан на представлении фрагмента в виде набора независимых элементов, каждый из которых влияет на тепловые потери через фрагмент; удельные потери теплоты, обусловленные каждым элементом, находятся на основе сравнения потока теплоты через узел, содержащий элемент, и через тот же узел, но без исследуемого элемента.

1.2 Проблемы повышения энергетической эффективности зданий

Повышение энергетической эффективности зданий является стратегической задачей политики энергоэффективности и энергосбережения в России [12].

На сегодняшний день жилищный сектор занимает второе место по энергопотреблению и обладает значительным потенциалом к энергосбережению, поэтому решение проблемы повышения энергетической эффективности зданий является актуальной [13].

Потенциал энергосбережения – это финансовый, технологический, энергетический, социальный, физиологический или иной эффект, который может быть получен от реализации энергосберегающих мероприятий.

Под повышением энергоэффективности зданий будем понимать комплекс мероприятий, направленных на снижение потребляемой зданиями тепловой энергии, необходимой для поддержания в помещениях требуемых параметров микроклимата, при соответствующем технико-экономическом обосновании внедряемых мероприятий и обеспечении безопасности.

Понятие энергоэффективности неразрывно связано с вопросами энергосбережения и снижения энергопотребления.

Энергопотребление большей части многоквартирных домов в России является низкоэффективным. По старым теплотехническим нормам построено

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

около 90 % жилых зданий в России. Такие жилые здания массовых типовых серий характеризуется низкоэффективным энергопотреблением, и отличаются относительно низкими показателями теплозащиты, избыточной инфильтрацией наружного воздуха и, следовательно, увеличенным расходом тепловой энергии на его нагрев, а также низкой эффективностью регулирования отопления [11].

Структура годовых потерь тепловой энергии жилого здания, представлена ниже на Рисунке 1.1.

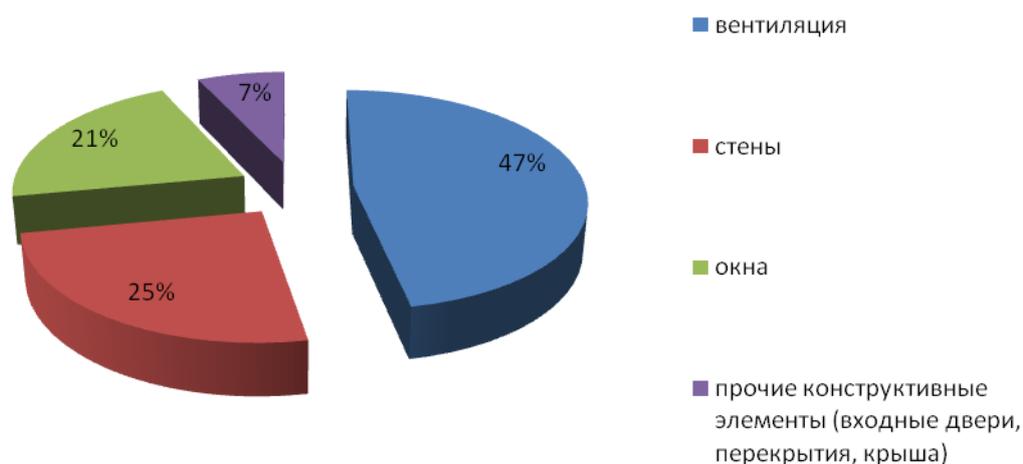


Рисунок 1.1 – Структура годовых потерь тепловой энергии в 10-этажном доме

В целях снижения потребления зданиями энергетических ресурсов и повышения их энергоэффективности были пересмотрены теплозащитные нормативы в сторону их повышения.

Однако суммарный объем зданий, построенных по новым теплозащитным нормативам, действующим с 2000 года, составляет не более 10 % от объема всего жилого фонда в Российской Федерации.

Статистика общего числа построенных многоквартирных жилых домов для города Челябинска представлена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – статистика построенных многоквартирных жилых домов в г. Челябинске

Как видно из рисунка 2 основная часть домов в г. Челябинск построена до 2000 года по старым теплотехническим нормам.

Для повышения энергоэффективности зданий, необходимо проведение энергосберегающих мероприятий, которые имеют более высокую рентабельность и экологическую безопасность по сравнению с наращиванием потребления энергоресурсов.

Одним из фактором осложняющих повышение энергетической эффективности многоквартирного дома является то, что на сегодняшний день в России практически нет домов, все помещения в которых принадлежали бы государству. Практически в каждом многоквартирном доме есть и частные, и муниципальные квартиры. Кроме того, много вновь построенных домов, всеми помещениями которых владеют только частные собственники.

Деятельность управляющих организаций и ТСЖ, которые управляют многоквартирными домами направлена в большей степени на решение краткосрочных задач и не проявляют массовой заинтересованности в ресурсосбережении. Однако многоквартирные дома обладают значительным потенциалом в энергосбережении: 30-60% в теплоснабжении и до 35% в горячем

водоснабжении. Использование этого потенциала позволит собственникам меньше платить за коммунальные услуги, а также перераспределить расходы и направить больше средств на содержание и ремонт дома и повышение комфортности проживания.

Установка приборов учета потребления тепловой энергии и воды в многоквартирных домах в настоящее время является практически единственным примером проводимых мероприятий по повышению энергоэффективности. Такие мероприятия как утепление ограждающих конструкций здания, установка энергоэффективных систем отопления, замена старых окон и дверей на современные, обладающие повышенным сопротивлением теплопередаче проводятся в редких, единичных случаях.

На сегодняшний день стоит важная задача – решение проблемы повышения энергетической эффективности зданий жилищного сектора. Кроме того, разработка решения должна быть экономически эффективной и не обременять финансово государство, потому что реализация мероприятий, направленных на снижение потребляемой зданиями энергии требует значительных экономических вложений.

1.3. Энергосервисный контракт как механизм повышения энергетической эффективности зданий

В России понятие «энергосервисный договор (контракт)» впервые было введено в статье 19 главы 5 Федерального закона № 261-ФЗ [2].

Согласно [2] под энергосервисным договором (контрактом) понимается «договор (контракт), предметом которого является осуществление исполнительных действий, направленных на энергосбережение и повышение энергетической эффективности использования энергетических ресурсов заказчиком».

Различие о соотношении энергосервисного договора и контракта состоит исключительно в том, что контракт регулирует отношения при размещении

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

заказов для государственных и муниципальных нужд с соблюдением норм законодательства, применяемых к такого рода заказам.

В соответствии со статьей 19 [2] предметом энергосервисного договора (контракта) является осуществление исполнителем действий, направленных на энергосбережение и повышение энергетической эффективности использования энергетических ресурсов заказчиком.

Энергосбережение – реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования.

Энергосберегающие мероприятия – действия (организационные и технические мероприятия), осуществляемые Исполнителем и направленные на энергосбережение и повышение энергетической эффективности Объекта энергосервиса (снижение потребления энергетического ресурса при сохранении полезного эффекта от его использования).

В случае заключения энергосервисного договора (контракта), исполнитель (энергосервисная компания) обязуется по заданию заказчика оказать энергосервисные услуги направленные на снижение (энергосбережение) потребления энергетических ресурсов на объекте заказчика, а заказчик обязуется оплатить эти услуги за счет полученной экономии энергоресурсов.

Энергосервисная компания (ЭСКО) – это юридическое или физическое лицо, предоставляющее услуги и/или выполнение мероприятий по повышению энергоэффективности, при этом, принимающее на себя финансовые риски, так как оплата за оказанные услуги (в целом или частично) основана на достижении показателей энергетической эффективности.

Энергетическая эффективность – характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Энергетический ресурс – носитель энергии, энергия которого используется или может быть использована при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, а также вид энергии.

Показатель экономии энергетических ресурсов - сокращение потребления энергетических ресурсов в натуральном выражении при сохранении полезного эффекта от их использования, являющееся следствием реализации энергосберегающих мероприятий Исполнителем. Экономия энергетических ресурсов определяется при сравнении энергетического базиса с объемом потребленных энергетических ресурсов (по данным приборов учета используемых энергетических ресурсов) после того, как Исполнитель выполнил энергосберегающие мероприятия.

Базовый уровень потребления - объем потребления каждого вида энергетического ресурса в натуральном выражении за год, предшествующий году заключения контракта.

Согласно статьи 19 Федерального закона № 261-ФЗ [2], энергосервисный договор (контракт) должен содержать:

1) условие о величине экономии энергетических ресурсов (в том числе в стоимостном выражении), которая должна быть обеспечена исполнителем в результате исполнения энергосервисного договора (контракта);

2) условие о сроке действия энергосервисного договора (контракта), который должен быть не менее чем срок, необходимый для достижения установленной энергосервисным договором (контрактом) величины экономии энергетических ресурсов;

3) иные обязательные условия энергосервисных договоров (контрактов), установленные законодательством Российской Федерации.

При этом дополнительно энергосервисный договор (контракт) может содержать:

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

1) условие об обязанности исполнителя обеспечивать при исполнении энергосервисного договора (контракта) согласованные сторонами режимы, условия использования энергетических ресурсов (включая температурный режим, уровень освещенности, другие характеристики, соответствующие требованиям в области организации труда, содержания зданий, строений, сооружений) и иные согласованные при заключении энергосервисного договора (контракта) условия;

2) условие об обязанности исполнителя по установке и вводу в эксплуатацию приборов учета используемых энергетических ресурсов;

3) условие об определении цены в энергосервисном договоре (контракте) исходя из показателей, достигнутых или планируемых для достижения в результате реализации энергосервисного договора (контракта), в том числе исходя из стоимости сэкономленных энергетических ресурсов;

4) иные определенные соглашением сторон условия.

Законодательная база РФ в области энергосервисной деятельности представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Законодательное регулирование энергосервисной деятельности в Российской Федерации

<p>Нормативное определение ЭСК</p>	<p>Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности ...»:</p> <p>Глава 5 определяет понятие энергосервисного контракта, требования к обязательным условиям, а также определяет государственные или муниципальные энергосервисные договоры (контракты), заключаемые для обеспечения государственных или муниципальных нужд.</p>
------------------------------------	---

	Приказ Минэнерго России от 04.02.2016 N 67 «Об утверждении методики определения расчетно-измерительным способом объема потребления энергетического ресурса в натуральном выражении для реализации мероприятий, направленных на энергосбережение»
	Приказ Минкомсвязи России N 74, Минстроя России N 114/пр от 29.02.2016 «Об утверждении состава, сроков и периодичности размещения информации поставщиками информации в государственной информационной системе жилищно-коммунального хозяйства» раздел 8 п.6
	«План мероприятий по совершенствованию государственного регулирования в области оказания энергосервисных услуг» (утв. Правительством РФ 20.11.2014 N 7803п-П9)

Заключение энергосервисного контракта создает возможность снижения размера эксплуатационных затрат, объема потребления энергетических и водных ресурсов, а также выбросов парниковых газов, за счет внедрения мер по повышению энергетической эффективности объекта с ограниченным риском и без каких-либо предварительных затрат [33].

Основные принципы договорных отношений в рамках энергосервисного контракта [34]:

- проекты повышения энергетической эффективности выполняются специализированными энергосервисными компаниями – ЭСКО;
- инвестиции в реализацию мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности (полная цена энергосервисного контракта) постепенно возвращаются за счет полученной экономии расходов в денежном выражении, которая, в свою очередь, является следствием достигаемого сокращения потребления энергоресурсов в течение периода действия контракта;

										Лист
										20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

– оплата зависит от уровня достигнутой экономии энергетических ресурсов;

– энергосервисный контракт заключается на период, необходимый для полной компенсации расходов на выполненные энергосберегающие мероприятия;

– контрактом гарантируется сохранение эффекта энергосбережения и денежной экономии расходов на энергию (и других расходов) за пределами срока выполнения контракта.

Отличие работ по энергосервисному контракту от работ, производимых самостоятельно, либо за счет подрядчика представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Отличие энергосервисного контракта от договора подряда

Энергосервисный контракт	Договор подряда
1. ЭСКО инвестирует собственные (или заемные) средства в реализацию энергосберегающих мероприятий и возвращает инвестиции в течение срока действия контракта	1. Стоимость оборудования и произведенных услуг оплачивает Заказчик за счет собственных средств
2. Отсутствует необходимость представления аванса для исполнителя контракта	2. Заказчик производит выплату аванса подрядчику
3. По контракту платежи (возврат инвестиций) зависят только от результата достижения планируемой экономии	3. Исполнитель подрядного договора не несет ответственность, если оборудование не позволяет достичь требуемой экономии ресурсов
4. Риски неверного выбора технического решения и оборудования лежат на ЭСКО	4. Заказчик самостоятельно несет ответственность за технические решения и правильность выбора оборудования

Энергосервисные контракты исходя из определения, данного в российском законодательстве, на практике могут принимать различные формы, отличающиеся такими характеристиками, как [36]:

- предоставлением услуг заказчикам (единичные услуги – консультирование, поставка оборудования, разработка мер по повышению энергоэффективности и т.д. или комплексные услуги);
- способом финансирования мероприятий по повышению энергетической эффективности объекта (за счет средств собственника объекта (заказчиком) или ЭСКО);
- порядком расчета между собственником объекта и ЭСКО (оплата производится одновременно, поэтапно или в течение какого-то срока после завершения проекта);
- распределением полученной экономии между ЭСКО и собственником объекта.

В зарубежной практике [42-45] применяются также такие типы контрактов, в которых исполнителем энергосервисных услуг является ресурсоснабжающая компания, которая может сама проводить энергоэффективные мероприятия, или нанимать ЭСКО (подрядчика) для проведения энергоэффективных мероприятий.

Энергосервисные контракты, в которых ЭСКО оказывает полный комплекс энергосервисных услуг обладают характерными чертами:

- ЭСКО ответственны за разработку, внедрение и оценку результатов от проекта по повышению энергетической эффективности объекта;
- ЭСКО берет на себя все риски, чтобы гарантировать заказчику снижение затрат на оплату энергоресурсов;
- ЭСКО предлагают заказчику широкий спектр рекомендаций, и помогают разработать меры повышения энергетической эффективности для каждого конкретного объекта.

Виды энергосервисных услуг и типов контрактов, применяемых в мировой практике, представлены в таблице 1.3.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Таблица 1.3 – Виды энергосервисных контрактов, применяемых в мировой практике

Услуга ЭСКО	Финансирование	Виды контрактов по степени зависимости оплаты от уровня достигнутого энергосбережения:		
		Низкая	Средняя	Высокая
Консультирование / проектирование	Заказчик	Договор на оказание услуги с фиксированной платой	Договор на оказание услуги с оплатой по достигнутым результатам	
Поставка энергосберегающего оборудования	Заказчик	Договор на поставку оборудования с фиксированной ценой		Договор на поставку оборудования с оплатой в рассрочку
	ЭСКО	Договор лизинга оборудования с фиксированной ценой и платежом		
Энергосервисный перформанс-контракт	Заказчик	Договор на оказание комплекса услуг с гарантированной экономией (Guaranteed Savings)		

Продолжение Таблицы 1.3

	ЭСКО		Договор на оказание комплекса услуг с гарантированным возвратом инвестиций (First Out)	Договор на оказание комплекса услуг с разделением экономии (Shared Savings)
Договор энергоснабжения и энергоменеджмента	Заказчик	Договор энергоснабжения, обслуживания и управления энергопотреблением (с фиксированным платежом за единицу ресурса)		Договор энергоснабжения обслуживания, и управления энергопотреблением (оплата по результатам проекта)
	ЭСКО		Договор на поставку энергоресурсов и энергоменеджмент (Chauffage)	

Продолжение Таблицы 1.3

Договор полного управления зданием	Заказчик	Договор на управление зданием включает мероприятия по повышению энергоэффективности, финансируемые заказчиком		
	ЭСКО			Договор на управление зданием (включает всебя обязательства по повышению энергоэффективности здания, которые должны быть оплачены за счет сокращения расходов управляющей компании на оплату энергоресурсов

Рассмотрим механизм и возможность реализации в России энергосервисных контрактов, применяемых в мировой практике в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Реализация энергосервисных контрактов в России

Услуга ЭСКО	Вид контракта	Механизм/ возможность реализации
Консультирование / проектирование	Договор на оказание услуги с фиксированной платой	ЭСКО проводит энергетическое обследование объекта (энергоаудит), и по итогам предлагает рекомендации по реализации энергоэффективного проекта, а также может сопровождать реализацию проекта. Заказчик оплачивает услуги, как правило, единовременным платежом. Этот тип контракта наиболее активно используется в проектах энергосбережения в различных отраслях российской экономики (промышленность, офисные здания)
	Договор на оказание услуги с оплатой по достигнутым результатам.	Компания проводит энергоаудит, разрабатывает и сопровождает реализацию проекта. Компания и клиент согласовывают стоимость договора и порядок оплаты на основе оценки результативности проекта. Оплата может включать в себя бонусы, если экономия превысила заявленный уровень, и штрафные санкции, если фактическая экономия оказалось меньше заявленной. Сведений о применении такого типа контракта в России нет.

	экономии)	Право собственности на оборудование сразу передается клиенту. Сведений о применении в России нет.
Энергосервисный перформанс-контракт	<p>Договор на оказание комплекса энергосервисных услуг с гарантированной экономией (Guaranteed Savings)</p>	<p>Финансирование мероприятий осуществляет заказчик. ЭСКО гарантирует собственнику достижение определенных параметров эффективности при этом жестко прописываются определенные методы измерения и контроля энергоэффективности. ЭСКО получает плату за услуги в рамках контракта, если гарантированные параметры энергоэффективности были достигнуты. Такой тип контракта в России пока не применялся, но может рассматриваться как одна из потенциально реализуемых форм энергосервисного контракта в бюджетном секторе.</p>
	<p>Договор на комплекс энергосервисных услуг с разделением экономии (Shared Savings)</p>	<p>Финансирует реализацию проекта ЭСКО. В контракте указывается, как делятся сэкономленные средства между собственником объекта и ЭСКО, независимо от размера экономии в каждый период времени. Цель контракта - компенсация ЭСКО затрат на реализацию проекта и получение необходимой прибыли</p>

		<p>в течение срока реализации этого проекта. Собственник объекта не делает никаких инвестиций в проект, но, в то же время, получает свою долю от экономии в течение контрактного периода и всю экономию по его завершении.</p> <p>. При этом, как правило, в контракты данного типа включается положение о том, как будут проходить измерения и контроль энергоэффективности проекта.</p> <p>С точки зрения разделения рисков, такой тип контракта может быть наиболее привлекательным для применения в России в различных отраслях экономики – от промышленности до жилищного сектора.</p>
	<p>Договор на комплекс энергосервисных услуг с гарантированным возвратом инвестиций (First Out)</p>	<p>Условия контракта - точно такие же, как и при разделении экономии, с той разницей, что срок действия договора может варьироваться в зависимости от фактического уровня достижения экономии: если фактическая экономия меньше, чем ожидаемая, то контракт может быть продлен, чтобы ЭСКО успела за счет экономии компенсировать свои расходы. Энергосервисный контракт с гарантированным</p>

		возвратом инвестиций можно рассматривать как потенциально возможный для применения в России.
Договор энергоснабжения и энергоменеджмента	Договор на поставку энергоресурсов и энергоменеджмент (Chauffage)	В данной модели контракта в качестве исполнителя энергосервисных услуг выступает ресурсоснабжающая организация. Идея данного типа взаимоотношений между поставщиком ресурсов и заказчиком состоит в том, что они договариваются о поставке ресурса (пар, тепловая энергия, электроэнергия для освещения и т.п.) по фиксированной цене на длительный период, который может достигать 10 и даже 30 лет. Помимо этого исполнитель предлагает заказчику энергосберегающие меры, которые позволят заказчику сократить потребление ресурса на 3 - 10%. В этой схеме меры по энергосбережению финансирует ЭСКО, которая остается собственником энергосберегающего оборудования. В таком случае и поставщик, и заказчик получают определенную выгоду. В России применение данного типа контрактов в настоящее время практически невозможно в связи с тем, что в России

		производители и поставщики ресурсов – это естественные локальные монополии, деятельность которых регулируется государством.
Договор полного управления объектом недвижимости	Договор на управление объектом недвижимости с обязательствами по повышению энергоэффективности	Обычно такие договора заключаются на управление различными зданиями. Существует два типа договоров полного управления. В одних случаях мероприятия финансируются заказчиком (при этом оплата услуг, связанных с комфортными условиями нахождения в здании, происходит по факту потребления энергоресурсов). Такой договор управления напоминает энергосервисный контракт с гарантированной экономией. В других случаях мероприятия финансируются исполнителем – управляющей компанией. При этом определенным образом фиксируются и включаются в договор расходы на оплату энергоресурсов. В итоге мероприятия по повышению энергоэффективности оплачиваются по договору за счет того, что управляющая компания фактически меньше средств расходует на оплату энергоресурсов после проведения мероприятий по ресурсосбережению.

		<p>Это позволяет ей направить сэкономленную сумму на оплату действий по повышению энергоэффективности. Такой договор имеет все признаки энергосервисного перформанс контракта. Он анаогичен бэнергосервисному договору с разделением экономии. Управляющая компания может на условиях подрядных договоров привлечь к работе по энергосбережению другие ЭСКО поскольку она в рамках договора принимает на себя обязательства по энергосбережению, а также риски достижения результата. Данный вид контракта можно рассматривать как потенциально возможный для применения в России.</p>
--	--	--

Применение энергосервисных контрактов имеет хорошие перспективы в России, так как на сегодняшний день именно в сокращении потребления энергии и повышении эксплуатационных характеристик зданий при обеспечении необходимого уровня комфортности проживания заложены перспективы реального энергосбережения. Однако снижение энергопотребления зданиями требует значительных денежных вложений, поэтому одним из наиболее перспективных механизмов повышения энергетической эффективности является энергосервисный контракт, так как он позволяет реализовать мероприятия, направленные на снижение потребляемой зданиями энергии без привлечения собственных заказчика.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ

С целью оценки теплотехнической и экономической эффективности реализации мероприятий, направленных на снижение энергопотребления и повышения энергетической эффективности существующих зданий в диссертационной работе будет рассчитан расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период, а также общие теплопотери здания за отопительный период до и после реализации мероприятий.

В качестве объекта для исходных данных был выбран – многоквартирный крупнопанельный жилой дом в г. Челябинск типовой серии, построенный и введенный в эксплуатацию до 2000 года.

2.1 Исходные данные

Объектом исследования был выбран десятиэтажный жилой дом в городе Челябинске, построенный по типовому проекту. Год постройки и ввода в эксплуатацию – до 2000 года. Функциональное назначение, тип и конструктивное решение здания представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Функциональное назначение, тип и конструктивное решение здания

Назначение	жилое
Размещение в застройке	отдельно стоящее
Тип	многоэтажное
Конструктивное решение	крупнопанельное
Количество этажей	10
Наружные стены	многослойные панели толщиной 300 мм
Фундамент	ленточный
Крыша	плоская с холодным чердаком
Перекрытия над подвалом	железобетонные плиты толщиной 100 мм
Чердачное перекрытие	железобетонные плиты толщиной 160 мм
Подвал	холодный
Окна	деревянные с 2-м остеклением
Двери	металлические
Вентиляция	естественная вытяжная
Отопление	централизованное, однотрубная СО, без узлов учета потребления

Площадь наружных ограждающих конструкций, площадь жилых помещений, отапливаемая площадь и объем здания, необходимые для дальнейшего расчета и определения теплотехнических характеристики ограждающих конструкций здания определялись согласно проекта жилого дома.

Площадь наружных ограждающих конструкций определяется по внутренним размерам здания. Общая площадь наружных стен (с учетом оконных и дверных проемов) определяется как произведение периметра наружных стен по внутренней поверхности на внутреннюю высоту здания, измеряемую от поверхности пола первого этажа до поверхности потолка последнего этажа с учетом площади оконных и дверных откосов.

Суммарная площадь окон и дверей определяется по размерам проемов в свету.

Площадь наружных стен (непрозрачной части) определяется как разность общей площади наружных стен и площади окон и наружных дверей.

Площадь горизонтальных наружных ограждений (покрытия, чердачного и цокольного перекрытия) определяется как площадь этажа здания (в пределах внутренних поверхностей наружных стен).

Отапливаемая площадь здания определяется как площадь здания, измеряемая в пределах внутренних поверхностей наружных стен, включая площадь, занимаемая перегородками и внутренними стенами. При этом площадь лестничных клеток и лифтовых шахт включается в площадь этажа. В отапливаемую площадь здания не включаются площади теплых чердаков и подвалов, неотапливаемых технических этажей, подвала (подполья), холодного чердака.

Площадь жилых помещений здания определяется как сумма площадей всех общих комнат и спален.

Отапливаемый объем здания определяется как произведение отапливаемой площади этажа на внутреннюю высоту, измеряемую от поверхности пола первого этажа до поверхности потолка последнего этажа.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

входных дверей	$A_{дв}, м^2$	17,10	
чердачных перекрытий (холодного чердака)	$A_{черд}, м^2$	493,24	
перекрытий над техническими подпольями	$A_{цок1}, м^2$	493,24	

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений принимаем на основании теплотехнического расчета соответствующих ограждающих конструкций. Для стеновых панелей, окон, балконных дверей и входных дверей данный показатель принимаем на основании данных указанных в паспортах и сертификатах на данные конструкции.

Для многослойных стеновых панелей толщиной 300 мм приведенное сопротивление теплопередаче $R_0^{пр} = 1,5 м^2 \cdot ^\circ C / Вт$.

Для окон и балконных дверей в деревянных переплетах с 2-м остеклением $R_0^{пр} = 0,4 м^2 \cdot ^\circ C / Вт$.

Для деревянных входных дверей $R_0^{пр} = 0,43 м^2 \cdot ^\circ C / Вт$.

Для чердачного перекрытия и перекрытия над техническим подпольем расчет приведенного сопротивления теплопередаче выполняется в соответствии с Приложением Е [26].

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания $R_0^{пр}$, ($м^2 \cdot ^\circ C$)/Вт, определяют по формуле:

$$R_0^{пр} = r \cdot R_0^{усл}, \quad (2.1)$$

где r – коэффициент теплотехнической однородности, который определяется согласно таблицы 8 [24]. Для чердачных перекрытий и перекрытий над техподпольями – 0,8.

$R_0^{усл}$ – условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки здания i -го вида, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$, которое определяется по формуле (Е.6) Приложения Е [26]:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$R_0^{усл} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_H}, \quad (2.2)$$

где α_B – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С), принимаемый согласно таблице 4 [26].

Для чердачных перекрытий и перекрытий над техподпольями $\alpha_B = 8,7$ Вт/(м²·°С);

α_H – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С), принимаемый согласно таблице 6 [26].

Для чердачных перекрытий и перекрытий над техподпольями $\alpha_H = 23$ Вт/(м²·°С);

R_s – термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, (м²·°С)/Вт, определяемое для материальных слоев по формуле (Е.7)

Приложения Е [26]:

$$R_s = \frac{\delta_s}{\lambda_s} \cdot y_s^{y.э.}, \quad (2.3)$$

где δ_s – толщина слоя, м;

λ_s – расчетная теплопроводность материала слоя, Вт/(м·°С);

$y_s^{y.э.}$ – коэффициент условий эксплуатации материала слоя, доли ед. При отсутствии данных принимается равным 1.

Расчет приведенного сопротивления теплопередачи для чердачного перекрытия:

Конструкция чердачного перекрытия приведена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Конструкция чердачного перекрытия

Материал слоя	δ , м	λ , Вт/(м·°С)
железобетонные плита	0,160	1,920
утеплитель	0,100	0,032
стяжка из ЦПР	0,050	0,760

Вычислим условное сопротивление теплопередаче, $R_0^{усл}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ для чердачного перекрытия по формулам (2.2) и (2.3):

$$R_{0,черд}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,16}{1,92} + \frac{0,1}{0,032} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{1}{23} = 3,43 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

Вычислим приведенное сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия $R_0^{пр}$, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, по формуле (2.1):

$$R_{0,черд}^{пр} = 0,8 \cdot 3,43 = 2,75 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$$

Расчет приведенного сопротивления теплопередачи для перекрытия над техническим подпольем:

Конструкция перекрытия над техническим подпольем приведена в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Конструкция перекрытия над техническим подпольем

Материал слоя	δ , м	λ , Вт/(м \cdot °C)
железобетонные плита	0,10	1,920
утеплитель	0,05	0,032
стяжка из ЦПР	0,05	0,760

Вычислим условное сопротивление теплопередаче, $R_0^{усл}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ для перекрытия над техническим подпольем по формулам (2.2) и (2.3):

$$R_{0,подп}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,1}{1,92} + \frac{0,05}{0,032} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{1}{23} = 1,84 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

Вычислим приведенное сопротивление теплопередаче перекрытия над техническим подпольем $R_0^{пр}$, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, по формуле (2.1):

$$R_{0,подп}^{пр} = 0,8 \cdot 1,84 = 1,47 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$$

Теплотехнические показатели ограждающих конструкций здания приведены в таблице 2.5.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

Таблица 2.5 – Теплотехнические показатели ограждающих конструкций здания

Показатель	Обозначение и единица измерения	Расчетное проектное значение	Фактическое значение
Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений, в том числе:	$R_0^{пр}$, м ² ·°С/Вт		
стен	$R_{0,ст}^{пр}$, м ² ·°С/Вт	1,5	
окон и балконных дверей	$R_{0,ок1}^{пр}$, м ² ·°С/Вт	0,4	
входных дверей	$R_{0,дв}^{пр}$, м ² ·°С/Вт	0,43	
чердачных перекрытий (холодного чердака)	$R_{0,черд}^{пр}$, м ² ·°С/Вт	2,75	
перекрытий над техническими подпольями	$R_{0,док1}^{пр}$, м ² ·°С/Вт	1,47	

Расчетные климатические характеристики региона принимают согласно СП 131.13330.2012 [25].

Расчетные климатические показатели холодного периода года для г. Челябинск Челябинской области принимают согласно таблицы 3.1 [25]. Расчетные климатические показатели определяют как:

- Расчетная температура наружного воздуха t_n принимается по средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92;
- Средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{от}$, принимается по средней температуре наружного воздуха, периода со средней суточной температурой воздуха ≤ 8 °С;
- Продолжительность отопительного периода $Z_{от}$ определяется по продолжительности периода со средней суточной температурой воздуха ≤ 8 °С;

										Лист
										39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ					

Расчетная температура внутреннего воздуха t_v с учетом показателей холодного периода года определяется согласно таблицы 1 [27].

Для определения градусо-суток отопительного периода ГСОП воспользуемся формулой (5.2) [26]:

$$\text{ГСОП} = (t_v - t_{от}) \cdot Z_{от}, \quad (2.4)$$

где $t_{от}$, $Z_{от}$ – средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут/год;

t_v – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С.

По формуле (2.1) определим величину градусо-суток отопительного периода для г. Челябинска:

$$\text{ГСОП} = (21 - (-6,5)) \cdot 218 = 5995 \text{ °С} \cdot \text{сут}$$

Расчетная температура техподполья $t_{подп}$ принимается равной + 5 °С, исходя из наличия в нем трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения.

Расчетные параметры внутренней среды зданий и наружные климатические показатели, необходимые для расчета представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Расчетные параметры внутренней среды зданий и наружные климатические показатели для г. Челябинска

Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
Расчетная температура наружного воздуха для проектирования теплозащиты	t_n	°С	-34
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°С	-6,5
Продолжительность отопительного периода	$Z_{от}$	сут	218

Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	°С · сут	5 995
Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	t_B	°С	+21
Расчетная температура чердака	$t_{\text{черд}}$	°С	-
Расчетная температура техподполья	$t_{\text{подп}}$	°С	+5

Согласно п. 5.1 СП 50.13330.2012 [26] теплозащитная оболочка здания должна отвечать поэлементному требованию (приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений).

Для определения нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $R_0^{\text{норм}}$, (м²·°С)/Вт, воспользуемся формулой (5.1) [26]:

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тр}} \cdot m_p, \quad (2.5)$$

где $R_0^{\text{тр}}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, м²·°С/Вт;

m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства.

Значения коэффициента $m_p = 0,63$ – для стен, $m_p = 1$ – для светопрозрачных конструкций, $m_p = 0,8$ – для остальных ограждающих конструкций.

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода, (ГСОП), °С·сут/год, региона и определять по таблице 3 [26].

Для величин ГСОП, отличающихся от табличных, значение $R_0^{\text{тр}}$ следует определять по формуле:

$$R_0^{\text{тр}} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (2.6)$$

										Лист
										41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Нормируемое значение приведенного вычисленное по формуле (2.5) и базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций в зависимости от градусо-суток отопительного периода, определенное в соответствии с Таблицей 3 [26] и вычисленное по формуле (2.6) для г. Челябинска, представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Нормируемое значение приведенного и базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций

Наружные ограждающие конструкции здания	a	b	ГСОП, °С · сут	R_0^{TP} , м ² ·°С/Вт	m_p	$R_0^{норм}$, (м ² ·°С)/Вт
Стены наружные	0,00035	1,4	5995	3,5	0,63	2,21
Оконные, дверные блоки	-	-	5995	0,73	1	0,73
Перекрытия чердачные	0,00045	1,9	5995	4,6	0,8	3,68

2.2. Вычисление расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания

Показателем расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого или общественного здания, является удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания численно равная расходу тепловой энергии на 1 м³ отапливаемого объема здания в единицу времени при перепаде температуры в 1°С.

Расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания определяется согласно Приложения Г [26] с учетом климатических условий, выбранных объемно-планировочных решений, ориентации здания, теплозащитных свойств ограждающих конструкций,

принятой системы вентиляции здания, а также применения энергосберегающих технологий.

При этом согласно пункту 10.1 [26] к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания предъявляется следующее требование:

$$q_{от}^p \leq q_{от}^{тр}, \quad (2.7)$$

где $q_{от}^{тр}$ – нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, Вт/(м³·°C).

Расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания должно быть меньше или равно нормируемого значения $q_{от}^{тр}$, Вт/(м³·°C).

Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, $q_{от}^{тр}$, Вт/(м³·°C) для жилого многоквартирного дома в зависимости от этажности приведена в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий

Тип здания	Этажность здания							
	1	2	3	4,5	6,7	8,9	10,11	12 и выше
Жилые многоквартирные, гостиницы, общежития	0,455	0,414	0,372	0,359	0,336	0,319	0,301	0,290

Расчетную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, $q_{от}^p$, Вт/(м³·°C) определяют по формуле (Г.1) Приложения Г [26]:

$$q_{от}^p = [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) \cdot \nu \cdot \zeta] \cdot (1 - \xi) \cdot \beta_h, \quad (2.8)$$

где $k_{об}$ – удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м³ · °С);

$k_{вент}$ – удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/(м³ · °С);

$k_{быт}$ – удельная характеристика бытовых тепловыделений здания, Вт/(м³·°С);

$k_{рад}$ – удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м³·°С);

ξ – коэффициент, учитывающий снижение теплопотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление, принимается до получения статистических данных фактического снижения $\xi = 0,1$;

β_h – коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплопотерями через радиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения для:

многосекционных и других протяженных зданий $\beta_h = 1,13$;

зданий башенного типа $\beta_h = 1,11$;

зданий с отапливаемыми подвалами или чердаками $\beta_h = 1,07$;

зданий с отапливаемыми подвалами и чердаками, а также с квартирными генераторами теплоты $\beta_h = 1,05$.

ν – коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемые значения определяются по формуле $\nu = 0,7 + 0,000025(\text{ГСОП} - 1000) = 0,825$

ζ – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления; рекомендуемые значения: $\zeta = 0,5$ – в системе без термостатов и без авторегулирования на вводе - регулирование центральное в ЦТП или котельной.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Удельную вентиляционную характеристику здания, $k_{\text{вент}}$, Вт/(м³·°С), определяют по формуле (Г.2) Приложения Г [26]:

$$k_{\text{вент}} = 0,28 \cdot c \cdot n_{\text{в}} \cdot \beta_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}}^{\text{вент}} (1 - k_{\text{эф}}), \quad (2.9)$$

где c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг · °С);

$\beta_{\text{в}}$ – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций. При отсутствии данных принимать $\beta_{\text{в}} = 0,85$;

$\rho_{\text{в}}^{\text{вент}}$ – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м³, определяемая по формуле $\rho_{\text{в}}^{\text{вент}} = 353/[273 + t_{\text{от}}]$ и численно равна:

$$\rho_{\text{в}}^{\text{вент}} = 353/[273 + (-6,5)] = 1,26 \text{ кг/м}^3;$$

$k_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности рекуператора (отличен от нуля в том случае, если средняя воздухопроницаемость квартир жилых и помещений общественных зданий (при закрытых приточно-вытяжных вентиляционных отверстиях) обеспечивает в период испытаний воздухообмен кратностью n_{50} , ч⁻¹, при разности давлений 50 Па наружного и внутреннего воздуха при вентиляции - с механическим побуждением $n_{50} \leq 2$ ч⁻¹);

$n_{\text{в}}$ – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч⁻¹, рассчитывается по суммарному воздухообмену за счет вентиляции и инфильтрации по формуле:

$$n_{\text{в}} = [(L_{\text{вент}} \cdot n_{\text{вент}})/168 + (G_{\text{инф}} \cdot n_{\text{инф}})/(168 \cdot \rho_{\text{в}}^{\text{вент}})]/(\beta_{\text{в}} \cdot V_{\text{от}}), \quad (2.10)$$

где $L_{\text{вент}}$ – количество приточного воздуха в здание при неорганизованном притоке либо нормируемое значение при механической вентиляции, м³/ч, равное для жилых зданий с расчетной заселенностью квартир менее 20 м² общей площади на человека – $3A_{\text{ж}} = 3 \cdot 2093,83 = 6\,281,49$ м³/ч;

$n_{\text{вент}}$ – число часов работы механической вентиляции в течение недели;

168 – число часов в неделе;

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

$n_{\text{инф}}$ – число часов учета инфильтрации в течение недели, ч, равное 168 для зданий с сбалансированной приточно-вытяжной вентиляцией и $(168 - n_{\text{вент}})$ для зданий, в помещениях которых поддерживается подпор воздуха во время действия приточной механической вентиляции;

$V_{\text{от}}$ – отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений зданий, м³;

$\rho_{\text{в}}^{\text{вент}}$ – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м³;

$\beta_{\text{в}}$ – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций;

$G_{\text{инф}}$ – количество инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции, кг/ч: для жилых зданий - воздуха, поступающего в лестничные клетки в течение суток отопительного периода, определяемое по формуле:

$$G_{\text{инф}} = (A_{\text{ок}}/R_{\text{и,ок}}^{\text{мп}})(\Delta p_{\text{ок}}/10)^{2/3} + (A_{\text{дв}}/R_{\text{и,дв}}^{\text{мп}})(\Delta p_{\text{дв}}/10)^{1/2}, \quad (2.11)$$

где $A_{\text{ок}}, A_{\text{дв}}$ – соответственно суммарная площадь окон, балконных дверей и входных наружных дверей, м²;

$R_{\text{и,ок}}^{\text{мп}}, R_{\text{и,дв}}^{\text{мп}}$ – соответственно требуемое сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей и входных наружных дверей, (м²·ч)/кг, определяют по формуле:

– для окон и балконных дверей наружных переходов лестнично- лифтового узла согласно формуле:

$$R_{\text{и,ок}}^{\text{тр}} = (1/G_{\text{н}}) \cdot (\Delta p / \Delta p_0)^{2/3}, \quad (2.12)$$

– наружных входных дверей в жилом доме согласно формуле:

$$R_{\text{и,дв}}^{\text{тр}} = (1/G_{\text{н}}) \cdot (\Delta p / \Delta p_0)^{1/2}, \quad (2.13)$$

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

где $\Delta p_0 = 10$ Па – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях светопрозрачных ограждающих конструкций, при которой экспериментально определяется сопротивление воздухопроницанию конструкций выбранного типа.

G_H – нормируемая поперечная воздухопроницаемость ограждающих конструкций, кг/(м²·ч), принимаемая по таблице 9 [26].

$\Delta p_{ок}$, $\Delta p_{дв}$ – соответственно расчетная разность давлений наружного и внутреннего воздуха, Па, для окон и балконных дверей и входных наружных дверей, определяют по формуле:

– для окон и балконных дверей наружных переходов лестнично-лифтового узла согласно формуле:

$$\Delta p_{ок} = 0,28 \cdot H \cdot (\gamma_H - \gamma_B) + 0,03 \cdot \gamma_H \cdot v^2, \quad (2.14)$$

– наружных входных дверей в жилом доме согласно формуле:

$$\Delta p_{дв} = 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_H - \gamma_B) + 0,03 \cdot \gamma_H \cdot v^2, \quad (2.15)$$

где H – высота здания (от уровня пола первого этажа до верха шахты), м;

v – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16% и более, принимаемая по СП 131.13330 (для г. Челябинска – 4,5 м/с).

γ_H, γ_B – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м³, определяемый по формуле:

$$\gamma = 3463 / (273 + t), \quad (2.16)$$

где t – температура воздуха: внутреннего (для определения γ_B), наружного (для определения γ_H).

По формуле (2.16) численно определим удельный вес наружного и внутреннего воздуха:

$$\gamma_B = 3463 / (273 + t_B) = 3463 / (273 + 21) = 11,78 \text{ Н/м}^3$$

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

$$\gamma_{\text{н}} = 3463 / (273 + t_{\text{н}}) = 3463 / (273 + (-34)) = 14,49 \text{ Н/м}^3$$

Подставив численные значения удельного веса наружного и внутреннего воздуха в формулы (2.14) и (2.15) найдем разность давлений наружного и внутреннего воздуха, для окон и балконных дверей и входных наружных дверей:

$$\Delta p_{\text{ок}} = 0,28 \cdot 30 \cdot (14,49 - 11,78) + 0,03 \cdot 14,49 \cdot 4,5^2 = 31,57 \text{ Па}$$

$$\Delta p_{\text{дв}} = 0,55 \cdot 30 \cdot (14,49 - 11,78) + 0,03 \cdot 14,49 \cdot 4,5^2 = 53,52 \text{ Па}$$

По таблице 9 [26] определим нормируемую поперечную воздухопроницаемость ограждающих конструкций $G_{\text{н}}$, кг/(м²·ч), которая численно равна для:

– Входных дверей в жилые, общественные и бытовые здания $G_{\text{н}} = 7 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{ч)}$;

– Окон и балконных дверей жилых, общественных и бытовых зданий и помещений с деревянными переплетами $G_{\text{н}} = 6 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{ч)}$;

– Окон и балконных дверей жилых, общественных и бытовых зданий и помещений с пластмассовыми или алюминиевыми переплетами $G_{\text{н}} = 5 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{ч)}$

Тогда по формуле (2.12) и (2.13) найдем требуемое сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей и входных наружных дверей:

$$R_{\text{и,ок дерев}}^{\text{тр}} = (1/6) \cdot (53,52/10)^{2/3} = 0,51 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч)/кг}$$

$$R_{\text{и,ок пластмас}}^{\text{тр}} = (1/5) \cdot (53,52/10)^{2/3} = 0,61 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч)/кг}$$

$$R_{\text{и,дв}}^{\text{тр}} = (1/7) \cdot (53,52/10)^{1/2} = 0,33 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч)/кг}$$

Определим количество инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции, $G_{\text{инф}}$, кг/ч для этого найденные выше значения подставим в формулу (2.11), тогда для:

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

– Входных дверей в жилые здания и окон и балконных дверей жилых, зданий и помещений с деревянными переплетами:

$$G_{\text{инф}} = (12/0,51)(31,52/10)^{2/3} + (17,10/0,33)(53,52/10)^{1/2} = 170,51 \text{ кг/ч}$$

– Входных дверей в жилые здания и окон и балконных дверей жилых, зданий и помещений с пластмассовыми или алюминиевыми переплетами:

$$G_{\text{инф}} = (12/0,61)(31,52/10)^{2/3} + (17,10/0,33)(53,52/10)^{1/2} = 162,21 \text{ кг/ч}$$

Зная значение $G_{\text{инф}}$, определим среднюю кратность воздухообмена здания за отопительный период $n_{\text{в}}$, ч^{-1} , рассчитываемую по суммарному воздухообмену за счет вентиляции и инфильтрации по формуле (2.10), тогда для:

– Входных дверей в жилые здания и окон и балконных дверей жилых, зданий и помещений с деревянными переплетами:

$$n_{\text{в}} = [(6\ 281,49 \cdot 168)/168 + (170,51 \cdot 168)/(168 \cdot 1,26)]/(0,85 \cdot 13\ 712,04) = 0,551 \text{ ч}^{-1}$$

– Входных дверей в жилые здания и окон и балконных дверей жилых, зданий и помещений с пластмассовыми или алюминиевыми переплетами:

$$n_{\text{в}} = [(6\ 281,49 \cdot 168)/168 + (162,21 \cdot 168)/(168 \cdot 1,26)]/(0,85 \cdot 13\ 712,04) = 0,549 \text{ ч}^{-1}$$

Численное значение средней кратности воздухообмена здания за отопительный период, $n_{\text{в}}$, для входных дверей в жилые здания и окон и балконных дверей жилых зданий с деревянными, пластмассовыми или алюминиевыми переплетами оказалось приблизительно одинаковым. В дальнейшем для упрощения расчета примем среднее значение $n_{\text{в}} = 0,55 \text{ ч}^{-1}$.

Зная численные величины всех параметров найдем удельную вентиляционную характеристику здания, $k_{\text{вент}}$, по формуле (2.9):

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

$$k_{\text{вент}} = 0,28 \cdot 1 \cdot 0,55 \cdot 0,85 \cdot 1,26 \cdot (1 - 0) = 0,165 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$$

Удельную характеристику бытовых тепловыделений здания, $k_{\text{быт}}$, Вт/(м³·°С), определяют по формуле Г.6 Приложения Г [26]:

$$k_{\text{быт}} = \frac{q_{\text{быт}} \cdot A_{\text{ж}}}{V_{\text{от}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{от}})}, \quad (2.17)$$

где $q_{\text{быт}}$ – величина бытовых тепловыделений на 1 м² площади жилых помещений ($A_{\text{ж}}$), принимаемая для жилых зданий с расчетной заселенностью квартир менее 20 м² общей площади на человека $q_{\text{быт}} = 17 \text{ Вт}/\text{м}^2$;

$t_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха, °С;

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С.

$A_{\text{ж}}$ – для жилых зданий - площадь жилых помещений ($A_{\text{ж}}$), к которым относятся спальни, детские, гостиные, кабинеты, библиотеки, столовые, кухни-столовые;

$V_{\text{от}}$ – отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений зданий, м³.

Площадь жилых помещений в здании составляет $A_{\text{ж}} = 2093,83 \text{ м}^2$;

Величина удельных бытовых тепловыделений на 1 м² площади жилых помещений $q_{\text{быт}}$ принимается с учетом социальной нормы 17 Вт/м²;

Отапливаемый объем здания составляет $V_{\text{от}} = 13\,712,04 \text{ м}^3$.

Вычислим удельную характеристику бытовых тепловыделений здания, $k_{\text{быт}}$, Вт/(м³·°С) для рассматриваемого объекта по формуле (2.17):

$$k_{\text{быт}} = \frac{17 \cdot 2093,83}{13\,712,04 \cdot (21 - (-34))} = 0,047 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$$

Удельную характеристику теплопоступлений в здание от солнечной радиации, $k_{\text{рад}}$, Вт/(м³·°С), определяют по формуле Г.7 Приложения Г [26]:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 \cdot Q_{\text{рад}}^{\text{год}}}{(V_{\text{от}} \cdot \text{ГСОП})}, \quad (2.18)$$

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где $V_{от}$ – отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений зданий, м³;

ГСОП – Градусо-сутки отопительного периода, °С·сут/год;

$Q_{рад}^{год}$ – теплоступления через окна и фонари от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж/год, для четырех фасадов зданий, ориентированных по четырем направлениям, определяемые по формуле:

$$Q_{рад}^{год} = \tau_{1ок} \tau_{2ок} (A_{ок1} I_1 + A_{ок2} I_2 + A_{ок3} I_3 + A_{ок4} I_4) + \tau_{1фон} \tau_{2фон} A_{фон} I_{гор}, \quad (2.19)$$

где $\tau_{1ок}$, $\tau_{1фон}$ – коэффициенты относительного проникания солнечной радиации для светопропускающих заполнений соответственно окон и зенитных фонарей, принимаемые по паспортным данным соответствующих светопропускающих изделий; при отсутствии данных следует принимать по СП; мансардные окна с углом наклона заполнений к горизонту 45° и более следует считать как вертикальные окна, с углом наклона менее 45° - как зенитные фонари;

$\tau_{2ок}$, $\tau_{2фон}$ – коэффициенты, учитывающие затенение светового проема соответственно окон и зенитных фонарей непрозрачными элементами заполнения, принимаемые по проектным данным; при отсутствии данных следует принимать по своду правил;

$A_{ок1}$, $A_{ок2}$, $A_{ок3}$, $A_{ок4}$ – площадь светопроемов фасадов здания (глухая часть балконных дверей исключается), соответственно ориентированных по четырем направлениям, м²;

$A_{фон}$ – площадь светопроемов зенитных фонарей здания, м²;

I_1 , I_2 , I_3 , I_4 – средняя за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальные поверхности при действительных условиях облачности, соответственно ориентированная по четырем фасадам здания, МДж/(м²·год);

$I_{гор}$ – средняя за отопительный период величина солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, МДж/(м²·год), определяется по СП.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Среднюю за отопительный период величину солнечной радиации на вертикальную поверхность при действительных условиях облачности МДж/(м²·год), за отопительный период определим по [28], значения приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Средняя величина суммарной солнечной радиации на горизонтальную и вертикальные поверхности при действительных условиях облачности I , МДж/м², за отопительный период

Город	Горизонтальные поверхности	Вертикальные поверхности с ориентацией на				
		С	СВ/СЗ	В/З	ЮВ/ЮЗ	Ю
Челябинск	1375	748	825	1086	1480	1650

Площадь светопропускающих вертикальных наружных ограждающих конструкций ($A_{ок,i}$, м²) ориентированных по четырем направлениям для жилого дома равняется:

- Юг: $A_{ок ю} = 227,605 \text{ м}^2$;
- Север: $A_{ок с} = 227,605 \text{ м}^2$.

Коэффициенты $\tau_{1ок}$, $\tau_{2ок}$ принимаем согласно приложения Л [29], так:

– Для окон в деревянном переплете с 2-м остеклением коэффициент относительного проникания солнечной радиации $\tau_{1ок} = 0,62$, коэффициент учитывающий затенение светового проема $\tau_{2ок} = 0,75$;

– Для окон в пластиковом переплете с 2-м стеклопакетом коэффициент относительного проникания солнечной радиации $\tau_{1ок} = 0,74$, коэффициент учитывающий затенение светового проема $\tau_{2ок} = 0,8$;

– Для окон в пластиковом переплете с 2-м стеклопакетом с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном коэффициент относительного проникания солнечной радиации $\tau_{1ок} = 0,68$, коэффициент учитывающий затенение светового проема $\tau_{2ок} = 0,8$.

Так как мансардные окна с углом наклона к горизонтальной плоскости меньше 45°, а также зенитные фонари отсутствуют значение $A_{ф} = 0$.

Вычислим теплопоступления через окна от солнечной радиации в течение отопительного периода, $Q_{\text{рад}}^{\text{год}}$, МДж/год, для четырех фасадов зданий, ориентированных по четырем направлениям, для разных конструкций окон, определяемые по формуле (2.19):

– Для окон в деревянном переплете с 2-м остеклением:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = 0,62 \cdot 0,75 \cdot (227,605 \cdot 1650 + 227,605 \cdot 748) = 253\,795,51 \text{ МДж/год}$$

– Для окон в пластиковом переплете с 2-м стеклопакетом:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = 0,74 \cdot 0,8 \cdot (227,605 \cdot 1650 + 227,605 \cdot 748) = 323\,111,70 \text{ МДж/год}$$

– Для окон в пластиковом переплете с 2-м стеклопакетом с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = 0,68 \cdot 0,8 \cdot (227,605 \cdot 1650 + 227,605 \cdot 748) = 296\,913,45 \text{ МДж/год}$$

Зная численные значения теплопоступления через окна от солнечной радиации в течение отопительного периода, $Q_{\text{рад}}^{\text{год}}$, вычислим удельную характеристику теплопоступлений в здание от солнечной радиации, $k_{\text{рад}}$, Вт/(м³·°С), по формуле (2.18):

– Для окон в деревянном переплете с 2-м остеклением:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 \cdot 253\,795,51}{(13\,712,04 \cdot 5995)} = 0,036 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°С)}$$

– Для окон в пластиковом переплете с 2-м стеклопакетом:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 \cdot 323\,111,70}{(13\,712,04 \cdot 5995)} = 0,046 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°С)}$$

– Для окон в пластиковом переплете с 2-м стеклопакетом с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном:

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 \cdot 296 \, 913,45}{(13 \, 712,04 \cdot 5995)} = 0,042 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

Численные значения удельной характеристики теплопоступлений в здание от солнечной радиации, $k_{\text{рад}}$, для разных типов окон оказались приблизительно одинаковыми. В дальнейшем для упрощения расчета примем среднее значение $k_{\text{рад}} = 0,042 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$.

Удельную теплозащитную характеристику здания, $k_{\text{об}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$, рассчитывают по формуле Ж.1 Приложения Ж [26]:

$$k_{\text{об}} = \frac{1}{V_{\text{от}}} \sum_i \left(n_{t,i} \frac{A_{\text{ф},i}}{R_{\text{o},i}^{\text{пр}}} \right) = K_{\text{комп}} K_{\text{общ}}, \quad (2.20)$$

где $R_{\text{o},i}^{\text{пр}}$ – приведенное сопротивление теплопередаче i -го фрагмента теплозащитной оболочки здания, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$;

$A_{\text{ф},i}$ – площадь соответствующего фрагмента теплозащитной оболочки здания, м^2 ;

$V_{\text{от}}$ – отапливаемый объем здания, м^3 ;

$n_{t,i}$ – коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от принятых в расчете, определяется по формуле:

$$n_t = \frac{t_{\text{в}}^* - t_{\text{от}}^*}{t_{\text{в}} - t_{\text{от}}}, \quad (2.21)$$

где $t_{\text{в}}^*$, $t_{\text{от}}^*$ – средняя температура внутреннего и наружного воздуха для данного помещения, $^\circ\text{C}$;

$K_{\text{общ}}$ – общий коэффициент теплопередачи здания, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, определяемый по формуле:

$$K_{\text{общ}} = \frac{1}{A_{\text{н}}^{\text{сум}}} \sum_i \left(n_{t,i} \frac{A_{\text{ф},i}}{R_{\text{o},i}^{\text{пр}}} \right); \quad (2.22)$$

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

$K_{\text{комп}}$ – коэффициент компактности здания, м^{-1} , определяемый по формуле:

$$K_{\text{комп}} = \frac{A_{\text{н}}^{\text{сум}}}{V_{\text{от}}}, \quad (2.23)$$

где $A_{\text{н}}^{\text{сум}}$ – сумма площадей (по внутреннему обмеру всех наружных ограждений теплозащитной оболочки здания, м^2).

Коэффициент n_t , учитывающий зависимость положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от принятых в расчете), для техподполья жилого дома, поскольку расчетная температура $t_{\text{подп}}$, принимается большей $t_{\text{н}}$, но меньшей $t_{\text{вн}}$, то коэффициент n_t для цокольного перекрытия рассчитывается по формуле (2.21) и численно равен:

$$n_t = \frac{21 - 5}{21 - (-6,5)} = 0,58$$

Для всех остальных ограждающих конструкций $n_t = 1$.

Отапливаемый объем здания составляет $V_{\text{от}} = 13\,712,04 \text{ м}^3$.

Площадь каждого фрагмента теплозащитной оболочки здания, $A_{\text{ф},i}$, м^2 приведена в таблице 2.2.

Приведенные сопротивления теплопередаче всех фрагментов теплозащитной оболочки здания, $R_{o,i}^{\text{пр}}$, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ приведены в таблице 2.5.

Для вычисления удельной теплозащитной характеристики жилого дома, $k_{\text{об}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$, подставим найденные выше значения в формулу (2.20):

$$k_{\text{об}} = \frac{1}{13\,712,04} \left(1 \cdot \frac{2\,507,85}{1,5} + 1 \cdot \frac{455,21}{0,4} + 1 \cdot \frac{17,10}{0,43} + 1 \cdot \frac{493,24}{2,75} + 0,58 \times \frac{493,24}{1,47} \right) = 0,235 \text{ Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

Согласно п. 5.1 [26] теплозащитная оболочка здания должна отвечать комплексному требованию (удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения):

$$k_{об} < k_{об}^{тр}$$

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания, $k_{об}^{тр}$, Вт/(м²·°С), принимают в зависимости от отапливаемого объема здания и градусо-суток отопительного периода согласно Таблице 7 [26] с учетом примечаний.

Для промежуточных значений величин объема зданий и ГСОП значение, $k_{об}^{тр}$, Вт/(м²·°С), рассчитывается по формулам:

$$k_{об}^{тр} = \begin{cases} \frac{4,74}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{V_{от}}} & V_{от} \leq 960 \\ \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{от}}}}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61} & V_{от} > 960 \end{cases}, \quad (2.24)$$

$$k_{об}^{тр} = \frac{8,5}{\sqrt{\text{ГСОП}}}, \quad (2.25)$$

При достижении величиной $k_{об}^{тр}$, вычисленной по (2.24), значений меньших, чем определенных по формуле (2.25), следует принимать значения $k_{об}^{тр}$, определенные по формуле (2.25).

Вычислим значение $k_{об}^{тр}$ по формуле (2.24) для $V_{от} > 960$ и (2.25):

$$k_{об}^{тр} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{13712,04}}}{0,00013 \cdot 5995 + 0,61} = 0,177 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$$

$$k_{об}^{тр} = \frac{8,5}{\sqrt{5995}} = 0,110 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$$

Так как величина $k_{об}^{тр}$, вычисленная по формуле (2.24) больше, чем определенная по формуле (2.25), принимаем значение $k_{об}^{тр}$, по формуле (2.24).

Величина удельной теплозащитной характеристики здания превышает нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания на 33%.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Для повышения величины удельной теплозащитной характеристики здания необходимо повысить теплотехнические показатели ограждающих конструкций здания.

Проанализировав данные таблицы 2.5 и таблицы 2.7 можно сделать вывод, что наибольший вклад в тепловые потери здания в данном случае вносят окна, стены, слабо утепленное чердачное перекрытие. Перекрытие над техническим подпольем имеет приведенное сопротивление теплопередаче меньше по сравнению с требуемым значением, однако повышение показателя не целесообразно, так как за счет наличия в техподполье трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения средняя температура в течение отопительного периода в нем равна + 5 °С.

Рассмотрим вариант увеличения удельной теплозащитной характеристики здания за счет повышения сопротивления теплопередаче окон.

Определим зависимость величины удельной теплозащитной характеристики здания от приведенного сопротивления теплопередаче окон при неизменности остальных величин теплотехнических показателей ограждающих конструкций здания. Зависимость представлена в таблице 2.10 и на рисунке 2.1.

Таблица 2.10 – Зависимость величины удельной теплозащитной характеристики здания от приведенного сопротивления теплопередаче окон

$R_{0,ок}^{пр}$ ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$k_{об}$, Вт/($m^3 \cdot ^\circ C$)	0,235	0,219	0,207	0,200	0,194	0,188	0,185

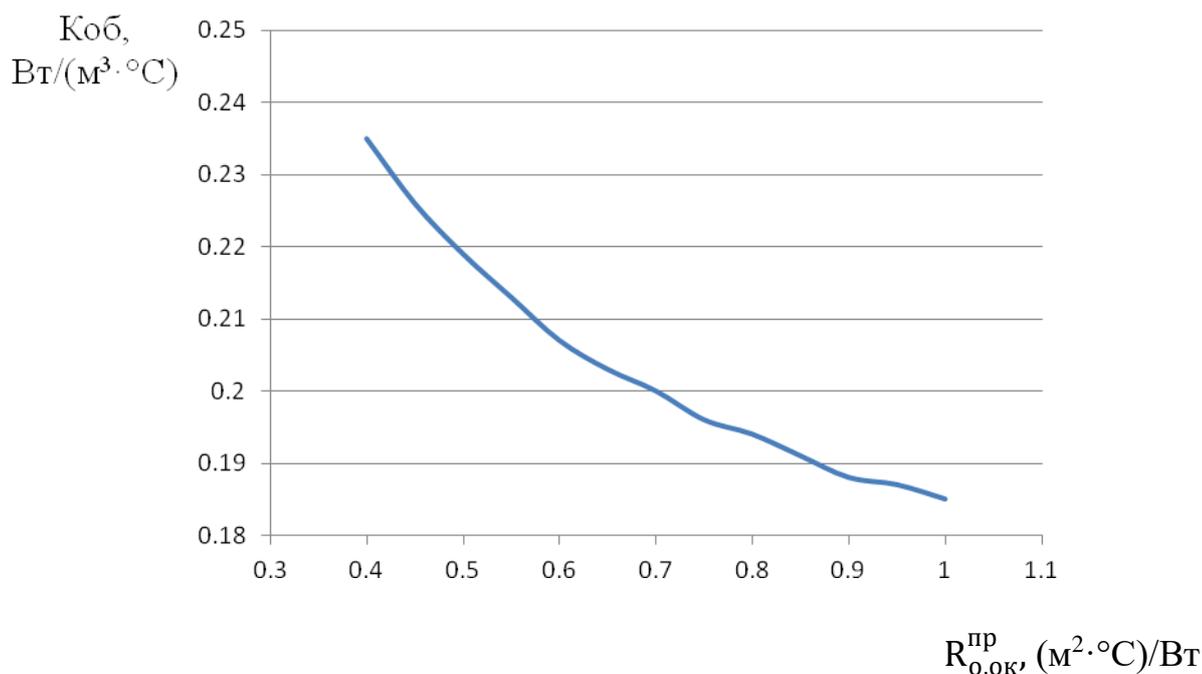


Рисунок 2.1 – График зависимости величины удельной теплозащитной характеристики здания от приведенного сопротивления теплопередаче окон

Проанализировав данные таблицы 2.10 и рисунка 2.1 можно сделать вывод о том, что повышение удельной теплозащитной характеристики здания за счет замены деревянных окон с 2-м остеклением $R_{0,ок}^{пр} = 0,4 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ на окна с большим значением приведенного сопротивления теплопередаче является недостаточной мерой. Даже при сопротивлении теплопередаче окна выше базового значения $R_0^{тр} = 0,73 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ величина удельной теплозащитной характеристики здания превышает нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания.

Рассмотрим вариант увеличения удельной теплозащитной характеристики здания за счет повышения сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия.

Определим зависимость величины удельной теплозащитной характеристики здания от приведенного сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия при неизменности остальных величин теплотехнических показателей ограждающих конструкций здания. Зависимость представлена в таблице 2.11 и на рисунке 2.2.

Таблица 2.11 – Зависимость величины удельной теплозащитной характеристики здания от приведенного сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия

$R_{0, черд}^{пр}$ ($м^2 \cdot ^\circ C$)/Вт	2,75	3	3,5	4	4,5	5	5,5
$k_{об}$, Вт/($м^3 \cdot ^\circ C$)	0,235	0,234	0,232	0,231	0,230	0,229	0,228

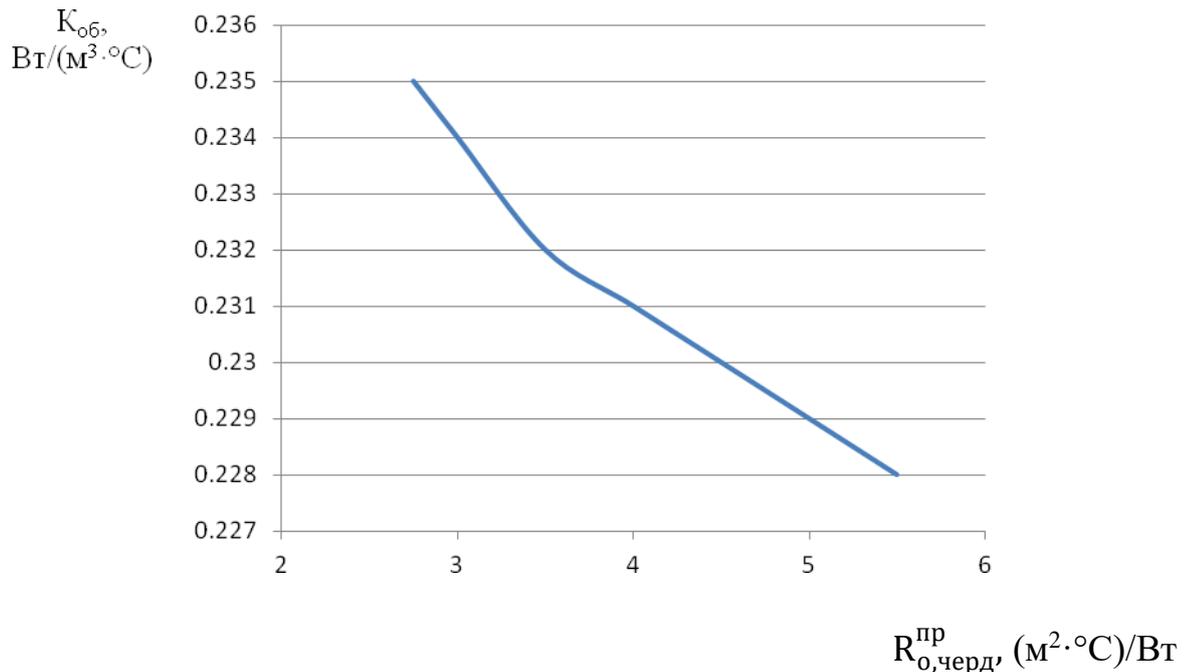


Рисунок 2.2 – График зависимости величины удельной теплозащитной характеристики здания от приведенного сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия

Проанализировав данные таблицы 2.11 и рисунка 2.2 можно сделать вывод о том, что повышение удельной теплозащитной характеристики здания за счет доутепления чердачного перекрытия является недостаточной мерой. Даже при сопротивлении теплопередаче чердачного перекрытия выше базового значения $R_0^{тр} = 4,6 \text{ м}^2 \cdot ^\circ C/\text{Вт}$ величина удельной теплозащитной характеристики здания намного превышает нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания.

Рассмотрим вариант увеличения удельной теплозащитной характеристики здания за счет повышения сопротивления теплопередаче наружных стен.

Определим зависимость величины удельной теплозащитной характеристики здания от приведенного сопротивления теплопередаче стен при неизменности остальных величин теплотехнических показателей ограждающих конструкций здания. Зависимость представлена в таблице 2.12 и на рисунке 2.3.

Таблица 2.12 – Зависимость величины удельной теплозащитной характеристики здания от приведенного сопротивления теплопередаче стен

$R_{o,ст}^{пр}$ ($м^2 \cdot ^\circ C$)/Вт	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
$k_{об}$, Вт/($м^3 \cdot ^\circ C$)	0,235	0,205	0,186	0,174	0,165	0,159	0,154	0,149	0,146

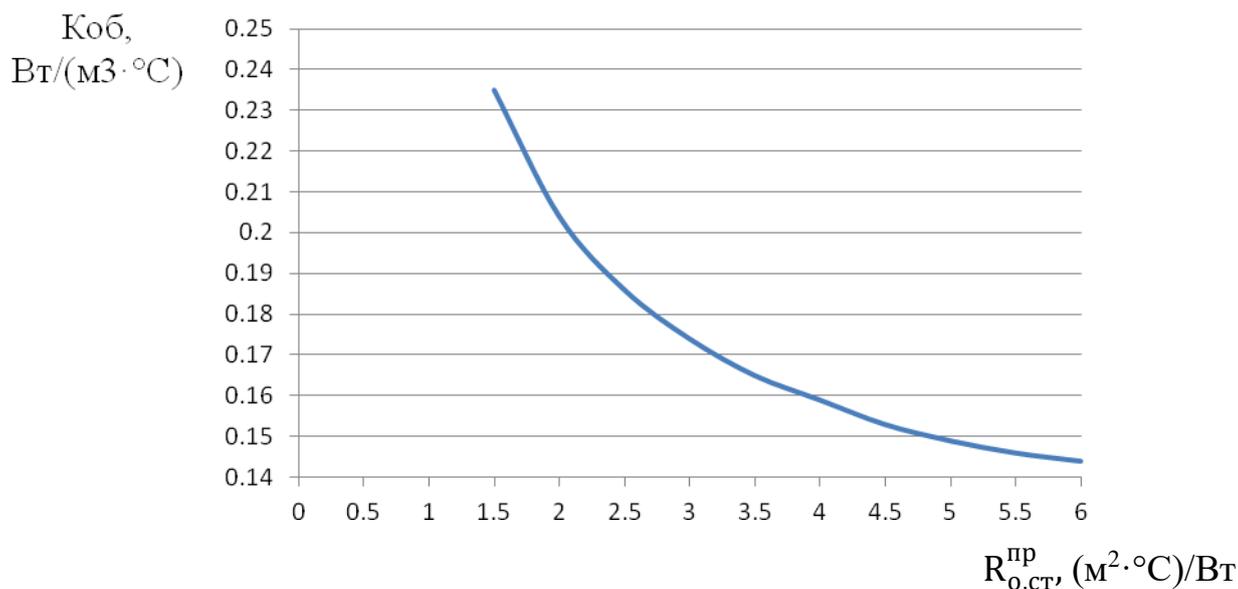


Рисунок 2.3 – График зависимости величины удельной теплозащитной характеристики здания от приведенного сопротивления теплопередаче стен

Проанализировав данные таблицы 2.11 и рисунка 2.2 можно сделать вывод о том, что повышение удельной теплозащитной характеристики здания за счет дополнительного утепления наружных стен является эффективной мерой. Как видно на рисунке 2.2 из графика зависимости величины удельной теплозащитной

характеристики здания от приведенного сопротивления теплопередаче стен, величина удельной теплозащитной характеристики здания становится меньше нормируемого значения при $R_{0,ст}^{пр} > 2,9 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$. Однако $R_{0,ст}^{пр} = 2,9 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ численно больше, чем нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче стены $R_0^{норм} = 2,21 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Анализ результатов показал, что для того чтобы теплозащитная оболочка здания соответствовала комплексному требованию (удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения) необходимо проведение комплексных мероприятий по повышению теплотехнических показателей ограждающих конструкций здания (замена окон, утепление наружных стен, доутепление чердачного перекрытия). При этом наиболее эффективными являются мероприятия по замене окон на окна с большим сопротивлением теплопередаче, а также утепления наружных стен.

Вычислим численное значение расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, $q_{от}^p$, Вт/(м³·°C) по формуле (2.8) для выбранного в качестве объекта исследования жилого дома :

$$q_{от}^p = [0,235 + 0,165 - (0,047 + 0,042) \cdot 0,825 \cdot 0,5] \cdot (1 - 0) \cdot 1,11 = 0,403$$

Проверим, соблюдается ли требование к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, для этого проверим выполняется ли условие неравенства, формула (2.7):

$$0,403 \leq 0,301$$

Условие не выполняется, что ожидаемо так как здание не соответствует требованиям тепловой защиты.

Значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания больше нормируемого значения, следовательно необходимо проводить мероприятия по снижению энергопотребления.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Определим удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период q , кВт·ч/(м³·год) или, кВт·ч/(м²·год) по формуле (Г.9) и (Г.9а) Приложения Г [26] :

$$q = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot q_{\text{от}}^p, \quad (2.26)$$

$$q = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot q_{\text{от}}^p \cdot h, \quad (2.27)$$

где $q_{\text{от}}^p$ – расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, Вт/(м³·°С);

h – средняя высота этажа здания, м, равная $\frac{V_{\text{от}}}{A_{\text{от}}} = \frac{13\,712,04}{4\,439,16} = 3,09$ м.

Вычислим расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период q , кВт·ч/(м³·год) или, кВт·ч/(м²·год) подставив численные значения в формулу (2.26) и (2.27):

$$q = 0,024 \cdot 5995 \cdot 0,403 = 57,98 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^3\cdot\text{год})$$

$$q = 0,024 \cdot 5995 \cdot 0,403 \cdot 3,09 = 179,17 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$$

Определим расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{\text{от}}^{\text{год}}$, кВт·ч/год, по формуле (Г.10) Приложения Г [26]:

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot V_{\text{от}} \cdot q_{\text{от}}^p, \quad (2.28)$$

Определим общие теплопотери здания за отопительный период $Q_{\text{общ}}^{\text{год}}$, кВт·ч/год, по формуле (Г.11) Приложения Г [26]:

$$Q_{\text{общ}}^{\text{год}} = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot V_{\text{от}} \cdot (k_{\text{об}} + k_{\text{вент}}), \quad (2.29)$$

Вычислим расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{\text{от}}^{\text{год}}$, кВт·ч/год, по формуле (2.28) и общие теплопотери здания за отопительный период $Q_{\text{общ}}^{\text{год}}$, кВт·ч/год, по формуле (2.29):

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0,024 \cdot 5995 \cdot 13\,712,04 \cdot 0,403 = 795\,074,02 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$$

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

$$Q_{\text{общ}}^{\text{год}} = 0,024 \cdot 5995 \cdot 13\,712,04 \cdot (0,235 + 0,165) = 789\,155,33 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}$$

2.3 Обработка результатов исследований

В результате вычисления расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания по методике СП 50.13330.2012 получена величина расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания для десятиэтажного жилого дома в городе Челябинске, построенному и введенному в эксплуатацию до 2000 года.

Согласно требования к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий: расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания должно быть меньше или равно нормируемого значения. При сравнении величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания $q_{\text{от}}^{\text{р}} = 0,403 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ с нормируемым показателем $q_{\text{от}}^{\text{тр}} = 0,301 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ определенным по таблице 14 СП 50.13330.2012, оказалось что расчетная величина превосходит нормируемую (базовую) удельную характеристику расхода тепловой энергии. Следовательно, требование к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий для данного жилого дома не выполняется.

В целях снижения величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания следует выполнить комплекс мероприятий, направленных на увеличение энергоэффективности.

Определим класс энергосбережения жилого дома, для этого найдем значение отклонения расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого дома от нормируемой (базовой) величины:

$$k = \frac{q_{\text{от}}^{\text{р}} - q_{\text{от}}^{\text{тр}}}{q_{\text{от}}^{\text{тр}}} \cdot 100\% = \frac{0,403 - 0,301}{0,301} \cdot 100\% = 34\%$$

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

Для определения класса энергосбережения здания воспользуемся таблицей 15 СП 50.13330.2012. Согласно таблицы 15, жилой дом относится к классу по энергосбережению «D» (пониженный). Рекомендуемые мероприятия – реконструкция при соответствующем экономическом обосновании.

Для повышения класса энергосбережения жилого дома и снижения величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, необходимо осуществить комплекс мероприятий направленных на повышение теплотехнических показателей ограждающих конструкций здания.

Наиболее эффективными мероприятиями по повышению теплотехнических показателей ограждающих конструкций здания является замена окон на окна с большим сопротивлением теплопередаче, доутепление чердачного перекрытия, а также утепление наружных стен. Утепление перекрытия над техническим подпольем не целесообразно, так как за счет наличия в техподполье трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения средняя температура в течение отопительного периода в нем равна + 5 °С.

Для определения эффективности реализуемых мероприятий, а также определения границ при которых достигается максимальный эффект при реализации каждого из мероприятий, рассмотрим влияние отдельно каждого мероприятия на снижение величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.

Рассмотрим вариант снижения величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за счет повышения сопротивления теплопередаче окон.

Определим зависимость величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от приведенного сопротивления теплопередаче окон при неизменности остальных величин теплотехнических показателей ограждающих конструкций здания. Зависимость представлена в таблице 2.13 и на рисунке 2.4.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

Таблица 2.13 – Зависимость величины расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от приведенного сопротивления теплопередаче окон

$R_{0,ок}^{пр}$ ($м^2 \cdot ^\circ C$)/Вт	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$q_{от}^p$ Вт/($м^3 \cdot ^\circ C$)	0,403	0,385	0,373	0,364	0,357	0,352	0,348

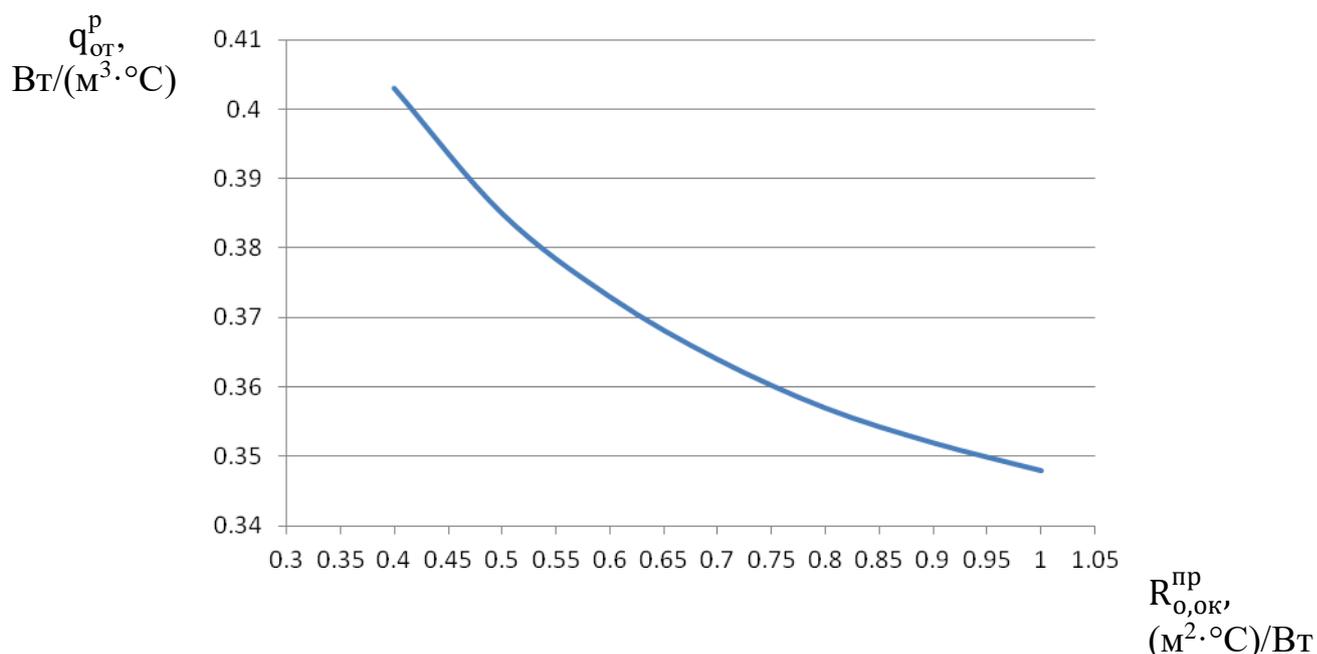


Рисунок 2.4 – График зависимости величины расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от приведенного сопротивления теплопередаче окон

Проанализировав данные таблицы 2.13 и рисунка 2.4 можно сделать вывод о том, что снижение величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за счет замены деревянных окон с 2-м остеклением $R_{0,ок}^{пр} = 0,4$ ($м^2 \cdot ^\circ C$)/Вт на окна с большим значением приведенного сопротивления теплопередаче является эффективным мероприятием. Однако реализация только этого мероприятия не позволяет выполнить требование к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания. Даже при сопротивлении теплопередаче окна выше базового значения

$R_{0,ок}^{TP} = 0,73 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ величина расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания превышает нормируемое значение.

Из рисунка 2.4 видно, что снижение величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за счет повышения сопротивления теплопередаче окон происходит на всех участках графика. Однако минимальным значением приведенного сопротивления теплопередаче окна является нормируемое (базовое) значение (для окон $R_{0,ок}^{норм} = 0,73 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$). На сегодняшний день окна с приведенным сопротивлением теплопередаче больше $R_{0,ок}^{пр} = 1 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, сложны в изготовлении, поэтому не имеют широкого распространения. Исходя из вышеизложенного значения приведенного сопротивления теплопередаче окна при которых достигается максимальный эффект лежат в пределе $0,73 \leq R_{0,ок}^{пр} \leq 1$.

Рассмотрим вариант снижения величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за счет повышения сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия.

Определим зависимость величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от приведенного сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия при неизменности остальных величин теплотехнических показателей ограждающих конструкций здания. Зависимость представлена в таблице 2.14 и на рисунке 2.5.

Таблица 2.14 – Зависимость величины расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от приведенного сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия

$R_{0,черд}^{пр}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)	2,75	3	3,5	4	4,5	5	5,5
$q_{от}^p$ $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$	0,403	0,402	0,400	0,399	0,398	0,397	0,396

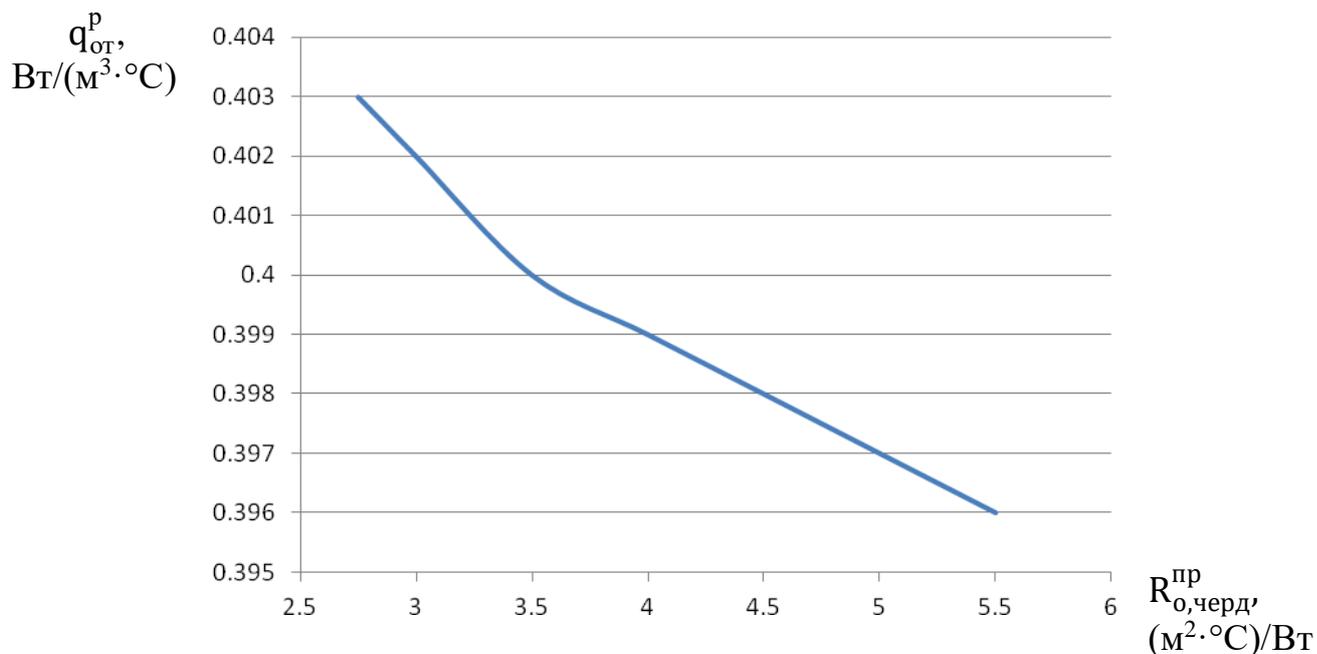


Рисунок 2.5 – График зависимости величины расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от приведенного сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия

Проанализировав данные таблицы 2.14 и рисунка 2.5 можно сделать вывод о том, что повышение удельной теплозащитной характеристики здания за счет доутепления чердачного перекрытия является неэффективным мероприятием. Даже при сопротивлении теплопередаче чердачного перекрытия выше базового значения $R_{0,черд}^{ТР} = 4,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ величина расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания намного превышает нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания.

Из рисунка 2.5 видно, что снижение величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания практически не происходит на всем протяжении графика. Следовательно, мероприятия направленные на дальнейшее повышение приведенного сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия не целесообразны. Однако расчетное проектное значение сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия $R_{0,черд}^{пр} = 2,75 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ниже нормируемого значения, поэтому необходимо доутеплить чердачное перекрытие до нормируемого

значения сопротивления теплопередаче (для чердачного перекрытия $R_{0,черд}^{норм} = 3,68 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$).

Рассмотрим вариант снижения величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за счет повышения сопротивления теплопередаче стен.

Определим зависимость величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от приведенного сопротивления теплопередаче стен при неизменности остальных величин теплотехнических показателей ограждающих конструкций здания. Зависимость представлена в таблице 2.15 и на рисунке 2.6.

Таблица 2.15 – Зависимость величины расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от приведенного сопротивления теплопередаче стен

$R_{0,ст}^{пр}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
$q_{от}^p$ Вт/($\text{м}^3 \cdot \text{°C}$)	0,403	0,370	0,349	0,336	0,326	0,319	0,313	0,309	0,305

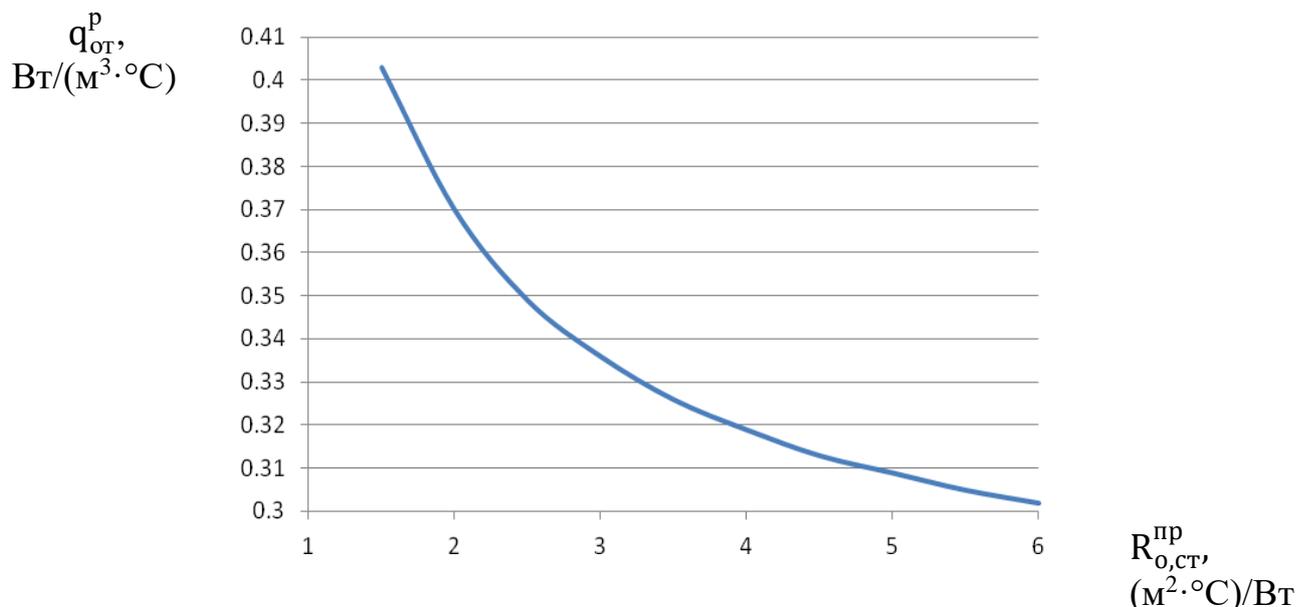


Рисунок 2.6 – График зависимости величины расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от приведенного сопротивления теплопередаче стен

Проанализировав данные таблицы 2.15 и рисунка 2.6 можно сделать вывод о том, что снижение величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за счет утепления наружных стен является эффективным мероприятием. Однако реализация только этого мероприятия не позволяет выполнить требование к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания. Даже при сопротивлении теплопередаче стен выше базового значения $R_{0,ст}^{тр} = 4,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ величина расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания превышает нормируемое значение.

Из рисунка 2.6 видно, что снижение величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за счет повышения сопротивления теплопередаче стен особенно сильно происходит на участке графика в пределах $2 \leq R_{0,ст}^{пр} \leq 5$, а далее снижение происходит уже медленней. Однако минимальным значением приведенного сопротивления теплопередаче стен является нормируемое значение $R_{0,ст}^{норм} = 2,21 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Базовым значением приведенного сопротивления

теплопередаче стен $R_{0,ст}^{тр} = 3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Исходя из вышеизложенного примем значения приведенного сопротивления теплопередаче стен при которых достигается максимальный эффект в пределе $2,5 \leq R_{0,ст}^{пр} \leq 5$.

После анализа влияния отдельно каждого мероприятия на снижение величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания можно сделать определенные выводы.

Во-первых, реализация только одного мероприятия не позволяет снизить величину расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания настолько, чтобы она была меньше или равна нормируемого значения, поэтому мероприятия по повышению теплотехнических характеристик ограждающих конструкций здания необходимо проводить комплексно.

Во-вторых, необходимо учитывать определенные в ходе анализа границы при которых достигается наибольший эффект от реализации мероприятий, направленных на снижение величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

3. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЛАГАЕМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

3.1. Разработка мероприятий направленных на повышение энергетической эффективности здания

Для повышения энергетической эффективности рассматриваемого многоквартирный жилого дома, расположенного в г. Челябинск необходимо реализовать комплекс энергосберегающих мероприятий [30].

3.1.1 Повышение теплотехнических характеристик окон

Исходными данными в жилом доме предусматривались окна в деревянных переплетах с двойным остеклением с приведенным сопротивлением теплопередаче $R_{0,ок}^{пр} = 0,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Для выбора наиболее эффективной конструкции окна рассмотрим несколько зависимостей.

Определим зависимость величины приведенного сопротивления теплопередаче окон от их стоимости за квадратный метр. Зависимость представлена в таблице 3.1 и на рисунке 3.1.

Таблица 3.1 – Зависимость величины стоимости окна за квадратный метр от приведенного сопротивления теплопередаче

$R_{0,ок}^{пр}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)	0,73	0,76	0,78	0,95
Стоимость, руб/ м^2	7 619	8 779	9 784	12 939

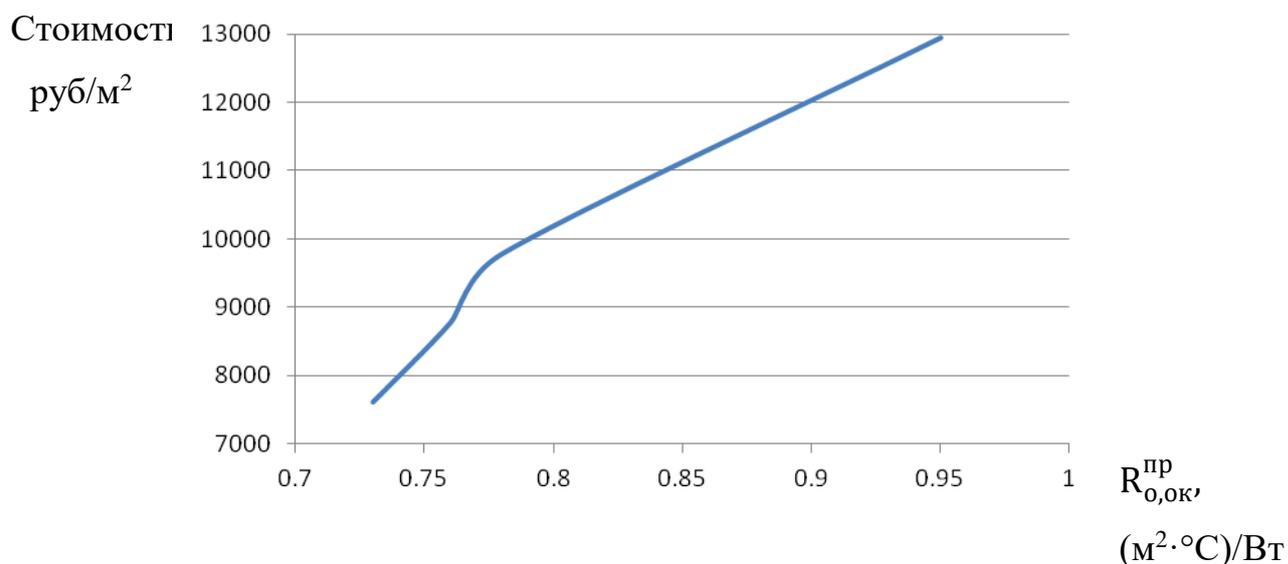


Рисунок 3.1 – График зависимости величины стоимости окна за квадратный метр от приведенного сопротивления теплопередаче

Определим зависимость величины расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от приведенного сопротивления теплопередаче окон и их стоимости за квадратный метр при неизменности остальных величин теплотехнических показателей ограждающих конструкций здания. Зависимость представлена в таблице 3.2 и на рисунке 3.2.

Таблица 3.2 – Зависимость величины расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от приведенного сопротивления теплопередаче окон и их стоимости за квадратный метр

$R_{o,ok}^{пр}$ (м²·°C)/Вт	0,73	0,76	0,78	0,95
Стоимость, руб/м²	7 619	8 779	9 784	12 939
$q_{от}^p$, Вт/(м³·°C)	0,362	0,360	0,358	0,350

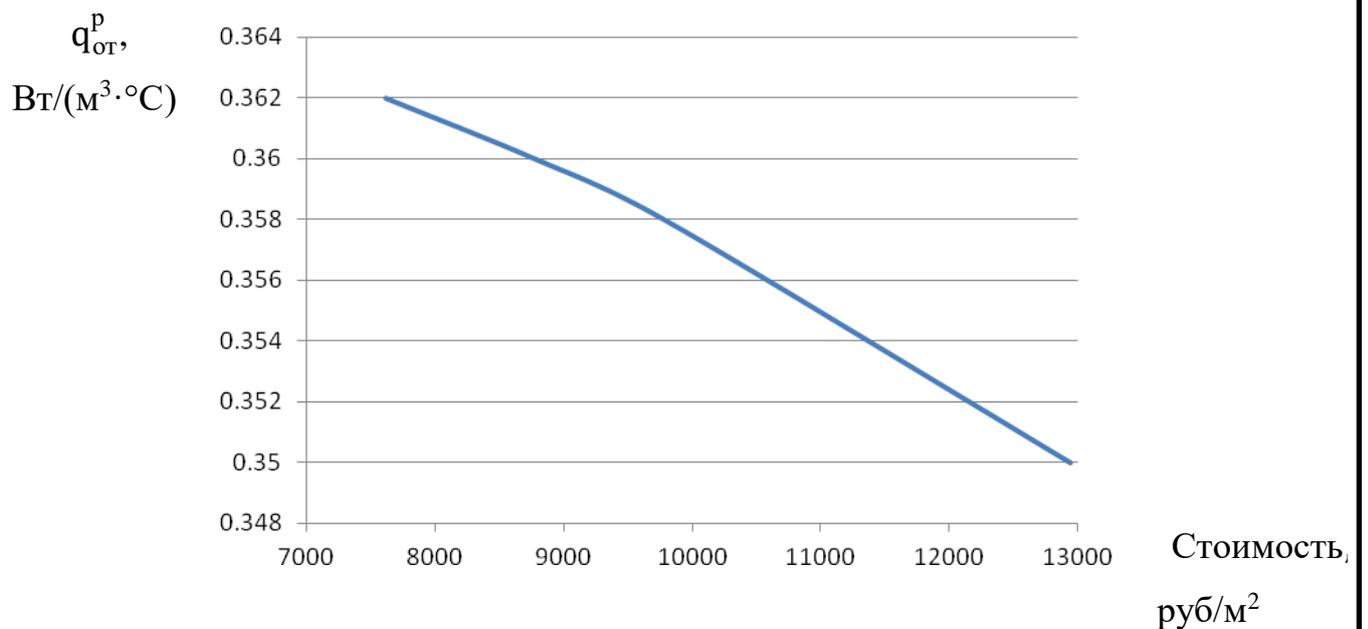
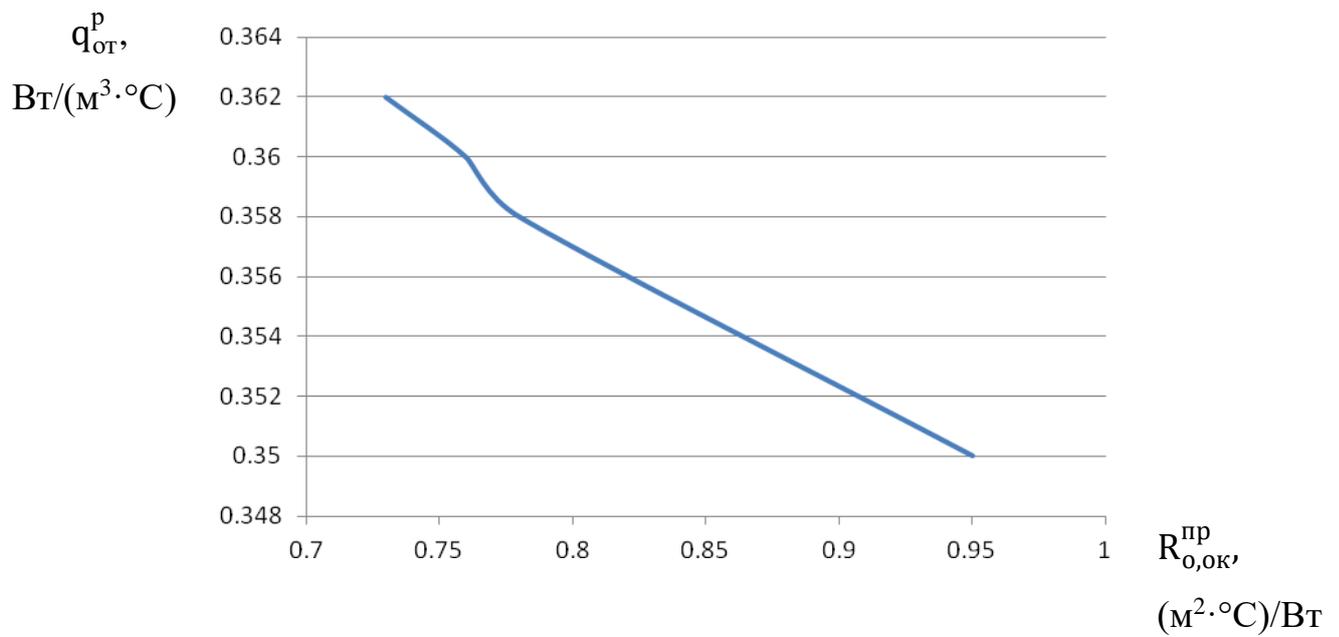


Рисунок 3.2 – График зависимости величины расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от приведенного сопротивления теплопередаче окон и их стоимости за квадратный метр

Определим зависимость величины расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период от приведенного сопротивления теплопередаче окон и их стоимости за квадратный метр при неизменности

остальных величин теплотехнических показателей ограждающих конструкций здания. Зависимость представлена в таблице 3.3 и на рисунке 3.3.

Таблица 3.3 – Зависимость величины расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период от приведенного сопротивления теплопередаче окон и их стоимости за квадратный метр

$R_{0,ок}^{пр}$ ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт	0,73	0,76	0,78	0,95
Стоимость, руб/ m^2	7 619	8 779	9 784	12 939
$Q_{от}^{год}$, кВт·ч/год	713 617	709 686	707 234	690 555

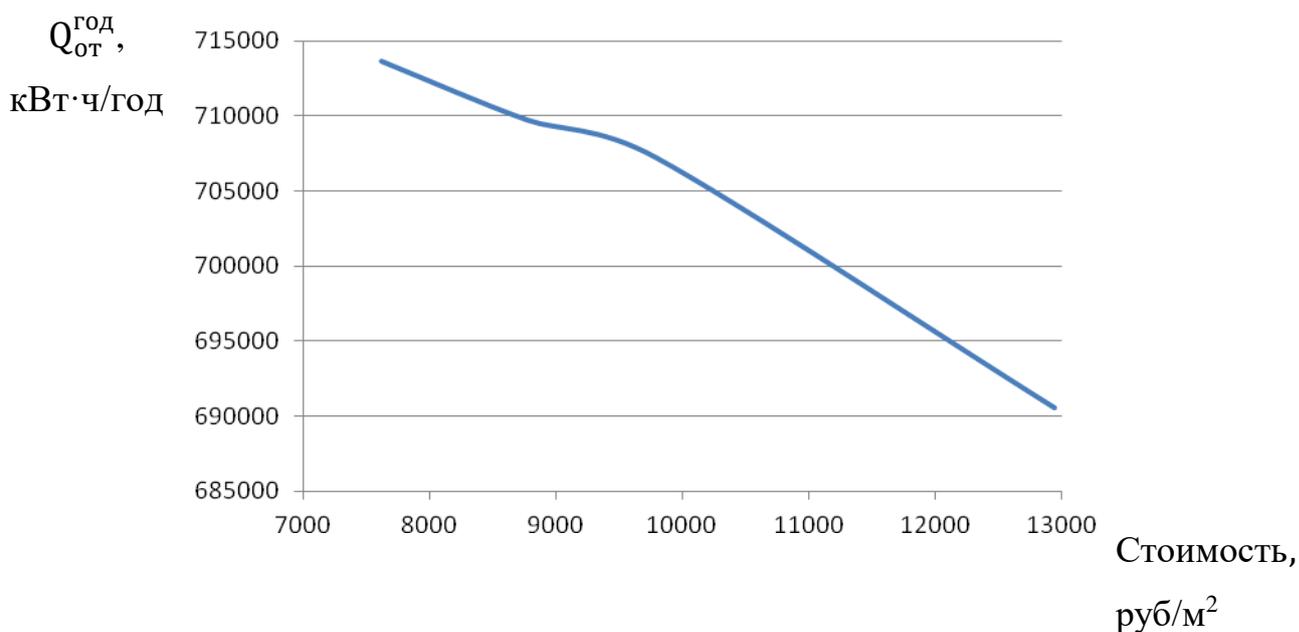


Рисунок 3.3 – График зависимости величины расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период от приведенного сопротивления теплопередаче окон и их стоимости за квадратный метр

Проанализировав данные таблиц 3.2 и 3.3, а также графиков 3.2 и 3.3 можно сделать вывод о том, что повышение приведенного сопротивления теплопередаче окон выше базового значения $R_{0,ок}^{тр} = 0,73 \text{ м}^2 \cdot ^\circ C/\text{Вт}$ влияет на снижение

величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания и снижение величины расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период (из рисунков видно, что зависимость носит линейный характер), однако, о целесообразности повышения величины приведенного сопротивления теплопередаче окон выше базового значения можно будет сказать только после оценки экономического эффекта от данных мероприятий.

С учетом данных исследования в целях повышения теплотехнических характеристик принимаем решение по установке окон с двухкамерным стеклопакетом с низкоэмиссионным покрытием с заполнением воздухом с сопротивлением теплопередаче $R_{0,ок}^{пр} = 0,73 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

3.1.2 Повышение теплотехнических характеристик чердачного перекрытия

Величина приведенного сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия вычисленная на основании теплотехнического расчета и принятая в качестве исходные данных для дальнейших расчетов равна $R_{0,черд}^{пр} = 2,75 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, однако она оказалась ниже нормируемого значения (для чердачного перекрытия $R_{0,черд}^{норм} = 3,68 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$).

В ходе исследований было выяснено, что повышение величины приведенного сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия минимально влияет на снижение величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания (из рисунка 2.5 видно, что зависимость носит почти линейный характер), следовательно, повышение величины приведенного сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия выше нормируемого (минимального) значения не целесообразно.

Для расчета толщины утеплителя необходимого для доутепления чердачного перекрытия и приведения величины сопротивления теплопередаче до нормируемого значения воспользуемся формулой (2.2) и (2.3):

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

$$\frac{1}{\alpha_B} + \sum \frac{\delta_s}{\lambda_s} + \frac{1}{\alpha_H} = 3,68 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} \quad (3.1)$$

В качестве утеплителя для чердачного перекрытия примем минеральную вату с расчетной теплопроводностью слоя $\lambda = 0,032 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

Определим толщину слоя, δ , м, дополнительного утеплителя подставив значения в формулу (3.1):

$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,16}{1,92} + \frac{0,1}{0,032} + \frac{\delta}{0,032} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{1}{23} = 3,68 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

$$\delta = 0,04 \text{ м.}$$

Для приведения величины сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия до нормируемого значения, необходимо дополнительное утепление чердачного перекрытия толщиной 40 мм.

3.1.3 Повышение теплотехнических характеристик стен

Величина приведенного сопротивления теплопередаче стеновых панелей определена на основании данных указанных в сертификате на данную конструкцию $R_{0,ст}^{пр} = 1,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Принятая в качестве исходные данных величина приведенного сопротивления теплопередаче стен численно меньше нормируемого значения (для стен $R_{0,ст}^{норм} = 2,21 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$).

В ходе исследований было выяснено, что повышение величины приведенного сопротивления теплопередаче стен существенно влияет на снижение величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания. Следовательно, повышение величины приведенного сопротивления теплопередаче стен выше нормируемого (минимального) значения является эффективным мероприятием для снижения величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии и повышения энергетической эффективности здания.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

Для определения значений приведенного сопротивления теплопередаче стен при которых достигается максимальный эффект при наименьшей величине капитальных затрат на реализацию мероприятий по утеплению стен рассмотрим несколько зависимостей с учетом данных для других ограждающих конструкций определенных выше.

Приведенное сопротивление теплопередаче окон $R_{0,ок}^{пр} = 0,73 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Приведенное сопротивление теплопередаче для чердачного перекрытия $R_{0,черд}^{пр} = 3,68 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

В качестве утеплителя для стеновых панелей примем минеральную вату с расчетной теплопроводностью слоя $\lambda = 0,032 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ и средней стоимостью 6 250 руб/м³.

Определим зависимость величины приведенного сопротивления теплопередаче стен от стоимости дополнительного утепления стен здания и толщине слоя. Зависимость представлена в таблице 3.4 и на рисунке 3.4.

Таблица 3.4 – Зависимость величины приведенного сопротивления теплопередаче стен от стоимости дополнительного утепления и толщины слоя

$R_{0,ст}^{пр}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Стоимость, руб	501 570	752 355	1 003 140	1 253 925	1 504 710	1 755 495
δ , м	0,04	0,05	0,07	0,08	0,01	0,12

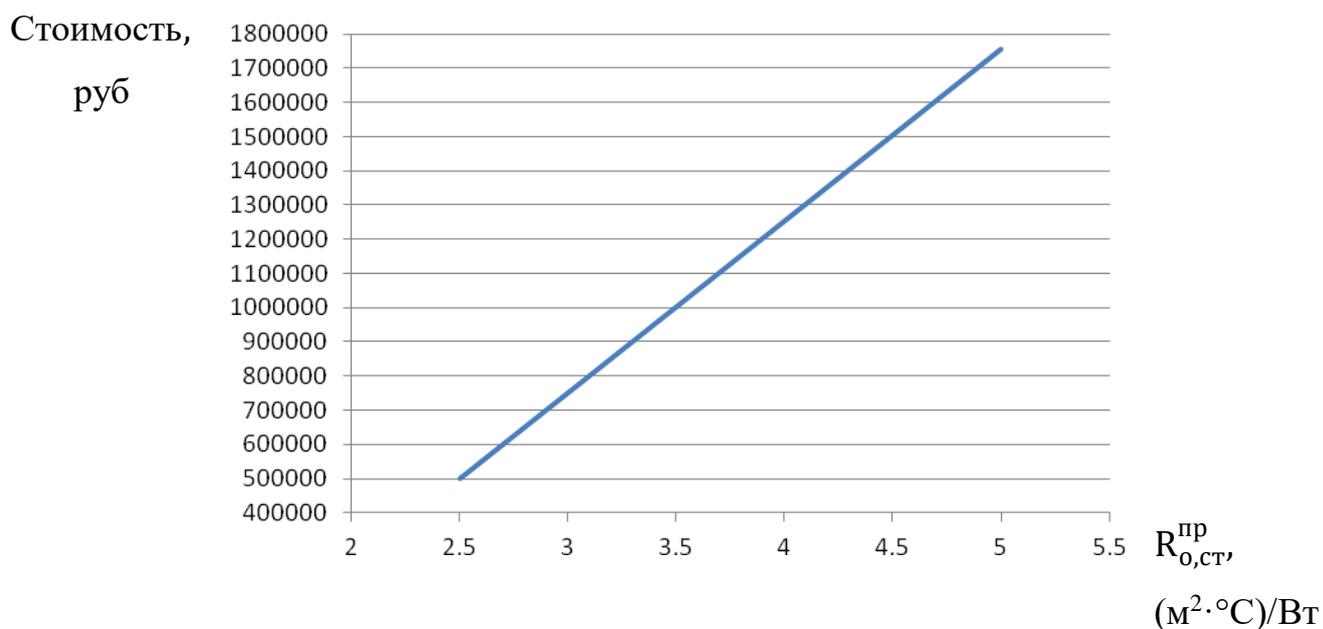
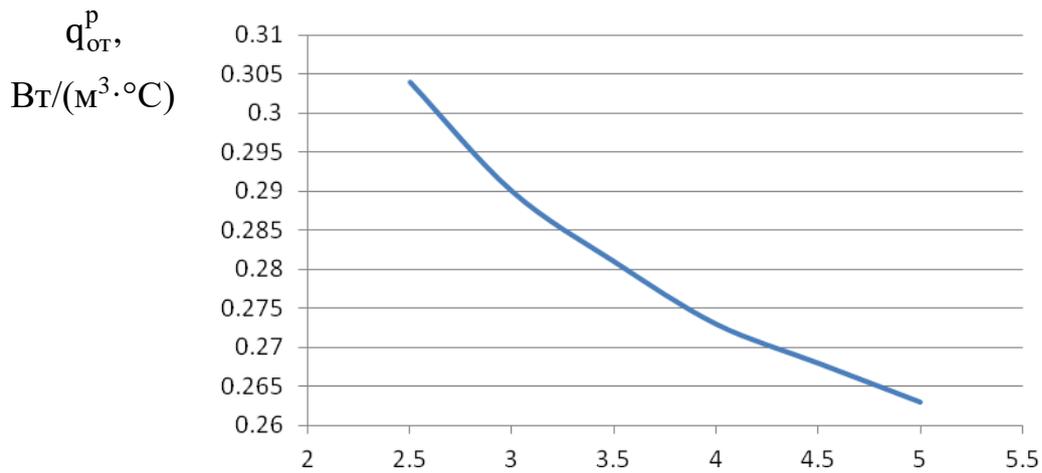


Рисунок 3.4 – График зависимости величины приведенного сопротивления теплопередаче стен от стоимости дополнительного утепления и толщины слоя

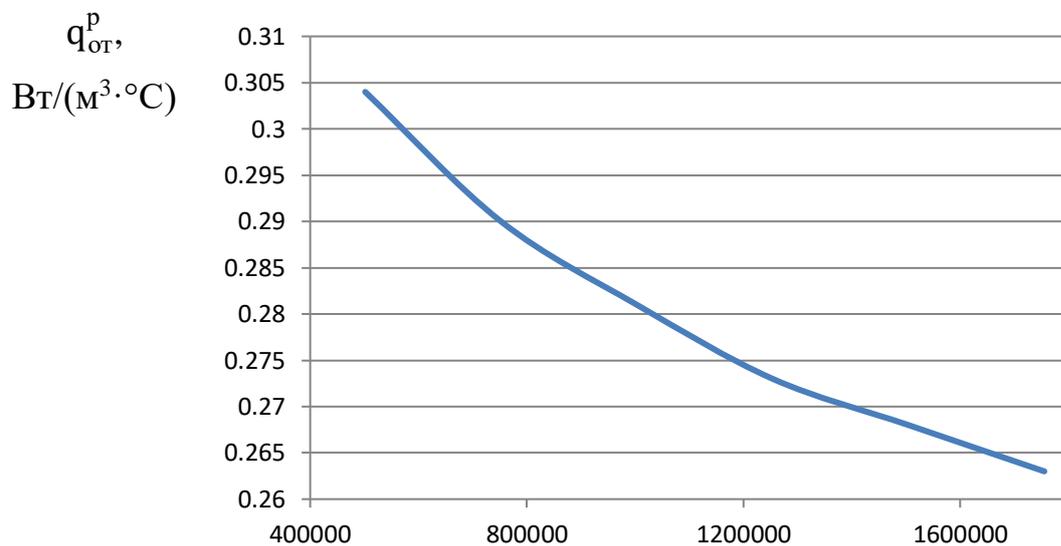
Определим зависимость расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от величины приведенного сопротивления теплопередаче стен и стоимости утеплителя, необходимого для доутепления стен здания при неизменности остальных величин теплотехнических показателей ограждающих конструкций здания. Зависимость представлена в таблице 3.5 и на рисунке 3.5.

Таблица 3.5 – Зависимость величины расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от величины приведенного сопротивления теплопередаче стен и стоимости дополнительного утепления

$R_{o,ст}^{пр}$ (м²·°C)/Вт	2,5	3	3,5	4	4,5	5
δ , м	0,04	0,05	0,07	0,08	0,01	0,12
Стоимость, руб	501 570	752 355	1 003 140	1 253 925	1 504 710	1 755 495
$q_{от}^p$, Вт/(м³·°C)	0,304	0,290	0,281	0,273	0,268	0,263



$R_{о,ст}^{пр}$
($м^2 \cdot ^\circ C$)/Вт



Стоимость,
руб

Рисунок 3.5 – График зависимости величины расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от величины приведенного сопротивления теплопередаче стен и стоимости дополнительного утепления

Проанализировав данные таблиц 3.4 и 3.5, а также графиков 3.4 и 3.5 можно сказать о том, снижение величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за счет доутепления наружных стен является эффективным мероприятием.

Из рисунка 3.5 видно, что снижение величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

счет повышения сопротивления теплопередаче стен происходит на всем участке графика в пределах $2,5 \leq R_{0,ст}^{пр} \leq 5$. Однако из таблицы 3.5 можно сделать вывод, что при сопротивлении теплопередаче стен ниже $R_{0,ст}^{пр} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ величина расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания превышает нормируемое значение.

С учетом данных исследования примем значения приведенного сопротивления теплопередаче стен при которых достигается максимальный эффект в пределе $3 \leq R_{0,ст}^{пр} \leq 5$.

3.1.4 Установка АИТП и монтаж приборов учета, балансировочных клапанов терморегуляторов на приборах отопления

Согласно исходных данных в здании предусмотрено водяное отопление, подключенное к системе централизованного теплоснабжения без авторегулирования на вводе и узлов учета потребления. Система отопления однотрубная с нижней разводкой магистралей.

Для повышения энергетической эффективности здания предусмотрим оборудование дома АИТП.

АИТП – тепловой пункт с предусмотренным автоматическим регулированием и учетом тепловой энергии на отопление, горячее водоснабжение и другие системы, потребляющие теплоэнергию.

При устройстве АИТП в здании регулирование параметров теплоносителя будет осуществляться за счет электронного регулятора отопления, который, основываясь на информации, полученной от датчиков, управляет механизмами системы. Процесс регулирования осуществляется в зависимости от времени суток, температуры внутри помещений и температуры наружного воздуха.

С целью энергосбережения предпочтительным является осуществление с помощью АИТП пофасадного автоматического регулирования подачи тепла на отопление.

Оборудование жилого дома АИТП позволит:

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

- снизить расход топливных ресурсов для нужд теплоснабжения за счет автоматического управления температурой в системах отопления в соответствии с температурой внутри помещений и температурой наружного воздуха;
- автоматически вести контроль параметров теплоносителя;
- поддерживать постоянную температуру теплоносителя и подавать в систему горячего водоснабжения;
- регистрировать тепловые потоки и расход теплоносителя.

Подбор АИТП и его оборудования – довольно сложный процесс, который в рамках данной исследовательской работы не будет производиться.

Также в целях повышения энергоэффективности и улучшения микроклимата жилых помещений принято решение по установке терморегуляторов на каждый отопительный прибор в целях регулирования теплового потока.

3.2. Оптимизация энергосберегающих мероприятий

Для анализа эффективности реализации выбранных энергосберегающих мероприятий необходимо рассчитать теплотери здания с учетом внедрения мероприятий. Расчет производится аналогично расчету, описанному в главе 2.

С учетом данных исследования примем теплозащитные характеристики ограждающих конструкций после проведения мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности здания:

- Приведенное сопротивление теплопередаче окон $R_{0,ок}^{пр} = 0,73 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;
- Приведенное сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия $R_{0,черд}^{пр} = 3,68 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;
- Приведенное сопротивление теплопередаче стен $3 \leq R_{0,ст}^{пр} \leq 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

После внедрения изменений в систему отопления здания, коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления стал равен $\zeta = 1$.

Рассчитаем значение расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, $q_{от}^p$, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$, и сравним с

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

нормируемым значением при двух вариантах приведенного сопротивления теплопередаче стен $R_{0,ст}^{пр} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ и $R_{0,ст}^{пр} = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Рассмотрим первый вариант, при приведенном сопротивлении теплопередаче стен $R_{0,ст}^{пр} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Вычислим удельную теплозащитную характеристику здания, $k_{об}$, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$, по формуле (2.20):

$$k_{об} = \frac{1}{13\,712,04} \left(1 \cdot \frac{2\,507,85}{3} + 1 \cdot \frac{455,21}{0,73} + 1 \cdot \frac{17,10}{0,43} + 1 \cdot \frac{493,24}{3,68} + 0,58 \times \frac{493,24}{1,47} \right) = 0,133 \text{ Вт}/\text{м}^3 \cdot \text{°C}$$

Проверим соответствие теплозащитной оболочки здания комплексному требованию Согласно п. 5.1 [26], после проведения мероприятий (удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения):

$$k_{об} < k_{об}^{тр}$$

$$0,133 < 0,177$$

Равенство выполняется. Величина удельной теплозащитной характеристики здания не превышает нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания, следовательно, теплозащитная оболочка здания не требует доработки.

Вычислим численное значение расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, $q_{от}^p$, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$, при новом значении $k_{об} = 0,133 \text{ Вт}/\text{м}^3 \cdot \text{°C}$ и неизменных величинах $k_{вент} = 0,165 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$, $k_{быт} = 0,047 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$, $k_{рад} = 0,042 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$ по формуле (2.8):

$$q_{от}^p = [0,133 + 0,165 - (0,047 + 0,042) \cdot 0,825 \cdot 1] \cdot (1 - 0) \cdot 1,11 = 0,247$$

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

Проверим, соблюдается ли требование к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, для этого проверим выполняется ли условие неравенства, формула (2.7):

$$0,247 \leq 0,301$$

Условие выполняется, следовательно требование к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания соблюдается, следовательно проводить мероприятия по снижению энергопотребления не нужно.

Вычислим расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{от}^{год}$, кВт·ч/год, по формуле (2.28) и общие теплопотери здания за отопительный период $Q_{общ}^{год}$, кВт·ч/год, по формуле (2.29):

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot 5995 \cdot 13\,712,04 \cdot 0,247 = 487\,303 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$$

$$Q_{общ}^{год} = 0,024 \cdot 5995 \cdot 13\,712,04 \cdot (0,133 + 0,165) = 587\,921 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$$

Определим класс энергосбережения здания, после реализации мероприятий по повышению энергетической эффективности, для этого найдем значение отклонения расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого дома от нормируемой (базовой) величины:

$$k = \frac{q_{от}^p - q_{от}^{тр}}{q_{от}^{тр}} \cdot 100\% = \frac{0,247 - 0,301}{0,301} \cdot 100\% = -17,9\%$$

Согласно таблицы 15 СП 50.13330.2012, жилой дом относится к классу по энергосбережению «В» (Высокий). Рекомендуемые мероприятия – экономическое стимулирование.

Рассмотрим второй вариант, при приведенном сопротивлении теплопередаче стен $R_{0,ст}^{пр} = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Вычислим удельную теплозащитную характеристику здания, $k_{об}$, Вт/(м³·°C), по формуле (2.20):

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

$$k_{об} = \frac{1}{13\,712,04} \left(1 \cdot \frac{2\,507,85}{5} + 1 \cdot \frac{455,21}{0,73} + 1 \cdot \frac{17,10}{0,43} + 1 \cdot \frac{493,24}{3,68} + 0,58 \times \frac{493,24}{1,47} \right) = 0,109 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°C}$$

Проверим соответствие теплозащитной оболочки здания комплексному требованию Согласно п. 5.1[26], после проведения мероприятий (удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения):

$$k_{об} < k_{об}^{тр}$$

$$0,109 < 0,177$$

Равенство выполняется. Величина удельной теплозащитной характеристики здания не превышает нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания, следовательно, теплозащитная оболочка здания не требует доработки.

Вычислим численное значение расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, $q_{от}^p$, Вт/(м³·°C), при новом значении $k_{об} = 0,109$ Вт/м³·°C и неизменных величинах $k_{вент} = 0,165$ Вт/(м³·°C), $k_{быт} = 0,047$ Вт/(м·°C), $k_{рад} = 0,042$ Вт/(м³·°C) по формуле (2.8):

$$q_{от}^p = [0,109 + 0,165 - (0,047 + 0,042) \cdot 0,825 \cdot 1] \cdot (1 - 0) \cdot 1,11 = 0,221$$

Проверим, соблюдается ли требование к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, для этого проверим выполняется ли условие неравенства, формула (2.7):

$$0,221 \leq 0,301$$

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

Условие выполняется, следовательно требование к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания соблюдается, следовательно проводить мероприятия по снижению энергопотребления не нужно.

Вычислим расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{от}^{год}$, кВт·ч/год, по формуле (2.28) и общие теплопотери здания за отопительный период $Q_{общ}^{год}$, кВт·ч/год, по формуле (2.29):

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot 5995 \cdot 13\,712,04 \cdot 0,221 = 436\,008 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}$$

$$Q_{общ}^{год} = 0,024 \cdot 5995 \cdot 13\,712,04 \cdot (0,109 + 0,165) = 540\,571 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}$$

Определим класс энергосбережения здания, после реализации мероприятий по повышению энергетической эффективности, для этого найдем значение отклонения расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого дома от нормируемой (базовой) величины:

$$k = \frac{q_{от}^p - q_{от}^{тр}}{q_{от}^{тр}} \cdot 100\% = \frac{0,221 - 0,301}{0,301} \cdot 100\% = -26,6 \%$$

Согласно таблицы 15 СП 50.13330.2012, жилой дом относится к классу по энергосбережению «В» (Высокий). Рекомендуемые мероприятия – экономическое стимулирование.

Рассчитав расчетную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания с учетом реализации выбранных в ходе исследования теплозащитных характеристик здания энергосберегающих мероприятий, можно сделать вывод, что требование к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания соблюдается. Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания и общие теплопотери здания снизились. Здание стало относиться к классу по энергосбережению «В» (Высокий).

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

3.3 Расчет срока окупаемости мероприятий по повышению теплозащитных характеристик ограждающих конструкций здания в рамках энергосервисного контракта

3.3.1 Расчет срока окупаемости мероприятий по утеплению ограждающих конструкций

Расчет срока окупаемости мероприятий по повышению теплозащитных характеристик ограждающих конструкций здания производится согласно Приложению Г СП 345.13258000.2017 [51].

Фактический дисконтированный срок окупаемости, $T_{ок}$, лет, рассчитывается по формуле (Г.3) Приложения Г [51]:

$$T_{ок} = \frac{-\ln(1-pT_0/100)}{\ln(1+p/100)}, \quad (3.2)$$

где T_0 – бездисконтный срок окупаемости, лет, рассчитываемый по формуле:

$$T_0 = \sum K / \Delta \mathcal{E}, \quad (3.3)$$

где $\sum K$ – суммарные капитальные затраты на дополнительное утепление ограждений, руб.;

$\Delta \mathcal{E}$ – снижение годовых эксплуатационных расходов на тепловую энергию за счет энергосбережения, (руб.) / год, рассчитываемое по формуле:

$$\Delta \mathcal{E} = |\mathcal{E}_I - \mathcal{E}_{II}|, \quad (3.4)$$

где $\mathcal{E}_{I,II} = 0,86 \cdot C_{тепл} \cdot Q_{тп,I,II}^Г$.

Здесь $0,86 = 3,6/4,19$ – коэффициент пересчета из МВт · ч в Гкал;

$C_{тепл}$ – действующий тариф на тепловую энергию, руб./Гкал;

I и II – индексы, обозначающие значения \mathcal{E} и $Q_{тп}^Г$, которые определены по I и II вариантам устройства здания по результатам оценки удельной теплозащитной характеристики (вариант I – без дополнительного

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

повышения теплозащиты; вариант II предусматривает наличие такого повышения).

$Q_{\text{ТП}}^{\Gamma}$ – годовые теплопотери через ограждения здания, МВт · ч/год;

вычисляются для каждого варианта по формуле:

$$Q_{\text{ТП}}^{\Gamma} = 24 \cdot k_{\text{об}} \cdot V_{\text{от}} \cdot \text{ГСОП} \cdot 10^{-6}, \quad (3.5)$$

где $V_{\text{от}}$ – отапливаемый объем здания, м³;

ГСОП – значение градусо-суток отопительного периода для района строительства, °С·сут/год,

$k_{\text{об}}$ – удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м³·°С);

24 – количество часов в сутках.

Динамика роста тарифов на тепловую энергию в г. Челябинске представлена в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Динамика роста тарифов на тепловую энергию в г. Челябинске с 2016 по 2019 год при централизованном теплоснабжении

Год	Величина тарифа, руб/Гкал (вкл. НДС)	Основание
2016	1 218,47	Постановление Министерства тарифного регулирования и энергетики Челябинской области от 17.12.2015 № 62/51
2017	1 295,24	Постановление Министерства тарифного регулирования и энергетики Челябинской области от 16.12.2016 № 62/1
2018	1 646,63	Постановление Министерства тарифного регулирования и энергетики Челябинской области от 15.12.2017 № 65/110

2019	1 875,46	Постановление Министерства тарифного регулирования и энергетики Челябинской области от 20.12.2018 № 86/90
------	----------	---

Из данных, представленных в таблице 3.6, следует, что за рассматриваемый период времени (с 2016 по 2019 г.г.) средняя величина относительного роста тарифов на тепловую энергию в год составила 15 %.

Дисконтирование будущих денежных потоков произведем по ключевой ставке ЦБ РФ (7 %).

Максимальный дисконтированный срок окупаемости, T_{\max} , лет, мероприятий по утеплению устанавливается по согласованию с заказчиком, но не более 10 лет.

Решение считается экономически обоснованным при выполнении условия:

$$T_{\text{ок}} \leq T_{\text{max}}$$

Определим фактический дисконтированный срок окупаемости, $T_{\text{ок}}$, лет, для мероприятий, направленных на повышение теплозащитных характеристик ограждающих конструкций здания (окон $R_{0,\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,73 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; чердачного перекрытия $R_{0,\text{черд}}^{\text{пр}} = 3,68 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; стен $R_{0,\text{ст}}^{\text{пр}} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) без монтажа АИТП.

Суммарные капитальные затраты на реализацию мероприятий, $\sum K$, руб, составляют:

$$\sum K = 455,21 \cdot 7619 + 64\,121 + 752\,355 = 4\,284\,721 \text{ руб}$$

Вычислим годовые теплотери через ограждения здания, $Q_{\text{тп}}^{\text{г}}$, МВт · ч/год до и после реализации мероприятий, направленных на повышение теплозащитных характеристик ограждающих конструкций здания по формуле (3.5):

– До реализации мероприятий:

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

$$Q_{\text{ТП,I}}^{\Gamma} = 24 \cdot 0,235 \cdot 13\,712,04 \cdot 5995 \cdot 10^{-6} = 463,63 \text{ МВт} \cdot \text{ч/год}$$

– После реализации мероприятий:

$$Q_{\text{ТП,II}}^{\Gamma} = 24 \cdot 0,133 \cdot 13\,712,04 \cdot 5995 \cdot 10^{-6} = 262,40 \text{ МВт} \cdot \text{ч/год}$$

Определи снижение годовых эксплуатационных расходов на тепловую энергию за счет энергосбережения, $\Delta \mathcal{E}$, руб/год, рассчитываемое по формуле (3.4):

– До реализации мероприятий:

$$\mathcal{E}_I = 0,86 \cdot C_{\text{тепл}} \cdot Q_{\text{ТП}}^{\Gamma} = 0,86 \cdot 1\,875,46 \cdot 463,63 = 747\,784,8 \text{ руб/год}$$

– После реализации мероприятий:

$$\mathcal{E}_{II} = 0,86 \cdot C_{\text{тепл}} \cdot Q_{\text{ТП,II}}^{\Gamma} = 0,86 \cdot 1\,875,46 \cdot 262,40 = 423\,214,4 \text{ руб/год}$$

$$\Delta \mathcal{E} = 747\,784,8 - 423\,214,4 = 324\,570,4 \text{ руб/год}$$

Определим бездисконтный срок окупаемости, T_0 , лет, по формуле (3.3):

$$T_0 = \frac{4\,284\,721}{324\,570,4} = 13,2 \text{ лет}$$

Подставим все найденные выше величины в формулу (3.2) для определения фактического дисконтированного срока окупаемости:

$$T_{\text{ок}} = \frac{-\ln(1 - 0,07 \cdot 13,4/100)}{\ln(1 + 0,07/100)} = 13,3 \text{ год}$$

Вычислим ежегодную экономию и срок окупаемости мероприятий при утеплении стен с сопротивлением теплопередаче больше $R_{0,\text{ст}}^{\text{пр}} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Данные представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Срок окупаемости мероприятий

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
						89
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\sum K = 455,21 \cdot 7619 + 64\,121 + 752\,355 + 529\,630 = 4\,814\,350 \text{ руб}$$

Определим расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{от}^{год}$, МВт · ч/год до и после реализации мероприятий, по формуле:

$$Q_{от}^{год} = 24 \cdot ГСОП \cdot V_{от} \cdot q_{от}^p \cdot 10^{-6} \quad (3.6)$$

Подставим значения в формулу (3.6):

– До реализации мероприятий:

$$Q_{от,I}^{год} = 24 \cdot 5995 \cdot 13\,712,04 \cdot 0,403 \cdot 10^{-6} = 795,07 \text{ МВт} \cdot \text{ч/год}$$

– После реализации мероприятий:

$$Q_{от,II}^{год} = 24 \cdot 5995 \cdot 13\,712,04 \cdot 0,247 \cdot 10^{-6} = 487,3 \text{ МВт} \cdot \text{ч/год}$$

Определи снижение годовых эксплуатационных расходов на тепловую энергию за счет энергосбережения, $\Delta \mathcal{E}$, руб/год, рассчитываемое по формуле (3.4):

– До реализации мероприятий:

$$\mathcal{E}_I = 0,86 \cdot C_{тепл} \cdot Q_{от,I}^{год} = 0,86 \cdot 1\,875,46 \cdot 795,07 = 1\,282\,371 \text{ руб/год}$$

– После реализации мероприятий:

$$\mathcal{E}_{II} = 0,86 \cdot C_{тепл} \cdot Q_{от,II}^{год} = 0,86 \cdot 1\,875,46 \cdot 487,3 = 785\,969 \text{ руб/год}$$

$$\Delta \mathcal{E} = 1\,282\,371 - 785\,969 = 496\,402 \text{ руб/год}$$

Определим бездисконтный срок окупаемости, T_0 , лет, по формуле (3.3):

$$T_0 = \frac{4\,814\,350}{496\,402} = 9,7 \text{ лет}$$

Подставим все найденные выше величины в формулу (3.2) для определения фактического дисконтированного срока окупаемости:

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
						91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$T_{\text{ок}} = \frac{-\ln(1 - 0,07 \cdot 9,8/100)}{\ln(1 + 0,07/100)} = 9,8 \text{ лет}$$

Вычислим ежегодную экономию и срок окупаемости мероприятий при утеплении стен с сопротивлением теплопередаче больше $R_{0,\text{ст}}^{\text{пр}} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Данные представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Срок окупаемости мероприятий

Мероприятие	Затраты на реализацию, руб	Ежегодная экономия, руб	Срок окупаемости, лет
Доутепление чердачного перекрытия до $R_{0,\text{черд}}^{\text{пр}} = 3,68 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; Замена окон на энергоэффективные с сопротивлением теплопередаче $R_{0,\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,73 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; Утепление наружных стен до:			
$R_{0,\text{ст}}^{\text{пр}} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	4 814 350	496 402	9,8
$R_{0,\text{ст}}^{\text{пр}} = 3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	5 065 136	521 858	9,8
$R_{0,\text{ст}}^{\text{пр}} = 4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	5 315 921	544 132	9,8
$R_{0,\text{ст}}^{\text{пр}} = 4,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	5 566 706	560 043	10
$R_{0,\text{ст}}^{\text{пр}} = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	5 876 680	579 135	10,1

3.4 Результаты исследования, анализ результатов

В ходе исследований в главе 2 были определены границы величин теплотехнических характеристик ограждающих конструкций при которых достигается наибольший эффект при реализации мероприятий, направленных на снижение величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.

С учетом данных исследования и проведенной оценки стоимости каждого мероприятия, был разработан комплекс мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности здания

Для оценки возможности заключения энергосервисных контрактов была рассчитана окупаемость разработанных мероприятий, так как об эффективности инвестиций в энергосбережение можно судить по сроку окупаемости реализуемых мероприятий.

Для сравнения полученных данных определим оценку экономической эффективности, отдельно для каждого реализуемого мероприятия, направленного на повышение энергетической эффективности здания. Данные представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Оценка экономической эффективности, отдельно для каждого реализуемого мероприятия, направленного на повышение энергетической эффективности здания

Мероприятие	Затраты на реализацию, руб	Ежегодная экономия, руб	Срок окупаемости, лет
Доутепление чердачного перекрытия до $R_{0, черд}^{пр} = 3,68$ м ² ·°С/Вт;	64 121	12 728	5,1

Продолжение таблицы 3.9

										Лист
										93
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ

Утепление наружных стен до:			
$R_{0,ст}^{пр} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	752 355	216 380	3,5
$R_{0,ст}^{пр} = 3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	1 003 140	248 200	4,0
$R_{0,ст}^{пр} = 4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	1 253 925	267 293	4,7
$R_{0,ст}^{пр} = 4,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	1 504 710	286 386	5,3
$R_{0,ст}^{пр} = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	1 755 495	299 113	5,9
Замена окон на энергоэффективные с сопротивлением теплопередаче:			
$R_{0,ок}^{пр} = 0,73 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	3 468 245	133 647	26,2
$R_{0,ок}^{пр} = 0,76 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	3 996 289	136 828	29,5
$R_{0,ок}^{пр} = 0,78 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	4 453 775	140 011	32,2
$R_{0,ок}^{пр} = 0,95 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	5 889 962	168 649	35,4
Монтаж АИТП и приборов учета, балансировочных клапанов терморегуляторов на приборах отопления	529 630	130 464	4,1

На основе данных таблицы 3.9 Определим зависимость фактического дисконтированного срока окупаемости, $T_{ок}$, лет, от повышения сопротивления теплопередаче окон при неизменности остальных величин теплотехнических показателей ограждающих конструкций здания. Зависимость представлена на рисунке 3.6.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

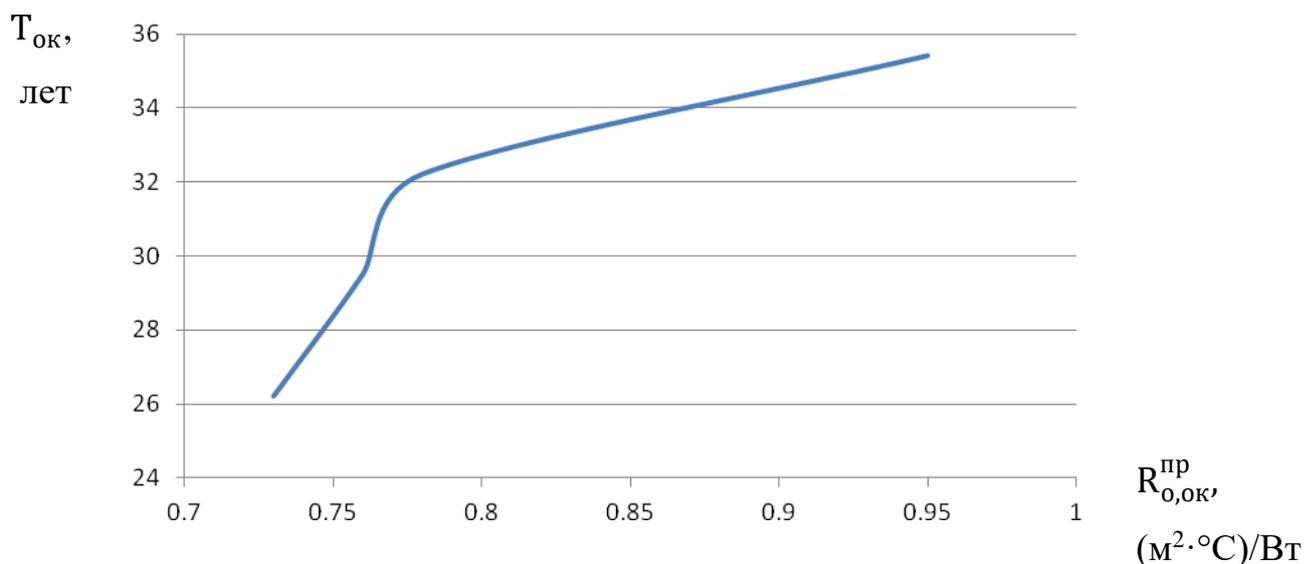


Рисунок 3.6 – График зависимости величины фактического дисконтированного срока окупаемости от величины приведенного сопротивления теплопередаче окон

Проанализировав данные таблицы 3.9 и рисунка 3.6 можно сделать вывод о том, что с учетом данных исследования решение и с учетом выполнения минимальных нормативных требований теплопередаче принятое решение по установке окон с двухкамерным стеклопакетом с низкоэмиссионным покрытием с заполнением воздухом с сопротивлением теплопередаче $R_{0,ок}^{пр} = 0,73 \text{ м}^2 \cdot ^\circ C / Вт$, является наиболее оптимальным с экономической точки зрения при котором достигается максимальный эффект от мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности здания. Величина фактического дисконтированного срока окупаемости для данного типа окна является самой минимальной по сравнению с окнами с большей величиной приведенного сопротивления теплопередаче.

Однако данная конструкция окна принята с учетом минимальных нормативных требований теплопередаче $R_{0,ок}^{тр} = 0,73 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ C) / Вт$ согласно [26] с Изменением № 1 вступившем в силу 15 июня 2019 года. До внесенных изменений базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче окон $R_{0,ок}^{тр} = 0,57 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ C) / Вт$. Согласно данных исследования можно сделать вывод, что повышение минимального нормативного требования теплопередаче окна

необоснованно, так как инвестиции в проведение мероприятия по замене окон превосходят экономический эффект в несколько раз, о чем свидетельствует срок окупаемости данного мероприятия более 26 лет. При значении требуемого сопротивления теплопередаче окон $R_{0,ок}^{TP} = 0,57 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ срок окупаемости составил бы 20 лет, а срок окупаемости при проведении всех мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности здания сократился бы с 9,8 до 7 лет.

На основе данных таблицы 3.9 Определим зависимость фактического дисконтированного срока окупаемости, $T_{ок}$, лет, от повышения сопротивления теплопередаче наружных стен при неизменности остальных величин теплотехнических показателей ограждающих конструкций здания. Зависимость представлена в таблице 3.9 и на рисунке 3.7.

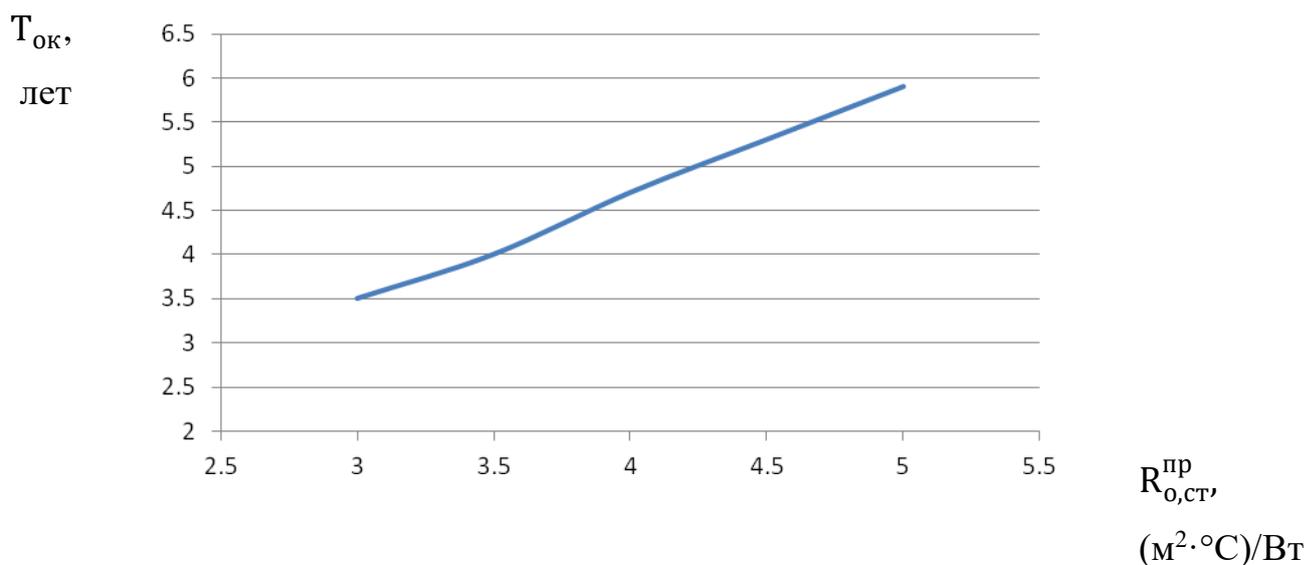


Рисунок 3.7 – График зависимости величины фактического дисконтированного срока окупаемости от величины приведенного сопротивления теплопередаче стен

Проанализировав данные таблицы 3.9 и рисунка 3.7 можно сделать вывод о том, что дополнительное утепление стен является эффективным мероприятием, направленным на повышение энергетической эффективности здания, так как срок окупаемости этого мероприятия намного меньше, чем при замене окон на окна с большим приведенным сопротивлением теплопередаче. Это обуславливается тем,

что площадь наружных стен в разы больше по сравнению с другими площадями теплозащитной оболочки здания. С экономической точки зрения наиболее оптимальным решением при котором достигается максимальный эффект от мероприятий, направленных на повышению энергетической эффективности здания, является дополнительное утепление наружных стен до приведенного сопротивления теплопередаче $3 \leq R_{o,ст}^{пр} \leq 4$ (м²·°C)/Вт.

Проанализировав данные таблицы 3.9 можно сделать вывод, что данные мероприятия по повышению теплопередаче ограждающих конструкций здания являются эффективными и влияют на энергетическую эффективность. Однако максимальный эффект можно получить только при реализации этих мероприятий в комплексе.

Оценка экономической эффективности мероприятий направленных на повышение теплопередаче ограждающих конструкций представлена в таблице 3.7. Проанализировав данные таблицы 3.7 можно сделать вывод, что комплексная реализация мероприятий не только эффективно снижается величина годовых эксплуатационных расходов на тепловую энергию $\Delta Э = 324\,570,4$ руб/год, но и снижается фактический дисконтированный срока окупаемости реализуемых мероприятий он составит $T_{ок} = 13,3$ года.

Однако наибольшей экономической эффективности от реализации мероприятий направленных на повышение теплопередаче ограждающих конструкций если дополнительно провести модернизацию системы отопления здания данные представлены в таблице 3.8. При реализации данных мероприятий, снижение годовых эксплуатационных расходов на тепловую энергию за счет энергосбережения составит $\Delta Э = 496\,402$ руб/год. При том фактический дисконтированный срока окупаемости реализуемых мероприятий составит $T_{ок} = 9,8$ лет.

После реализации выбранных мероприятий проведен повторный расчет. Сравним, как изменились нормируемые показатели до и после проведения мероприятий. Результаты представлены в таблице 3.10.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
						97
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 3.10 – Сравнение нормируемых показателей до и после реализации мероприятий

Показатель	Нормируемая величина	До реализации мероприятий	После реализации мероприятий	% снижения от нормируемой величины
Удельная теплозащитная характеристика здания, $k_{об}$, Вт/(м ³ ·°С)	0,177	0,235	0,133	24,9
Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, $q_{от}^p$, Вт/(м ³ ·°С)	0,301	0,403	0,247	17,9
Класс энергосбережения	не ниже «С» (нормальный)	«D» (пониженный)	«B» (Высокий)	

Проанализировав данные таблицы 3.10 можно сделать следующие выводы.

При реализации данных мероприятий повышается энергетическая эффективность здания. Величины основных нормируемых показателей становятся ниже нормируемых величин, следовательно энергопотребление здания снижается и становится более эффективным.

Срок окупаемости инвестиций во все реализуемые и описанные в работе энергосберегающие мероприятия с учетом ежегодного ставки дисконтирования

составляет до 10 лет, что является нормальным сроком для заключения энергосервисного контракта на данные виды работ.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		99

ВЫВОДЫ

В ходе диссертационной работы проведен анализ состояния вопроса повышения энергетической эффективности зданий для этого была изучена законодательная и нормативная база энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Российской Федерации, а также был рассмотрен энергосервисный контракт как один из механизмов повышения энергетической эффективности зданий. Для обоснования инвестиций в реализацию мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности зданий в рамках энергосервисных контрактов были проведены исследования теплотехнических характеристик ограждающих конструкций, выбранного в качестве объекта исследования многоэтажного крупнопанельного дома в г. Челябинске. Проанализировав данные исследований можно сделать некоторые выводы.

1. В России на сегодняшний день ведется активная государственная политика в области энергоэффективности и энергосбережения для этого разрабатываются и принимаются законодательные и нормативные акты, пересматриваются теплотехнические нормативы в сторону их увеличения, ведется экономическое стимулирование рационального потребления энергосресурсов.

2. Значительным потенциалом к энергосбережению обладает жилищный сектор, так как энергопотребление большинства многоквартирных домов построенных по старым теплотехническим нормам является низкоэффективным. На сегодняшний день именно в сокращении потребления энергии и повышении эксплуатационных характеристик зданий при обеспечении необходимого уровня комфортности проживания заложены перспективы реального энергосбережения.

3. Одним из наиболее перспективных механизмов повышения энергетической эффективности зданий является энергосервисный договор (контракт), так как он позволяет реализовать мероприятия, направленные на снижение потребляемой зданиями энергии, которые требуют значительных

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100

экономических вложений без привлечения собственных средств жильцов или управляющей компании.

4. При исследовании теплотехнических характеристик ограждающих конструкций были рассчитаны основные нормируемые показатели энергетической эффективности, выбранного в качестве объекта исследования жилого дома.

При сравнении величины расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания $q_{от}^p = 0,403$ Вт/(м³·°С) с нормируемым показателем $q_{от}^{тр} = 0,301$ Вт/(м³·°С) определенным по таблице 14 СП 50.13330.2012, оказалось что расчетная величина превосходит нормируемую (базовую) удельную характеристику расхода тепловой энергии. Следовательно, требование к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий для данного жилого дома не выполняется, что свидетельствует о необходимости проведения мероприятий по повышению теплозащитных характеристик оболочки здания. Согласно таблицы 15 СП 50.13330.2012 жилой дом относится к классу по энергосбережению «D» (пониженный).

5. С целью разработки и определения границ при которых достигается максимальный эффект от реализации мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности зданий были построены зависимости величины расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания. Для окон максимальный эффект от реализации мероприятий достигается в пределе $0,73 \leq R_{о,ок}^{пр} \leq 1$ (м²·°С)/Вт, для наружных стен в пределе $2,5 \leq R_{о,ст}^{пр} \leq 5$ (м²·°С)/Вт, чердачное перекрытие достаточно доутеплить до нормируемого значения сопротивления теплопередаче $R_{0,черд}^{норм} = 3,68$ м²·°С/Вт. При этом было выяснено, что реализация только одного мероприятия не позволяет снизить величину расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания настолько, чтобы

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		101

она была меньше или равна нормируемого значения, поэтому мероприятия по повышению теплотехнических характеристик ограждающих конструкций здания необходимо проводить комплексно.

6. С учетом данных исследования и проведенной оценки стоимости каждого мероприятия, был разработан комплекс мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности здания. После реализации разработанных мероприятий вновь была рассчитана величина расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания $q_{от}^p = 0,247 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$ она оказалась ниже нормируемого показателя $q_{от}^{тр} = 0,301 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$. Здание стало относиться к классу по энергосбережению «В» (Высокий), следовательно разработанные мероприятия оказались эффективными.

7. Для оценки возможности заключения энергосервисных контрактов была рассчитана окупаемость разработанных мероприятий, так как об эффективности инвестиций в энергосбережение можно судить по сроку окупаемости реализуемых мероприятий. Срок окупаемости инвестиций во все реализуемые и описанные в работе энергосберегающие мероприятия с учетом ежегодного ставки дисконтирования составляет 10 лет, что является нормальным сроком для заключения энергосервисного контракта на данные виды работ.

8. Конструкция окна принята с учетом минимальных нормативных требований теплопередаче $R_{0,ок}^{тр} = 0,73 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ согласно СП 50.13330.2012 с Изменением № 1 вступившем в силу 15 июня 2019 года. До внесенных изменений базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче окон $R_{0,ок}^{тр} = 0,57 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$. Согласно данных исследования можно сделать вывод, что повышение минимального нормативного требования теплопередаче окна необоснованно, так как инвестиции в проведение мероприятия по замене окон превосходят экономический эффект в несколько раз, о чем свидетельствует срок окупаемости данного мероприятия более 26 лет. При значении требуемого сопротивления теплопередаче окон $R_{0,ок}^{тр} = 0,57 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ срок окупаемости

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		102

составил бы 20 лет, а срок окупаемости при проведении всех мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности здания сократился бы с 9,8 до 7 лет.

Целесообразность инвестиций в энергосбережение определяется индивидуально для каждого объекта строительства в зависимости от применяемого оборудования, сроков службы данного оборудования, бюджета строительства. Также возможны вариации применяемых энергосберегающих мероприятий. Для расчета срока окупаемости инвестиций в энергосбережение можно использовать методику, которая была применена в данной работе.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		103

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Постановление Правительства РФ от 01.06.1992 г. № 371 «О неотложных мерах по энергоснабжению в области добычи, производства, транспортировки и использования нефти, газа и нефтепродуктов» // Российская газета. 1992. 5 июня. № 128.

2. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 27.12.2018) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" (с изм. и доп., вступ. в силу с 16.01.2019) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2009.

3. Распоряжение правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 года №2446-р об утверждении государственной программы Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года».

4. Распоряжение Правительства РФ от 1 сентября 2016 г. № 1853-р «Об утверждении плана мероприятий («дорожная карта») по повышению энергетической эффективности зданий, строений и сооружений»

5. Постановление Правительства РФ от 25 января 2011 г. № 18 «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов»

6. СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М.: Минрегион России, 2012. – 96 с.

7. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – М.: Госстрой России, ФГУП, ЦПП, 2004. – 25 с.

8. Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года :

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		104

распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 января 2009 г. № 1-р (ред. от 28 мая 2013 г.) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2009. – № 4. – Ст. 515.

9. Программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности города Челябинска на 2011 – 2014 годы и на перспективу до 2020 года» утв. распоряжением Администрации города Челябинска от 3 февраля 2011 года № 570

10. Табунщиков Ю.А., Наумов А.Л. Энергоэффективность в строительстве. Гармонизация отечественной нормативной базы // АВОК: Энергосбережение №6 2012 с. 4 – 14

11. Табунщиков Ю.А., Ливчак В.И., Гагарин В.Г., Шилкин Н.В. Пути повышения энергоэффективности эксплуатируемых зданий // АВОК: Энергосбережение №5 2009 с. 38 – 48

12. Горшков А.С., Байкова С.А., Крянев А.С. Нормативное и законодательное обеспечение государственной программы об энергосбережении и повышении энергетической эффективности зданий и пример ее реализации на региональном уровне // Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад. 2012.

13. Горшков А.С., Ватин Н.И., Немова Д.В. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №3. С. 100-107.

14. Горшков А.С. Принципы энергосбережения в зданиях // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2014. - № 7. - с. 26-35

15. Горшков А.С. Нормирование потребления зданиями энергии. Расчет потребления зданиями тепловой энергии на отопление вентиляцию за отопительный период: учеб. пособие / А. С. Горшков, Н.И. Ватин. - СПб. Изд-во Политехнического института, 2011. - 212 с.

16. Горшков А. С. Модель оценки прогнозируемого срока окупаемости инвестиций в энергосбережение // Вестник МГСУ. - 2015. - №12. - с.136-146

17. Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А. С. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		105

тепловой энергии в здании // Инженерно-строительный журнал. - 2012. - №8. - с. 4-14

23. Горшков А.С., Немова Д.В., Рымкевич П.П. Сравнительный анализ потерь тепловой энергии, эксплуатационных затрат на отопление и затрат топливно-энергетических ресурсов для многоквартирного жилого здания при различных минимальных требованиях к уровню тепловой защиты ограждающих конструкций // Кровельные и изоляционные материалы. 2013. № 2. С. 34-39.

24. СТО 200044807-001-2006. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий. - М., 2006. - 61 с.

25. СП 131.13330.2011(Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*). Строительная климатология. – М.: ГУП ЦПП, 2011. – 57 с.

26. СП 50.13330.2010 (Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003) Теплотехническая защита зданий. – М.: ФГУП ЦПП, 2010. – 74 с.

27. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Издательство стандартов, 2011. – 16 с.

28. ТСН 23-320-2000 Челябинской области (ТСН 23-320-2000 ЧелО) Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормативы по теплозащите зданий, 2000. – 45 с.

29. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – М. : Госстрой России, 2004. - 139 с.

30. Горшков А. С. Модель оценки прогнозируемого срока окупаемости инвестиций в энергосбережение // Вестник МГСУ. - 2015. - №12. - с.136-146

31. Генералов К.П. Актуальные проблемы энергоэффективной модернизации вторичного жилья // Материалы IV Международной научно-практической интернет-конференции (Энергоэффективность, ресурсоснабжение и природопользование в городском хозяйстве и строительстве: экономика и управление). Волгоград: ВолГУ, 2017. С. 14-22.

32. Вештеюнас М.А. Особенности развития рынка энергосервисных услуг в России // Журнал правовых и экономических исследований. 2012. № 4. С. 78-81.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

33. Ищенко И.А., Земцов А.А. Энергосервисный контракт как новый вид инвестиционного договора // Проблемы учета и финансов. 2012. №3. С.7-9.

34. Привалихина К.К., Биятто Е.В. Энергосервисный контракт - один из способов повышения энергоэффективности // Научный аспект. 2014. №4. С. 80-83.

35. Зубков С.В. Энергосервисный контракт, как механизм повышения энергетической эффективности // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2015. № 12(51). С. 90-92.

36. Матвеева Е.Ю. О правовой природе энергосервисного договора (контракта). Энергосервисный договор (контракт) как типовая договорная конструкция // Право и политика. 2014. № 9. С. 1475-1483.

37. Тупикина А.А., Чернов С.С. Определение базового уровня потребления энергетических ресурсов в рамках реализации энергосервисных контрактов // Иновации. 2015. №10(204). с.106-112.

38. Горшков А.С. Что тормозит внедрение энергосбережения в России? // Энергосбережение. 2015. № 6. С. 46–49.

39. Корниенко С.В. Анализ базовых уровней энергопотребления при оценке энергоэффективности зданий // Энергобезопасность и энергосбережение. 2017. № 2. С. 16–21

40. Лымарева Т.П. Развитие энергосервисной деятельности в строительстве и эксплуатации жилья // Экономика строительства. 2017. № 3 (45). С. 13-23.

41. Панова О.И. Управление энергосервисными договорами и энергоэффективностью в ЖКХ // Экономика строительства. 2016. № 2. С. 56-65.

42. Backlund S., Eidenskog M. Energy service collaborations—it is a question of trust. Energy Effic.2013. No. 6. Pp. 511-521.

43. Aasen M., Westskog H., Korneliussen K. Energy performance contracts in the municipal sector in Norway: overcoming barriers to energy savings? Energy Effic.2016. No. 9. Pp. 171–185.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		107

44. Zhijian Lu, Shuai Shao Impacts of government subsidies on pricing and performance level choice in Energy Performance Contracting: A two-step optimal decision model. Applied Energy. 2016. No. 184. Pp.1176-1183.

45. Cagno E., Trianni A. Evaluating the barriers to specific industrial energy efficiency measures: an exploratory study in small and medium-sized enterprises. J. Clean. Prod.2014. No. 82. Pp. 70–83.

46. Цакунов С.В. Реализация энергосервисных контрактов в России // Энергосбережение. 2012. № 3 С. 16-23.

47. Мукумов Р.Э., Примак Л.В. Энергосервисный контракт, идентификация и типовое моделирование // Механизация строительства. 2011. №4. С.23.

48. Першина Т.А., Тихонова Т.А. Механизмы повышения энергоэффективности предприятий ЖКХ // Материалы III Международной научно-технической конференции (Энергоэффективность, ресурсоснабжение и природопользование в городском хозяйстве и строительстве: экономика и управление). Волгоград: ВолГУ, 2016. С. 760-766.

49. Цыбульский А.И. Использование энергетических контрактов в управлении энергосбережением многоквартирных домов // сборник статей конференции (Инновационные направления развития в образовании, экономике, технике и технологиях). Ставрополь: издательство "Ставролит", 2016. С. 192-197.

50. Кладкина С.Н. Проблемы реализации энергосервисных контрактов в области энергосбережения и энергоэффективности отрасли ЖКХ // Экономика и предпринимательство. 2015. № 7 (60). С. 598-600.

51. СП 345.1325800.2017 Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты. – М.: Стандартинформ, 2018. – 106 с.

					АС-393-08.04.01-2020-120-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		108