

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра теплотехники и гидрогазодинамики

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.А. Кулагин
подпись инициалы, фамилия

«_____» _____ 2019 г

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Исследование энергетической эффективности зданий

13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

13.04.01.01 «Энергетика теплотехнологий»

Научный руководитель _____ канд.техн.наук, доцент М.В. Колосов
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ О.Ю. Толокнова
подпись, дата инициалы, фамилия

Рецензент _____ начальник тепловой инспекции А.Г. Быков
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Красноярск 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Управление ресурсосбережением в жилищной сфере	8
1.1 Понятие и характеристика жилищной сферы.....	8
1.2 Общая характеристика систем теплоснабжения.....	18
1.3 Автоматизация регулирования подачи и учета тепловой энергии	21
1.4 Влияние солнечной радиации на теплопотребление зданий.....	23
1.5 Формирование групп энергосберегающих технологий с учетом технико-экономической целесообразности	25
2 Анализ энергоэффективности зданий.....	30
2.1 Тепловая эффективность жилых зданий.....	30
2.2 Показатели энергоэффективности зданий.....	37
2.3 Методика анализа энергоэффективности зданий	40
2.4 Расчет экономии тепловой энергии.....	48
3 Моделирование теплопотребления здания.....	51
3.1 Методика расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий	51
3.2 Расчет расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию объекта	60
3.3 Способы уменьшения теплопотребления здания	71
Заключение	79
Список использованных источников	81

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы обусловлена необходимостью научной проработки вопросов повышения энергетической эффективности зданий за счет автоматизации и более эффективного регулирования температурных режимов в зданиях.

В настоящее время проблема энергетической эффективности является одной из наиболее актуальных для развития России. Страна располагает масштабным недоиспользуемым потенциалом энергосбережения, который по способности решать проблему обеспечения экономического роста страны сопоставим с приростом производства всех первичных энергетических ресурсов. Более, чем в 80% построенных жилых зданий по России имеются проблемы, связанные с потерей энергоэффективности здания в целом. Эти проблемы могут быть заранее предупреждены и предотвращены.

Энергоемкость российской экономики существенно превышает в расчете по паритету покупательной способности аналогичный показатель в США, в Японии и развитых странах Европейского Союза. Нехватка энергии может стать существенным фактором сдерживания экономического роста страны.

Меры по снижению энергоемкости за период 1998-2005 гг. оказались недостаточными для того, чтобы остановить динамичный рост спроса на тепловую энергию. Рост спроса на газ и на электроэнергию оказался выше значений, предусмотренных «Энергетической стратегией России». Суммарное энергопотребление России в 2007 г. составило около 990 млн. т.у.т. При доведении внедрения энергосберегающего и энергоэффективного оборудования до уровня в странах – членах ЕС, энергопотребление снизилось бы до величины 650 млн. тонн условного топлива. Это около 35% энергии в Российской Федерации используется неэффективно.

В 2008 году Указом Президента Российской Федерации от 4 июня 2008 г. № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической

эффективности российской экономики» была определена цель – снизить к 2020 году энергоёмкость валового внутреннего продукта (ВВП) на 40% от уровня 2007 года. Во исполнение Указа Президента был принят 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», после чего началась систематическая работа в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в различных секторах и сферах экономики России. Для достижения указанных целей в 2010 году Минэнерго России совместно с ЗАО «АПБЭ», ООО «ЦЭНЭФ» и ФГУ «РЭА» разработало Государственную программу Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» («ГПЭЭ-2020»), которая была одобрена на заседании Правительства Российской Федерации 21.10.2010 и утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27.12.2010 № 2446-р. В 2016 году Министр энергетики Российской Федерации Александр Новак отметил позитивную динамику роста энергоэффективности экономики: «По итогам 2016 года снижение энергоёмкости ВВП по отношению к 2007 составило почти 11%» [1].

Начавшийся в 2014 году геополитический кризис и введение рядом стран финансовых и технологических ограничений против России, изменение динамики мировых цен на энергоносители и начало нового этапа более жестокой глобальной конкуренции за ресурсы и рынки потребовали от России пересмотра прогнозов развития энергетической стратегии страны, и в 2016 году был разработан проект «Энергетическая стратегия России на период до 2035 года». Согласно этой стратегии, в составе мер реализации потенциала энергосбережения и повышения энергоэффективности будут использоваться как совершенствование нормативно-правовой базы, включая введение запрета на производство и использование энергетически неэффективной техники, оборудования и зданий, так и разработка стандартов энергоэффективности

зданий и сооружений. Важным следствием политики энергосбережения станет существенное сдерживание роста эмиссии парниковых газов и сокращение вредных выбросов энергетического комплекса в окружающую среду. [2]

Крупнейшим потребителем тепловой энергии является сфера ЖКХ. На отопление идет более 40% всего вырабатываемого тепла, при этом расход энергоресурсов на отопление в России выше, чем в других странах со схожим климатом [1]. Повышение энергоэффективности жилого фонда является одной из первоочередных задач энергосбережения в сфере ЖКХ, а также важным условием снижения платёжной нагрузки на население за коммунальные услуги.

В 2016 году утверждено Распоряжение Правительства РФ от 01.09.2016 № 1853-р «Об утверждении плана мероприятий ("дорожной карты") по повышению энергетической эффективности зданий, строений и сооружений». План направлен на снятие технических, регуляторных, информационных и других барьеров повышения энергетической эффективности и установление соответствующих показателей энергетической эффективности при проектировании, строительстве, эксплуатации и проведении капитального ремонта зданий, строений и сооружений. За счёт установления требований энергетической эффективности зданий, строений и сооружений будет обеспечиваться рациональное использование энергетических ресурсов при эксплуатации зданий [3].

Согласно «дорожной карте» к 2025 году планируется уменьшение удельного годового расхода тепловой и электрической энергии на 1 м² всех площадей в многоквартирных домах на территории Российской Федерации на 25% по сравнению с 2015 годом. Доля многоквартирных домов наивысшего класса энергетической эффективности в общем числе вводимых в эксплуатацию многоквартирных домов на территории РФ должна составлять 30%.

Из анализа отечественного и зарубежного опыта технологий ресурсосбережения, следует, что ресурсосбережение и энергоэффективность в

России в настоящее время не распространено, и является сферой, которую нужно исследовать.

Ресурсосбережение зависит от многих факторов, но, в основном, от состояния и качества жилищной сферы, а именно, жилищного фонда, под которым понимается совокупность всех жилых помещений, находящихся на территории Российской Федерации.

Управление ресурсосбережением заключается в:

- развитию строительства энергоэффективных зданий;
- разработке, внедрении и использовании ресурсосберегающих технологий на всех этапах жизненного цикла зданий;
- разработке мероприятий для эффективного ресурсосбережения;
- контроле и управлении жилищным фондом;
- осуществлении работ по повышению качества жилищного фонда.

При качественном управлении ресурсосбережением можно понизить тепловые потери зданий, следовательно, ресурсосбережение является одной из многих технологий, которая требует развития.

Цель работы: определить способы повышения энергоэффективности здания путем изменения параметров теплоносителя во внутреннем контуре.

Объект исследования: энергоэффективность в жилищной сфере.

Предмет исследования: изменение температурного графика в зависимости от конструктивных особенностей ограждающих конструкций зданий с учетом экономической целесообразности.

Основные задачи магистерской работы:

- изучить понятие ресурсосбережения и энергосбережения, определить каким образом происходит ресурсосбережение в жилищной сфере;
- проанализировать отечественный и зарубежный опыт управления ресурсосбережением, нормативные документы и научную литературу;
- определить потребность в ресурсосбережении для государства, организаций, общества;

– исследовать жилищный фонд и жилищную сферу России, в том числе и г. Красноярска, с целью выявления проблем в зданиях, которые связаны с энергосбережением;

– рассмотреть возможные методы ресурсосбережения на всех жизненных циклах здания.

Научная гипотеза диссертационного исследования состоит в том, что можно увеличить энергоэффективность зданий за счет снижения тепловых потерь в осенне-весенний период.

Научная новизна диссертационного исследования работы:

– произведено сравнение удельного энергопотребления здания по месяцам с помощью полученного коэффициента;

– получены графические зависимости температуры во внутреннем контуре здания от температуры наружного воздуха для различных показателей солнечной радиации для конкретного здания.

Структура и объем работы. Диссертация содержит введение, три главы, заключение и библиографический список источников из 25 наименований. Общий объем работы изложен на 83 страницах, включая 18 рисунков и 25 таблицы.

1 Управление ресурсосбережением в жилищной сфере

1.1 Понятие и характеристика жилищной сферы

Современная социально-экономическая политика российского государства в качестве важнейшего приоритета содержит решение жилищной проблемы. Об общественной значимости и остроте этой проблемы, свидетельствуют ежегодные Послания Федеральному Собранию Президента Российской Федерации, в которых задача обеспечения граждан доступным и благоустроенным жильем является одной из самых актуальных задач.

Правовой базой реализации современной жилищной политики является принятие в конце 2004 г. пакета законов о доступном жилье для россиян, важнейшим из которых является Жилищный кодекс [22].

Жилищная сфера, как часть экономической и хозяйственной сфер, является одной из наиболее важных сторон рыночной жизни страны. Сущность и понятие «жилищная сфера» в российском законодательстве впервые было сформулировано и раскрыто в законе РФ «Об основах федеральной жилищной политики» следующим образом:

«Жилищная сфера – область народного хозяйства, включающая строительство и реконструкцию жилища, сооружений и элементов инженерной и социальной инфраструктуры, управление жилищным фондом, его содержание и ремонт».

Структура жилищной сферы показана на рисунке 1.

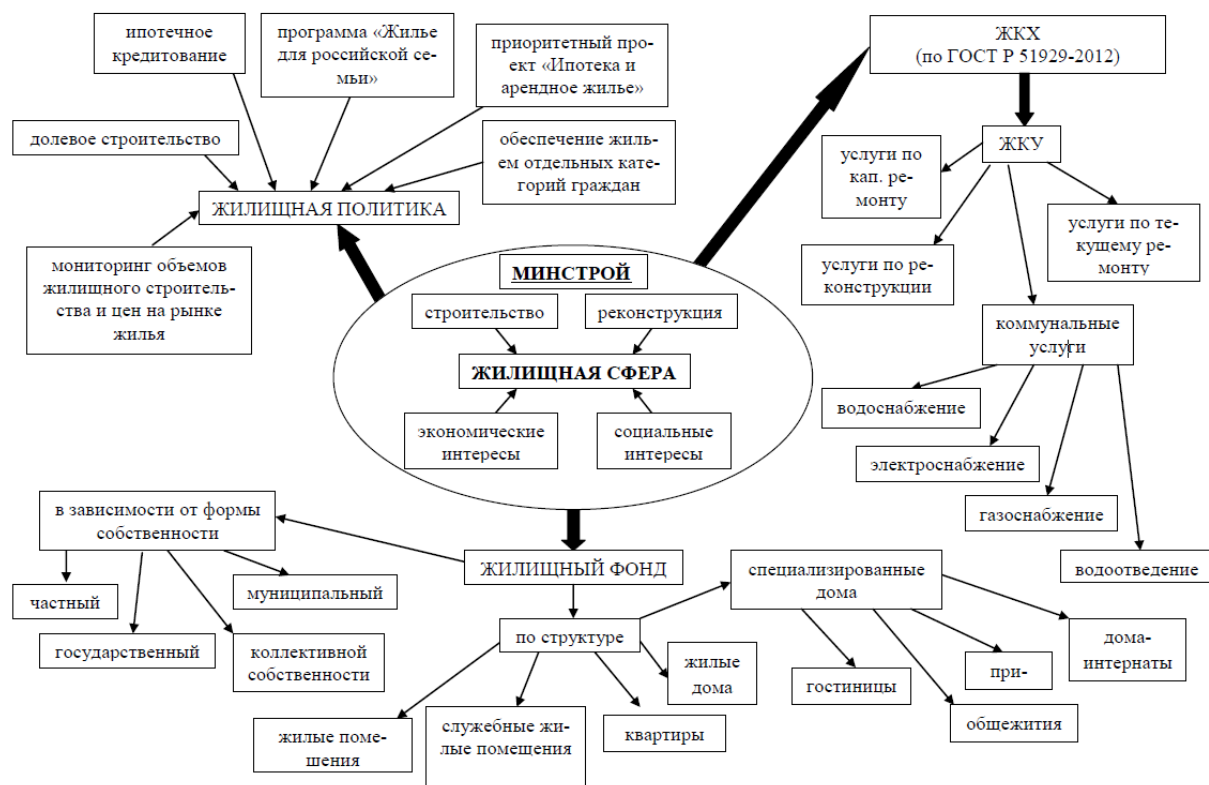


Рисунок 1 – Структура жилищной сферы

Жилищная сфера зачастую отождествляется с жилищно-коммунальным хозяйством, ее исследуют как элемент социальной сферы, но преобладают всё-таки представления о жилищной сфере как о совокупности видов деятельности, относящихся к жилью, и формирующих самостоятельный сектор в экономике государства. Понимание жилищной сферы только как области народного хозяйства подчеркивает ее экономическую составляющую, однако не вполне отражает ее социальную направленность [20].

В этой связи более широким и точным является следующее определение: «жилищная сфера – это многогранная, сложная система, область концентрации не только особых экономических, но и особых социальных интересов, обусловленных первейшей значимостью жилья в жизни людей». Оно подчеркивает особую социальную роль жилищной сферы в развитии общества. Отсюда следует, что жилищную сферу следует рассматривать как социально-экономическую систему. При этом принципиально важным в раскрытии сущности жилищной сферы является ее предназначение –

удовлетворение жилищных потребностей населения. С этих позиций жилищная сфера мегаполисов предстает как система социально-экономических отношений, складывающихся в городском сообществе по поводу приобретения, владения и пользования жильем.

Основываясь на теории, необходимо отметить, что жилищной сфере присущи характерные для сложных социально-экономических систем свойства: целостность, многообразие взаимосвязь ее элементов, динамизм, открытость, адаптивность и самоорганизация [18]. При этом жилищная сфера обладает и особыми, специфическими особенностями, обусловленными ее социальной и экономической значимостью:

- ярко выраженной социальной направленностью, связанной с удовлетворением потребности в жилье – жизненно необходимом благе;

- мультипликационным эффектом развития, влияющим на экономический рост городов и доходы населения вследствие обеспечения занятости значительной части трудоспособного населения;

- местным характером проблем и приоритетной ролью местных властей в регулировании развития жилищной сферы;

- растущим потребительским спросом, так как потребность в жилье практически не насыщаема (рост семьи, желание улучшить жилье и т.п.).

Таким образом, в жилищной сфере проявляются и соприкасаются интересы и власти, и населения, и бизнеса, а значит, и различные сегменты теории управления. Специфические особенности жилья особенно рельефно проявляются в процессе содержания и ремонта, что предполагает их разделение на [12]:

- 1) Социальные особенности жилья: проявляются, во-первых, в том, что жилье, как уже отмечалось, является жизненно-необходимым благом, право на которое закреплено в Конституции РФ. Поэтому органы государственной власти и органы местного самоуправления обязаны создавать условия для осуществления права на жилище. Социальные особенности наиболее типичных в настоящее время жилищ в крупных городах-мегаполисах

(многоэтажных, многоквартирных домов) проявляются также в различиях состава жильцов по уровню доходов, социальному статусу, менталитету, что формирует достаточно сложный с точки зрения управления процесс.

2) Экономические особенности жилья: отражают современный этап регулирования жилищных отношений, который характеризует специфическая система ценообразования на жилищные услуги и установления платы за пользование жильем, наличие системы дотирования производства услуг и субсидирования малоимущих граждан, регулирование тарифов на коммунальные услуги, а также сложная система финансовых потоков в системе управления жильем.

3) Технические особенности жилья: проявляются в процессе управления жилищным фондом и подразумевают бесперебойное функционирование, надежность всех его инженерных систем и строительных конструкций. Технические характеристики жилищного фонда (различные конструктивные и планировочные характеристики, насыщенность сложным инженерным оборудованием, а также разная степень износа элементов зданий), совокупность местных особенностей (географические, природно-климатические, инженерно-технические) определяют особенности управления процессами содержания и ремонта жилищного фонда.

Жилищная сфера представляет собой сложную межотраслевую производственную систему, включающую в себя часть сферы производства и часть сферы услуг, связанные с проектированием, строительством, капитальным ремонтом и реконструкцией жилищного фонда, его техническим обслуживанием, предоставлением коммунальных и других услуг населению в целях обеспечения условий проживания в жилищном фонде представителей любых форм собственности. Таким образом, целью функционирования жилищной сферы является жизнеобеспечение граждан.

Не менее важно определить соотношение и взаимосвязь различных интерпретируемых отдельных сегментов жилищной сферы как сектора экономики страны. Так, в соответствии с ГОСТ Р 51929-2002 «Услуги

жилищно-коммунальные. Термины и определения» услуги по реконструкции, капитальному и текущему ремонту, содержанию жилищного фонда и предоставлению коммунальных услуг (тепло-, водо-, газо-, электроснабжение и канализование (водоотведение) жилых зданий) объединены общим понятием – «жилищно-коммунальные услуги». В общем объеме жилищно-коммунальных услуг услуги, связанные с содержанием жилья и ремонтом (услуги жилищного хозяйства), а также предоставлением услуг по тепло-, электро-, газо-, водоснабжению и водоотведению (услуги коммунального хозяйства) составляют более 90%. В целом основное потребление услуг муниципального коммунального хозяйства происходит в жилищном фонде – населением.

Процессы, протекающие в жилищной сфере, распространяются и на каждый отдельный объект, и на весь жилищный фонд в целом, а целью функционирования жилищной сферы является эксплуатация жилищного фонда. С теоретических и методологических позиций под эксплуатацией следует буквально понимать использование потребительских свойств предмета – жилищного фонда. В нормативных документах под понятием «эксплуатация жилищного фонда» понимают техническое обслуживание жилищного фонда и его ремонт. Таким образом, полезные потребительские свойства жилищного фонда должны использовать владельцы и (или) наниматели, арендаторы жилья, а не жилищные и коммунальные службы, осуществляющие именно его техническое обслуживание и ремонт, предоставление коммунальных услуг.

Жилищный фонд – это совокупность всех жилых помещений независимо от форм собственности, включая [7]:

- жилые дома;
- специализированные дома (общежития, гостиницы-приюты, дома маневренного фонда, жилые помещения из фонда жилья для временного поселения граждан, утративших жилье в результате обращения взыскания

нежилое помещение, специальные дома для одиноких престарелых, дома-интернаты для инвалидов, ветеранов и другие);

- квартиры;
- служебные жилые помещения;
- иные жилые помещения в других строениях, пригодные для проживания.

Жилищный фонд включает, кроме перечисленных, также помещения, не соответствующие по санитарно-техническому состоянию жилым, но занимаемые гражданами для проживания.

Все жилые помещения, находящиеся на территории Российской Федерации (жилищный фонд), в зависимости от формы собственности подразделяются (ст. 19 ЖК РФ) на:

- частный жилищный фонд – совокупность жилых помещений, находящихся в собственности граждан и в собственности юридических лиц;
- государственный жилищный фонд – совокупность жилых помещений, принадлежащих на праве собственности Российской Федерации (жилищный фонд Российской Федерации), и жилых помещений, принадлежащих на праве собственности субъектам РФ (жилищный фонд субъектов РФ);
- муниципальный жилищный фонд – совокупность жилых помещений, принадлежащих на праве собственности муниципальным образованиям.
- жилищный фонд коллективной собственности.

В зависимости от целей использования жилищный фонд подразделяется на:

- жилищный фонд социального использования;
- специализированный жилищный фонд;
- индивидуальный жилищный фонд;
- жилищный фонд коммерческого использования.

Жилищный фонд функционирует благодаря товариществам собственников жилья. В соответствии со ст. 135 Жилищного кодекса РФ

товариществом собственников жилья (ТСЖ) признается некоммерческая организация, объединение собственников помещений в многоквартирном доме для совместного управления общим имуществом в многоквартирном доме.

Создание ТСЖ в новостройках является делом взаимовыгодным для всех участвующих сторон. Город получает новое качественное жилье и гарантии того, что ответственность за управление, эксплуатацию и содержание этого жилья несет юридически правомочная организация. Хотя и медленно, но растет и число ТСЖ в существующем жилищном фонде, в домах бывшего муниципального и кооперативного жилья. Такие товарищества, взяв в собственные руки заботу о своих домах, показывают значительные успехи в самоуправлении, добиваясь улучшения качества обслуживания жилья. Добиться снижения стоимости жилищно-коммунальных услуг удастся правильной организацией договорных отношений, а также за счет установки приборов учета и регулирования потребления водо- и энергоресурсов, использования придомовой территории и нежилых помещений для нужд товарищества [24].

Функциональная схема жилищной сферы укрупнено делится на блоки спроса, предложения и управления. Спрос различной направленности исходит от домохозяйств, а предложение исходит от инвестиционно-строительного комплекса, жилищно-коммунального комплекса и комплекса сопутствующих услуг. Регуляторами выступает государственный и некоммерческий сектор, которые, в свою очередь выполняют функцию управления. Основным объектом управления здесь выступает жилищный фонд.

Функционирование и инновационное развитие жилищной сферы обусловлено особенностями жилья как экономического блага, среди которых [23]:

- жилье является благом длительного пользования;
- оно имеет длительный цикл воспроизводства;

– расходы на жилье составляют существенную долю в бюджете домохозяйств;

– жилью свойственны черты, как частного, так и общественного блага.

В управлении жилищной сферой важным моментом является достижение согласованности интересов компаний производителей и домашних хозяйств, но именно здесь возникают основные проблемы управления. В целом управление жилищной сферой может организовываться по трем основным моделям, которые показаны на рисунке 2.

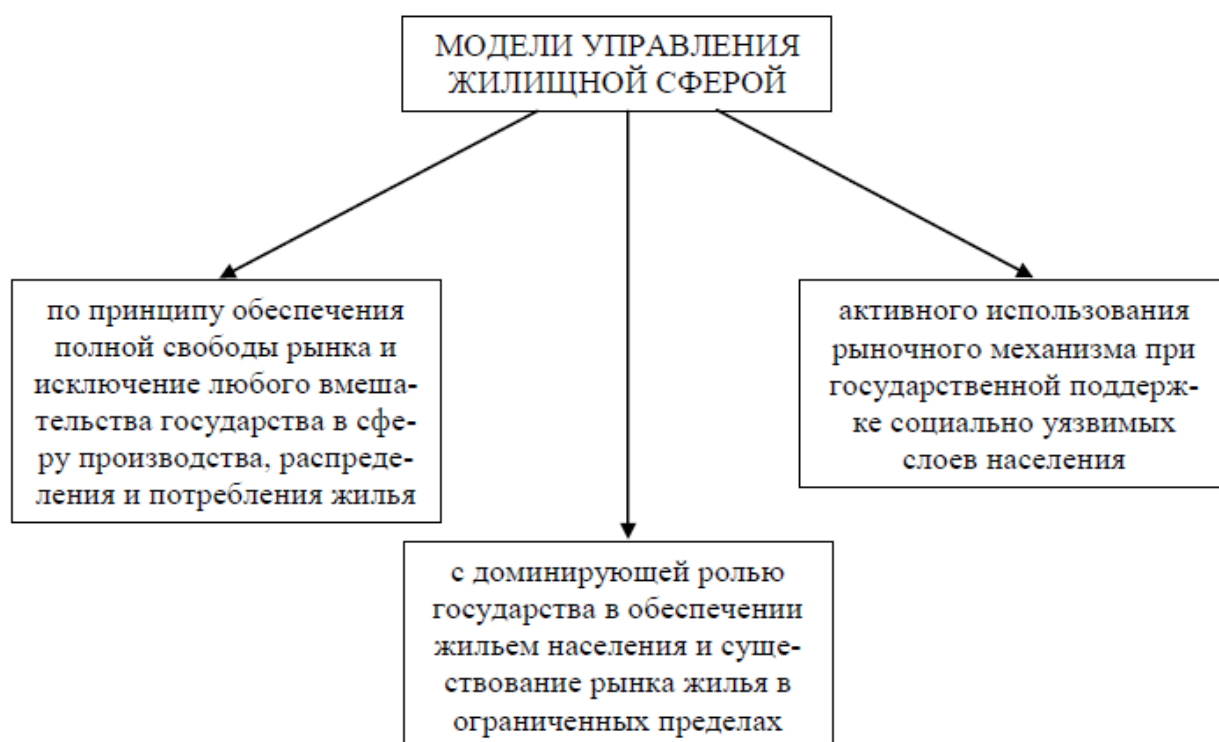


Рисунок 2 – Модели управления жилищной сферой

В модели с полной свободой рынка, черты которой преобладают в России, согласование интересов производителей и домашних хозяйств, при организации сегмента доступного и комфортного жилья, реализуется с помощью рыночных механизмов, но в силу высокой стоимости производства жилья и жилищных услуг и их высокой социальной значимости достичь согласия становится сложно.

При управлении жилищной сферой в условиях рыночного способа удовлетворения потребностей в жилье и жилищных услугах возникает необходимость государственной поддержки при формировании сегмента жилья эконом-класса соответствующего качества. В данном сегменте ключевой особенностью жилья как общественного блага является доступность или возможность домохозяйств платить.

Доступность (affordability) обычно определяется как текущие расходы аренды или владения. Под «доступным жильем по цене» (affordablehousing) понимаются общие жилищные издержки (аренда, ипотека, базовые коммунальные услуги) адекватного жилья, которые не превышают 30-35% от общего дохода домохозяйства. Или полные затраты на жилье, содержание которого является доступными для среднего семейного дохода [21]. Таким образом «доступное жилье» - это жилье адекватного качества доступное для покупки и содержания домохозяйствами с низкими и средними доходами. Отметим, что в российской практике при расчете доступности жилья не принято учитывать расходы на его содержание.

Разделив понятие доступности жилья на доступность покупки и доступность содержания, обратим внимание на следующий практический момент в управлении: в сегменте эконом-класса (массового жилья) наиболее важным становится доступность жилья для покупки – при превышении определенного уровня цен оно перестает быть доступным для массового покупателя; в сегменте бизнес- и элит-класса доступность покупки менее важна – здесь становится актуальным доступность содержания [25].

Одно из самых сложных и перспективных направлений в современных условиях инновационного прогресса, которое может решить одновременно задачу и доступности, и комфортности, является развитие энергоэффективности и ресурсосбережения. Перед государством стоит задача создать новый тип жилья эконом-класса, доступного населению со средним доходом и при этом соответствующего стандартам энергоэффективности и экологическим нормам.

Очевидно, что жилищная сфера находится в преддверии нового этапа развития, зачатки которого уже обозначены в стратегических документах России и федеральных законах. Целью нового этапа федеральных целевых программ стало комплексное решение проблемы перехода к устойчивому функционированию и развитию жилищной сферы, обеспечивающее доступность жилья для граждан и безопасные, комфортные условия проживания в нем. Новую направленность реформированию ЖКХ придали государственные программы, отображенные на рисунке 3.

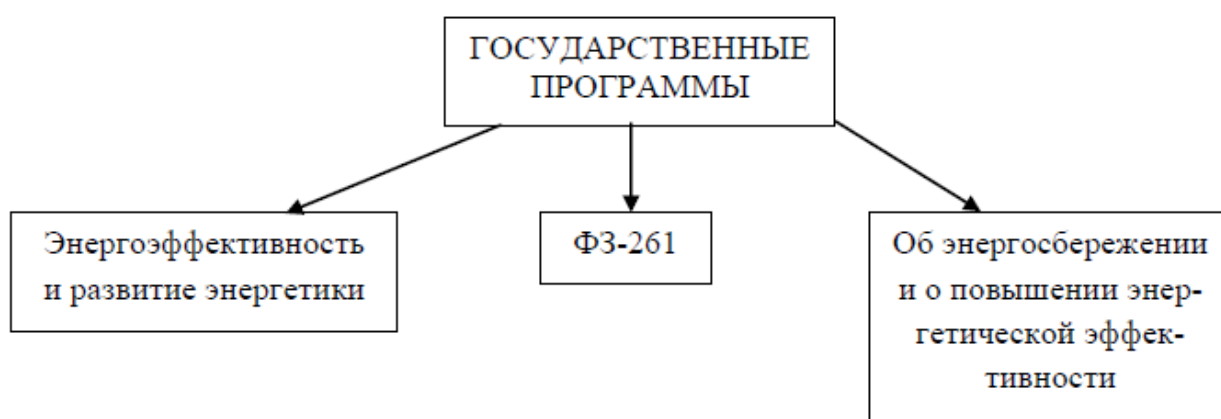


Рисунок 3 – Государственные программы по ресурсосбережению и энергосбережению

Достижение, поставленной на государственном уровне, цели повышения доступности и комфортности жилья, как показывает практика, требует новых, более гибких, форм управления, в том числе восприимчивых к инновациям. При создании организационно-экономических методов инновационного управления в жилищной сфере необходимо учитывать то, что каждое отдельное здание имеет свой жизненный цикл, в управлении которого задействовано значительное количество экономических субъектов. И характер управления на каждом отдельном этапе жизненного цикла влияет на последующий этап. Жилищная сфера России многогранна и разнообразна. Управление жилищной сферой осуществляется благодаря жилищной политике, которую разрабатывает Минстрой России.

1.2 Общая характеристика систем теплоснабжения

В городе Красноярске преобладает централизованное теплоснабжение потребителей коммунально-бытового сектора от ТЭЦ, угольных и электрокотельных.

Доля централизованного теплоснабжения города растёт, тенденция к увеличению централизации выработки тепла объясняется тем, что застройщики жилья, объектов соцкультбыта, торговли и прочие стараются подключиться к уже существующим теплоисточникам. Увеличивается тепловая нагрузка в основном на энергоисточники с комбинированной выработкой тепла и электрической энергии (ТЭЦ). В тоже время снижается доля отпускаемого тепла от существующих котельных за счет закрытия части угольных котельных и снижения использования тепловой мощности электрокотельных как менее экономичных теплоисточников. Тепловая нагрузка закрываемых угольных котельных и электрокотельных переключается на Красноярские ТЭЦ.

Теплоснабжение жилищного фонда и объектов социальной сферы города обеспечивается работой 40 теплоисточников, из которых 5 входят в группу компаний Красноярского филиала ООО «СГК» (без учёта четырех не эксплуатируемых электрокотельных), 21 – находятся в муниципальной собственности и эксплуатируется специализированными организациями, и 14 в собственности прочих теплоснабжающих организаций.

Помимо теплоснабжения общественного и жилищного фонда в городе к системам централизованного теплоснабжения подключены промышленные потребители, получающие тепловую энергию, как в паре, так и в горячей воде.

Теплоснабжение промышленных потребителей происходит от Красноярских ТЭЦ и от собственных котельных, некоторые из которых отпускают тепловую энергию еще и потребителям жилищно-коммунального сектора, и объектам социальной сферы.

Базовыми источниками теплоснабжения являются источники с комбинированной выработкой теплоты и электроэнергии (ТЭЦ-1, ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3), работающие по циклу Ренкина с турбоагрегатами, имеющими регулируемые отборы пара отопительных и производственных параметров. Теплота из этих отборов передается через основные бойлера (работающие на паре отопительных параметров) и пиковые бойлера (работающие на паре промышленных параметров) к теплоносителю первого контура. Другая (незначительная) часть теплоты в виде водяного пара разных параметров передается по паровым сетям к технологическим потребителям. Теплоноситель первого контура по магистральным тепловым сетям переносит теплоту к центральным тепловым пунктам (ЦТП и КРП), а также непосредственно к потребителям.

Отпуск тепла от ТЭЦ осуществляется по температурному графику 150/70°C со срезкой на 130°C. На котельных регулирование осуществляется в соответствии с температурными графиками 150/70°C, 130/70°C, 120/70°C, 115/70°C, 110/70°C, 95/70°C.

Системы централизованного теплоснабжения города Красноярска имеют развитую сеть трубопроводов. Сложности в обеспечении гидравлического режима ряда потребителей города возникают вследствие большой разности геодезических отметок (более 200 метров), а также протяженности (радиуса действия) тепловых сетей до наиболее удаленных потребителей тепловой энергии, достигающей более 16,2 км.

Тепловая энергия от теплоисточников до потребителей города транспортируется в основном по 2-х трубной системе тепловых сетей. Около 90% систем теплоснабжения потребителей подключены по зависимым схемам с открытым водоразбором теплоносителя из тепловых сетей на нужды горячего водоснабжения.

Сложный рельеф местности и протяженность тепловых магистралей предопределили необходимость строительства большого числа мощных перекачивающих насосных станций.

Общая протяженность тепловых сетей в двухтрубном исчислении по городу составляет 965,1 км, в т. ч. протяженность магистральных тепловых сетей – 333,1 км.

Функциональная структура централизованного теплоснабжения города представляет разделенное между разными юридическими лицами производство тепловой энергии и ее транспорт до потребителя.

Общий вид функциональной структуры СЦТ города Красноярск приведен на рисунке 4.

Расположение основных источников тепловой энергии (мощности) г. Красноярск и их зоны действия представлены на рисунке 5.

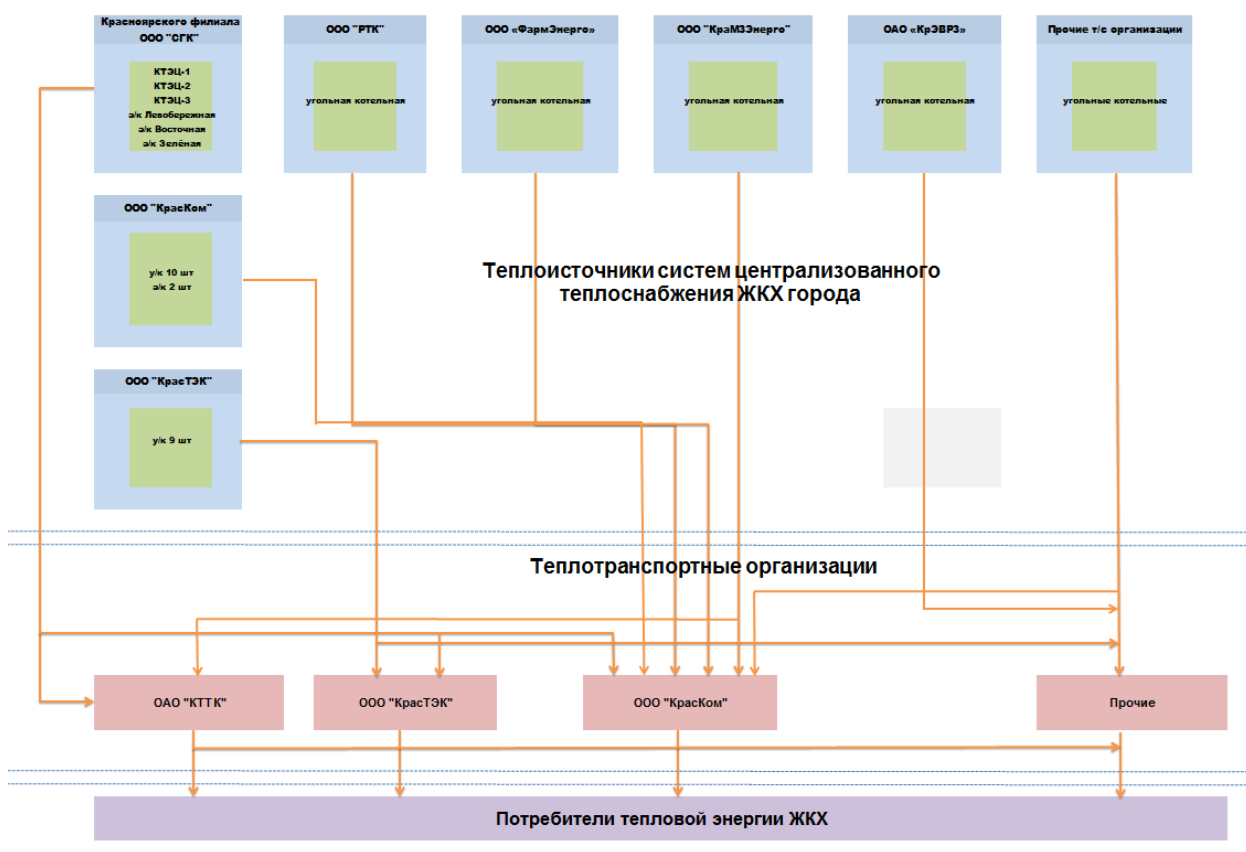


Рисунок 4 – Функциональная структура системы теплоснабжения города Красноярск

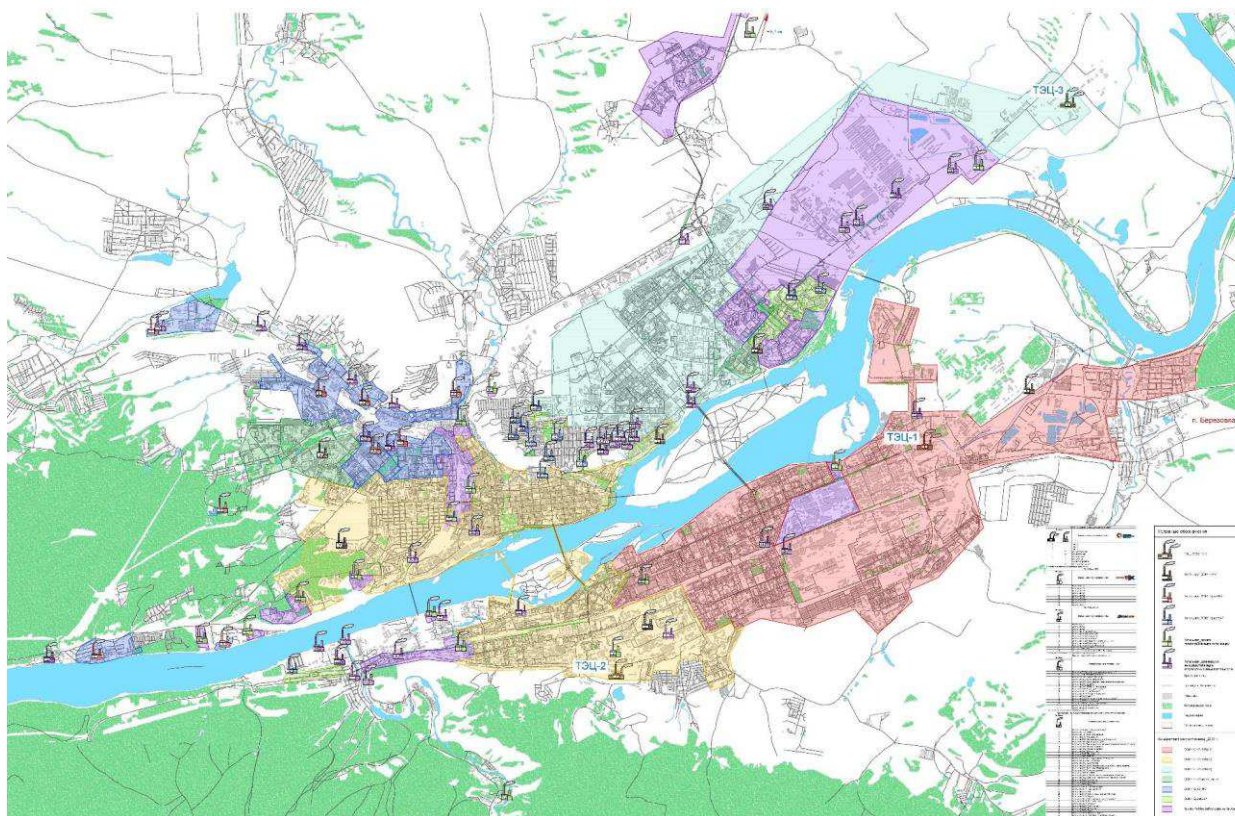


Рисунок 5 – Основные источники тепловой энергии (мощности) города
Красноярска

1.3 Автоматизация регулирования подачи и учета тепловой энергии

В последнее время в ряде решений на правительственном уровне и в выступлениях представителей администрации звучат требования организации учета тепловой энергии у потребителей с установкой теплосчетчиков в каждом доме.

Однако, установка теплосчетчиков не уменьшает теплопотребление зданиями. В лучшем случае, позволяет снизить расходы на оплату за пользование тепловой энергией, если договорные тепловые нагрузки завышены по сравнению с требуемыми или при отключении ряда систем теплопотребления.

Реальное снижение потребления тепловой энергии, необходимое городу, достигается путем оборудования тепловых пунктов здания системами автоматического регулирования подачи тепла на отопление как наиболее

массовой нагрузки. При этом обеспечивается сокращение тепловой энергии до 15% годового потребления, а при отказе от ЦТП и переходе на системы теплоснабжения с ИТП до 25%.

Естественно, без теплосчетчиков экономия не может быть зафиксирована, поэтому необходимо сочетать автоматизацию регулирования систем теплоснабжения с коммерческим учетом потребляемой тепловой энергии. Но учет должен осуществляться наиболее простыми средствами, не удорожающими строительство и эксплуатацию систем теплоснабжения. К сожалению, действующие в настоящее время "Правила учета тепловой энергии и теплоносителя" (М., 1995 г.) не отвечают этому условию.

В них даже для закрытых систем теплоснабжения почти повсеместно требуется измерение расхода теплоносителя по обоим трубопроводам тепловой сети и обязательная почасовая и посуточная регистрация всех параметров теплоносителя расхода, температур и давления. Все это резко увеличивает стоимость узла учета, затрат на его эксплуатацию и снижает надежность, так как при выходе из строя одного из приборов или нарушении одного из параметров измерения весь узел учета считается неработающим.

Второе направление организации учета тепла и воды, создающее энергосберегающий эффект, это установка квартирных тепло- и водосчетчиков. Как и в электроснабжении, она не исключает установки общедомовых приборов учета. Это дает серьезную прибавку в экономии воды и тепла, поскольку у жильца появится стимул к ограничению потребления ресурсов. Но если при водоснабжении поквартирные водосчетчики поставить технически несложно, то в существующих так называемых системах отопления коллективного пользования, когда один стояк питает отопительные приборы, расположенные в разных квартирах, а в квартире таких стояков несколько, учесть потребление тепла каждой квартирой практически невозможно.

Есть решение, которое применяют в Западной Европе, когда на каждый отопительный прибор ставится датчик, по показаниям которого судят о доли

теплопотребления данного прибора в общем количестве тепла, потребленного системой отопления всего дома. Эти датчики у нас называют тепловыми распределителями. Но в этом случае жильцу надо предоставить возможность влиять на изменение теплопотребления, то есть поставить на каждый отопительный прибор ещё и термостат. В целом это мероприятие сопряжено с немалыми затратами. Другой вариант перепроектировать системы отопления на поквартирные, с одним вводом, питающим все отопительные приборы данной квартиры. Такие опытные системы уже используются.

Возвращаясь к вопросам автоматизации регулирования подачи тепла, следует отметить, что ранее акцент делался на автоматизацию ЦТП, имея в виду, что более оптимальным решением и по капитальным затратам, и по эксплуатационным расходам были системы теплоснабжения с ИТП. Однако в то время не было соответствующего оборудования - малошумных насосов, компактных теплообменников, бесшумных регулирующих клапанов. Теперь все это есть, а в условиях рынка, роста стоимости теплоносителя, приватизации жилья и сферы обслуживания роль ИТП, оборудованных системами авторегулирования и учета тепла, резко возросла. Очевидно, что необходимо в новом строительстве и реконструкции сложившегося жилого фонда переходить на системы теплоснабжения с ИТП.

1.4 Влияние солнечной радиации на теплопотребление зданий

При проектировании наружных ограждений зданий необходимо учитывать теплотехнический режим ограждения при воздействии на них солнечной радиации.

Тепло от воздействия солнечной радиации частично поглощается ограждением, а частично отражается от поверхности. Количество тепла солнечной радиации, поглощаемое поверхностью материала, определяется коэффициентом поглощения солнечной радиации. Значения солнечной радиации в разные месяцы разные. Именно поэтому и необходимо при

проектировании систем теплоснабжения учитывать влияние солнечной радиации на теплотребление здания.

Учет влияния солнечной радиации на тепловой режим зданий возможен лишь с помощью позонного, либо индивидуального регулирования. Но системы автоматического регулирования теплотребления зданий в большинстве случаев не учитывают влияние солнечной радиации.

Значение суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной) [27] на горизонтальную поверхность при безоблачном небе, приведено на рисунках 67).

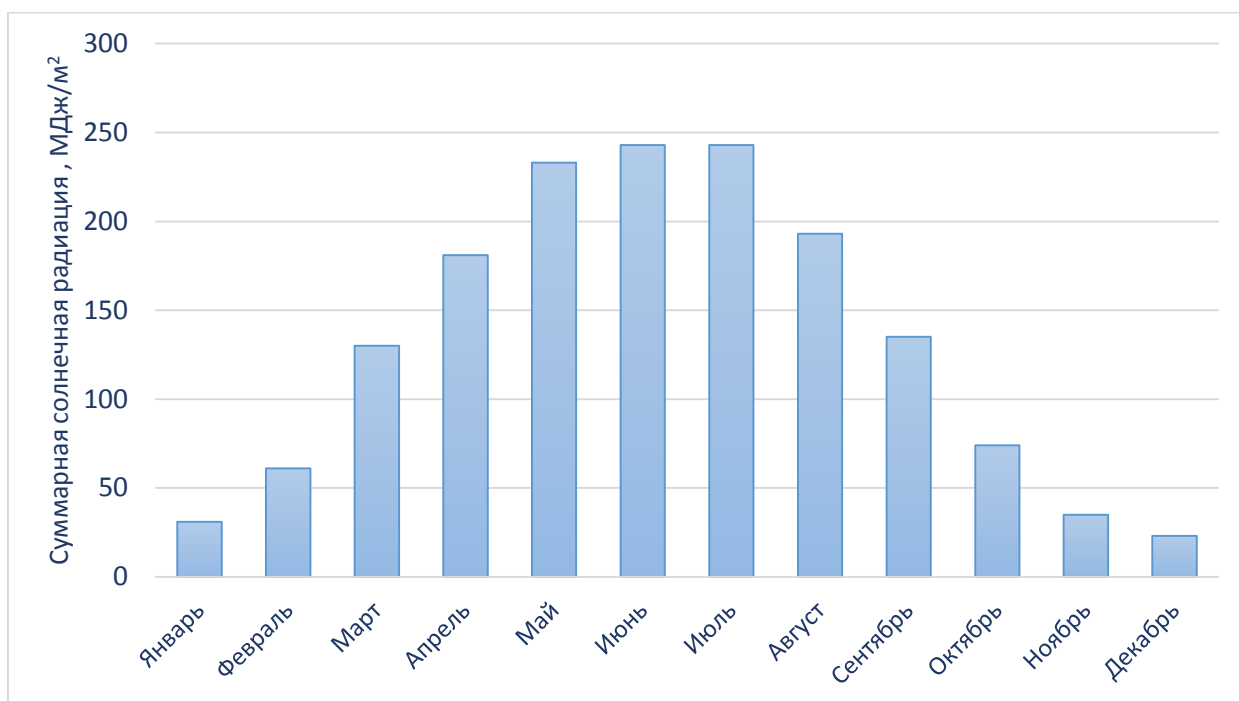


Рисунок 6 – Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность при безоблачном небе

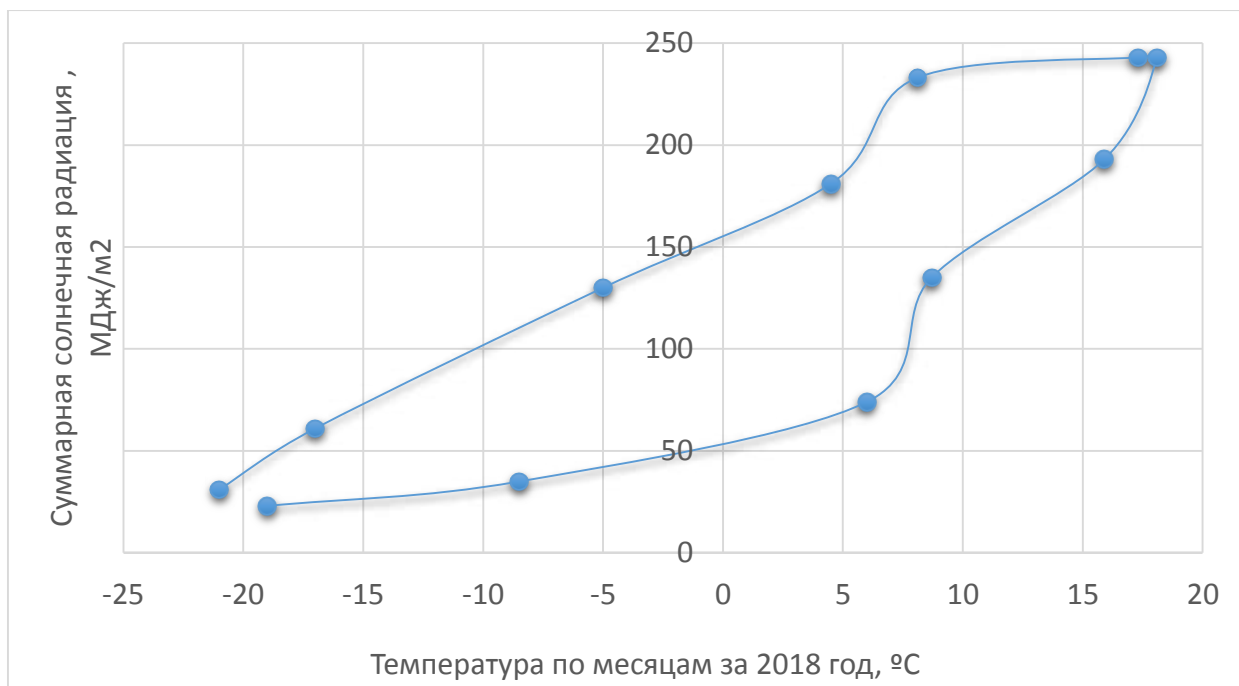


Рисунок 7 – Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность при безоблачном небе

Под влиянием солнечной радиации температура наружной поверхности ограждения повышается, вследствие чего с поверхности происходит отдача тепла конвекцией окружающему воздуху и излучением в окружающую среду. Для расчетов все эти тепловые воздействия на ограждение могут быть заменены действием условной наружной температуры воздуха [28].

1.5 Формирование групп энергосберегающих технологий с учетом технико-экономической целесообразности

В стране наблюдается рост тарифов на энергоресурсы при снижении качества услуг, что имеет множество причин и предпосылок, усиливающихся в условиях длительного реформирования жилищно-коммунальной отрасли, а также мирового экономического кризиса. В прошлые годы низкая стоимость энергоносителей делала экономически нецелесообразным строительство зданий с высоким сопротивлением теплопередаче наружных ограждающих конструкций. Отсутствие средств регулирования и учета расхода тепловой

энергии, горячей и холодной воды, природного газа приводило к их расточительному использованию. Также повышенному потреблению энергоресурсов способствует невысокая эффективность автономных теплогенераторов и бытовых электроприборов [13]. Это усугубляется низкой культурой населения в части энергосберегающего потребления и значительными потерями во внутридомовых и магистральных сетях. Можно признать, что в России самая затратная и неэффективная энергетика именно в сфере ЖКХ.

В рассматриваемых далее примерах в качестве ответственного лица за содержание многоквартирного дома и исполнителя жилищно-коммунальных услуг будем рассматривать управляющую компанию как наиболее оптимальный способ управления многоквартирным домом.

Как правило, при отсутствии приборов учета энергоресурсов предоставление коммунальных услуг является финансовым бременем, которое вынуждена нести управляющая компания. Связано это с использованием ресурсоснабжающими организациями балансового метода учета расходов коммунальных ресурсов, когда потери энергии, вызванные износом магистральных инженерных сетей (не относящихся к балансовой принадлежности МКД), списываются в качестве расходов энергии конкретных многоквартирных домов. В свою очередь управляющая компания производит начисление за пользование коммунальными услугами по нормативам потребления (установленным органами местного самоуправления в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 306 от 23.05.2006 года) и несет прямые убытки из-за разницы значений объемов потребления, начисленных потребителю и предъявленных ресурсоснабжающей организации [14].

Расчеты потребителей за коммунальные услуги осуществляются исходя из суммы, включающей цену (тариф) для потребителей и надбавку к цене (тарифу), установленных государственными органами регулирования тарифов

для реализации поставщиками коммунальных ресурсов производственных и инвестиционных программ развития.

Частные компании, оказывающие коммунальные услуги, так же, как и частные операторы, управляющие коммунальными сетями, являются заложниками действующей системы регулирования тарифов и нормативов. Сфера обеспечения энергоресурсами находится между большой политикой и большой энергетикой. С одной стороны, правила игры (утверждение тарифов и нормативов) определяют федеральная власть и органы местного самоуправления, у управляющих организаций нет возможности влиять на эти процессы. С другой стороны, коммунальная сфера замкнута на естественные монополии. У покупателей коммунальных ресурсов (управляющих организаций) практически нет выбора поставщика, а значит – возможности влиять на стоимость товара. Кроме того, тарифы и нормативы меняются каждый год, что не дает управляющим компаниям возможности составления долгосрочных бизнес-планов. Поэтому в современных условиях управляющие компании практически не имеют возможности зарабатывать на продаже энергоресурсов [15].

Таким образом, управляющая компания, не имея прибавочной стоимости при оказании коммунальных услуг, должна сама обезопаситься от убытков и в интересах жителей заниматься установкой общедомовых (ОПУ) и индивидуальных (квартирных) приборов учета (ИПУ) энергоресурсов.

Целесообразность применения энергосберегающих технологий, основывается, во-первых, на решении технических вопросов (энергетический эффект) и, во-вторых, на необходимости учитывать экономический эффект от выбранного мероприятия.

Потенциал энергосбережения для зданий бюджетных учреждений, жилищного хозяйства и офисных зданий составляет по тепловой энергии 25–60 %, и достаточно хорошо можно экономить на водоснабжении – 15–30 %. Отметим, что при внедрении любой энергоэффективной технологии необходима реальная система учета, которая, конечно, не выполняет функции

энергосбережения, но позволяет грамотно организовать систему энергоменеджмента.

Существует достаточно большой объем разнообразных мероприятий, позволяющих его осуществить, например:

- теплоизоляционное покрытие для трубопроводов (позволяет экономить до 15–40 %);
- узел регулирования с погодозависимой автоматикой (10–30 % энергии);
- замена светопрозрачных ограждений (5–25 %);
- утепление ограждающих конструкций (5–20 %);
- очистка отопительных приборов от внутренних загрязнений и удаление дополнительных экранов (5–20 %);
- индивидуальные приборы авторегулировки систем отопления (5–15 %);
- теплоотражатели между отопительным прибором и стеной (4–8 %);
- воздушные завесы (антисквозняк) (3–7 %).

Сберегать тепловую энергию позволяет устранение перетопов и недотопов, которые могут быть на одном и том же здании, поэтому просто перекрывать вентиль, конечно, нельзя. В экономном варианте можно пользоваться жидкостно-запорными устройствами, которые работают на разнице температур прямого и обратного трубопровода воды в системе отопления.

Экономия тепловой энергии за счет ликвидации перетопов составляет, как правило, 15–20 %, иногда достигает 40 %. Дополнительно разумно осуществить следующие мероприятия:

- введение пониженного температурного графика в ночное время и выходные дни (дополнительная экономия 10–15 %);
- применение индивидуальных приборов автоматической балансировки распределительных систем отопления (5–15 %);

– восстановление тепловой изоляции на трубопроводах, запорной и регулирующей арматуре (позволяет снизить потери тепловой энергии в здании на 3–9 %).

Конечно, нужно обращать внимание на состояние ограждающих конструкций. Тепловые потери должны компенсироваться теплопритоком. Тут нужно подходить к проблеме комплексно, учитывая конструкцию и износ здания, его ориентацию, используемые утеплители и т.п. В числе мероприятий можно назвать:

– улучшение теплозащитных свойств теплового контура здания: 30–50 %;

– снижение объемов инфильтрации воздуха и тепловых потерь через неплотности светопрозрачных конструкций: 12–30 %;

– очистку окон (позволяет снизить затраты на освещение на 10–40 %);

– покраску стен помещений светлой краской (позволяет снизить затраты на освещение на 5–10 %);

– использование напыления/пленки, отражающих инфракрасные лучи (снижает лучистые потери через окна до 50 %, обеспечивает повышение комфортности как в зимний, так и в летний период);

– применение окон с микропроветриванием (служит для ограничения инфильтрации в пределах санитарной нормы воздухообмена, повышения комфортности пребывания в помещении, снижения среднего уровня CO₂; не рекомендуется для зданий, оборудованных механической приточной вентиляцией).

В ряде случаев коробки здания у нас типовые, но их можно немного модернизировать, например, ввести требования по уровню инсоляции и предусмотреть козырьки на окна, которые при необходимости могут устанавливаться либо, автоматически изменяя форму, регулировать объем светового потока в здание. Это даст хороший эффект экономии энергии в дополнение к установленной системе создания микроклимата в здании.

2 Анализ энергоэффективности зданий

2.1 Тепловая эффективность жилых зданий

Тепловая эффективность определяется комплексом конструктивно-планировочных решений зданий и инженерных мероприятий, направленных на обеспечение оптимального теплового режима в отапливаемых помещениях при наименьших затратах тепловой энергии.

На тепловую эффективность жилых зданий оказывает существенное влияние объемно-пространственная композиция здания и его конструктивные параметры, теплозащитные свойства наружных ограждающих конструкций, размеры и конструкции заполнения световых проемов, способы обогрева и регулирования теплоотдачи в отапливаемые помещения.

Для решения проблемы повышения тепловой эффективности жилых зданий на основании проведенных исследований и разработок последнего времени можно сделать следующие выводы:

1. Тепловая эффективность жилых зданий может быть улучшена за счет повышения нормативных требований к сопротивлению теплопередаче наружных ограждающих конструкций, ограничения размеров световых проемов и совершенствования конструкций их заполнения (расширение области применения тройного остекления, экранирование оконных проемов, применение теплозащитного стекла), рациональных объемно-планировочных решений зданий, автоматизации центрального местного и индивидуального регулирования тепловой подачи системами отопления.

2. На тепловую эффективность зданий при их возведении решающее влияние оказывает качество применяемых материалов, изделий и оборудования, а также монтаж здания и систем инженерного оборудования.

3. Снижение фактических расходов тепла на отопление зависят от технической исправности зданий, наружных тепловых сетей и внутренних

систем инженерного оборудования и квалификации обслуживающего персонала.

В целях повышения тепловой эффективности жилых зданий рекомендуется:

– по совершенствованию проектных решений жилых зданий:

В однослойных панелях наружных стен применять материалы с объемным весом не более 1100 кг/м³. При отсутствии легких бетонов осуществлять последовательный переход от однослойных ограждающих конструкций из малоэффективных строительных материалов к многослойным наружным ограждениям с использованием высокоэффективных утеплителей. Целесообразно применять многослойные конструкции наружных стеновых панелей на гибких связях, в которых наиболее полно (по всей площади ограждения) используются теплозащитные свойства высокоэффективных утеплителей, а нормативное сопротивление теплопередаче равно 1,6 R_{по}^т.

Проектные организации при разработке индивидуальных проектов и привязке типовых проектов должны принимать экономически целесообразные сопротивления теплопередаче наружных ограждений.

В районах с расчетной температурой наиболее холодной пятидневки -36 °С и ниже применять заполнение световых проемов только с тройным остеклением или двойное раздельное с одним теплозащитным стеклом. Двойное остекление в спаренных переплетах применять в районах с температурой наиболее холодной пятидневки -20 °С и выше. По мере освоения промышленностью выпуска теплозащитного (селективного) стекла предусматривать применение его для заполнения световых проемов.

В зданиях высотой 9 этажей и более следует применять теплые чердаки. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций теплого чердака определять исходя из уравнения воздушно-теплового баланса, не допуская, чтобы температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций была ниже точки росы.

Предусматривать устройство двойных входных тамбуров в здания в зависимости от этажности здания и расчетной температуры наиболее холодной пятидневки (таблица 1).

Таблица 1 – Устройство двойных тамбуров в здании в зависимости от этажности зданий и районов строительства

Температура наиболее холодной пятидневки t_n , °С	Двойной входной тамбур в здание с количеством этажей
До -20	16
От -21 до -25	12
От -26 до -34	9
От -35 до -39	4
От -40 и ниже	1

В строительной части проекта предусматривать мероприятия по утеплению стыков панелей наружных стен цельноформованными вкладышами из пенополистирола и герметизации наружных и внутренних ограждающих конструкций (стыков панелей наружных и внутренних стен, перекрытий, вентблоков).

Предусматривать уплотнение притворов окон и дверей, поэтажное диафрагмирование мест прокладки инженерных коммуникаций, заделку открытых торцов труб вводов в квартиры электрических и слаботочных сетей. Для уплотнения притворов окон и дверей применять прокладки из пенополиуретана.

Увеличивать ширину корпуса в проекте жилых домов меридиональной ориентации. Дома высотой более 12 этажей, а также односекционные дома имеют более высокие удельные расходы тепла и с этой точки зрения применение их в массовой застройке нецелесообразно.

– по инженерному оборудованию:

Сдавать системы отопления на тепловой эффект.

В домах с ограждающими конструкциями из тяжелого бетона целесообразно предусматривать системы панельного отопления с

размещением нагревательных элементов во внутреннем слое бетона многослойных наружных стеновых панелей или по контуру внутренних железобетонных перегородок.

Предусматривать в системах отопления местное (пофасадное) регулирование теплоподдачи.

Предусматривать диспетчеризацию управления работой тепловых пунктов.

При отсутствии технико-экономических обоснований все трубопроводы, прокладываемые в техническом подполье, изолировать.

В зданиях высотой более 9 этажей следует предусматривать возможность установки малозумных бесфундаментных циркуляционных насосов типа ЦМВЦ, обеспечивающих стабилизацию работы систем отопления, уменьшение их металлоемкости и снижение расхода тепла.

Разработать проекты и проверить в экспериментальном строительстве эксплуатационные характеристики различных вариантов двухкомпонентных систем отопления (радиаторные или панельные системы отопления с безынерционными доводчиками, с вентиляторными конвекторами и др.).

Предусматривать, по мере освоения промышленностью (в первую очередь в малоэтажных зданиях), переход на автоматизированные индивидуальные поквартирные газовые или электрические генераторы тепла, дающие значительную экономию его расхода.

Расширить научно-исследовательские работы, направленные на более широкое использование геотермальных вод и солнечной энергии для целей бытового теплоснабжения.

Предусмотреть проведение научно-исследовательской работы, направленной на поиск схем дымозащиты путей эвакуации в многоэтажных зданиях инженерными средствами, так как в лестничных клетках «с проходом через воздушную зону» на каждом этаже теплопотери чрезмерно велики.

– по улучшению качества материалов и изделий:

Не допускать применения в строительстве материалов и изделий, не соответствующих требованиям ГОСТ.

Ввести на заводах крупнопанельного домостроения обязательный контроль теплофизических свойств выпускаемых изделий и их геометрических параметров. Выдавать сертификаты на партию изделий, в которых указывать R_o , и эти документы включать в акты на сдачу здания госкомиссии.

Для реализации предложения о переходе на применение панелей наружных стен на гибких связях необходимо увеличить производство высокоэффективных утеплителей и других материалов, применяемых для изготовления наружных ограждений повышенной утепленности.

Организовать централизованное специализированное производство металлических форм для изготовления панелей.

Необходимо улучшить качество герметиков и уплотняющих материалов.

Расширить производство теплозащитных (селективных) стекол для обеспечения нужд строительства. Ориентировочная потребность в теплозащитных стеклах для жилищного строительства 10 млн м².

Организовать производство цельноформованных вкладышей из пенополистирола для утепления стыков панелей наружных стен.

Изготовить столярные изделия из древесины с нормативной влажностью в строгом соответствии с требованиями ГОСТ; притворы уплотнять прокладками из пенополиуретана и снабжать их фурнитурой повышенного качества. Следует также начать внедрение в строительство жилых домов металлических оконных переплетов, гарантирующих долговечность и герметичность.

Улучшить качество приборов для закрывания входных дверей (доводчиков).

Расширить номенклатуру, улучшить качество оборудования и изделий для инженерных систем зданий и организовать массовый выпуск:

– труб, фитингов и запорно-регулирующей арматуры малых диаметров;
– надежно действующих кранов для ручной регулировки теплоотдачи нагревательных приборов, индивидуальных автоматических терморегуляторов, тепломеров, приборов для центрального и местного регулирования теплоподдачи в системы отопления и диспетчеризации управления работой тепловых пунктов;

– малошумных бесфундаментных циркуляционных насосов, электронагревателей различной емкости, газовых генераторов тепла и воздушно-отопительных агрегатов для квартирных систем отопления, вентиляторных конвекторов;

– изделий из высокоэффективных материалов для изоляции трубопроводов, прокладываемых в неотопляемом объеме зданий.

Отсутствие этого оборудования и изделий исключает возможность существенного прогресса в области совершенствования схемных решений и повышения экономической, эстетической и тепловой эффективности систем отопления.

Расширить номенклатуру и улучшить качество выпускаемых нагревательных приборов.

Организовать массовое производство малошумных вентиляторов и электродвигателей (агрегатов) для обеспечения систем приточно-вытяжной вентиляции в жилых зданиях, возводимых в районах Крайнего Севера.

Организовать выпуск комплектов оборудования и приборов автоматического управления системами противоподымной защиты многоэтажных зданий.

Для улучшения качества строительства и повышения тепловой эффективности жилых зданий Госплану СССР следует предусмотреть в планах соответствующих министерств производство в достаточном количестве строительных материалов, изделий и оборудования, необходимых для полного обеспечения возрастающих потребностей массового жилищного строительства в новых материалах и оборудовании. Применение новых

эффективных материалов и доброкачественного оборудования даст возможность улучшить качество жилищного строительства, повысить тепловую эффективность жилых зданий и уменьшить расходы топлива на бытовое теплоснабжение.

– по улучшению качества монтажа и эксплуатации зданий и систем отопления и вентиляции:

Шире использовать права авторского надзора за строительством жилых зданий и монтажом систем инженерного оборудования.

Обращать особое внимание на качество заделки не только стыков панелей наружных стен, но и всех внутренних связей (внутренних стен, перекрытий, вентиляционных блоков, уплотнение притворов окон и входных дверей в квартиры, тщательность поэтажного диафрагмирования мест прокладки инженерных коммуникаций, заделку открытых торцов труб вводов в квартиры электро- и слаботочных сетей), т. к. несоблюдение этих требований проекта влечет перетекание воздуха из нижних этажей в верхние, нарушает тепловой и воздушный режим, снижает эффективность дымозащиты, способствует распространению инфекций, грызунов и насекомых.

При сдаче дома в эксплуатацию систему отопления проверять на тепловой эффект, а производительность вытяжных вентиляционных каналов замерять анемометром.

Ввести обязательное трехлетнее гарантийное обслуживание зданий строительными организациями, а систем инженерного оборудования – монтажными организациями.

Приемку и обслуживание систем отопления в процессе эксплуатации зданий вменить в обязанность теплоснабжающим организациям, вне зависимости от ведомственной принадлежности зданий.

2.2 Показатели энергоэффективности зданий

Энергетическая эффективность становится все более важным приоритетом в политике многих стран мира. Широко признается, что она является наиболее экономичным и доступным средством решения многих проблем энергообеспечения, включая энергетическую безопасность, социально-экономические последствия высоких цен на энергию и озабоченность изменением климата. В то же время, энергоэффективность повышает конкурентоспособность и содействует росту благосостояния потребителей.

В современном Федеральном законе Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" [4] понятие энергетической эффективности является характеристикой отношения 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. В свою очередь 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 (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг) [5].

Исходя из определений, энергосбережение является частным случаем мер по повышению энергоэффективности, в результате которого затраты, вызывающие полезный эффект уменьшаются, уменьшается знаменатель в формуле, и соответственно, растет энергоэффективность.

Энергетический ресурс носитель энергии, энергия которого используется или может быть использована при осуществлении

хозяйственной и иной деятельности, а также вид энергии (атомная, тепловая, электрическая, электромагнитная энергия или другой вид энергии).

Класс энергетической эффективности характеристика продукции, отражающая ее энергетическую эффективность [5].

Под данным термином понимается энергетическая эффективность строения или оборудования в процессе его эксплуатации. Информация этого порядка обычно включается в паспорт энергоэффективности здания или оборудования.

Удельное энергопотребление зданий будет рассчитываться на основании энергопотребления, которое фиксируется общедомовыми приборами учета, а затем будет корректироваться – приводиться к нормированным условиям. Это Минэнерго России просило уточнить в своих замечаниях, что и было нами реализовано. Процедура пересчета учитывает фактические климатические показатели (погодные условия), фактическое количество жителей и прочее.

Но все же база расчета удельных показателей – данные приборов учета. Принимая такой подход, Минстрой России преследует несколько целей, в том числе стимулирование установки приборов учета, что позволит получать корректную информацию о количестве потребленных ресурсов. Если предполагается присвоить зданию какой-то класс энергоэффективности, необходимо в обязательном порядке поставить общедомовой прибор учета и уже на основании его показаний определять энергоэффективность многоквартирного дома.

На сегодняшний момент применяется семь классов энергетической эффективности зданий (таблица 2). Они обозначаются латинскими буквами от «А» до «G», где «А» - это самый высокий показатель, а «G» - самый низкий из всех имеющихся. В последние годы отдельно определены и подклассы. Для категорий «А» и «В» существуют два вида подклассов: «+» и «++». Все современные приборы и различные объекты должны иметь маркировку, обозначающую класс энергоэффективности. Ставится она производителем

или комиссией, принимающей проектную документацию на здание промышленного либо жилого назначения. Расчеты и определение класса энергоэффективности здания происходят по определенной методике. Она учитывает отклонения по нормативным и удельным величинам, при этом стоит иметь в виду и базовые величины. Расчет энергоэффективности здания жилого и промышленного объекта всегда начинается с определения базового уровня. За него принято брать класс «С».

Таблица 2 – Классы энергетической эффективности

Обозначение класса энергетической эффективности	Наименование класса энергетической эффективности	Величина отклонения значения фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового уровня, %
A++	Близкий к нулевому	-75 включительно и менее
A+	Высочайший	От -60 включительно до -75
A	Очень высокий	От -45 включительно до -60
B	Высокий	От -30 включительно до -45
C	Повышенный	От -15 включительно до -30
D	Нормальный	От 0 включительно до -15
E	Пониженный	От +25 включительно до 0
F	Низкий	От +50 включительно до +25
G	Очень низкий	Более +50

Класс энергетической эффективности должен присваиваться многоквартирным домам в новом строительстве в обязательном порядке, а существующим – в добровольном, как это и записано в федеральном законе № 261 ФЗ. Хотя Минстрой России рассматривает вопрос о рекомендации региональным жилищным инспекциям, после того как в Государственной информационной системе ЖКХ (ГИС ЖКХ) будут отображаться все показания приборов учета, дать возможность органам местного

самоуправления присваивать класс энергоэффективности многоквартирного дома в инициативном порядке.

При вводе зданий в эксплуатацию класс энергоэффективности присваивается также по показаниям приборов учета, причем расчет ведется по ускоренной методике. Поскольку в первые годы эксплуатации новых зданий энергопотребление отличается от энергопотребления при обычной эксплуатации (из-за сушки бетона, частичной заселенности и т. д.), энергопотребление необходимо подтверждать. В проекте приказа есть обязательства по подтверждению класса энергоэффективности через 5 лет для новых домов. Ответственность застройщика сохраняется на этот период – на гарантийный срок для многоквартирных домов. До окончания гарантийного срока должно быть проведено подтверждение класса энергетической эффективности здания. Если будут обнаружены значительные отклонения, то собственники могут потребовать от застройщика устранить указанные расхождения.

Согласно закону № 261 ФЗ, при высоком классе энергоэффективности здания срок сохранения показателей энергопотребления – 10 лет. К высокому классу энергоэффективности относятся здания с маркировкой выше «В» («В», «А», «А+», «А++»).

2.3 Методика анализа энергоэффективности зданий

Научная гипотеза исследования состоит в том, что можно увеличить энергоэффективность зданий за счет снижения тепловых потерь в осенне-весенний период.

Для того, чтобы посмотреть, как энергоэффективность меняется в течении года, мной был введен коэффициент удельного энергопотребления зданий, который определяется как:

$$k = \frac{Q}{(t_1 - t_2)n}, \quad (1)$$

где Q – количество теплоты за месяц,

t_1, t_2 – температура внутреннего и наружного воздуха,

n – количество дней в месяце.

Для этого мы получили данные с тепловычислителей за отопительный период и посчитали коэффициент удельного энергопотребления для взятых 15-ти объектов по месяцам отопительного периода. Данные и расчеты были сведены в таблицы 3-17.

Таблица 3 – Удельное теплотребление здания № 1 по месяцам

1	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
январь	273,176	0,214929976
февраль	333,086	0,339883673
март	291,987	0,348849462
апрель	202,075	0,434569892
май	174,225	0,522884154
сентябрь	126,542	0,746560472
октябрь	201,756	0,464875576
ноябрь	307,597	0,359762573
декабрь	413,036	0,341634409

Таблица 4 – Удельное теплотребление здания № 2 по месяцам

2	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
январь	417,161	0,328214792
февраль	308,021	0,314307143
март	269,666	0,322181601
апрель	189,952	0,408498925
май	159,845	0,479726891
сентябрь	70,462	0,415705015

Окончание таблицы 4

2	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
октябрь	165,977	0,382435484
ноябрь	282,892	0,330867836
декабрь	386,764	0,319904053

Таблица 5 – Удельное теплотребление здания № 3 по месяцам

3	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
январь	489,224	0,384912667
февраль	352,575	0,359770408
март	343,027	0,409829152
апрель	254,032	0,546305376
май	213,966	0,642154862
сентябрь	143,621	0,847321534
октябрь	226,9	0,52281106
ноябрь	331,883	0,388167251
декабрь	459,047	0,379691481

Таблица 6 – Удельное теплотребление здания № 4 по месяцам

4	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
январь	404,201	0,318018096
февраль	318,061	0,324552041
март	272,256	0,325275986
апрель	194,767	0,418853763
май	167,692	0,503277311
сентябрь	117,676	0,694253687
октябрь	185,937	0,428426267
ноябрь	306,41	0,358374269
декабрь	422,685	0,349615385

Таблица 7 – Удельное теплотребление здания № 5 по месяцам

5	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
январь	165,815	0,130460268
февраль	131,851	0,134541837
март	115,582	0,1380908
апрель	83,215	0,178956989
май	70,76	0,212364946
сентябрь	48,956	0,288825959
октябрь	72,485	0,167016129
ноябрь	119,911	0,140246784
декабрь	171,895	0,142179487

Таблица 8 – Удельное теплотребление здания № 6 по месяцам

6	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
январь	462,763	0,364094
февраль	328,105	0,334801
март	311,232	0,371842
апрель	231,773	0,498437
май	199,773	0,599559
сентябрь	139,807	0,82482
октябрь	209,103	0,481804
ноябрь	347,357	0,406265
декабрь	479,811	0,396866

Таблица 9 – Удельное теплотребление здания № 7 по месяцам

7	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
январь	541,515	0,426054
февраль	390,338	0,398304
март	323,692	0,386729
апрель	192,623	0,414243
май	176,738	0,530426
сентябрь	86,947	0,512962

Окончание таблицы 9

7	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
октябрь	217,332	0,500765
ноябрь	370,43	0,433251
декабрь	543,515	0,449557

Таблица 10 – Удельное теплотребление здания № 8 по месяцам

8	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
январь	292,59	0,230205
февраль	334,38	0,341204
март	237,93	0,284265
апрель	168,06	0,361419
май	153,31	0,460114
сентябрь	73,82	0,435516
октябрь	142,13	0,327488
ноябрь	196,00	0,22924
декабрь	252,99	0,209256

Таблица 11 – Удельное теплотребление здания № 9 по месяцам

9	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
январь	173,343	0,136383
февраль	123,116	0,125629
март	99,975	0,119444
апрель	75,945	0,163323
май	70,755	0,21235
сентябрь	32,57	0,192153
октябрь	74,083	0,170698
ноябрь	125,307	0,146558
декабрь	182,013	0,150548

Таблица 12 – Удельное теплотребление здания № 11 по месяцам

11	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
январь	136,88	0,107695
февраль	158,37	0,161602
март	114,97	0,13736
апрель	84,14	0,180946
май	36,26	0,108824
сентябрь	19,77	0,116637
октябрь	35,26	0,081244
ноябрь	159,84	0,186947
декабрь	137,11	0,113408

Таблица 13 – Удельное теплотребление здания № 12 по месяцам

12	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
январь	218,08	0,171581
февраль	249,14	0,254224
март	173,91	0,207778
апрель	140,23	0,30157
май	65,40	0,196279
сентябрь	54,56	0,321888
октябрь	128,01	0,294954
ноябрь	184,94	0,216304
декабрь	171,05	0,141481

Таблица 14 – Удельное теплотребление здания № 13 по месяцам

13	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
январь	1144,40	0,900393
февраль	1348,25	1,375765
март	970,01	1,158913
апрель	774,96	1,666581
май	600,96	1,803601
сентябрь	238,2	1,40531

Окончание таблицы 14

13	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
октябрь	547,66	1,261889
ноябрь	866,29	1,013205
декабрь	1119,31	0,925815

Таблица 15 – Удельное теплотребление здания № 14 по месяцам

14	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
январь	138,98	0,109347
февраль	141,9	0,144796
март	112,03	0,133847
апрель	86,3	0,185591
май	61,62	0,184934
сентябрь	33,34	0,196696
октябрь	72,16	0,166267
ноябрь	109,38	0,12793
декабрь	138,13	0,114251

Таблица 16 – Удельное теплотребление здания № 15 по месяцам

15	Q_{от}, Гкал	k=Q/(t₁-t₂)/n
январь	187,81	0,1477655
февраль	219,16	0,2236327
март	153,44	0,1833214
апрель	103,09	0,2216989
май	74,74	0,2243097
сентябрь	8,27	0,0487906
октябрь	66,09	0,1522811
ноябрь	129,17	0,151076
декабрь	167,3	0,1383788

Таблица 17 – Удельное теплотребление здания № 16 по месяцам

16	Q _{от} , Гкал	k=Q/(t ₁ -t ₂)/n
январь	348,83	0,2744532
февраль	433,48	0,4423265
март	335,4	0,4007168
апрель	260,43	0,5600645
май	203	0,6092437
сентябрь	86,27	0,5089676
октябрь	194,53	0,4482258
ноябрь	296,73	0,3470526
декабрь	357,54	0,295732

Для того, чтобы наглядно посмотреть изменение коэффициента удельного теплотребления по месяцам, построим график теплотребления для всех объектов (рисунок 8).

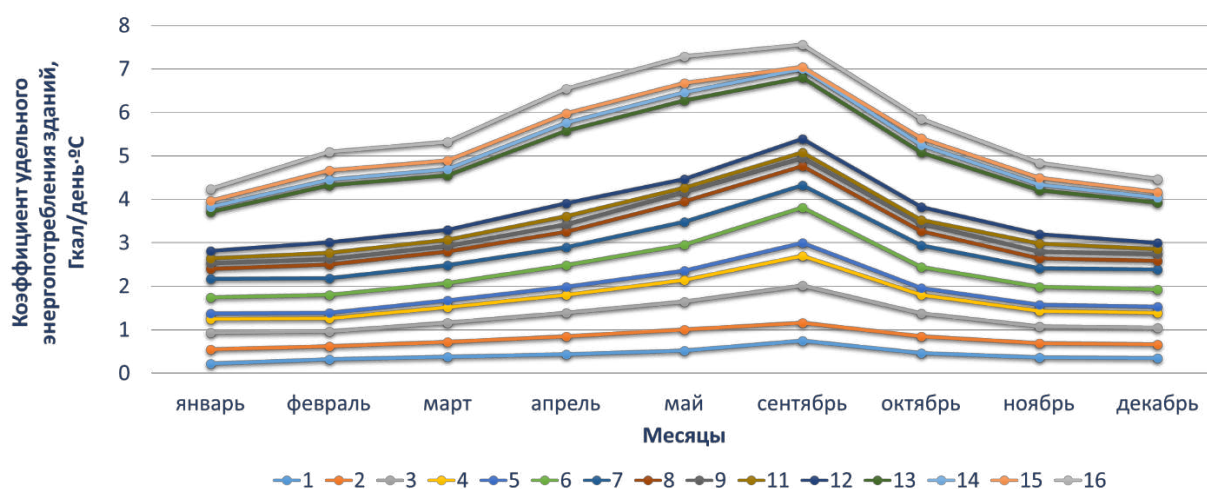


Рисунок 8 – График удельного теплотребления зданий с учетом показателей тепловычислителей

Из графика видно, что удельное теплотребление в осенне-зимний период значительно превышает удельное теплотребление в зимний период. Это говорит о том, что не было учтено влияние солнечной радиации на теплотребление зданий в осенне-зимний период.

Учет влияния солнечной радиации на теплотребление отапливаемых зданий может дать экономию теплоты не более 10-15 % [26], но для этого необходимо выполнение определенных условий: помещения с большими окнами следует ориентировать на юг; на север ориентировать помещения с малыми окнами или помещения без них; солнцезащитные устройства необходимо проектировать так, чтобы в течение отопительного сезона они не препятствовали прониканию солнечных лучей в помещение; размещение зданий при плотной застройке решать таким образом, чтобы отдельные здания не затеняли друг друга; отопительную систему следует разделять на секции в соответствии с ориентацией по странам света и для каждой из них обеспечивать самостоятельное регулирование [26]. Учет влияния солнечной радиации на тепловой режим зданий возможен лишь с помощью пазонного, либо индивидуального регулирования.

2.4 Расчет экономии тепловой энергии

Для того, чтобы посчитать возможную экономию энергии, возьмем интеграл от превышения от удельного теплотребления по сравнению с январем.

$$E_n = \sum (k_{m+1} - k_m) \cdot n \cdot (t_1 - t_2) \quad (2)$$

Экономия тепловой энергии в %-ном соотношении равна:

$$E_{n,\%} = \frac{E_n}{E_{\text{общ},n}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Возможная экономия тепловой энергии, руб.:

$$B_M = E_n \cdot C, \quad (4)$$

где C – цена за 1 Гкал тепловой энергии.

Экономия тепловой энергии по взятым объектам сведена в таблице 18.

Таблица 18 – Экономия энергии по объектам анализа

Объекты	Экономия энергии E, Гкал	Экономия энергии E, %	Возможная экономия B_M, руб.
1	915	39	1258591
2	128	6	176699
3	323	11	443825
4	305	13	420253
5	125	13	172609
6	352	13	484608
7	116	4	160267
8	369	20	507169
9	88	9	121072
10	177	20	243220
11	297	21	408875
12	1709	22	2351201
13	177	20	243786
14	64	6	87534
15	717	29	987079

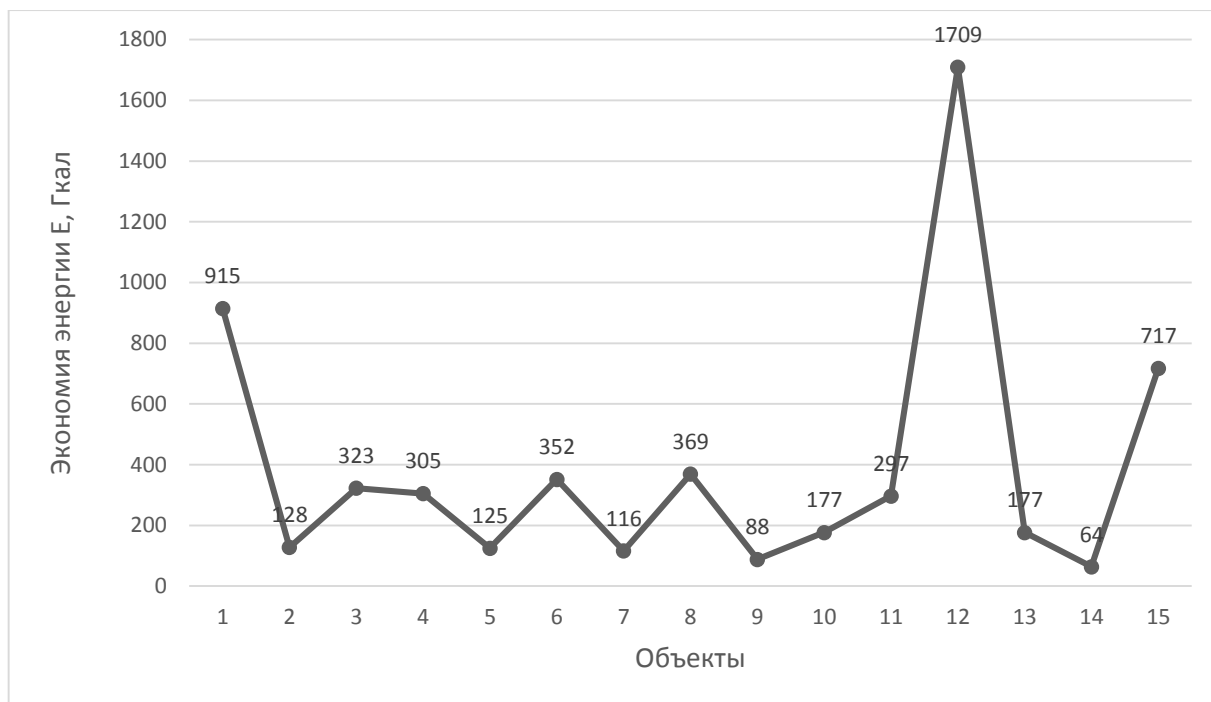


Рисунок 9 – График экономии тепловой энергии E, Гкал

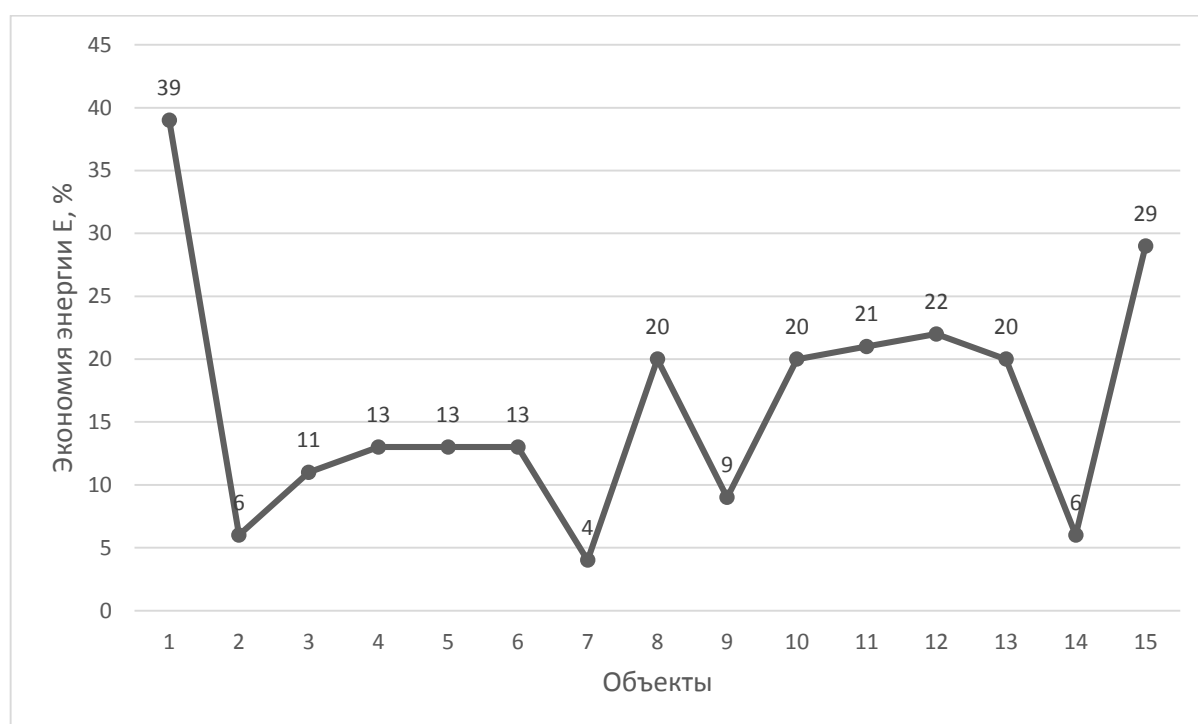


Рисунок 10 – График экономии тепловой энергии E, %

В среднем, по взятым объектам, экономия тепловой энергии составляет порядка 16 %. Для того, чтобы реализовать эту экономию, необходимо произвести моделирование теплопотребления здания.

3 Моделирование теплотребления здания

3.1 Методика расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий

В СНиП 23-02-2003 [6] к основным теплотехническим показателям проекта отнесены:

- приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания;
- средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период;
- условный инфильтрационный коэффициент теплопередачи здания;
- общий коэффициент теплопередачи здания.

Расчетную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, $q_{от}^p$, Вт/(м³·°С) определяется по формуле:

$$q_{от}^p = [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) \cdot v \cdot \zeta](1 - \xi)\beta_h, \quad (5)$$

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 тепlopоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м³·°С);

ξ – коэффициент, учитывающий снижение теплотребления 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 теплотребление 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 $\beta_h = 1,05$.

v – коэффициент снижения тепlopоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемые значения определяются по формуле:

$$v = 0,7 + 0,000025(\text{ГСОП} - 1000), \quad (6)$$

ζ – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления; рекомендуемые значения:

$\zeta = 1,0$ – в однотрубной системе с термостатами и с пофасадным авторегулированием на вводе или поквартирной горизонтальной разводкой;

$\zeta = 0,95$ – в двухтрубной системе отопления с термостатами и с центральным авторегулированием на вводе;

$\zeta = 0,9$ – однотрубной системе с термостатами и с центральным авторегулированием на вводе или в однотрубной системе без термостатов и с пофасадным авторегулированием на вводе, а также в двухтрубной системе отопления с термостатами и без авторегулирования на вводе;

$\zeta = 0,85$ – в однотрубной системе отопления с термостатами и без авторегулирования на вводе;

$\zeta = 0,7$ – в системе без термостатов и с центральным авторегулированием на вводе с коррекцией по температуре внутреннего воздуха;

$\zeta = 0,5$ – в системе без термостатов и без авторегулирования на вводе - регулирование центральное в ЦТП или котельной.

Удельную вентиляционную характеристику здания, $k_{\text{вент}}$, Вт/(м³·°С), следует определять по формуле:

$$k_{\text{вент}} = 0,28c\beta_v\rho_{\text{в}}^{\text{вент}}(1 - k_{\text{эф}}), \quad (7)$$

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

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

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

$$\rho_{\text{в}}^{\text{вент}} = 353/[273 + t_{\text{от}}], \quad (8)$$

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

$n_{\text{в}}$ – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч⁻¹;

$k_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности рекуператора.

Коэффициент эффективности рекуператора, $k_{\text{эф}}$, 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;

– кратность воздухообмена зданий и помещений при разности давлений 50 Па и их среднюю воздухопроницаемость определяют по ГОСТ 31167.

Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период n_B , ч¹ рассчитывается по суммарному воздухообмену за счет вентиляции и инфильтрации по формуле:

$$n_B = [(L_{\text{ВЕНТ}} n_{\text{ВЕНТ}})/168 + (G_{\text{ИНФ}} n_{\text{ИНФ}})/(168 \rho_B^{\text{ВЕНТ}})]/(\beta_v V_{\text{ОТ}}), \quad (9)$$

где $L_{\text{ВЕНТ}}$ – количество приточного воздуха в здание при неорганизованном притоке либо нормируемое значение при механической вентиляции, м³/ч, равное для:

а) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир менее 20 м² общей площади на человека $3A_{\text{ж}}$;

б) других жилых зданий – $0,35 \cdot h_{\text{ЭТ}}(A_{\text{ж}})$, но не менее 30 м; где m – расчетное число жителей в здании;

в) общественных и административных зданий принимают условно: для административных зданий, офисов, складов и супермаркетов – $4A_{\text{р}}$; для магазинов шаговой доступности, учреждений здравоохранения, комбинатов бытового обслуживания, спортивных арен, музеев и выставок – $5A_{\text{р}}$; для детских дошкольных учреждений, школ, среднетехнических и высших учебных заведений – $7A_{\text{р}}$; для физкультурно-оздоровительных и культурно-досуговых комплексов, ресторанов, кафе, вокзалов – $10A_{\text{р}}$;

$A_{\text{ж}}$, $A_{\text{р}}$ – для жилых зданий - площадь жилых помещений ($A_{\text{ж}}$), к которым относятся спальни, детские, гостиные, кабинеты, библиотеки, столовые, кухни-столовые; для общественных и административных зданий расчетная площадь ($A_{\text{р}}$), определяемая согласно СП 117.13330 как сумма площадей всех помещений, за исключением коридоров, тамбуров, переходов, лестничных клеток, лифтовых шахт, внутренних открытых лестниц и пандусов, а также помещений, предназначенных для размещения инженерного оборудования и сетей, м²;

$h_{\text{ЭТ}}$ – высота этажа от пола до потолка, м;

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

168 – число часов в неделе;

$G_{\text{инф}}$ – количество инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции, кг/ч: для жилых зданий воздуха, поступающего в лестничные клетки в течение суток отопительного периода; для общественных зданий воздуха, поступающего через неплотности светопрозрачных конструкций и дверей; допускается принимать для общественных зданий в нерабочее время в зависимости от этажности здания: до трех этажей равным $0,1\beta_v V_{\text{общ}}$, от четырех до девяти этажей – $0,15\beta_v V_{\text{общ}}$, выше девяти этажей $0,2\beta_v V_{\text{общ}}$, где $V_{\text{общ}}$ – отапливаемый объем общественной части здания;

$n_{\text{инф}}$ – 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;

β_v – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций. При отсутствии данных принимать $\beta_v = 0,85$.

В случаях, когда здание состоит из нескольких зон с различным воздухообменом, средние кратности воздухообмена находятся для каждой зоны в отдельности (зоны, на которые разделено здание, должно составлять весь отапливаемый объем). Все полученные средние кратности воздухообмена суммируются и суммарный коэффициент подставляется в формулу (8) для расчета удельной вентиляционной характеристики здания.

Количество инфильтрующегося воздуха, поступающего в лестничную клетку жилого здания или в помещения общественного здания через

неплотности заполнений проемов, полагая, что все они находятся на наветренной стороне, следует определять по формуле:

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

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

$R_{\text{и.ок}}^{\text{тр}}$ и $R_{\text{и.дв}}^{\text{тр}}$ – соответственно требуемое сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей и входных наружных дверей, (м²·ч)/кг;

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

Для общественных зданий в нерабочее время – количество инфильтрующегося воздуха, поступающего через неплотности светопрозрачных конструкций и дверей; допускается принимать в зависимости от этажности здания: до трех этажей – равным $0,1\beta_v V_{\text{общ}}$, от четырех до девяти этажей – $0,15\beta_v V_{\text{общ}}$, выше девяти этажей – $0,2\beta_v V_{\text{общ}}$, где $V_{\text{общ}}$ – отапливаемый объем общественной части здания.

Для лестнично-лифтовых узлов (ЛЛУ) жилых зданий – количество инфильтрующегося воздуха, поступающего через неплотности заполнения проемов; допускается принимать в зависимости от этажности здания: до трех этажей – равным $0,3\beta_v V_{\text{ЛЛУ}}$, от четырех до девяти этажей – $0,45\beta_v V_{\text{ЛЛУ}}$, выше девяти этажей – $0,6\beta_v V_{\text{ЛЛУ}}$, где $V_{\text{ЛЛУ}}$ – отапливаемый объем лестнично-лифтовых холлов здания. Для ЛЛУ без поэтажных выходов на балконы количество инфильтрующегося воздуха, полученное по упрощенным формулам следует уменьшать в два раза.

Удельную характеристику бытовых тепловыделений здания, $k_{\text{быт}}$, Вт/(м³·°С), следует определять по формуле:

$$k_{\text{быт}} = \frac{q_{\text{быт}} A_{\text{ж}}}{V_{\text{от}} (t_{\text{в}} - t_{\text{от}})}, \quad (11)$$

где $q_{\text{быт}}$ – величина бытовых тепловыделений на 1 м^2 площади жилых помещений ($A_{\text{ж}}$) или расчетной площади общественного здания ($A_{\text{р}}$), $\text{Вт}/\text{м}^2$, принимаемая для:

а) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир менее 20 м^2 общей площади на человека $q_{\text{быт}}=17\text{ Вт}/\text{м}^2$;

б) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир 45 м^2 общей площади и более на человека $q_{\text{быт}}=10\text{ Вт}/\text{м}^2$;

в) других жилых зданий в зависимости от расчетной заселенности квартир по интерполяции величины $q_{\text{быт}}$ между 17 и $10\text{ Вт}/\text{м}^2$;

г) для общественных и административных зданий бытовые тепловыделения учитываются, но расчетному числу людей ($90\text{ Вт}/\text{чел}$), находящихся в здании, освещения (по установочной мощности) и оргтехники ($10\text{ Вт}/\text{м}^2$) с учетом рабочих часов в неделю;

$t_{\text{в}}$, $t_{\text{от}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, средняя температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

$A_{\text{ж}}$ – площадь жилых помещений, к которым относятся спальни, детские, гостиные, кабинеты, библиотеки, столовые, кухни-столовые.

Удельную характеристику тепlopоступлений в здание от солнечной радиации, $k_{\text{рад}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$, следует определять по формуле:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 Q_{\text{рад}}^{\text{год}}}{(V_{\text{от}} \text{ГСОП})}, \quad (12)$$

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

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = \tau_{1\text{ок}}\tau_{2\text{ок}}(A_{\text{ок1}}I_1 + A_{\text{ок2}}I_2 + A_{\text{ок3}}I_3 + A_{\text{ок4}}I_4) + \tau_{1\text{фон}}\tau_{2\text{фон}}A_{\text{фон}}I_{\text{гор}}, \quad (13)$$

где $\tau_{1\text{ок}}$, $\tau_{1\text{фон}}$ – 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 своду правил; мансардные окна с углом наклона заполнений к горизонту 45° и более следует считать, как вертикальные окна, с углом наклона менее 45° – как зенитные фонари;

$\tau_{2\text{ок}}$, $\tau_{2\text{фон}}$ – 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;

$A_{\text{ок1}}$, $A_{\text{ок2}}$, $A_{\text{ок3}}$, $A_{\text{ок4}}$ – площадь световых проемов фасадов здания (глухая часть балконных дверей исключается), соответственно ориентированных по четырем направлениям, м^2 ;

$A_{\text{фон}}$ – площадь световых проемов зенитных фонарей здания, м^2 ;

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, $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, определяется по методике свода правил;

Для промежуточных направлений величину солнечной радиации следует определять интерполяцией.

$I_{\text{гор}}$ – средняя за отопительный период величина солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, определяется по своду правил.

$V_{\text{от}}$ – отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений зданий, м^3 .

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

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период q , кВт·ч/(м³·год) или, кВт·ч/(м²·год) следует определять по формулам:

$$q = 0,024\text{ГСОП}q_{\text{от}}^p, \quad (14)$$

$$q = 0,024\text{ГСОП}q_{\text{от}}^p h, \quad (15)$$

где $q_{\text{от}}^p$ – расчетную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания;

h – средняя высота этажа здания, м, равная $V_{\text{от}}/A_{\text{от}}$;

$A_{\text{от}}$ – сумма площадей этажей здания, измеренных в пределах внутренних поверхностей наружных стен, м², за исключением технических этажей и гаражей;

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

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{\text{от}}^{\text{год}}$, кВт·ч/год, следует определять по формуле:

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0,024\text{ГСОП}V_{\text{от}}q_{\text{от}}^p, \quad (16)$$

Общие теплотери здания за отопительный период $Q_{\text{общ}}^{\text{год}}$, кВт·ч/год, следует определять по формуле:

$$Q_{\text{общ}}^{\text{год}} = 0,024\text{ГСОП}V_{\text{от}}(k_{\text{об}} + k_{\text{вент}}), \quad (17)$$

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

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

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

3.2 Расчет расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию объекта

Расчетную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания определяем по формуле:

$$q_{от}^p = [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) \cdot v \cdot \zeta](1 - \xi)\beta_h, \quad (18)$$

$$q_{от}^p = [0,292 + 0,073 - (0,074 + 0,095) \cdot 0,798 \cdot 0,95](1 - 0,1) \cdot 1,13 = 0,241 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°C}, \quad (19)$$

где β_h – коэффициент, учитывающий дополнительное теплотребление системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплотерями через радиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения для многосекционных и других протяженных зданий $\beta_h = 1,13$;

v – коэффициент снижения теплоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемые значения определяются по формуле:

$$v = 0,7 + 0,000025 \cdot (\text{ГСОП} - 1000) \quad (20)$$

$$v = 0,7 + 0,000025 \cdot (4935 - 1000) = 0,798 \quad (21)$$

$\zeta = 0,95$ – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления; рекомендуемые значения в двухтрубной системе отопления с термостатами и с центральным авторегулированием на вводе;

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

Удельная теплозащитная характеристика здания, рассчитываем по формуле:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от}} \sum \left(n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{пр}} \right), \quad (22)$$

$$k_{об} = \frac{1}{48000} \left(\frac{1573}{0,6} + \frac{56}{0,22} + \frac{1600}{0,36} + \frac{1441}{0,36} + \frac{1600}{0,57} \right) = 0,292 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}) \quad (23)$$

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

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

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

$n_{t,i} = 1$ – коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от принятых в расчете ГСОП.

Таблица 19 – Расчет удельной теплозащитной характеристики здания

Наименование фрагмента	$A_{\phi,i}, \text{м}^2$	$R_{o,i}^{пр}, (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$
Окна	1573	0,6
Двери	56	0,22

Окончание таблицы 19

Наименование фрагмента	$A_{\phi,i}, \text{м}^2$	$R_{o,i}^{\text{пр}}, (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$
Подвал	1600	0,36
Стены	1441	0,36
Крыша	1600	0,57

Удельную вентиляционную характеристику здания определяем по формуле:

$$k_{\text{вент}} = 0,25 \cdot k_{\text{об}} = 0,25 \cdot 0,292 = 0,073 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (24)$$

Удельную характеристику бытовых тепловыделений здания, определяем по формуле:

$$k_{\text{быт}} = \frac{q_{\text{быт}} A_{\text{ж}}}{V_{\text{от}}(t_{\text{в}} - t_{\text{от}})} = \frac{17 \cdot 12205,2}{48000 \cdot (21 - (-37))} = 0,074 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}), \quad (25)$$

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

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

$A_{\text{ж}}$ – площадь жилых помещений.

Удельную характеристику теплоступлений в здание от солнечной радиации, следует определять по формуле:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 Q_{\text{рад}}^{\text{год}}}{(V_{\text{от}} \text{ГСОП})} = \frac{11,6 \cdot 1940868}{48000 \cdot 4935} = 0,095 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}), \quad (26)$$

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

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = \tau_{1\text{ок}}\tau_{2\text{ок}}(A_{\text{ок1}}I_1 + A_{\text{ок2}}I_2 + A_{\text{ок3}}I_3 + A_{\text{ок4}}I_4) + \tau_{1\text{фон}}\tau_{2\text{фон}}A_{\text{фон}}I_{\text{гор}}, \quad (27)$$

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = 775 \cdot 159 + 1946 \cdot 152 + 1206 \cdot 502 + 1206 \cdot 760 = 1573 \text{ МДж/год}, \quad (28)$$

где $\tau_{1\text{ок}}$, $\tau_{1\text{фон}}$ – 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 своду правил [16]; мансардные окна с углом наклона заполнений к горизонту 45° и более следует считать как вертикальные окна, с углом наклона менее 45° – как зенитные фонари;

$\tau_{2\text{ок}}$, $\tau_{2\text{фон}}$ – 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 [16];

$A_{\text{ок1}}, A_{\text{ок2}}, A_{\text{ок3}}, A_{\text{ок4}}$ – площадь светопроемов фасадов здания (глухая часть балконных дверей исключается), соответственно ориентированных по четырем направлениям, м^2 ;

$A_{\text{фон}}$ – площадь светопроемов зенитных фонарей здания, м^2 ;

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, $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, определяется по методике свода правил [16];

Для промежуточных направлений величину солнечной радиации следует определять интерполяцией.

$I_{\text{гор}}$ – средняя за отопительный период величина солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, МДж/(м²·год), определяется по своду правил [16].

Градусо-сутки отопительного периода определяем по формуле:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}} = (21 - 0) \cdot 235 = 4935 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}/\text{год} \quad (29)$$

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период определяем по формулам:

$$q = 0,024 \text{ГСОП} q_{\text{от}}^{\text{п}} = 0,024 \cdot 4935 \cdot 0,241 = 28,52 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^3\cdot\text{год}) \quad (30)$$

$$q = 0,024 \text{ГСОП} q_{\text{от}}^{\text{п}} h = 0,024 \cdot 4935 \cdot 0,241 \cdot 3 = 85,57 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год}), \quad (31)$$

где h – средняя высота этажа здания, м.

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период определяем по формуле:

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0,024 \text{ГСОП} V_{\text{от}} q_{\text{от}}^{\text{п}}, \quad (32)$$

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0,024 \cdot 4935 \cdot 48000 \cdot 0,241 = 1369136,08 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}, \quad (33)$$

Общие тепловые потери здания за отопительный период определяем по формуле:

$$Q_{\text{общ}}^{\text{год}} = 0,024 \text{ГСОП} V_{\text{от}} (k_{\text{об}} + k_{\text{вент}}), \quad (34)$$

$$Q_{\text{общ}}^{\text{год}} = 0,024 \cdot 4935 \cdot 48000 \cdot (0,292 + 0,073) = 2077434,52 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год} \quad (35)$$

В программе REVIT 2020 мной было смоделировано здание и произведен расчет.

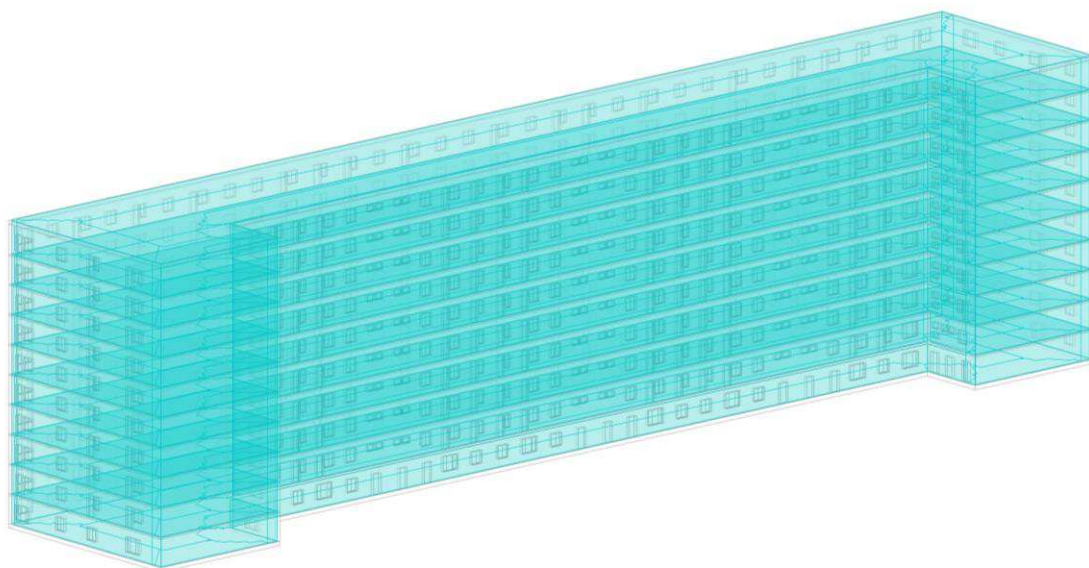


Рисунок 11 – Модель энергопотребления на основе архитектурных элементов в REVIT

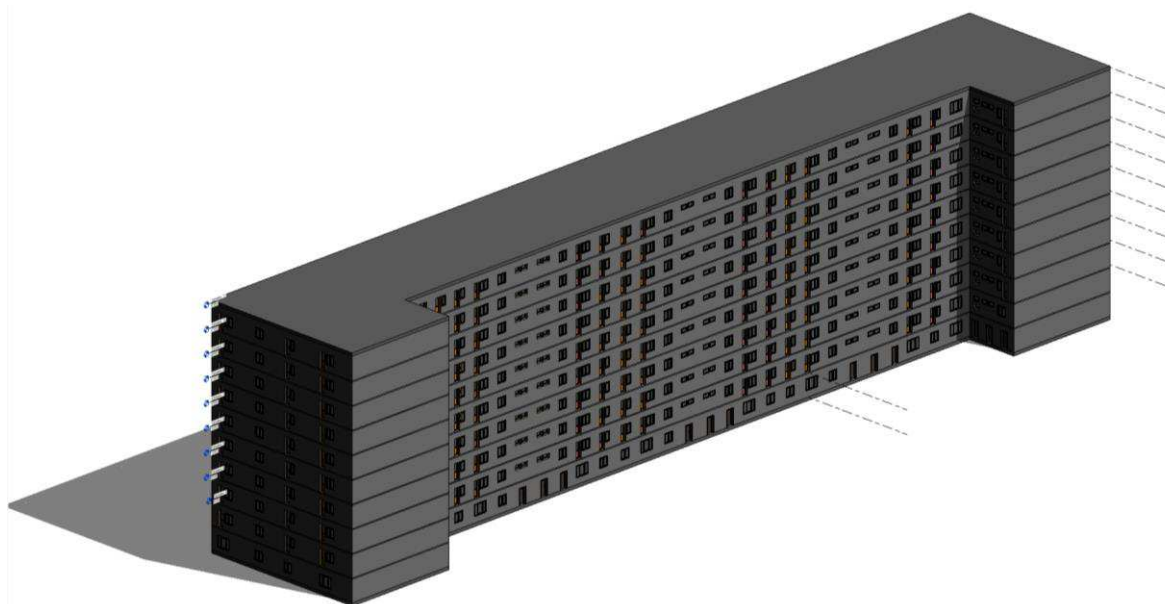


Рисунок 12 – Архитектурная модель здания в REVIT

В результате компьютерного расчета получены следующие данные.

Таблица 20 – Расчетные данные здания из REVIT 2020

Входные данные	
Тип здания	Многоквартирный дом
Площадь (м ²)	19580
Объем (м ³)	56095,91
Результаты расчетов	
Пиковая полная холодильная нагрузка (Вт)	705,439
Месяц и час пиковой холодильной нагрузки	Июль 16:00
Пиковая холодильная нагрузка по явному теплу (Вт)	573803
Пиковая холодильная нагрузка по скрытому теплу (Вт)	131636
Максимальная охлаждающая способность (Вт)	705439
Пиковый расход воздуха при охлаждении (л/с)	28373,9
Пиковая отопительная нагрузка (Вт)	807122
Пиковый расход воздуха при отоплении (л/с)	26097,8
Контрольные суммы	
Плотность холодильной нагрузки (Вт/м ²)	3603
Плотность потока охлаждения (л/(с·м ²))	145
Поток охлаждения / холодильная нагрузка (Л/(с·кВт))	4022
Площадь поверхности охлаждения / холодильная нагрузка (м ² /кВт)	2776
Плотность отопительной нагрузки (Вт/м ²)	4122
Плотность потока отопления (л/(с·м ²))	133

Таблица 21 – Расчетные данные здания из REVIT 2020

Входные данные	
Площадь (м ²)	19,580
Объем (м ³)	56095.91
Уставка температуры при охлаждении	23°C
Уставка температуры при отоплении	21°C
Температура приточного воздуха	12°C
Количество человек	490
Инфильтрация (л/с)	0

Окончание таблицы 21

Входные данные	
Тип расчета объема воздуха	Переменный объем воздуха - Одинарный воздуховод
Относительная влажность	44.00% (Calculated)
Психрометрические данные	
Сообщение с психрометрическими данными	None
Температура воздуха на входе охлаждающего теплообменника по сухому термометру	29°C
Температура воздуха на входе охлаждающего теплообменника по влажному термометру	21°C
Температура воздуха на выходе охлаждающего теплообменника по сухому термометру	12°C
Температура воздуха на выходе охлаждающего теплообменника по влажному термометру	13°C
Температура смешанного воздуха по сухому термометру	29°C
Результаты расчетов	
Пиковая холодильная нагрузка (Вт)	705439
Месяц и час пиковой холодильной нагрузки	Июль 16:00
Пиковая холодильная нагрузка по явному теплу (Вт)	573803
Пиковая холодильная нагрузка по скрытому теплу (Вт)	13,636
Пиковый расход воздуха при охлаждении (л/с)	28373,9
Пиковая отопительная нагрузка (Вт)	807122
Пиковый расход воздуха при отоплении (л/с)	26097,8
Пиковый вентиляционный воздушный поток (л/с)	7123,0
Контрольные суммы	
Плотность холодильной нагрузки (Вт/м ²)	36,03
Плотность потока охлаждения (л/(с·м ²))	1,45
Поток охлаждения / холодильная нагрузка (Л/(с·кВт))	40,22
Площадь поверхности охлаждения / холодильная нагрузка (м ² /кВт)	27,76
Плотность потока отопления (л/(с·м ²))	1,33
Интенсивность вентиляции (л/(с·м ²))	0,36
Вентиляция / количество человек (л/с)	14,5

Таблица 22 – Расчетные данные здания из REVIT 2020

Компоненты	Охлаждение		Отопление	
	Нагрузки (Вт)	В процентах от полной величины	Нагрузки (Вт)	В процентах от полной величины
Стена	52,789	7,48%	214,347	26,56%
Окно	51,738	7,33%	112,644	13,96%
Дверь	18,121	2,57%	72,875	9,03%
Крыша	85,216	12,08%	91,262	11,31%
Световой люк	0	0,00%	0	0,00%
Перегородка	0	0,00%	0	0,00%
Инфильтрация	0	0,00%	0	0,00%
Вентиляция	169,060	23,97%	315,994	39,15%
Освещение	117,558	16,66%		
Мощность	167,940	23,81%		
Количество человек	31,976	4,53%		
Служебное пространство	0	0,00%		
Вентиляторный обогрев	11,041	1,57%		
Подогрев	0	0,00%		
Всего	705,439	100%	807,122	100%

Таблица 23 – Расчетные данные здания из REVIT 2020

Имя пространства	Площадь (м ²)	Объем (м ³)	Пиковая холодильная нагрузка (Вт)	Воздушный поток охлаждения (л/с)	Пиковая отопительная нагрузка (Вт)	Расход воздуха при отоплении (л/с)
1 Пространство	1,958	5,580.22	42,942	2,319.3	37,922	2015.1
2 Пространство	1,958	5,580.22	43,820	2,366.7	39,623	2105.5
3 Пространство	1,958	5,580.22	43,797	2,365.5	39,860	2118.1
4 Пространство	1,958	5,580.22	43,797	2,365.5	39,860	2118.1
5 Пространство	1,958	5,580.22	43,797	2,365.5	39,860	2118.1
6 Пространство	1,958	5,580.22	43,797	2,365.5	39,860	2118.1

Окончание таблицы 23

Имя пространства	Площадь (м ²)	Объем (м ³)	Пиковая холодильная нагрузка (Вт)	Воздушный поток охлаждения (л/с)	Пиковая отопительная нагрузка (Вт)	Расход воздуха при отоплении (л/с)
7 Пространство	1,958	5,580.22	43,797	2,365.5	39,860	2118.1
8 Пространство	1,958	5,580.22	43,797	2,365.5	39,860	2118.1
9 Пространство	1,958	5,580.22	43,797	2,365.5	39,860	2118.1
10 Пространство	1,958	5,873.92	136,315	7,129.1	134,564	7150.5

Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания согласно теоретического расчета составляет 0,241 Вт/м³·К, согласно компьютерному расчету 0,248 Вт/м³·К, что подтверждает правильность расчетов (рисунок 13).

Сравним теоретическое потребление тепловой энергии за январь с показаниями тепловычислителя за январь 2018 года:

- теоретическое потребление тепловой энергии 460,4008685 Гкал;
- показания тепловычислителя 462,763 Гкал.

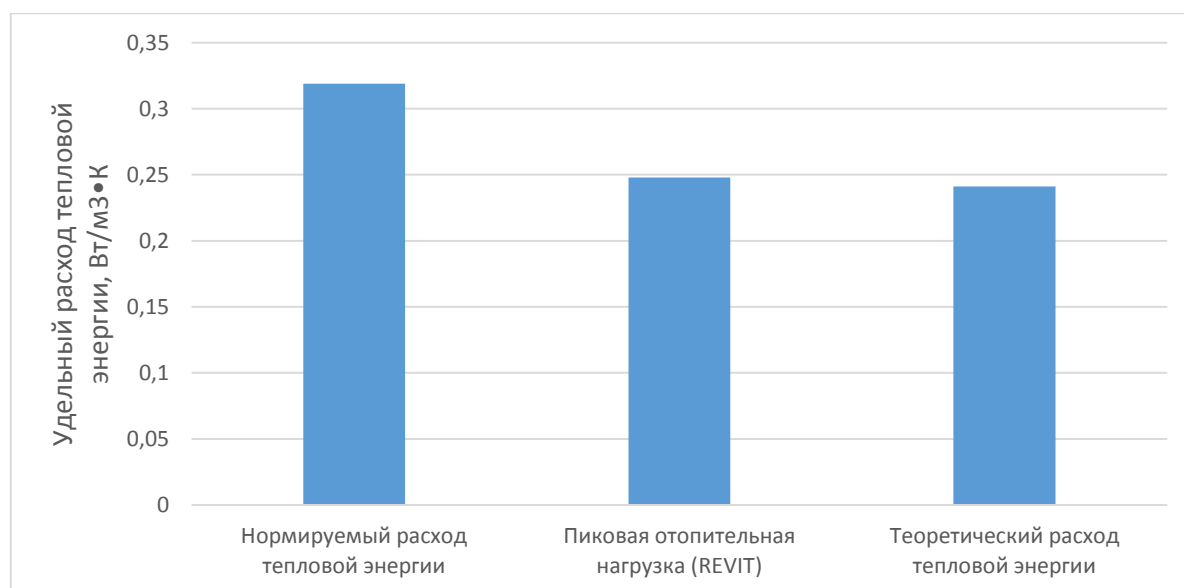


Рисунок 13 – Сравнительные удельные характеристики здания

Это говорит о том, что можно использовать данные для моделирования здания.

Проведем расчет теплотребления моделируемого здания для остальных месяцев отопительного сезона с учетом солнечной радиации (таблица 24).

Таблица 24 – Данные расчета теплотребления здания по месяцам

Теоретический расчет	Показания тепловычислителя	Показания тепловычислителя с учетом экономии
460,4009	462,763	462,763
364,6538	428,105	379,9526
272,1787	311,232	279,8478
118,2196	231,773	169,3035
50,39975	199,773	121,316
20,83877	139,807	61,71387
140,4976	209,103	158,0166
307,1388	347,357	311,3001
441,0735	479,811	440,1892

Результаты расчетов представлены на графике (рисунок 14).

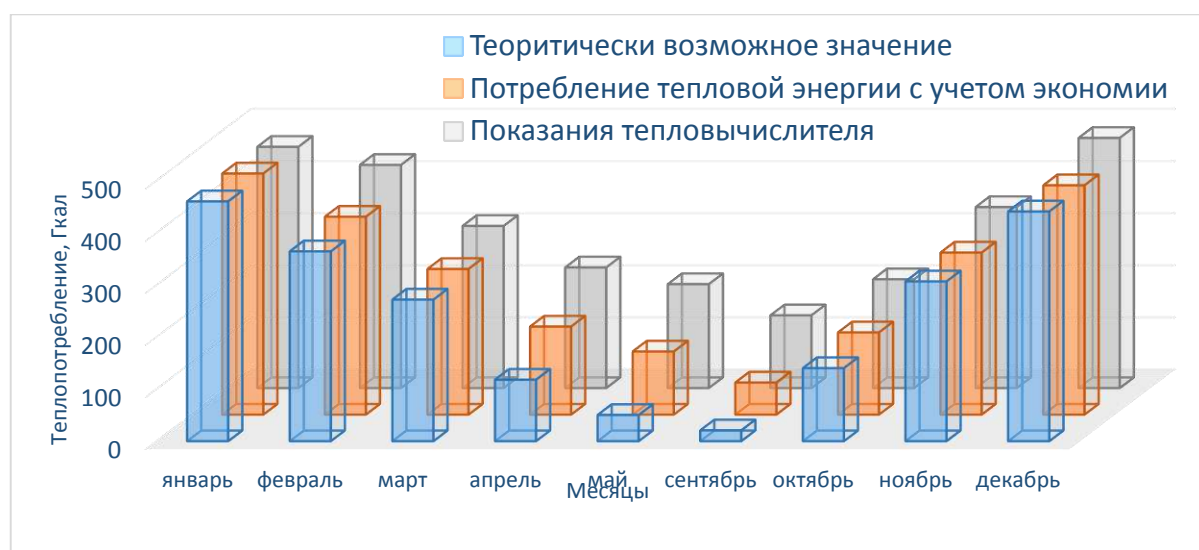


Рисунок 14 – Моделирование энергопотребления здания по месяцам

3.3 Способы уменьшения теплопотребления здания

Уменьшить теплопотребление в системе можно двумя способами. Для этого можно:

– изменить температурный график во внутренней системе теплопотребления;

– изменить расход теплоносителя, то есть установить на каждый радиатор систему автоматического управления температуры в помещении.

Произведем расчет температурных графиков с учетом солнечной радиации по месяцам отопительного периода. Расчет сведем в таблицу 25.

Таблица 25 – Данные расчета температурных графиков с учетом солнечной радиации по месяцам

Тн.в	T2	T3	февраль	март	апрель	май	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
8	45,7	53,3	52,5	52,5	51,2	50,3	49,0	51,5	52,5	52,7
7	45,3	53,0	52,2	52,2	50,9	50,0	48,7	51,2	52,2	52,4
6	44,8	52,7	51,8	51,9	50,6	49,6	48,3	50,8	51,9	52,1
5	44,4	52,4	51,5	51,6	50,2	49,3	47,9	50,5	51,6	51,8
4	44,0	52,1	51,2	51,3	49,9	48,9	47,6	50,2	51,3	51,5
3	43,5	51,8	50,9	51,0	49,6	48,6	47,2	49,8	51,0	51,1
2	43,1	51,5	50,6	50,7	49,2	48,2	46,8	49,5	50,7	50,8
1	42,7	51,2	50,3	50,4	48,9	47,9	46,4	49,2	50,4	50,5
0	42,7	51,4	50,4	50,5	49,1	48,0	46,5	49,3	50,5	50,7
-1	43,5	52,7	51,7	51,8	50,2	49,1	47,5	50,5	51,8	52,0
-2	44,4	54,0	52,9	53,0	51,4	50,3	48,6	51,7	53,0	53,2
-3	45,2	55,3	54,2	54,3	52,6	51,4	49,6	52,9	54,3	54,5
-4	46,0	56,5	55,3	55,5	53,7	52,4	50,6	54,0	55,5	55,7
-5	46,8	57,8	56,6	56,7	54,8	53,5	51,6	55,2	56,7	56,9
-6	47,7	59,1	57,8	58,0	56,0	54,7	52,7	56,4	58,0	58,2
-7	48,5	60,3	59,0	59,1	57,1	55,7	53,7	57,5	59,1	59,4
-8	49,3	61,5	60,2	60,3	58,2	56,7	54,7	58,6	60,3	60,5
-9	50,0	62,8	61,4	61,5	59,3	57,8	55,6	59,7	61,5	61,8

Окончание таблицы 25

Тн.в	Т2	Т3	февраль	март	апрель	май	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
-10	50,8	64,0	62,5	62,7	60,4	58,9	56,6	60,8	62,7	62,9
-11	51,6	65,2	63,7	63,8	61,5	59,9	57,6	61,9	63,8	64,1
-12	52,4	66,4	64,9	65,0	62,6	60,9	58,6	63,0	65,0	65,3
-13	53,1	67,6	66,0	66,2	63,7	61,9	59,5	64,1	66,2	66,4
-14	53,9	68,8	67,2	67,3	64,8	63,0	60,5	65,2	67,3	67,6
-15	54,6	70,0	68,3	68,5	65,8	64,0	61,4	66,3	68,5	68,8
-16	55,4	71,2	69,5	69,6	66,9	65,0	62,4	67,4	69,6	69,9
-17	56,1	72,3	70,5	70,7	67,9	66,0	63,2	68,4	70,7	71,0
-18	56,9	73,5	71,7	71,8	69,0	67,0	64,2	69,5	71,8	72,2
-19	57,6	74,7	72,8	73,0	70,1	68,0	65,1	70,6	73,0	73,3
-20	58,3	75,9	74,0	74,1	71,1	69,0	66,0	71,7	74,1	74,5
-21	59,0	77,0	75,0	75,2	72,1	70,0	66,9	72,7	75,2	75,6
-22	59,7	78,2	76,2	76,4	73,2	71,0	67,8	73,8	76,4	76,7
-23	60,5	79,3	77,2	77,4	74,2	72,0	68,8	74,8	77,4	77,8
-24	61,2	80,5	78,4	78,6	75,3	73,0	69,7	75,9	78,6	79,0
-25	61,9	81,6	79,4	79,6	76,3	73,9	70,6	76,9	79,6	80,0
-26	62,6	82,7	80,5	80,7	77,3	74,9	71,4	77,9	80,7	81,1
-27	63,3	83,9	81,6	81,8	78,3	75,9	72,4	79,0	81,8	82,3
-28	63,2	84,0	81,7	81,9	78,4	75,9	72,4	79,0	81,9	82,3
-29	62,8	83,8	81,5	81,7	78,1	75,6	72,0	78,8	81,7	82,1
-30	62,4	83,5	81,2	81,4	77,8	75,3	71,7	78,4	81,4	81,8
-31	62,0	83,2	80,9	81,1	77,5	74,9	71,3	78,1	81,1	81,5
-32	61,6	83,0	80,6	80,9	77,2	74,7	71,0	77,9	80,9	81,3
-33	60,9	82,5	80,1	80,3	76,7	74,1	70,4	77,3	80,3	80,8
-34	60,4	82,2	79,8	80,0	76,3	73,7	70,0	77,0	80,0	80,5
-35	60,0	81,8	79,4	79,6	75,9	73,3	69,6	76,6	79,6	80,1
-36	59,5	81,5	79,1	79,3	75,6	72,9	69,2	76,2	79,3	79,7
-37	59,0	81,2	78,8	79,0	75,2	72,5	68,8	75,9	79,0	79,4

Изобразим это графически (рисунок 15).

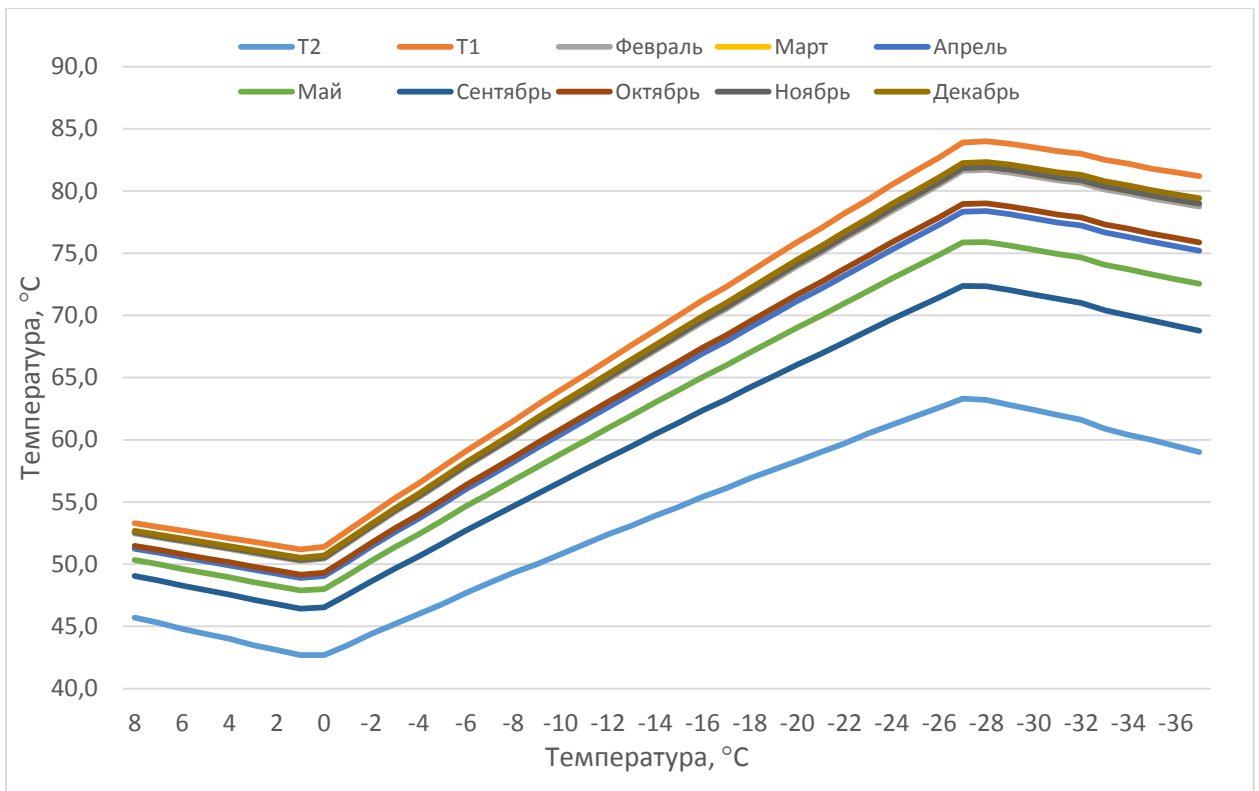


Рисунок 15 – Температурные графики с учетом солнечной радиации по месяцам

Данный расчет подходит только для конкретно этого здания. Для каждого здания необходимо проводить расчет по аналогичной методике.

Для установки системы автоматического регулирования температуры в помещениях необходимо для данного здания 627 комплектов терморегуляторов RTR-G/RTR 7090 013G2186 (рисунок 16) стоимостью 2138 руб./шт., итого 1340526 рублей.



Рисунок 16 – Комплект терморегуляторов для систем отопления

Простой срок окупаемости:

$$PP = \frac{K_0}{KF_{CG}} = \frac{2681052}{484608} = 5,5 \text{ лет}, \quad (36)$$

где PP – простой срок окупаемости проекта в годах;

K_0 – общая сумма первоначальных вложений в проект, руб.;

KF_{CG} – среднегодовые поступления денежных средств от нового проекта при выходе его на запланированные объемы производства/продаж, руб.

Простой срок окупаемости проекта не учитывает изменение стоимости денежных средств во времени. Дисконтированный срок окупаемости позволяет учесть инфляционные процессы и рассчитать возврат инвестиций с учетом покупательской способности денежных средств.

Дисконтированный срок окупаемости:

$$DPP = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \geq I_0, \quad (37)$$

где DPP – динамический (дисконтированный) срок окупаемости;

r – ставка дисконтирования;

I_0 – инвестиции в проект;

CF – денежные поступления в период t ;

n – срок окупаемости;

$$DPP = \sum_{t=1}^n \frac{484698}{8} = 7,5 \text{ лет}, \quad (38)$$

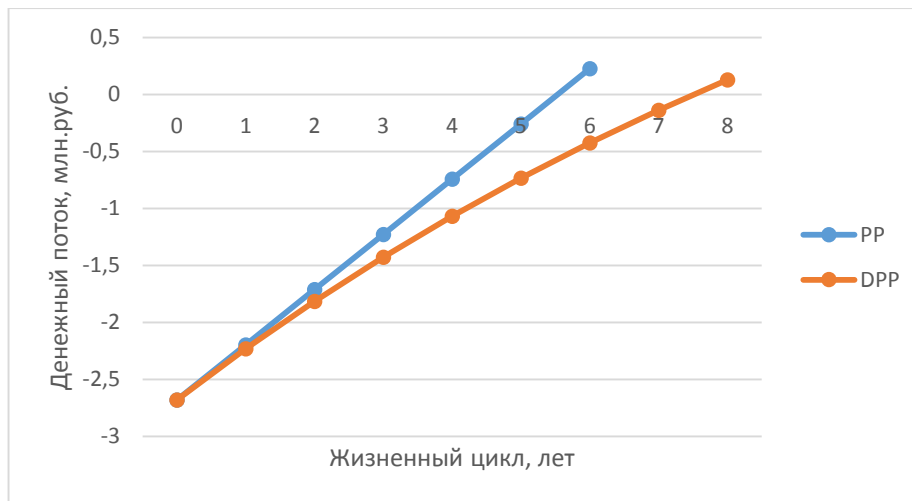


Рисунок 17 – Сроки окупаемости

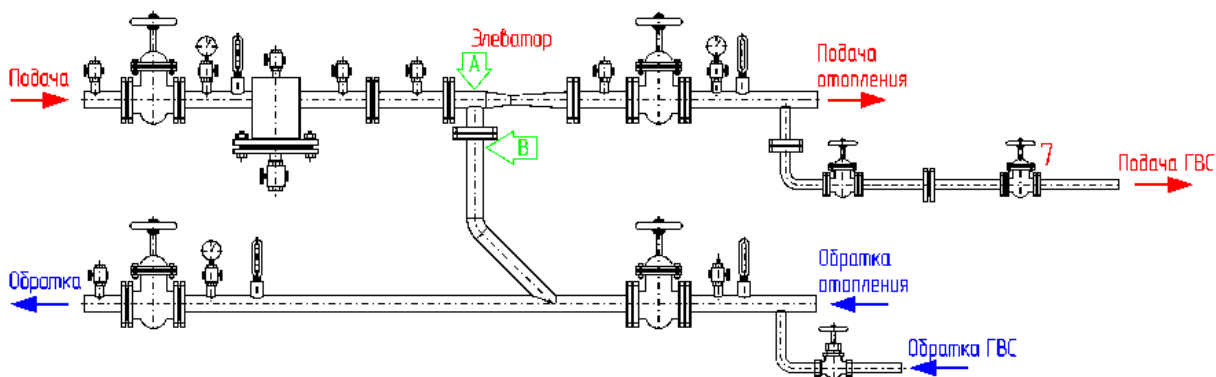


Рисунок 18 – Схема подключения ГВС после ЭУ

Изменение температурных графиков можно применять только для систем теплоснабжения, в которых ГВС подключена по закрытой схеме, либо по открытой через регулятор температуры и давления. В случаях, когда горячее водоснабжение подключено после элеваторного узла, такой метод регулирования не применяется (схема подключения ГВС после элеваторного узла изображена на рисунке 18). В таком случае, подходит установка системы автоматического управления температуры в помещении на каждый радиатор. Этим путем достигается наибольшая энергоэффективность зданий.

Опыт оборудования каждого отопительного прибора термостатами не является оптимальным решением. Во-первых, вертикально-однотрубные системы отопления построены по проточной схеме и, устанавливая термостат,

следует выполнять ещё и перемычку, пропускающую теплоноситель помимо прибора. Известно, что в системе отопления с замыкающими участками для обеспечения равной теплоотдачи первых по ходу воды нагревательных приборов их поверхность нагрева должна быть больше, то есть при реконструкции системы в этих помещениях может быть недогрев.

Далее следует иметь в виду, что нельзя устанавливать термостаты только на части системы, необходимо оборудовать ими все отопительные приборы. Затем регулируемой частью остается только отопительный прибор, стояки и подводки к прибору продолжают отапливать помещения, а при принятых у нас расчетных параметрах теплоносителя 105/70 или 95/70°C их теплоотдача достигает 40% и более.

И, наконец, если система отопления с термостатами подключается к тепловой сети через элеватор, то сокращение расхода воды, циркулирующей в системе отопления, под действием закрывающихся термостатов не приводит к снижению расхода воды, поступающей в элеватор из тепловой сети. В результате будет расти температура обратной воды из отопления, а сокращение подмеса вызовет ещё большее увеличение температуры воды, поступающей в систему отопления.

Поэтому в таких системах обязательны замена элеватора с регулируемым соплом на циркуляционный насос с системой автоматического поддержания заданного графика температуры воды в отоплении в зависимости от изменения наружной температуры. Считается, что большая часть экономии тепловой энергии от применения систем отопления с термостатами достигается за счет авторегулирования в тепловом пункте. Термостаты же повышают комфортность, снимают перегрев от солнечной радиации в пределах теплоотдачи отопительного прибора и могут удовлетворить желание жильцов по снижению теплосъема с отопительного прибора при наличии теплораспределителя, о котором было сказано выше. При отсутствии теплораспределителя возможно даже увеличение

теплопотребления, так как ничто не мешает жильцу жить с открытой форточкой и раскрытым термостатом.

Альтернативой западной системе отопления с термостатами и теплораспределителями может быть система отопления с пофасадным авторегулированием подачи тепла. Реализация пофасадного регулирования в существующих многосекционных зданиях не представляет большой трудности. При этом главный стояк системы одной секции используется для системы отопления одного фасада, а главный стояк второй секции - для системы отопления другого фасада. На чердаке и в подвале прокладывают по две перемычки, объединяющие фасадные ветки обеих секционных систем отопления в отдельные пофасадные системы. Для бесчердачных зданий перемычки прокладывают только в подвале. Тепловой пункт преобразуется примерно по той же схеме, как для системы отопления с термостатами, но отдельно для каждой пофасадной системы.

Регулирование только по отклонению внутренней температуры может привести к перерасходу тепла при отоплении с открытыми форточками. Поэтому более оптимальным является комбинированный метод регулирования - поддержание заданного графика изменения температуры теплоносителя в системе отопления в зависимости от наружной температуры (лимитирование подачи тепла) с коррекцией графика при отклонении измеренной внутренней температуры от заданной (обратная связь для самонастраивания).

Степень коррекции графика должна быть разной. Так, снижение внутренней температуры происходит в результате действия ветра, которое может потребовать увеличения теплоотдачи системы на 10-20% теплопроизводительности в расчетных условиях. При этом важно исключить повышение теплоотдачи в результате некоторого снижения внутренней температуры, происходящего при проветривании квартир. Поэтому увеличение теплоотдачи в пределах до 20% необходимо ограничить

снижением температуры внутреннего воздуха с 21°C (задается для поддержания регулятору) до 20°C.

Повышение температуры внутреннего воздуха происходит в результате солнечной радиации, максимальное значение привлеченного тепла от которой достигает 50% расчетной теплопроизводительности системы отопления. Важно, чтобы отработка этого возмущения происходила при небольшом повышении температуры внутреннего воздуха, для того чтобы избежать проветривания квартир, к которому будет побуждать повышение температуры воздуха. Поэтому степень коррекции графика на повышение температуры должна быть значительно выше, чем на понижение.

Внедрение пофасадного авторегулирования окупается за 1,5-2 года, а индивидуального путем установки термостатов с термораспределителями на отопительных приборах – за 10-15 лет. Поэтому в наших условиях установку термостатов в жилых зданиях следует рассматривать как мероприятие, повышающее комфортность проживания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование темы управления ресурсосбережением в жилищной сфере г. Красноярска показало, что в Красноярском крае на данный момент тема сбережения ресурсов и энергоэффективности находится этапе «принятия» как со стороны государства, так и со стороны строительных компаний и общества.

В заключение следует отметить, что в результате исследования:

1. Произведен анализ критериев, влияющих на энергетические показатели зданий. Определено влияние солнечной радиации на тепловые потери зданий, которое показало, что тепловые потери рассчитываются по средней солнечной радиации, а на самом деле солнечная радиация по месяцам различна;

2. Произведено сравнение удельного энергопотребления здания с учетом показаний тепловычислителей, которое показало, что удельное энергопотребление зданий в осенне-весенний период значительно превышает потребление в зимний, что не совсем корректно, ведь значение солнечной радиации в осенне-весенний период выше. Наверное, это можно объяснить перетопами или не очень качественным регулированием. Но в целом, для взятых объектов это справедливо. Произведен анализ возможной экономии тепловой энергии по имеющимся объектам;

3. Создана модель энергопотребления одного из зданий с учетом его архитектурных особенностей и влияния солнечной радиации. Для этого была создана 3D модель здания, рассчитаны тепловые потери здания как за зимний период, так и за каждый месяц. Результаты моделирования были сравнены с нормативными показателями энергопотребления для проверки правильности полученного решения. На основе моделирования был сделан анализ возможного снижения энергопотребления здания в осенне-весенний период.

4. Определены способы повышения энергоэффективности здания путем изменения параметров теплоносителя во внутреннем контуре, произведена их экономическая оценка. Первым способом было снижение температуры подачи

теплоносителя во внутреннем контуре для каждого месяца с учетом солнечной радиации. Такая система отличается дешевизной, но при этом, данный метод имеет недостатки: главный из них, так как нельзя использовать, если подключение ГВС находится после узла смешения, а также такой график нужно рассчитывать для каждого здания отдельно. Другой способ, гораздо более эффективный и более затратный, изменение расхода путем установки радиаторных терморегуляторов.

При выполнении данных рекомендаций может существенно повыситься энергоэффективность зданий и сооружений.

Исходя из проведенных исследований, можно предложить следующие рекомендации по управлению тепловым ресурсосбережением в жилищной сфере:

- Политика управления ресурсосбережением;
- Проведение конструктивных инженерных мероприятий:
 - пассивная энергоэффективность,
 - применение современных энергоэффективных инженерных систем,
 - экономия и учет энергоресурсов,
 - архитектурная композиция (архитектурно-планировочное решение) должна быть подчинена принципу максимальной энергоэффективности и функциональности здания.

В дальнейшем исследовании может быть проведено более детальное проектирование энергоэффективного здания с использованием большего числа ресурсосберегающих технологий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Министерство энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://minenergo.gov.ru/>.
2. Министерство энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс]: Проект энергостратегии российской федерации на период до 2035 года (редакция от 01.02.2017). Режим доступа: <http://minenergo.gov.ru/>.
3. Правительство России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru>.
4. Апросимова, С. А. Особенности ценообразования в жилищно-коммунальном комплексе региона / С. А. Апросимова // Региональная экономика: теория и практика, 2011. - № 23. - С. 67-70.
5. Астафьев, А. В. Энергосбережение в жилищной сфере. Проблемы, поиски, решения / А. В. Астафьев // Строительная газета, 2004 - № 50. – С. 11.
6. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий / Госстрой России. - М.: ФГУП ЦПП, 2004.
7. Башмаков, И. А. Опыт экономического обоснования повышения энергоэффективности зданий в России / И. А. Башмаков, А. Д. Мышак // Энергосовет. – 2015. - № 3 (40). – С. 20-25.
8. Научно-прикладной справочник по климату СССР. - Серия 3. Многолетние данные. - Ч. 1-6. - СПб.: Гидрометеиздат, 1989-1998. - Вып. 1-34.
9. Малявина Е.Г., Бирюков С.В. Учет теплоступлений в помещения при расчете годового энергопотребления здания // Стройпрофиль. - 2005. - №2/1. - С. 38-40.
10. МГСН 2.01-99*. Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению. - М., 1999.
11. Круглова А.И. Климат и ограждающие конструкции. - М.: Стройиздат, 1970.


12. Богомолова, И. П. Факторы и принципы ресурсосбережения / И. П. Богомолова, А. М. Мантулин // Проблемы региональной экономики. – 2012. - № 3. – С. 10-14.
13. Энергосбережение в жилищной и коммунальной сфере [Текст]: учеб. / Под общ. ред. Л. Н. Чернышова. – М., Екатеринбург: ООО «ИРА УТК», 2008. – 426 с.
14. Высокинский Д. Г. Пообъектный учет в системе управления многоквартирными домами в условиях реформирования ЖКХ [Текст] / Д. Г. Высокинский, А. М. Платонов // Материалы докладов НПК «Социально-экономическая политика современной России: проблемы и пути их решения». – Екатеринбург, 2009. – С. 66–70.
15. Фирсанова Е. Реформа ЖКХ: управляющие компании и ресурсоснабжение в оценках экспертов [Текст]: доклад / Е. Фирсанова. – М.: Профи-групп, 2007. – 56 с.
16. «Энергосбережение в жилых и общественных зданиях. Нормативы по теплопотреблению и теплозащите. Новосибирская область» (ТСН 23-317-2000).
17. СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология».
18. Голованова, Л. А. Повышение эффективности инвестиций в энергосбережение по этапам жизненного цикла здания / Л. А. Голованова // Экономика строительства, 2005. - № 8. - С. 2-11.
19. Ливчак В.И. Положения по изменению в расчете Энергетического паспорта жилых и общественных зданий в связи с выходом СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». Информационный бюллетень Мосгосэкспертизы. - 2004. - №1(8).
20. Гурлак, Л. И. Обоснование целесообразности использования пассивных домов / Л. И. Гурлак, С. Н. Бубнович // Научный вестник ВГАСУ, 2015. - № 1. – С. 33-36.

21. Давыдянец, Д. Е. К определению понятий «энергосбережение» и «энергоэффективность» / Д. Е Давыдянец, В. Е. Жидков, Л. В. Зубова // Фундаментальные исследования, 2014 - № 9. - С. 1294-1296.
22. Институт пассивного дома [Электронный ресурс]: пассивные дома // Официальный сайт ИПД. - Режим доступа: <http://www.passiv-rus.ru/item/5-perviy-passivniy-dom>.
23. Киричек, А. В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием: науч. изд. / А. В. Киричек, Д. Л. Соловьев, А. Г. Лазуткин. – Москва : Машиностроение, 2004. – 287 с.
24. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2013. – Взамен СП 51.13330.2010; введ. 20.05.2011. – М.: Мин- регион России ОАО «ЦПП», 2011. – 42 с.
25. СТО 4.2–07–2014 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Введ. 09.01.2014. – Красноярск: ИПК СФУ, 2014. – 60 с.
26. Сканави А. Н., Махов Л. М. Отопление: Учеб. Для вузов. .: Издательство АСВ, 2008. 576 с.
27. СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология».
28. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд. 4-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1973, с. 287.
29. Корниенко С. В. Расчет теплоступлений от солнечной радиации за отопительный период // Жилищное строительство. 2010. № 6. С. 40-41.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра теплотехники и гидрогазодинамики

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


подпись

В.А. Кулагин
инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2019 г

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Исследование энергетической эффективности зданий

13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

13.04.01.01 «Энергетика теплотехнологий»

Научный руководитель


подпись, дата

канд.техн.наук, доцент
должность, ученая степень

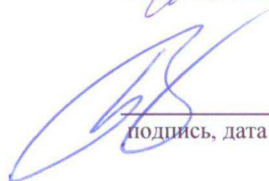
М.В. Колосов
инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

О.Ю. Толконова
инициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата

начальник ТИ АО «КТТК»
должность, ученая степень

А.Г. Быков
инициалы, фамилия

Красноярск 2019.