

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Теплотехники и гидрогазодинамики»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.А. Кулагин
подпись
«_____» _____ 2021г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Повышение энергетической эффективности зданий»

13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

13.04.01.01 «Энергетика теплотехнологий»

Научный руководитель _____ доцент, к.т.н. М.В. Колосов
подпись, дата

Выпускник _____ Л.С. Баженова
подпись, дата

Рецензент _____ доцент, д.т.н. Ю.Л. Липовка
подпись, дата

Красноярск 2021

РЕФЕРАТ

Выпускная магистерская работа по теме «Повышение энергетической эффективности зданий» содержит 72 страницы текстового документа, 21 использованных источников.

Ключевые слова: ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ, ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГИЯ, ТЕПЛОПОТЕРИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ, ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ТЕПЛОВОЙ ПУНКТ.

Цель работы: разработка метода повышения тепловой эффективности зданий и анализ существующих технологий, позволяющих повысить их энергоэффективность.

В процессе работы было приведено описание существующих в настоящее время методов и технологий повышения энергетической эффективности зданий; произведен анализ потребления тепловой энергии на отопление многоквартирных домов; выполнен расчет теоретической удельной характеристики расхода тепловой энергии для многоквартирного здания и было приведено его сравнение со значениями, полученными на практике; был выполнен расчет возможной экономии тепловой энергии; предложен метод повышения энергетической эффективности зданий за счет изменения режимных характеристик системы отопления.

В заключении представлены выводы о проделанной работе.

Также результаты работы представлены с помощью пояснительного текста, рисунков, графиков.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Существующие способы повышения энергетической эффективности зданий	6
2 Регулирование системы отопления как способ повышения энергоэффективности зданий	11
2.1 Автоматизированный узел управления систем отопления	12
2.2 Пофасадное регулирование системы отопления.....	14
2.3 Применение регуляторов температуры.....	19
3 Анализ потребления тепловой энергии на отопление многоквартирных домов.....	22
3.1 Анализ удельных показателей энергопотребления	22
3.2 Анализ температурного режима объектов теплопотребления	39
3.3 Анализ потребления теплоносителя.....	46
4 Расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление жилых зданий.....	49
4.1 Тепловой баланс здания.....	49
4.2 Определение теплопоступлений здания	50
4.3 Определение тепловых потерь здания	51
4.4 Определение требуемого теоретического расхода тепловой энергии на отопление здания и сравнение его с практическим значением.....	53
4.5 Расчет возможной экономии тепловой энергии.....	59
5 Повышение энергетической эффективности здания за счет изменения режима работы системы отопления	62
Заключение	69
Список использованных источников	71

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время тема энергоэффективности в зданиях рассматривается на уровне международной и государственной политики. Ежедневно обсуждаются вопросы об ограниченности природных ресурсов, изменениях в климате и прочих проблемах. Рациональное использование энергоресурсов можно достичнуть только путем комплексного применения передовых энергосберегающих технологий и внедрения мер организационного характера, направленных на энергосбережение. Постоянный рост цен и тарифов на энергоресурсы прямым образом отражается в производственном процессе любого предприятия. Решение данной проблемы видится в одном — необходимость экономить энергию и проводить мероприятия, способствующие этому. Требуется комплексный подход, учитывающий, что уровень энергетической эффективности здания зависит от архитектурно-планировочных решений, компоновки здания, особенностей природно-климатических воздействий, режима работы систем отопления и кондиционирования, уровня автоматизации систем поддержания микроклимата.

В настоящее время теплотехнические нормы требуют существенного увеличения уровня теплозащиты проектируемых и реконструируемых зданий. Оптимизация использования топливно-энергетических ресурсов обеспечивается введением в действие комплекса взаимосвязанных законодательных актов и нормативно-технических документов, нацеленных на достижение экономической эффективности использования энергетических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологий и соблюдении требований к охране окружающей природной среды.

В современном мире вопрос энергосбережения с каждым годом становится все более актуальней. Из-за нерационального использования природных ресурсов происходит рост цен на электроэнергию, отопление, горячее и холодное водоснабжение, вентиляцию и кондиционирование.

Необходимо принимать меры по сокращению потребляемой энергии, сохранению существующих энергетических ресурсов и созданию новых способов повышения энергоэффективности в сфере строительства, что снижает эксплуатационные, в том числе и коммунальные расходы, способствует созданию большего комфорта, здоровой и безопасной внутренней среды.

1 Существующие способы повышения энергетической эффективности зданий

Проблема энергоэффективности жилых зданий на сегодняшний день очень актуальна. Энергоэффективность — это комплекс организационных, экономических и технологических мер, направленных на повышение значения рационального использования энергетических ресурсов в производственной, бытовой и научно-технической сферах. Во всем мире уже давно ведется поиск путей уменьшения энергопотребления за счет его рационального использования. Результаты многочисленных исследований, посвященных изучению проблем энергосбережения, показывают, что наибольшее количество энергии тратится на отопление, горячее водоснабжение, покрытие потерь при транспортировке энергии, охлаждение воздуха в системах кондиционирования, искусственное освещение. В России расход на отопление помещений составляет в среднем 72 % общего объема энергии. При устойчивом росте цен на энергоносители, неизбежно вызывающих повышение цен на коммунальные услуги, комплексные требования к энергоэффективности зданий, становятся выше.

На сегодняшний момент существует ряд мероприятий, позволяющий повысить энергоэффективность зданий, к таким мероприятиям относится:

Повышение теплового сопротивления ограждающих конструкций:

- облицовка наружных стен, утепление кровли, перекрытий над подвалом теплоизоляционными плитами, снижение теплопотерь до 40 %;
- устранение мостиков холода в стенах и в примыканиях оконных переплетов. Эффект 2–3 %;
- устройство в ограждениях/фасадах прослоек, вентилируемых отводимым из помещений воздухом;
- применение теплозащитных штукатурок;
- уменьшение площади остекления до нормативных значений;

- остекление балконов и лоджий. Эффект 10–12 %;
- установка современных окон с многокамерными стеклопакетами;
- применение окон с отводом воздуха из помещения через межстекольное пространство. Эффект 4–5 %;
- установка проветривателей и применение микровентиляции;
- применение теплоотражающих /солнцезащитных стекол в окнах и при остеклении лоджий и балконов;
- остекление фасадов для аккумулирования солнечного излучения. Эффект от 7 до 40 %;
- применение наружного остекления имеющего различные характеристики накопления тепла летом и зимой;
- установка дополнительных тамбуров при входных дверях подъездов и в квартирах.

Повышение энергоэффективности системы отопления:

- замена чугунных радиаторов на более эффективные алюминиевые;
- установка терmostатов и регуляторов температуры на радиаторы;
- применение систем поквартирного учета тепла (теплосчетчики, индикаторы тепла, температуры);
- реализация мероприятий по расчету за тепло по количеству установленных секций и месту расположения отопителей;
- установка теплоотражающих экранов за радиаторами отопления. Эффект 1–3 %;
- применение регулируемого отпуска тепла (по времени суток, по погодным условиям, по температуре в помещениях);
- применение контроллеров в управлении работой теплопункта;
- применение поквартирных контроллеров отпуска тепла;
- сезонная промывка отопительной системы;

- установка фильтров сетевой воды на входе и выходе отопительной системы;
- дополнительное отопление через отбор тепла от теплых стоков;
- дополнительное отопление при отборе тепла грунта в подвальном помещении;
- дополнительное отопление за счет отбора излишнего тепла воздуха в подвальном помещении и в вытяжной вентиляции (возможное использование для подогрева притока и воздушного отопления мест общего использования и входных тамбуров);
- дополнительное отопление и подогрев воды при применении солнечных коллекторов и тепловых аккумуляторов;
- использование неметаллических трубопроводов;
- теплоизоляция труб в подвальном помещении дома;
- переход при ремонте к схеме индивидуального поквартирного отопления.

Повышение качества вентиляции. Снижение издержек на вентиляцию и кондиционирование:

- применение автоматических гравитационных систем вентиляции;
- установка проветривателей в помещениях и на окнах;
- применение систем микровентиляции с подогревом поступающего воздуха и клапанным регулированием подачи;
- исключение сквозняков в помещениях;
- применение в системах активной вентиляции двигателей с плавным или ступенчатым регулированием частоты;
- применение контроллеров в управлении вентиляционных систем.
- применение водонаполненных охладителей в ограждающих конструкциях для отвода излишнего тепла;

- подогрев поступающего воздуха за счет охлаждения отводимого воздуха;
- использование тепловых насосов для выхолаживания отводимого воздуха;
- использование реверсивных тепловых насосов в подвалах для охлаждения воздуха, подаваемого в приточную вентиляцию.

Экономия воды (горячей и холодной):

- установка общедомовых счетчиков горячей и холодной воды;
- установка квартирных счетчиков расхода воды;
- установка счетчиков расхода воды в помещениях, имеющих обособленное потребление;
- установка стабилизаторов давления (понижение давление и выравнивание давления по этажам);
- теплоизоляция трубопроводов ГВС (подающего и циркуляционного);
- подогрев подаваемой холодной воды (от теплового насоса, от обратной сетевой воды и т.д.);
- установка экономичных душевых сеток;
- установка в квартирах клавишных кранов и смесителей;
- установка шаровых кранов в точках коллективного водоразбора;
- установка двухсекционных раковин;
- установка двухрежимных смывных бачков;
- использование смесителей с автоматическим регулированием температуры воды.

Экономия электрической энергии:

- замена ламп накаливания в подъездах на люминесцентные энергосберегающие светильники;
- применение систем микропроцессорного управления частотно-регулируемыми приводами электродвигателей лифтов;

- замена применяемых люминесцентных уличных светильников на светодиодные светильники;
- применение фото акустических реле для управляемого включения источников света в подвалах, технических этажах и подъездах домов;
- установка компенсаторов реактивной мощности;
- применение энергоэффективных циркуляционных насосов, частотно-регулируемых приводов;
- пропаганда применения энергоэффективной бытовой техники класса А+, А++.

— использование солнечных батарей для освещения здания

Экономия газа:

- применение энергоэффективных газовых горелок в топочных устройствах блок котельных;
- применение систем климат-контроля для управления газовыми горелками в блок котельных;
- применение систем климат-контроля для управления газовыми горелками к квартирным системам отопления;
- применение программируемого отопления в квартирах;
- использование в быту энергоэффективных газовых плит с керамическими ИК излучателями и программным управлением;
- пропаганда применения газовых горелок с открытым пламенем в экономичном режиме.

В 2009 году был принят Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». На основании данного закона повышение энергоэффективности систем отопления является одной из стратегических задач Российской Федерации. Согласно этому закону, учет и регулирование источника тепла обязательны. Ниже рассмотрим подробнее известные на сегодняшний день

способы регулирования подачи тепла в системах отопления, целью которых является повышение энергоэффективности зданий.

2 Регулирование системы отопления как способ повышения энергоэффективности зданий

Для системы водяного отопления энергоэффективный уровень теплопотребления может быть обеспечен при следующем наборе функций и возможностей:

- автоматическое поддержание температурного графика на вводе в здание;
- качественно-количественное регулирование теплоотдачи системы, включающее терморегулирование на отопительных приборах и стояках;
- автоматическое поддержание требуемого/расчетного распределения потока теплоносителя по всем участкам системы;
- индивидуальный учет тепла, мотивированный оплатой по фактическому потреблению.

По конструктивному исполнению, укрупненно, можно выделить следующие варианты энергоэффективных систем отопления:

— система с горизонтальной поквартирной разводкой трубопроводов с различными конструктивными вариантами поквартирных тепловых пунктов или распределительных щитов, включающими различные комбинации автоматики регулирования, теплообменники контуров отопления и/или ГВС и др.;

— традиционная система отопления с вертикальными внутrikвартирными стояками – однотрубная и двухтрубная, комплексно оснащенная приборами автоматического регулирования и учета тепла.

Ниже приведем подробное описание существующих методов регулирования систем отопления, позволяющих повысить энергоэффективность систем отопления.

2.1 Автоматизированный узел управления систем отопления

Заметный эффект экономии тепловой энергии в системах отопления (20–30 %) может достигаться за счет автоматической регулировки тепла. Автоматизированный узел управления (АУУ) – это совокупность устройств и оборудования, обеспечивающих автоматическое регулирование температуры и расхода теплоносителя на вводе в каждое здание точно в соответствии с заданным для этого здания температурным графиком или в соответствии с потребностями жителей. [1], [2]

К преимуществу АУУ в сравнении с тепловыми и элеваторными узлами, имеющими фиксированное сечение проходного отверстия (сопла элеватора, дроссельной диафрагмы), через которое теплоноситель поступает во внутридомовую систему отопления, относится возможность изменения количества подаваемого теплоносителя в зависимости от температуры воды в подающем и обратном трубопроводах системы отопления с коррекцией по температуре наружного воздуха в соответствии с температурным графиком.

В отличие от элеваторных узлов, устанавливаемых на каждой секции дома, АУУ монтируется, как правило, один на здание (если в доме два тепловых ввода, то устанавливаются два АУУ), при этом присоединение выполняется после узла учета тепловой энергии системы отопления (при его наличии).

Принципиальная схема АУУ представлена на рисунке 1 (по материалам ООО «Данфосс»). Возможны конструктивные варианты, обусловленные схемой присоединения к тепловой сети, гидравлическими режимами на тепловом вводе, конкретной конструкцией системы отопления здания и условиями эксплуатации.

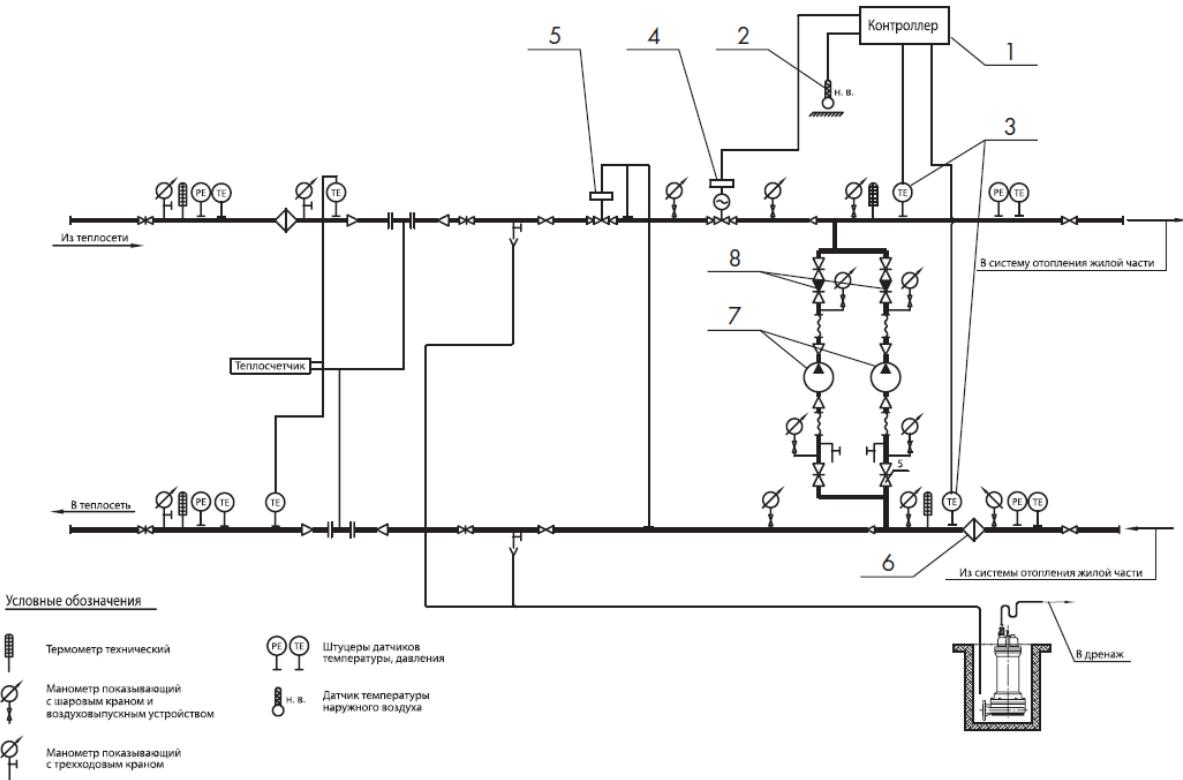


Рисунок 1 - Принципиальная схема АҮУ с насосами смешения на переключке для температуры до АҮУ $t = 150 - 70^{\circ}\text{C}$ при одно- и двухтрубных системах отопления с термостатами ($P_1 - P_2 \geq 12 \text{ м вод. ст.}$)

1 – электронный блок (щит управления); 2 – датчик температуры наружного воздуха; 3 – датчики температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах; 4 – клапан регулятора расхода с редукторным приводом; 5 – клапан регулятора перепада давления; 6 – фильтр; 7 – циркуляционный насос; 8 – обратный клапан.

Как видно из схемы, АҮУ принципиально состоит из трех частей: сетевой, циркуляционной и электронной.

Сетевая часть АҮУ включает клапан регулятора расхода теплоносителя с редукторным приводом, клапан регулятора перепада давления с пружинным регулирующим элементом и фильтр.

Циркуляционная часть АҮУ включает циркуляционный (смесительный) насос и обратный клапан. В качестве насосов смешения устанавливаются два насоса фирмы Grundfos (или другие типы насосов, удовлетворяющие требованиям АҮУ), которые работают попаременно по таймеру с

цикличностью 6 ч. Контроль за работой насосов осуществляется по сигналу датчика перепада давлений, установленного на насосах.

Электронная часть АУУ включает электронный блок (щит управления), обеспечивающий автоматическое управление тепломеханическим и насосным оборудованием с целью поддержания заданного температурного графика и гидравлического режима в системе отопления здания, карту ECL (предназначена для программирования контроллера теплового режима), датчик температуры наружного воздуха (устанавливается на северной стороне фасада здания), датчики температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах и редукторный электропривод клапана регулирования расхода теплоносителя в сетевой части АУУ.

Эксплуатация образцовых АУУ показала, что использование АУУ в совокупности с балансировочными клапанами на стояках системы ЦО, терmostатическими вентилями на каждом отопительном приборе и проведением утеплительных мероприятий позволяет экономить до 25–37 % тепловой энергии и обеспечивать комфортные условия проживания в каждом помещении.

2.2 Пофасадное регулирование системы отопления

Пофасадное регулирование отопления может принести ощутимый эффект экономии тепла. Оно позволяет снизить расход тепла за счет более полного использования солнечной радиации, а также обеспечивает дополнительную подачу тепла при ветре только в помещениях, расположенных на наветренном фасаде здания. [3]

В солнечные дни здание получает разное количество тепла от солнца на северной и южной стороне. При применении погодозависимой автоматики есть возможность подавать разное количество тепла на южный и северный фасад, в зависимости от освещения солнцем.

На улице размещаются два термопреобразователя. Термопреобразователь на южном фасаде размещается на высоте 5-7 метров в освещенном солнцем месте. На северной стороне преобразователь устанавливается в тенистом месте.

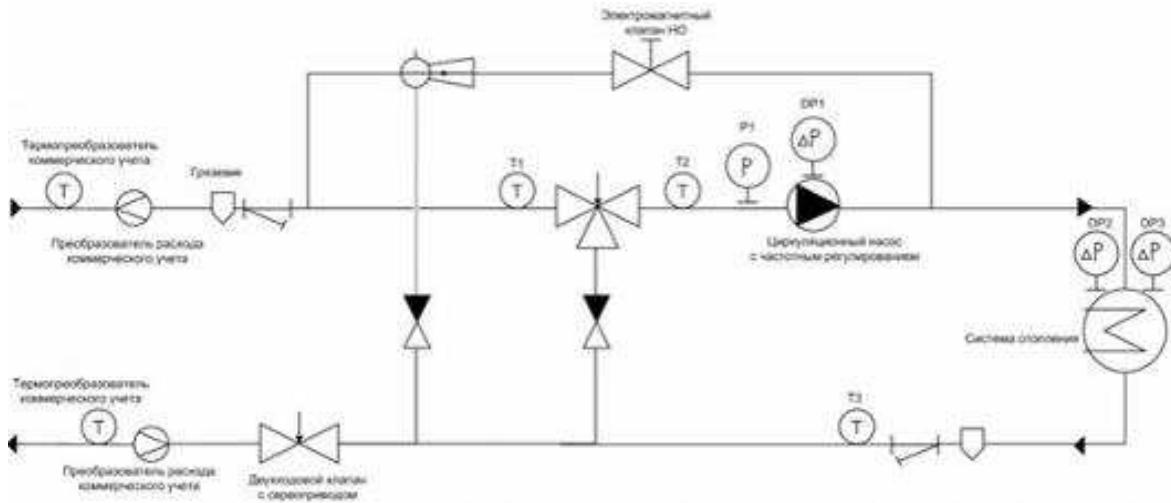


Рисунок 2 – Основные элементы ИТП с пофасадным регулированием

Логический контроллер сравнивает показания термопреобразователей, если на южной стороне температура выше, значит требуется коррекция температуры теплоносителя на подаче южного контура отопления.

Регулирование происходит качественно-количественное по графику перепада температуры на подающем и обратном трубопроводах в зависимости от уличной температуры.

В случае выхода из строя насоса контура, система переключается на работу на одном насосе без регулирования по фасадам. При отключении электроэнергии или при выходе из строя обоих насосов контуров, система переходит в нерегулируемый режим работы.

При управлении теплопотреблением здания возникает необходимость регулирования параметров теплоносителя. В соответствии со сводом правил СП41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов...», могут применяться следующие способы поддержания графика температур теплоносителя:

1. Изменение температуры подающего трубопровода;

2. Изменение температуры обратного трубопровода;
3. Изменение разницы температуры между подающим и обратным трубопроводами (самый точный).

Первый способ, наиболее распространенный за рубежом и применяемый практически во всех поставляемых в нашу страну регуляторах отопления, по данным того же источника, приводит к завышению подачи теплоты примерно на 4 % годового потребления. Современные регуляторы, имеющие функцию самонастройки, достаточно дороги и, кроме того, трудно представить себе жильцов, разрешающих устанавливать датчики температуры в своих квартирах.

Приведенная ниже схема дает возможность осуществить регулирование третьим методом (рисунок 3).

Возможности схемы:

1. Поддержание заданного перепада температуры теплоносителя на входе/выходе из теплового пункта.
2. Поддержание разницы температуры теплоносителя в системе отопления.
3. Работоспособность в случае отсутствия электроэнергии или при выходе из строя циркуляционного насоса.

Преимущества схемы:

- высокая надежность (работоспособность сохраняется при отсутствии электроэнергии);
- работоспособность при выходе из строя одного или двух насосов;
- точная регулировка расхода тепла зданием.

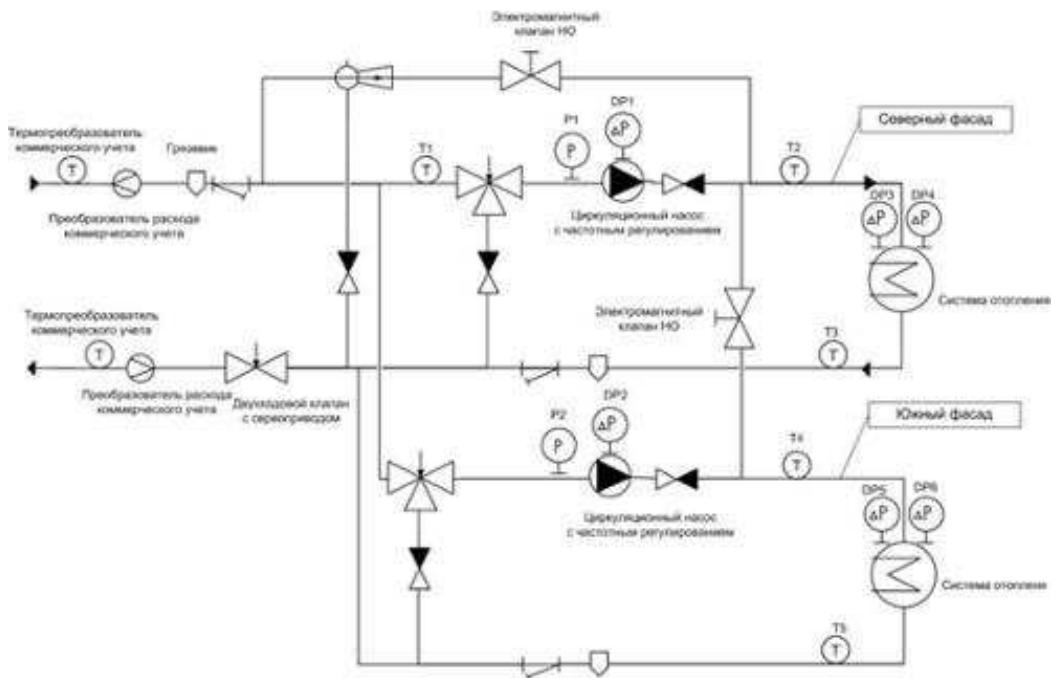


Рисунок 3 – Основные элементы ИТП с пофасадным количественно-качественным регулированием

Принцип работы схемы состоит в следующем:

Теплоноситель подается в тепловой пункт через приборы коммерческого учета. Программируемый логический контроллер (далее - ПЛК) с помощью трехходового клапана устанавливает температуру подачи теплоносителя. По температуре обратного трубопровода контроллер с помощью частотного преобразователя устанавливает скорость циркуляции теплоносителя. По датчикам перепада давления DP_2, DP_3 контролируется перепад давления на удаленных стояках системы отопления. При получении сигнала от датчика, ПЛК увеличивает частоту преобразователя до отключения сигнала о недостаточности перепада давления на удаленных стояках.

Для поддержания перепада температур на выходе (выходе) из теплопункта, контроллер управляет двухходовым клапаном на обратном трубопроводе. В случае уменьшения разницы температуры между подающим и обратным трубопроводами, ПЛК прикрывает клапан добиваясь заданного перепада температуры.

В случае выхода из строя циркуляционного насоса (отсутствие перепада на датчике *DP1*) или отключении электроэнергии открываются нормально открытые электромагнитные клапаны на байпасных перемычках. Система перейдет в режим нерегулируемой работы.

Некоторые особенности предлагаемой схемы:

— наиболее чувствительными к плохому качеству воды в системах отопления являются насосы с «мокрым ротором», работающие непосредственно в воде. Кроме того, фильтры грубой очистки, в том числе сетчатые, часто преждевременно выходят из строя после 4-5 циклов очистки и в дальнейшем не используются. Работа насоса без фильтра во всасывающей магистрали приводит к его поломке;

— циркуляция в системе отопления не зависит от положения трёхходового клапана, что делает возможным применение регулирования по перепаду температур, как это рекомендуется в своде правил по проектированию тепловых пунктов;

— данная схема может быть использована при любом перепаде давления на вводе теплосети (в т. ч. и при возникновении небольшого вакуума на вводе теплоносителя).

Данная схема подходит для индивидуальных тепловых пунктов зданий и сооружений с потреблением тепла более 80 Гкал/год.

При индивидуальном пофасадном регулировании в жилых зданиях существует опасность, что жильцы одной из соседних квартир могут уехать на некоторое время и с целью экономии установить терmostаты на поддержание более низкой температуры воздуха. Расчеты показывают, что если выставлена, например, температура в 10°C, то теплопотери смежных с этой квартирой комнат при средних зимних условиях возрастают на 30-50 %. Это вызовет снижение температуры воздуха в этих комнатах, если отсутствует соответствующий запас поверхности нагрева отопительных приборов, и неоправданное увеличение потребления тепла. Вероятно, для устранения

этого недостатка следует, чтобы терmostаты имели бы ограничение на снижение задаваемой температуры не ниже 16°C, поскольку их основная задача поддерживать температуру воздуха в помещении на комфортном уровне.

Подтверждением эффективности пофасадного авторегулирования может служить практика применения его в жилых зданиях, когда при температуре наружного воздуха - 5 - 8 °C отопление освещенного солнцем фасада автоматически отключалось не только на период попадания солнечных лучей в окна, но и на такое же время после, за счет теплопоступлений от нагретых поверхностей стен и мебели. Важно, чтобы сигналом пофасадного авторегулирования служила температура внутреннего воздуха отапливаемых помещений - интегратор воздействия солнечной радиации, инфильтрации наружного воздуха и внутренних тепловыделений на тепловой режим здания.

2.3 Применение регуляторов температуры

Автоматизированные системы отопления призваны поддерживать в зданиях и помещениях микроклимат, наиболее комфортный для работы и отдыха. Кроме того, благодаря возможности более рационально расходовать энергоресурсы, такие системы являются гораздо более эффективными, чем традиционные.

Установку комфортной температуры в помещениях обеспечивают терmostаты или термодатчики, которые постоянно отслеживают ее изменения и позволяют отопительной системе учитывать все текущие факторы, влияющие на температуру в помещении: человеческое тепло, солнечное тепло, нагрев от осветительных приборов, излучение других электроприборов и др. [4]. Основные элементы устройства терморегулятора представлены на рисунке 4.

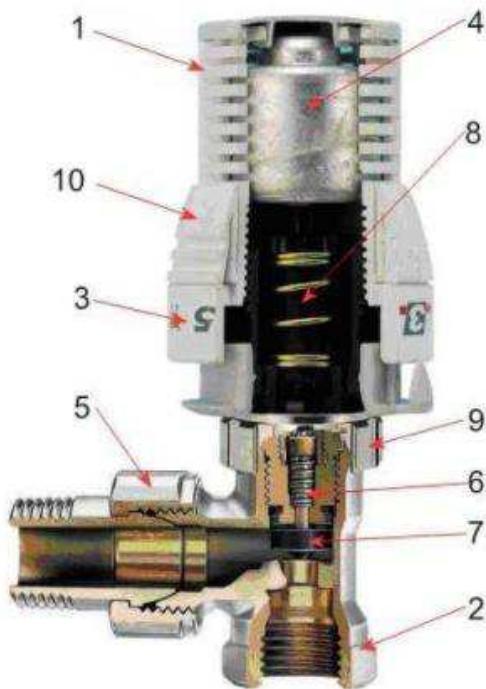


Рисунок 4 – Устройство терморегулятора

1 – термостатический элемент; 2 – термостатический клапан; 3 – шкала настройки; 4 – чувствительный элемент (рабочая среда – жидкость); 5 – разъемное соединение; 6 – шток; 7 – золотник; 8 – компенсационный механизм; 9 – накидная гайка; 10 – кольцо, фиксирующее заданную температуру

Если непосредственно в тепловом пункте здания применяются средства автоматического регулирования подачи теплоносителя, которые отслеживают температуру наружного воздуха, то это дает экономию в энергопотреблении примерно 15–20%. Использование термостатических клапанов на радиаторах отопления дополнительно снижает энергопотребление еще на 5–7%.

Для изменения температуры в системах отопления используют двухпозиционные устройства регулирования (термостаты) и устройства плавного регулирования (термодатчики).

Термостаты служат для поддержания в помещении постоянной заданной температуры. Работают они по принципу отключения нагрева котла системы отопления при достижении нужной температуры и соответственно — включения при снижении температуры ниже заданного уровня. Это самые

простые и надежные устройства для управления микроклиматом в помещениях. Терmostаты обеспечивают достаточно высокий уровень комфорта и экономию топлива до 20%. Они идеальны для использования при отдельном отоплении квартир и других помещений небольшой площади.

Устройства плавного регулирования — термодатчики — позволяют поддерживать температуру в помещении на заданном уровне вне зависимости от изменения температуры на улице, а также снизить потребление энергоресурсов. Они подключаются к системе парового котла и передают ей значения температур, по которым автоматика самостоятельно выбирает необходимую температуру теплоносителя. Термодатчики обладают более высокой точностью, чем терmostаты, а благодаря функции таймера с модулем дистанционного управления и программирования, также способны обеспечить повышенный уровень комфорта в помещении и экономию энергии.

3 Анализ потребления тепловой энергии на отопление многоквартирных домов

Для анализа были выбраны четыре объекта, находящиеся в г. Красноярск, относящиеся к типу зданий «Многоквартирные дома». Исходными данными для проведения анализа являются показания приборов учета тепловой энергии, установленных на данных зданиях и характеристики объектов, представленные в таблице 1 (адреса объектов не указаны, так как являются конфиденциальной информацией). В ходе работы необходимо выполнить анализ удельных показателей энергопотребления, анализ температурного режима теплопотребления и анализ потребления теплоносителя.

Таблица 1 – Характеристики объектов теплопотребления

Характеристика	Объект № 1	Объект № 2	Объект № 3	Объект № 4
Тип здания	МКД	МКД	МКД	МКД
Количество этажей	9	18	16	9
Отапливаемый объем здания, м ³	70523	45563	96840	53055
Тип системы отопления	независимая	зависимая	независимая	независимая
Теплоисточник	ТЭЦ-2	ТЭЦ-2	ТЭЦ-2	ТЭЦ-2

3.1 Анализ удельных показателей энергопотребления

Согласно СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с Изменением N 1), требования к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий устанавливается показателем расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого или общественного здания. Показателем расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого или общественного здания на стадии разработки проектной документации, является удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания

численно равная расходу тепловой энергии на 1 м³ отапливаемого объема здания в единицу времени при перепаде температуры в 1 °C, $q_{\text{от}}$, Вт/(м³·°C).

Усредненную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания для действующего объекта возможно определить на основании показаний прибора учета тепловой энергии, установленного на здании. Для этого необходимо отнести количество тепловой энергии, полученной объектом за период усреднения к усредненной разнице между температурой внутреннего воздуха здания и температурой наружного воздуха, а также к отапливаемому объему здания:

$$q = \frac{Q_{\text{уч.}}}{(t_{\text{вн}} - t_{\text{нап}}) \cdot V \cdot \tau} \approx \frac{k \cdot F}{V}, \quad (1)$$

где q – удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, Вт/м³·К;

$Q_{\text{уч.}}$ – интегральные показатели теплового потребления для периода усреднения, Дж;

V – отапливаемый объем здания, м³; τ – период усреднения, сек.

Действительное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания должно быть меньше или равно нормируемого значения, согласно СП 50.13330.2012, Вт/(м³·°C):

$$q_{\text{от}}^{\partial} \leq q_{\text{от}}^{\text{mp}} \quad (2)$$

где $q_{\text{от}}^{\text{mp}}$ - нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, Вт/(м³·°C), определяемая для различных типов жилых и общественных зданий по таблице 2.

Таблица 2 - Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, q_{om}^{mp} , Вт/(м³·°C)

Тип здания	Этажность здания								
	1	2	3	4,5	6,7	8,9	10, 11	12 и выше	
1 Жилые многоквартирные, гостиницы, общежития	0,455	0,414	0,372	0,359	0,336	0,319	0,301	0,290	
2 Общественные, кроме перечисленных в строках 3-6	0,487	0,440	0,417	0,371	0,359	0,342	0,324	0,311	
3 Поликлиники и лечебные учреждения, дома-интернаты	0,394	0,382	0,371	0,359	0,348	0,336	0,324	0,311	
4 Дошкольные учреждения, хосписы	0,521	0,521	0,521	—	—	—	—	—	
5 Сервисного обслуживания, культурно-досуговой деятельности, технопарки, склады	0,266	0,255	0,243	0,232	0,232				
6 Административного назначения (офисы)	0,417	0,394	0,382	0,313	0,278	0,255	0,232	0,232	

Для оценки достигнутой в проекте здания или в эксплуатируемом здании потребности энергии на отопление и вентиляцию, установлены следующие классы энергосбережения (таблица 3) в % отклонения расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемой (базовой) величины.

Проектирование зданий с классом энергосбережения «D, E» не допускается. Классы «A, B, C» устанавливают для вновь возводимых и реконструируемых зданий на стадии разработки проектной документации. Впоследствии, при эксплуатации класс энергосбережения здания должен быть уточнен в ходе энергетического обследования. С целью увеличения доли зданий с классами «A, B» субъекты Российской Федерации должны применять

меры по экономическому стимулированию, как к участникам строительного процесса, так и к эксплуатирующим организациям.

Таблица 3 – Классы энергосбережения жилых и общественных зданий

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %	Рекомендуемые мероприятия, разрабатываемые субъектами РФ
При проектировании и эксплуатации новых и реконструируемых зданий			
A++	Очень высокий	Ниже -60	Экономическое стимулирование
A +		От - 50 до - 60 включительно	
A		От - 40 до - 50 включительно	
B +	Высокий	От - 30 до - 40 включительно	Экономическое стимулирование
B		От - 15 до - 30 включительно	
C +	Нормальный	От - 5 до - 15 включительно	Мероприятия не разрабатываются
C		От + 5 до - 5 включительно	
C -		От + 15 до + 5 включительно	
D	Пониженный	От + 15,1 до + 50 включительно	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании
E	Низкий	Более +50	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании, или снос

Для анализа теплопотребления были выбраны 4 объекта теплопотребления в г. Красноярске (адреса объектов не указаны, так как являются конфиденциальной информацией):

1. Объект № 1;
2. Объект № 2;
3. Объект № 3;
4. Объект № 4.

Данные объекты принадлежат типу зданий «Многоквартирные дома». Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий № 1, 2, 3, 4 составляет 0,319, 0,290, 0,290 и 0,319 Вт/(м³·°C) соответственно. Для регионов, имеющих значение ГСОП=8000°C·сут и более, нормируемые показатели следует снизить на 5 %.

Градусо-сутки отопительного периода определяют по формуле

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}} \quad (3)$$

где $t_{\text{от}}$, $z_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха, °C, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по СП 131.13330.2012 для жилых и общественных зданий для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °C, а при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых не более 10 °C;

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °C, принимаемая при расчете ограждающих конструкций групп зданий, указанных в таблице 3: по поз.1 - по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по ГОСТ 30494 (в интервале 20-22 °C); по поз.2 - согласно классификации помещений и минимальных значений оптимальной температуры по ГОСТ 30494 (в интервале 16-21 °C); по поз.3 - по нормам проектирования соответствующих зданий.

Тогда ГСОП = $(21 - (-5.7)) \cdot 250 = 6675$ – это означает, что удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий № 1, 2, 3, 4 принимаем равной 0,319, 0,290, 0,290 и 0,319 Вт/(м³·°C).

Для определения эффективности работы системы произведем расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию рассматриваемых объектов. Для начала приведем полученные данные с приборов учета для каждого из объектов в период с 01 октября 2017 года по 30 апреля 2020 года.

Для объекта под номером 1 приведем среднемесячные значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе.

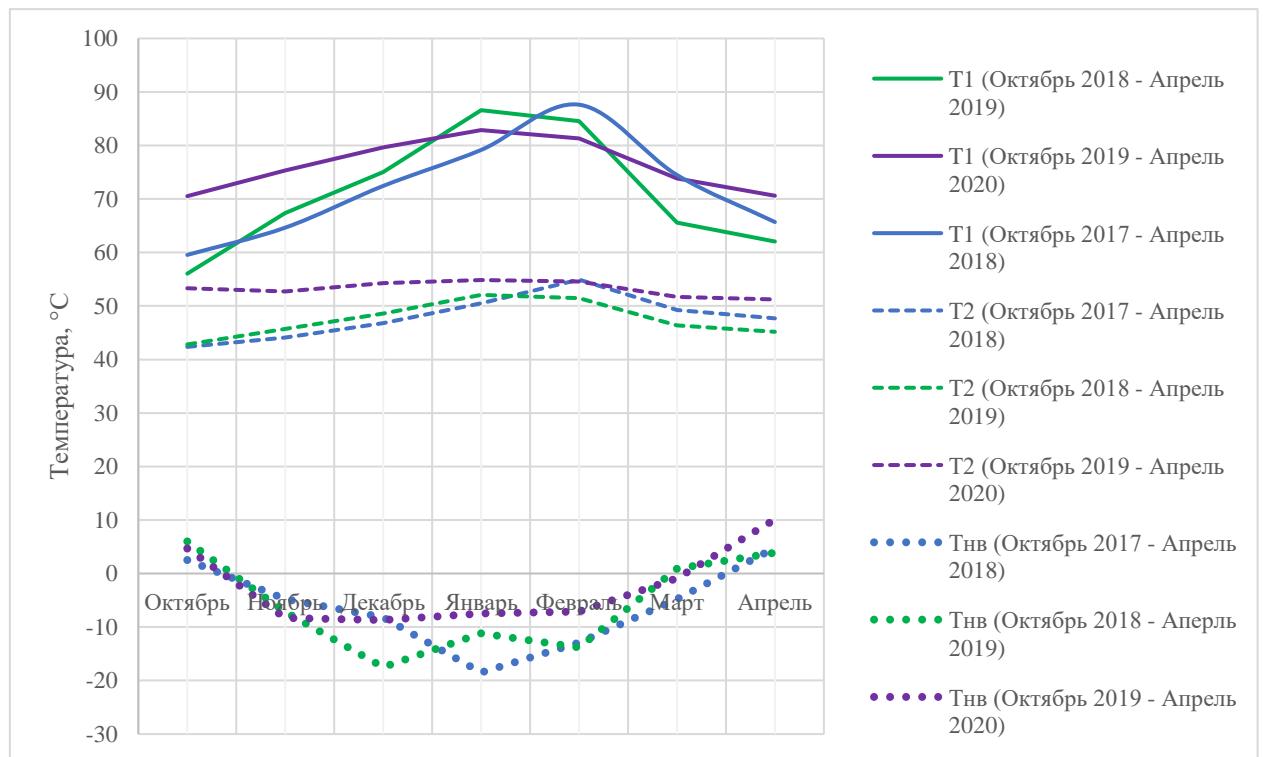


Рисунок 5 – Среднемесячные значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе

Для объекта под номером 1 приведем также среднемесячные значения расхода теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе, а также среднемесячные значения его теплопотребления.

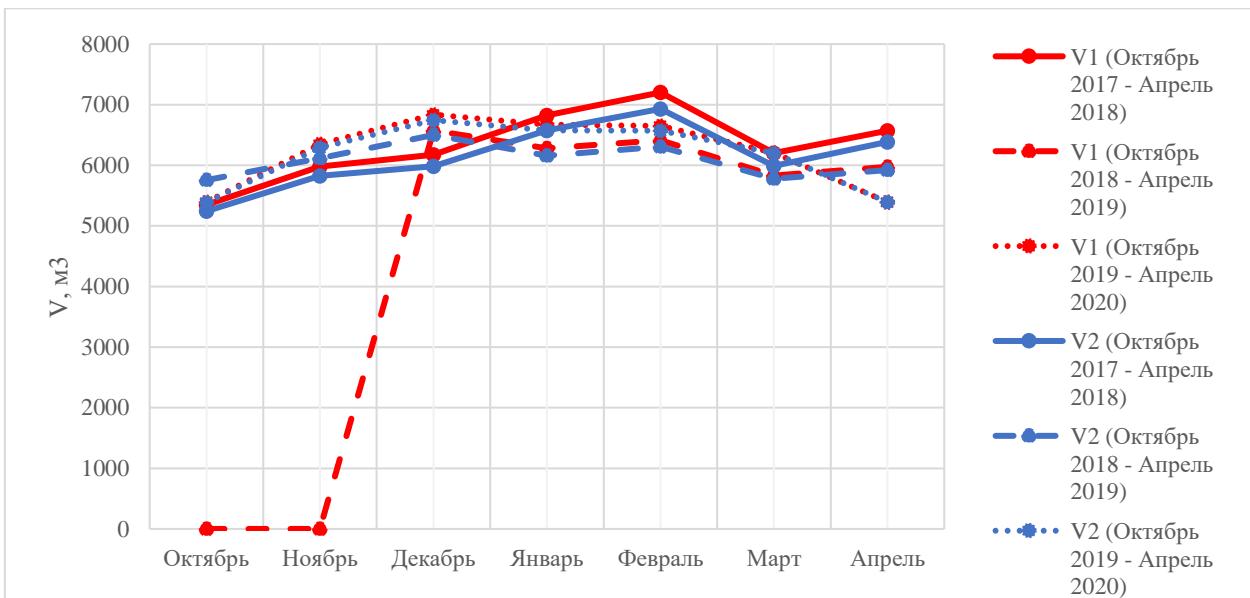


Рисунок 6 - Среднемесячные значения расхода теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе

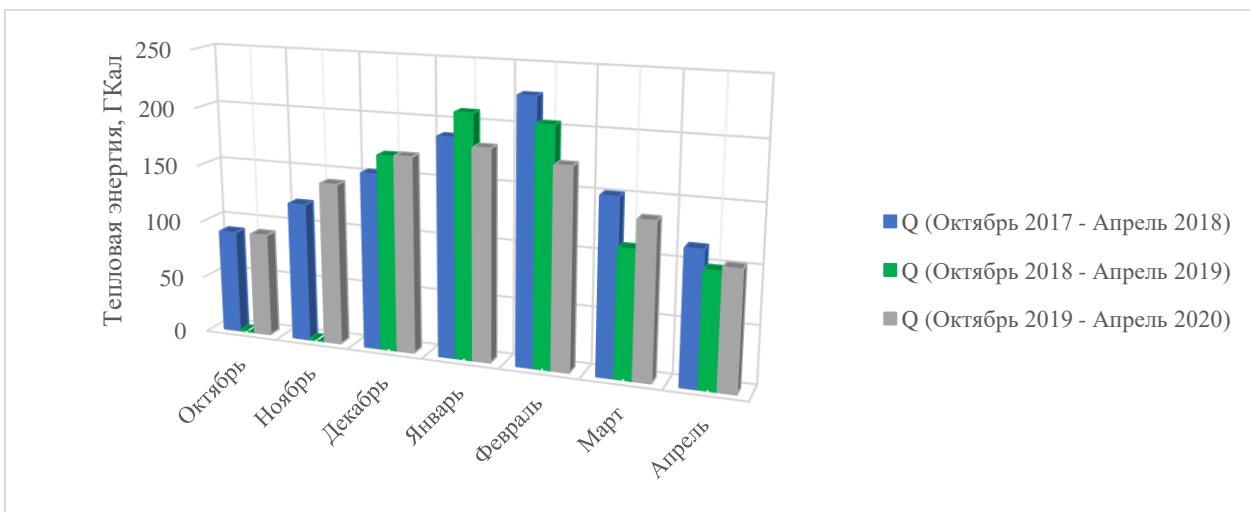


Рисунок 7 - Среднемесячные значения теплопотребления объекта учета.

Для объекта под номером 2 приведем среднемесячные значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе

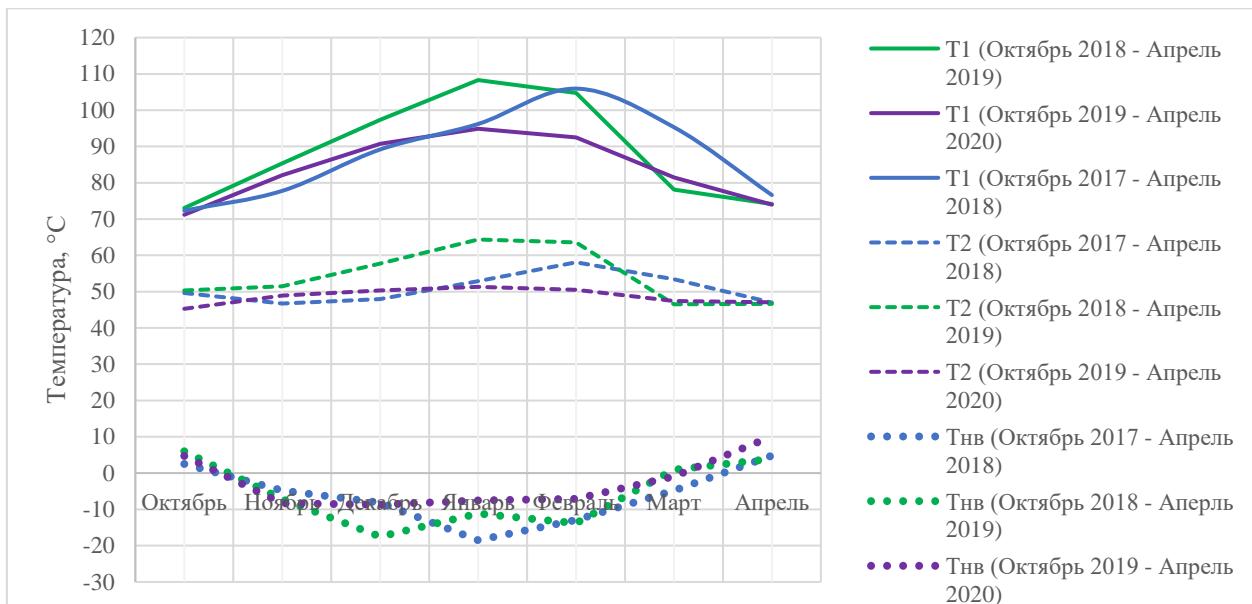


Рисунок 8 – Среднемесячные значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе

Для объекта под номером 2 приведем также среднемесячные значения расхода теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе, а также среднемесячные значения его теплопотребления.

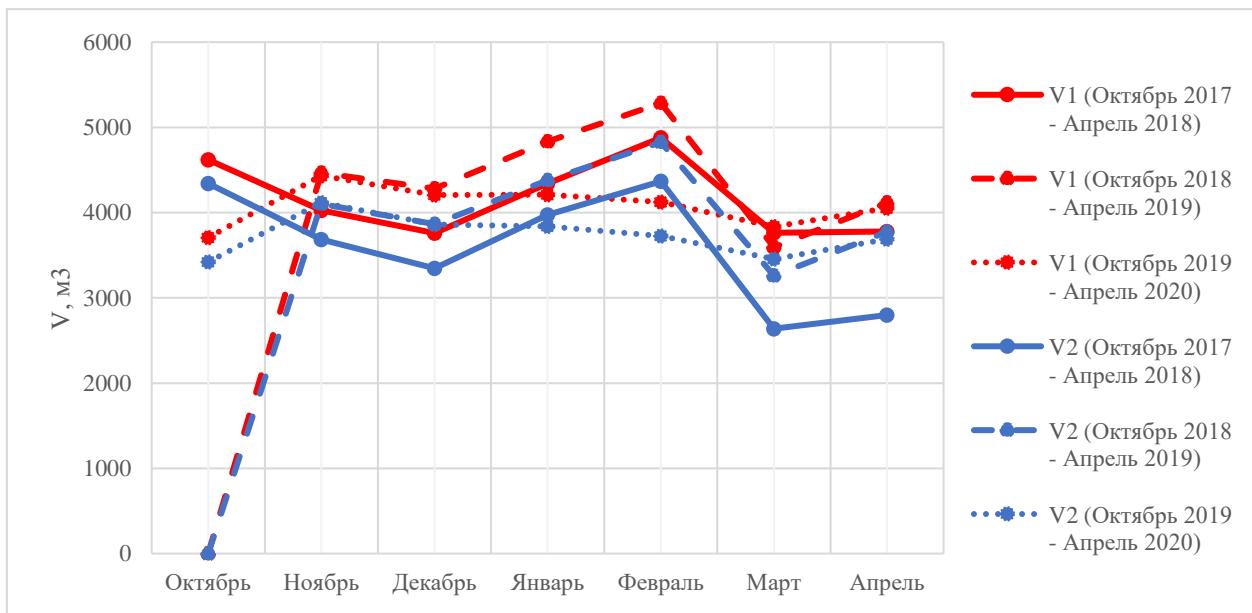


Рисунок 9 - Среднемесячные значения расхода теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе

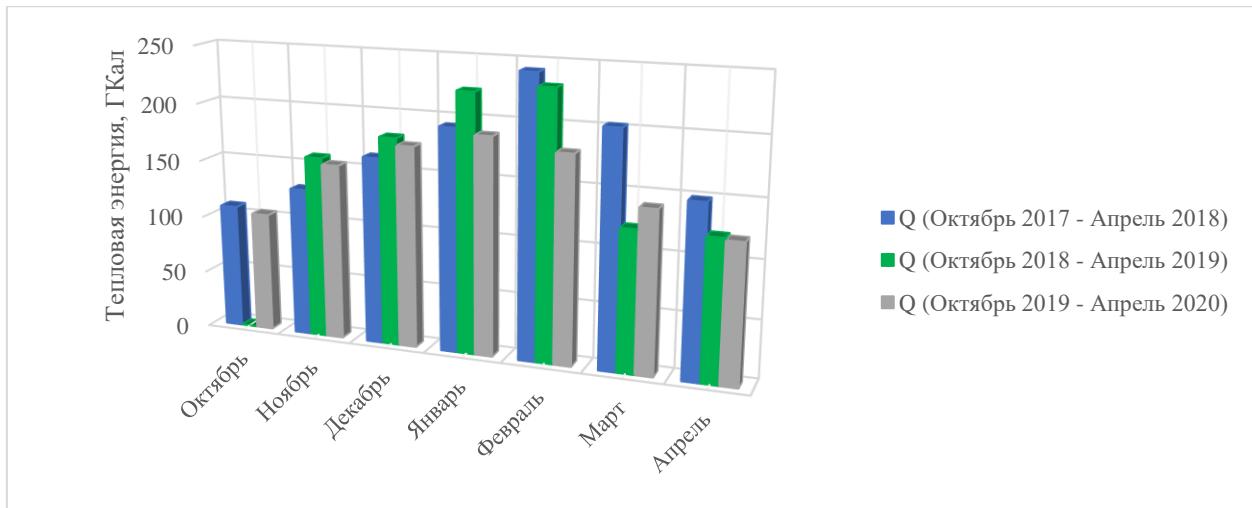


Рисунок 10 - Среднемесячные значения теплопотребления объекта учета

Для объекта под номером 3 приведем среднемесячные значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе.

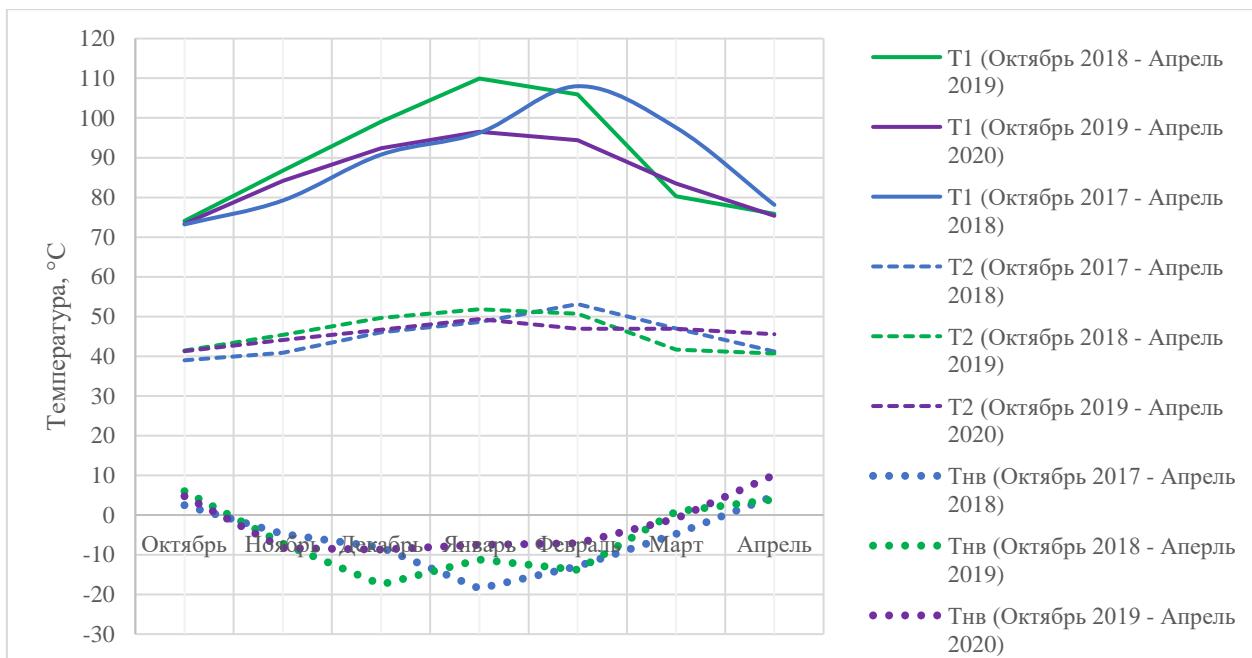


Рисунок 11 – Среднемесячные значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе

Для объекта под номером 3 приведем также среднемесячные значения расхода теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе, а также среднемесячные значения его теплопотребления.

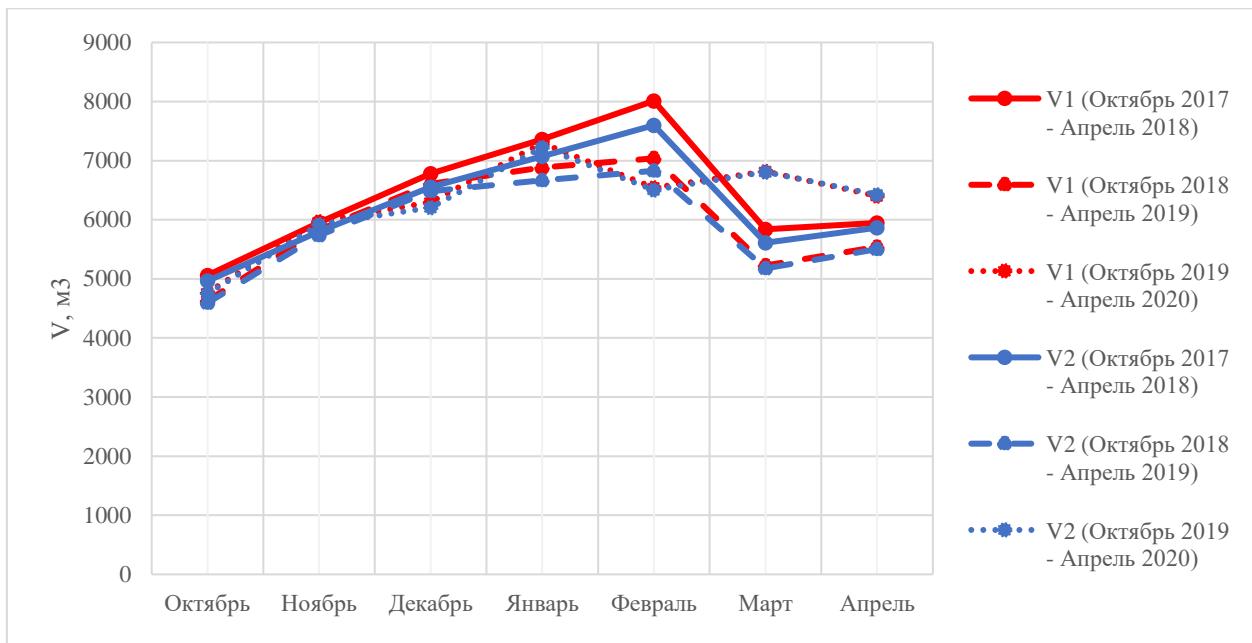


Рисунок 12 - Среднемесячные значения расхода теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе

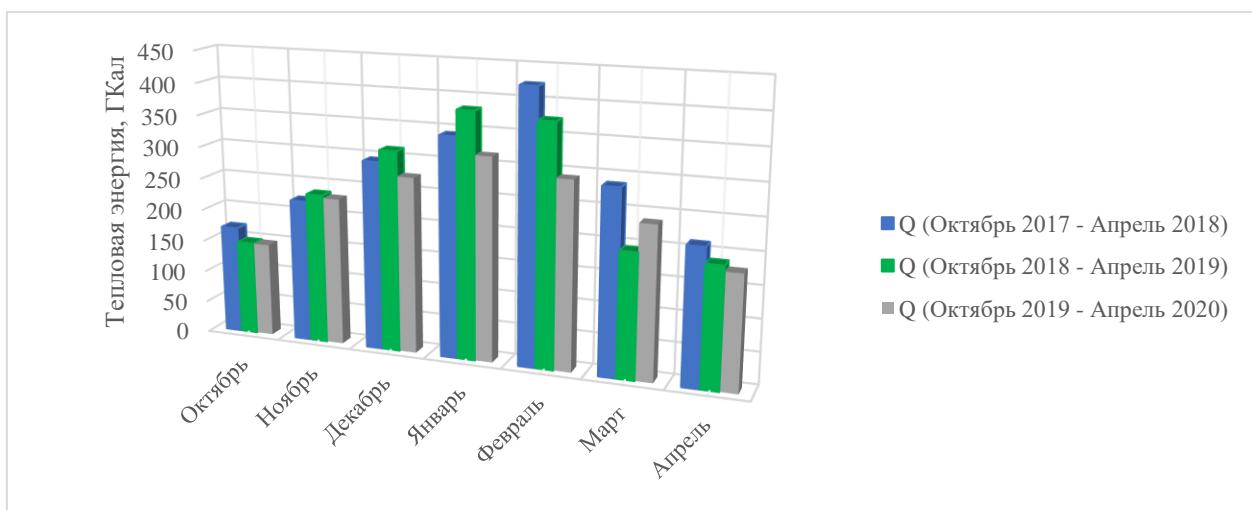


Рисунок 13 - Среднемесячные значения теплопотребления объекта учета
Для объекта под номером 4 приведем среднемесячные значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе.

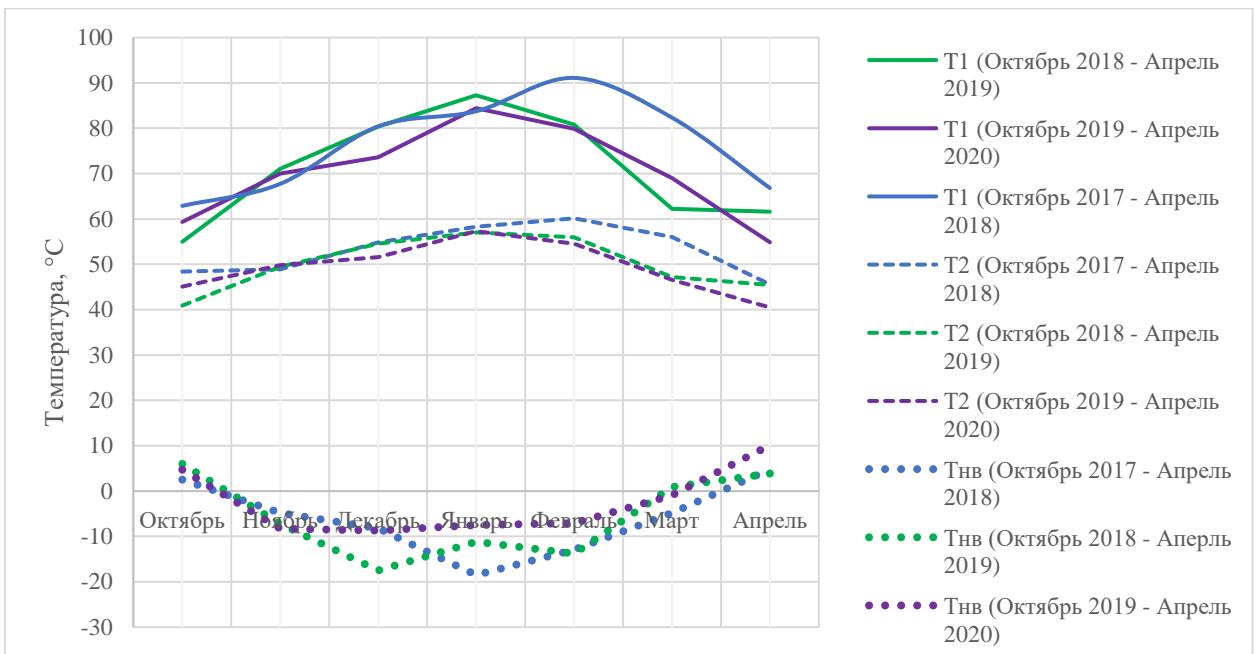


Рисунок 14 – Среднемесячные значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе

Для объекта под номером 4 приведем также среднемесячные значения расхода теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе, а также среднемесячные значения его теплопотребления.

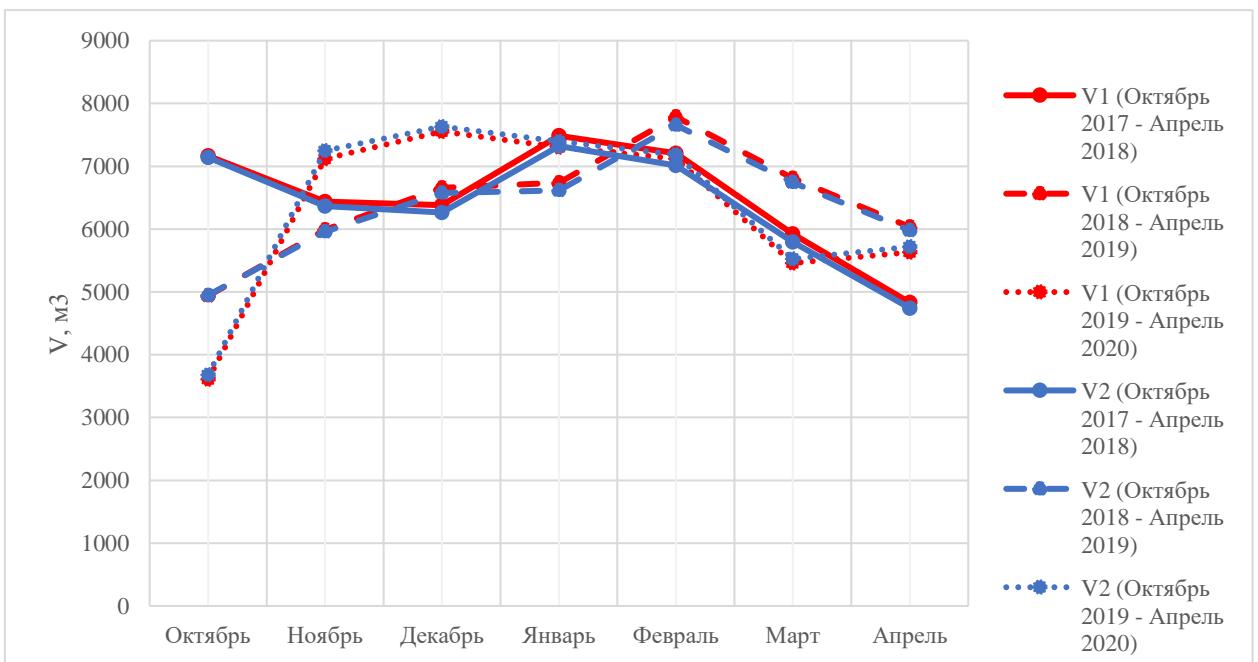


Рисунок 15 - Среднемесячные значения расхода теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе

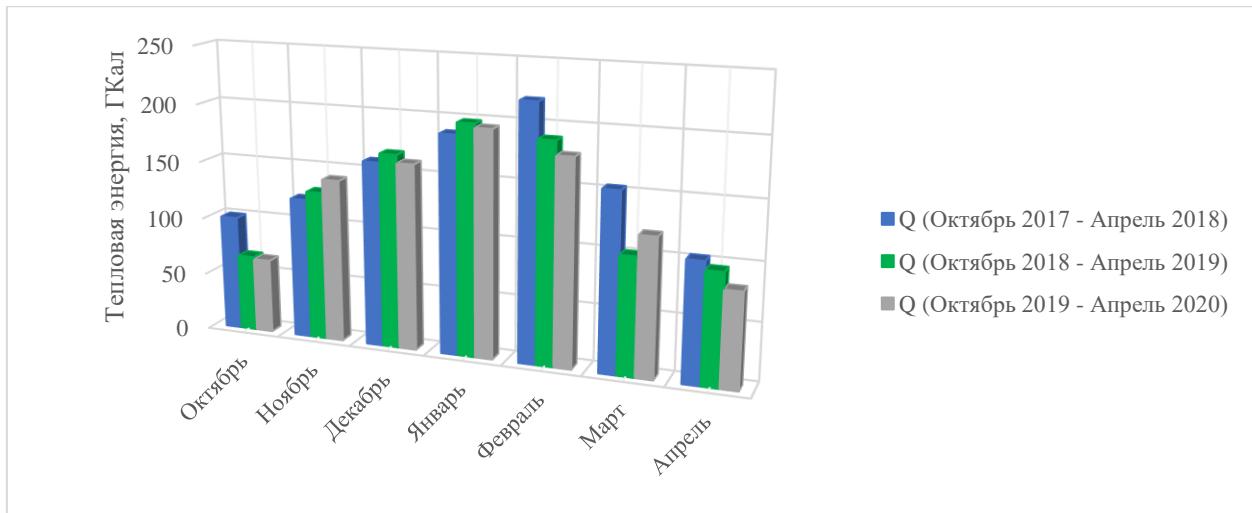


Рисунок 16 - Среднемесячные значения теплопотребления объекта учета

Следующим этапом покажем энергоэффективность объекта № 1 за период с октября 2017г. по апрель 2020г.

Таблица 4 – Энергоэффективность объекта №1

Период	Тепловая энергия, ГКал	Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, Вт/м3·°C	Класс энергосбережения	
Октябрь 2017	89,75	0,114	-64%	A++
Ноябрь 2017	120,68	0,111	-65%	A++
Декабрь 2017	152,65	0,120	-62%	A++
Январь 2018	188,45	0,108	-66%	A++
Февраль 2018	226,29	0,169	-47%	A
Март 2018	151,01	0,135	-58%	A+
Апрель 2018	114,96	0,173	-46%	A
Октябрь 2018	-	-	-	-
Ноябрь 2018	-	-	-	-
Декабрь 2018	169,04	0,100	-69%	A++
Январь 2019	209,27	0,149	-53%	A+
Февраль 2019	204,29	0,148	-54%	A+
Март 2019	109,78	0,127	-60%	A+
Апрель 2019	98,86	0,141	-56%	A+
Октябрь 2019	90,12	0,131	-59%	A+
Ноябрь 2019	140,76	0,114	-64%	A++

Окончание таблицы 4

Период	Тепловая энергия, ГКал	Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, Вт/м ³ ·°С	Класс энергосбережения	
Декабрь 2019	169,6	0,131	-59%	A+
Январь 2020	181,83	0,147	-54%	A+
Февраль 2020	172,66	0,151	-53%	A+
Март 2020	134,36	0,142	-55%	A+
Апрель 2020	102,33	0,237	-26%	B

Из полученных данных, приведенных в таблице 4, видно, что объект под номером 1 достаточно энергоэффективен.

Для иллюстрации построим график удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию объекта под номером 1.

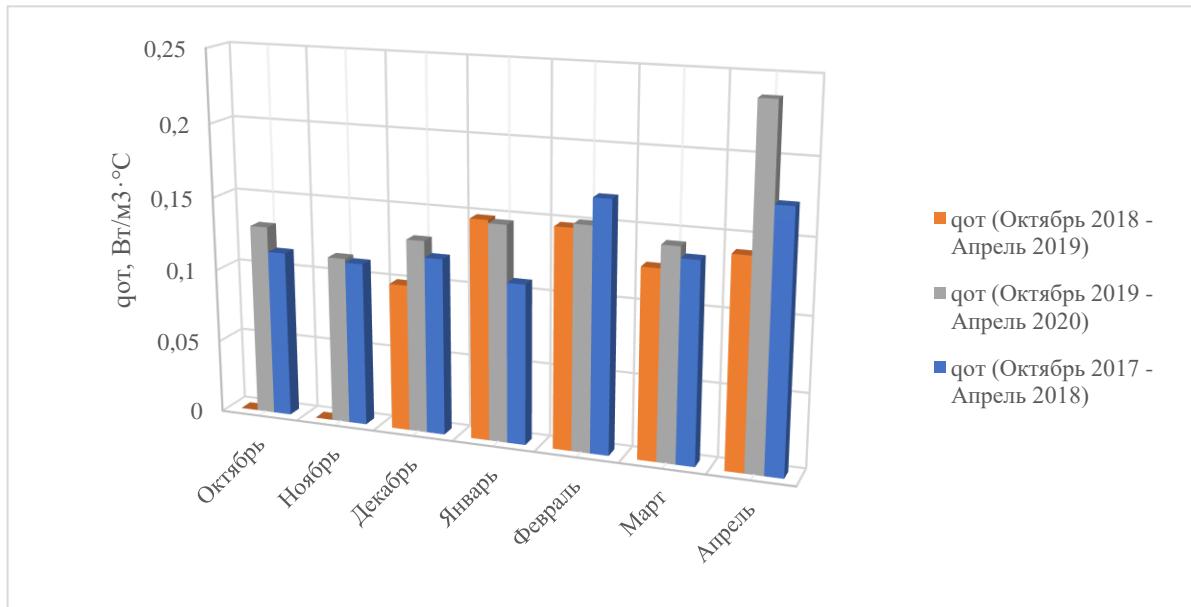


Рисунок 17 - График удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию объекта под номером 1

На графике выше видно, что значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию объекта под номером 1 не постоянно, что говорит о возможности увеличения энергоэффективности объекта за счет улучшения качества регулирования.

Таким же образом покажем энергоэффективность объектов № 2, 3 и 4 за период с октября 2017г. по апрель 2020г.

Таблица 5 – Энергоэффективность объекта №2

Период	Тепловая энергия, ГКал	Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, Вт/м3·°C	Класс энергосбережения	
Октябрь 2017	108,39	0,212	-27%	B
Ноябрь 2017	129,19	0,185	-36%	B+
Декабрь 2017	162,34	0,198	-32%	B+
Январь 2018	192,92	0,172	-41%	A
Февраль 2018	242,23	0,280	-4%	C
Март 2018	202,42	0,280	-3%	C
Апрель 2018	148,92	0,347	20%	D
Октябрь 2018	-	-	-	-
Ноябрь 2018	158,28	0,206	-29%	B
Декабрь 2018	180,5	0,165	-43%	A
Январь 2019	223,3	0,246	-15%	B
Февраль 2019	230,78	0,259	-11%	C+
Март 2019	121,91	0,219	-24%	B
Апрель 2019	121,74	0,268	-8%	C+
Октябрь 2019	103,69	0,233	-20%	B
Ноябрь 2019	152,97	0,192	-34%	B+
Декабрь 2019	174,44	0,209	-28%	B
Январь 2020	188,06	0,235	-19%	B
Февраль 2020	178,84	0,242	-17%	B
Март 2020	139,91	0,230	-21%	B
Апрель 2020	119,88	0,429	48%	D

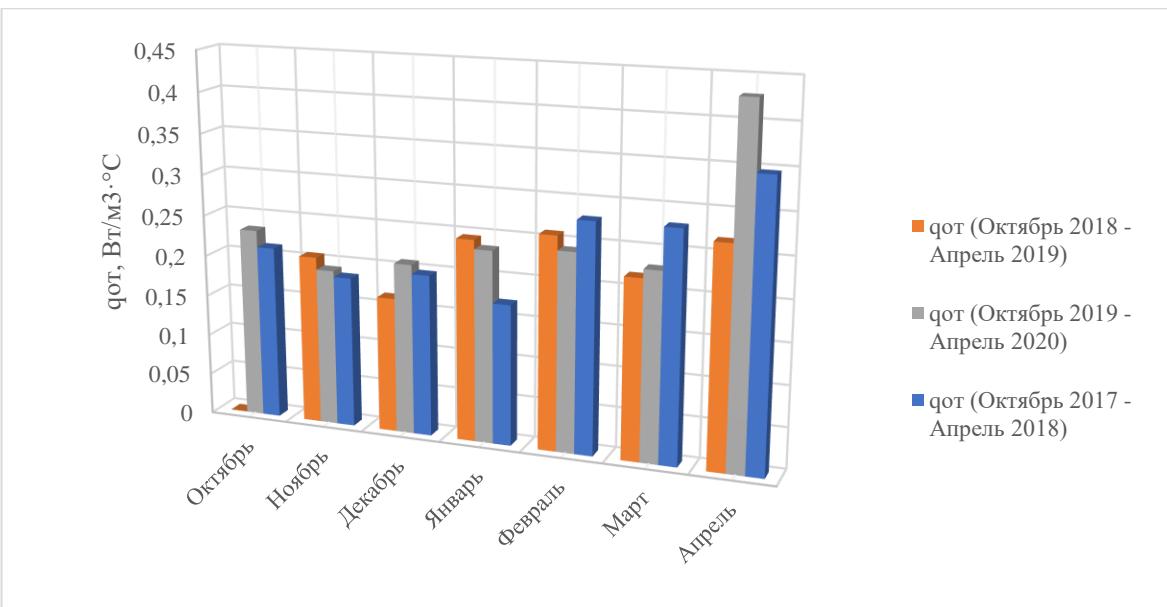


Рисунок 18 - График удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию объекта под номером 2

Из полученных данных, приведенных в таблице 5 и графика выше видно, что значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию объекта под номером 2 не постоянно, причем в некоторых периодах класс энергосбережения достигает пониженных значений, что может свидетельствовать о каких-либо сбоях в процессе регулирования.

Таблица 6 – Энергоэффективность объекта №3

Период	Тепловая энергия, ГКал	Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, Bt/m³·°C	Класс энергосбережения	
Октябрь 2017	169,35	0,156	-46%	A
Ноябрь 2017	222,91	0,150	-48%	A
Декабрь 2017	294,47	0,168	-42%	A
Январь 2018	342,17	0,143	-51%	A+
Февраль 2018	423,13	0,230	-21%	B
Март 2018	286,42	0,186	-36%	B+
Апрель 2018	211,63	0,232	-20%	B

Окончание таблицы 6

Период	Тепловая энергия, ГКал	Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, Вт/м ³ ·°С	Класс энергосбережения	
Октябрь 2018	147	0,169	-42%	A
Ноябрь 2018	235,05	0,144	-50%	A
Декабрь 2018	312,96	0,135	-54%	A+
Январь 2019	381,71	0,197	-32%	B+
Февраль 2019	374,18	0,198	-32%	B+
Март 2019	193,92	0,164	-44%	A
Апрель 2019	187,33	0,194	-33%	B+
Октябрь 2019	146,96	0,155	-47%	A
Ноябрь 2019	231,04	0,136	-53%	A+
Декабрь 2019	274,74	0,154	-47%	A
Январь 2020	316,36	0,186	-36%	B+
Февраль 2020	292,07	0,186	-36%	B+
Март 2020	237,48	0,183	-37%	B+
Апрель 2020	178,65	0,301	4%	C-

Из полученных данных, приведенных в таблице 6, видно, что объект под номером 3 достаточно энергоэффективен.

Построим график удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию объекта под номером 3.

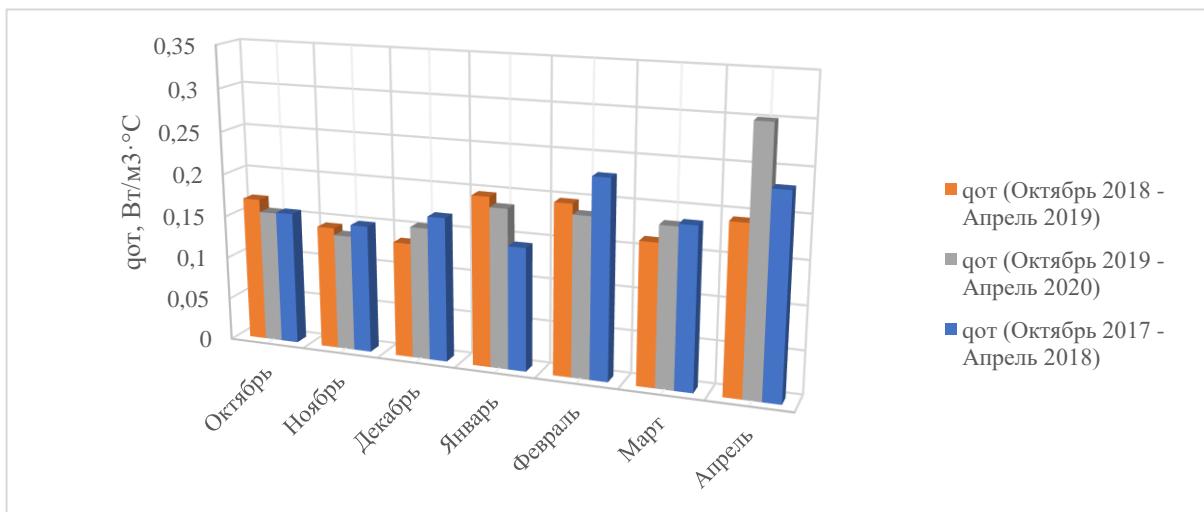


Рисунок 19 - График удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию объекта под номером 3

На графике выше видно, что значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию объекта под номером 3 не постоянно, что говорит о возможности увеличения энергоэффективности объекта за счет улучшения качества регулирования.

Таблица 7 – Энергоэффективность объекта №4

Период	Тепловая энергия, ГКал	Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, Вт/м ³ ·°С	Класс энергосбережения	
Октябрь 2017	99,94	0,168	-47%	A
Ноябрь 2017	121,9	0,150	-53%	A+
Декабрь 2017	159,6	0,167	-48%	A
Январь 2018	187,81	0,144	-55%	A+
Февраль 2018	219,16	0,217	-32%	B+
Март 2018	153,44	0,182	-43%	A
Апрель 2018	103,09	0,206	-35%	B+
Октябрь 2018	66,09	0,139	-56%	A+
Ноябрь 2018	129,17	0,145	-55%	A+
Декабрь 2018	167,3	0,131	-59%	A+
Январь 2019	197,92	0,187	-41%	A
Февраль 2019	189,15	0,183	-43%	A
Март 2019	101,18	0,156	-51%	A+
Апрель 2019	95,83	0,181	-43%	A
Октябрь 2019	64,36	0,124	-61%	A++
Ноябрь 2019	140,96	0,152	-52%	A+
Декабрь 2019	160,39	0,165	-48%	A
Январь 2020	194,6	0,208	-35%	B+
Февраль 2020	177,12	0,206	-35%	B+
Март 2020	118,91	0,168	-47%	A
Апрель 2020	81,76	0,251	-21%	B

Из полученных данных, приведенных в таблице 7, видно, что объект под номером 4 достаточно энергоэффективен.

Построим график удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию объекта под номером 4.

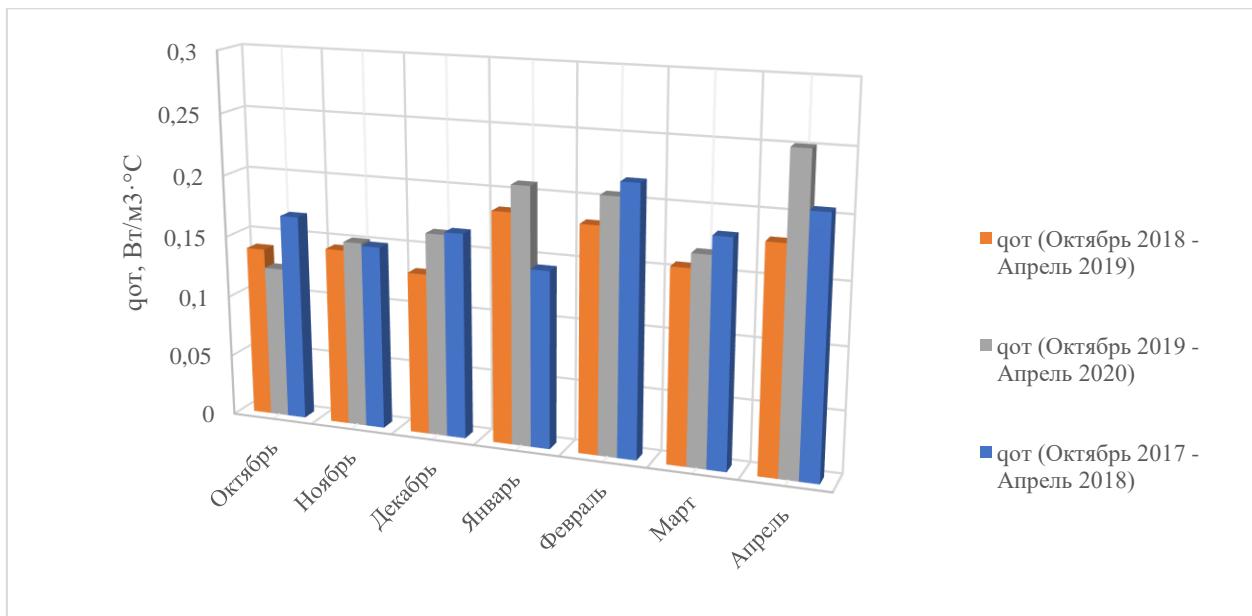


Рисунок 20 - График удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию объекта под номером 3

На графике выше видно, что значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию объекта под номером 4 не постоянно, что говорит о возможности увеличения энергоэффективности объекта за счет улучшения качества регулирования.

В целом, можно сделать вывод, что данные объекты очень высоко энергоэффективны, и требуют достаточно небольшой настройки параметров технологического управления.

3.2 Анализ температурного режима объектов теплопотребления

Для выбранных объектов проведем также анализ температурного режима. В соответствии с пунктом 9.2.1 Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок, утвержденных Приказом Минэнерго РФ от 24.03.2003 № 115, среднесуточная температура обратной сетевой воды не должна превышать заданную температурным графиком температуру более чем на 5 %.

Для анализа возьмем среднемесячные температуры объектов. Для объекта номер 1 построим график температур в подающем и обратном трубопроводе.

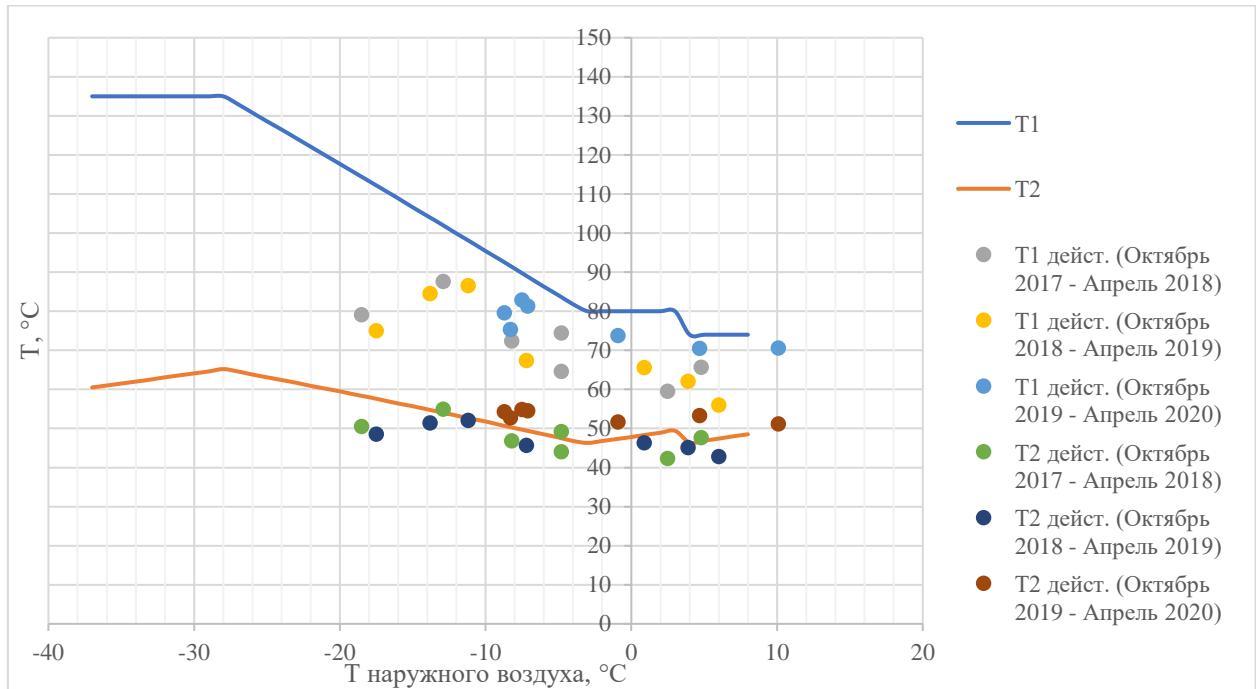


Рисунок 21 – График температур сетевой воды в подающем и обратном трубопроводе для объекта №1

Таблица 8 – Температуры подающей и обратной линии объекта №1

Период	Температура подающей линии, °C	Температура обратной линии, °C	Расчетная температура обратной линии, °C	Повышение температуры обратной линии, %
Октябрь 2017	59,55	42,360	49,15	-14%
Ноябрь 2017	64,64	44,080	47,60	-7%
Декабрь 2017	72,43	46,820	50,20	-7%
Январь 2018	79,16	50,500	58,35	-13%
Февраль 2018	87,62	54,930	54,00	2%
Март 2018	74,48	49,250	47,60	3%
Апрель 2018	65,69	47,670	46,50	3%
Октябрь 2018	56,04	42,820	47,40	-10%
Ноябрь 2018	67,39	45,710	49,40	-7%
Декабрь 2018	75,02	48,580	57,60	-16%
Январь 2019	86,59	52,070	52,60	-1%

Окончание таблицы 8

Период	Температура подающей линии, °C	Температура обратной линии, °C	Расчетная температура обратной линии, °C	Повышение температуры обратной линии, %
Февраль 2019	84,55	51,440	54,70	-6%
Март 2019	65,58	46,360	48,30	-4%
Апрель 2019	62,06	45,150	46,50	-3%
Октябрь 2019	70,53	53,310	46,80	14%
Ноябрь 2019	75,35	52,730	50,30	5%
Декабрь 2019	79,63	54,260	50,70	7%
Январь 2020	82,87	54,850	49,70	10%
Февраль 2020	81,31	54,560	49,30	11%
Март 2020	73,82	51,710	48,30	7%
Апрель 2020	70,59	51,220	48,50	6%

Из графика выше и рассчитанных данных, представленных в таблице 8 видно, что за период с октября 2019г. по апрель 2020г. наблюдается превышение температуры теплоносителя обратной линии, что не соответствует пункту 9.2.1 Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок. Также у данного объекта наблюдается небольшое отклонение от температурного графика.

Таким же образом проанализируем объекты № 2, 3, 4.

Для объекта номер 2 построим график температур в подающем и обратном трубопроводе.

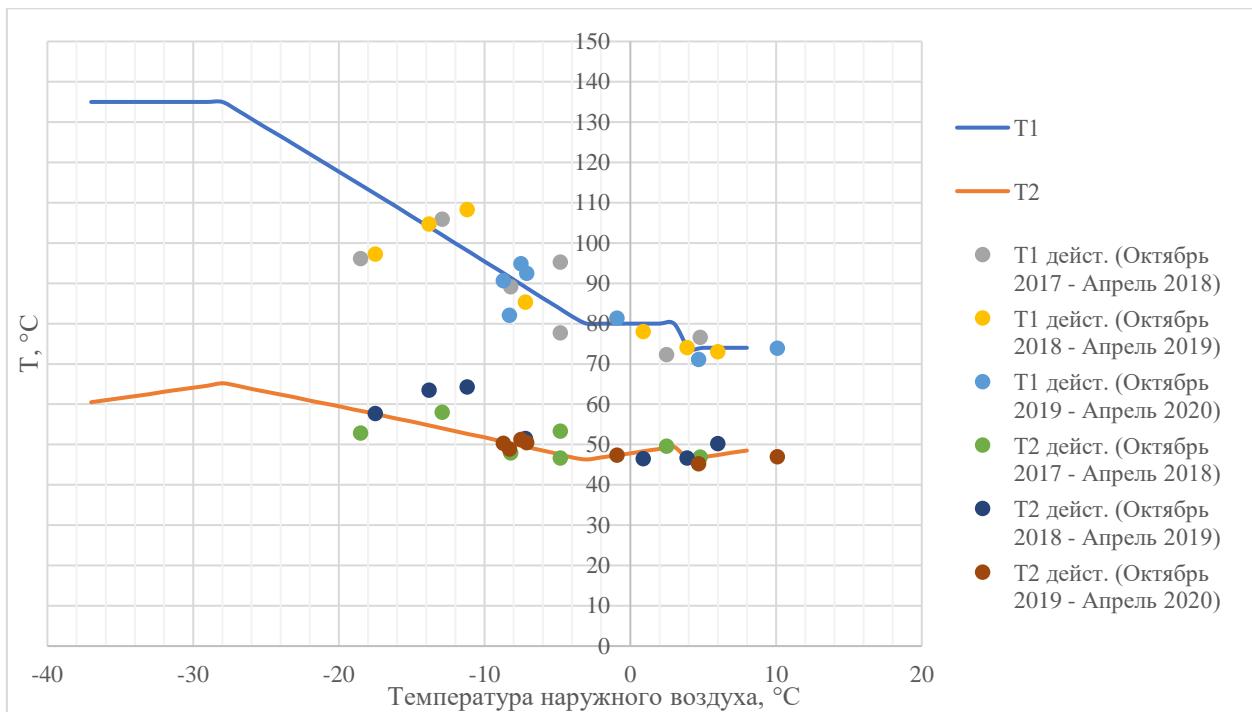


Рисунок 22 – График температур сетевой воды в подающем и обратном трубопроводе для объекта №2

Таблица 9 – Температуры подающей и обратной линии объекта №2

Период	Температура подающей линии, °C	Температура обратной линии, °C	Расчетная температура обратной линии, °C	Повышение температуры обратной линии, %
Октябрь 2017	72,33	49,650	49,15	1%
Ноябрь 2017	77,77	46,720	47,60	-2%
Декабрь 2017	89,17	47,930	50,20	-5%
Январь 2018	96,2	52,850	58,35	-9%
Февраль 2018	105,94	58,080	54,00	8%
Март 2018	95,31	53,400	47,60	12%
Апрель 2018	76,61	46,950	46,50	1%
Октябрь 2018	73,04	50,300	47,40	6%
Ноябрь 2018	85,37	51,510	49,40	4%
Декабрь 2018	97,3	57,760	57,60	0%
Январь 2019	108,3	64,360	52,60	22%
Февраль 2019	104,77	63,520	54,70	16%
Март 2019	78,08	46,510	48,30	-4%
Апрель 2019	74,13	46,660	46,50	0%
Октябрь 2019	71,18	45,270	46,80	-3%

Окончание таблицы 9

Период	Температура подающей линии, °C	Температура обратной линии, °C	Расчетная температура обратной линии, °C	Повышение температуры обратной линии, %
Ноябрь 2019	82,09	48,910	50,30	-3%
Декабрь 2019	90,73	50,360	50,70	-1%
Январь 2020	94,88	51,310	49,70	3%
Февраль 2020	92,52	50,530	49,30	2%
Март 2020	81,43	47,390	48,30	-2%
Апрель 2020	73,97	47,030	48,50	-3%

Из графика выше и рассчитанных данных, представленных в таблице 9 видно, что для объекта № 2 наблюдается превышение температуры теплоносителя обратной линии, что не соответствует пункту 9.2.1 Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок. Также у данного объекта наблюдается небольшое отклонение от температурного графика.

Для объекта номер 3 построим график температур в подающем и обратном трубопроводе.

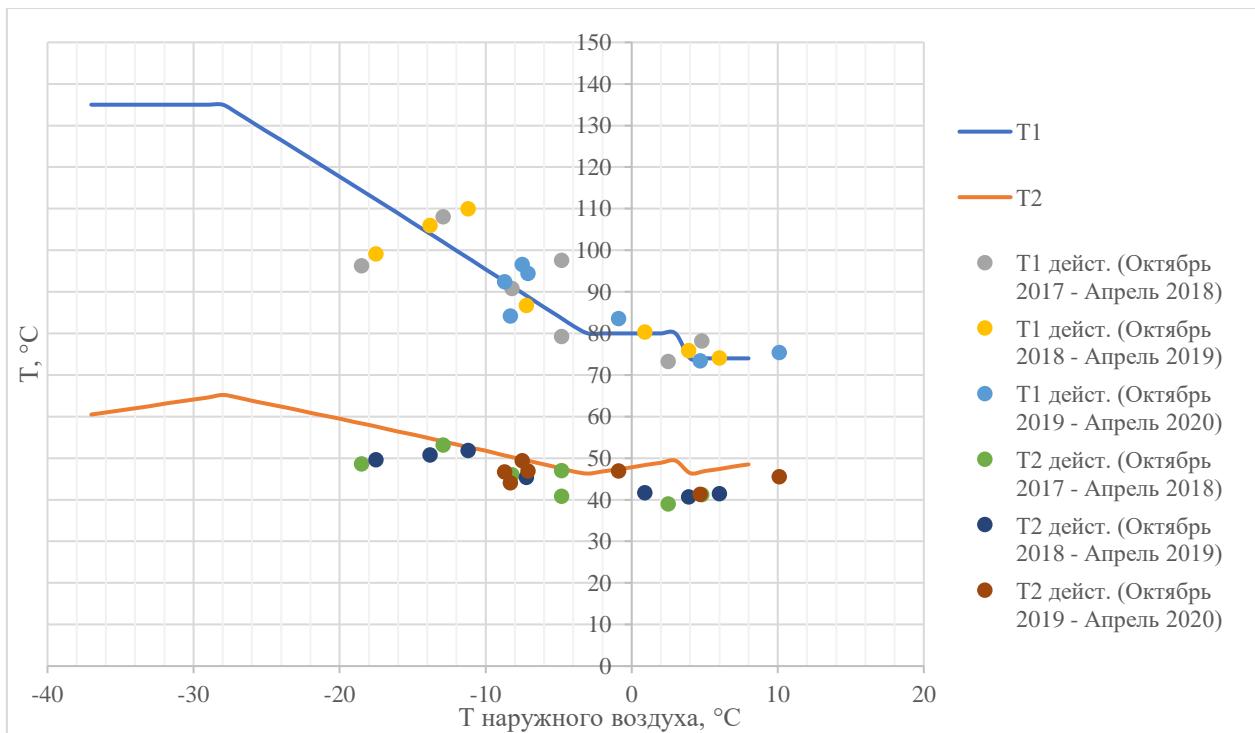


Рисунок 23 – График температур сетевой воды в подающем и обратном трубопроводе для объекта №3

Таблица 10 – Температуры подающей и обратной линии объекта №3

Период	Температура подающей линии, °C	Температура обратной линии, °C	Расчетная температура обратной линии, °C	Повышение температуры обратной линии, %
Октябрь 2017	73,19	38,970	49,15	-21%
Ноябрь 2017	79,22	40,850	47,60	-14%
Декабрь 2017	90,76	46,010	50,20	-8%
Январь 2018	96,27	48,600	58,35	-17%
Февраль 2018	108	53,120	54,00	-2%
Март 2018	97,58	46,960	47,60	-1%
Апрель 2018	78,12	41,200	46,50	-11%
Октябрь 2018	74,08	41,400	47,40	-13%
Ноябрь 2018	86,7	45,390	49,40	-8%
Декабрь 2018	99,08	49,610	57,60	-14%
Январь 2019	109,94	51,820	52,60	-1%
Февраль 2019	105,94	50,710	54,70	-7%
Март 2019	80,32	41,670	48,30	-14%
Апрель 2019	75,85	40,680	46,50	-13%
Октябрь 2019	73,35	41,260	46,80	-12%
Ноябрь 2019	84,12	44,080	50,30	-12%
Декабрь 2019	92,4	46,650	50,70	-8%
Январь 2020	96,52	49,340	49,70	-1%
Февраль 2020	94,37	46,870	49,30	-5%
Март 2020	83,55	46,870	48,30	-3%
Апрель 2020	75,39	45,540	48,50	-6%

Из графика выше и рассчитанных данных, представленных в таблице 10 видно, что для объекта № 3 превышение температуры теплоносителя обратной линии не наблюдается, что соответствует пункту 9.2.1 Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок.

Для объекта номер 4 построим график температур в подающем и обратном трубопроводе.

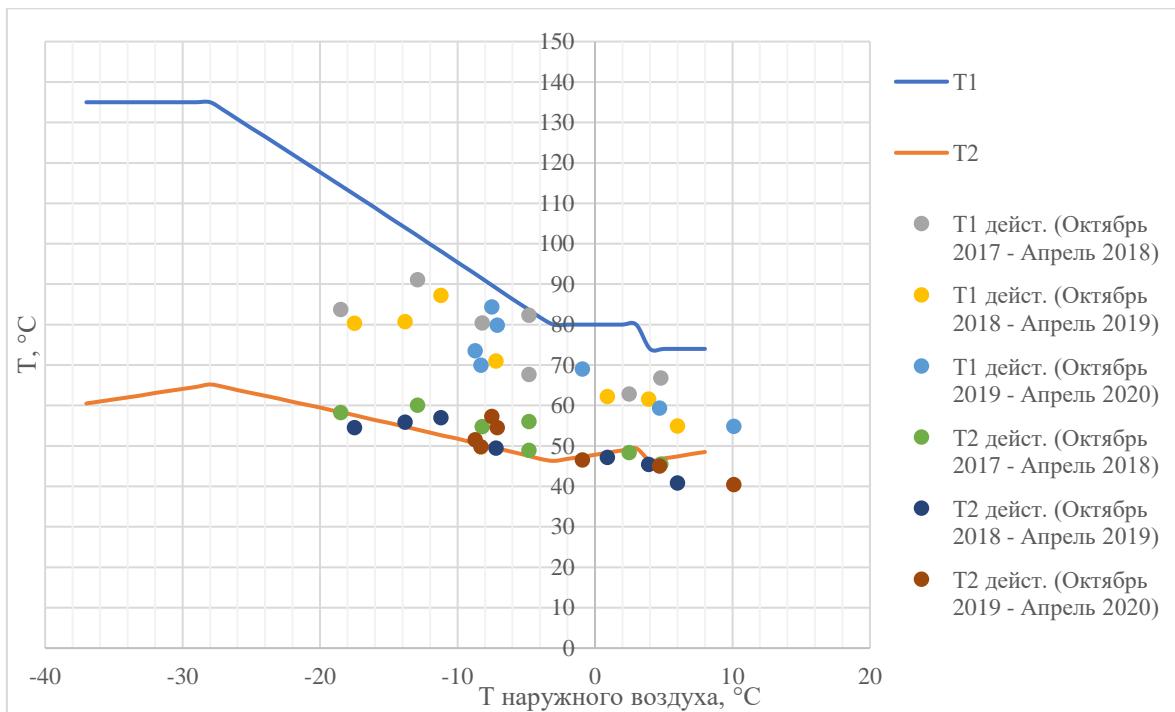


Рисунок 24 – График температур сетевой воды в подающем и обратном трубопроводе для объекта №4

Таблица 11 – Температуры подающей и обратной линии объекта №4

Период	Температура подающей линии, °C	Температура обратной линии, °C	Расчетная температура обратной линии, °C	Повышение температуры обратной линии, %
Октябрь 2017	62,89	48,400	49,15	-2%
Ноябрь 2017	67,75	48,910	47,60	3%
Декабрь 2017	80,42	54,840	50,20	9%
Январь 2018	83,76	58,310	58,35	0%
Февраль 2018	91,11	60,150	54,00	11%
Март 2018	82,36	56,050	47,60	18%
Апрель 2018	66,83	45,580	46,50	-2%
Октябрь 2018	54,97	40,910	47,40	-14%
Ноябрь 2018	71,04	49,480	49,40	0%
Декабрь 2018	80,38	54,530	57,60	-5%
Январь 2019	87,28	57,040	52,60	8%
Февраль 2019	80,81	55,930	54,70	2%
Март 2019	62,25	47,220	48,30	-2%
Апрель 2019	61,6	45,460	46,50	-2%
Октябрь 2019	59,37	45,070	46,80	-4%

Окончание таблицы 11

Период	Температура подающей линии, °C	Температура обратной линии, °C	Расчетная температура обратной линии, °C	Повышение температуры обратной линии, %
Ноябрь 2019	69,99	49,790	50,30	-1%
Декабрь 2019	73,58	51,580	50,70	2%
Январь 2020	84,43	57,310	49,70	15%
Февраль 2020	79,88	54,530	49,30	11%
Март 2020	69,03	46,580	48,30	-4%
Апрель 2020	54,87	40,500	48,50	-16%

Из графика выше и рассчитанных данных, представленных в таблице 11 видно, что для объекта № 4 наблюдается превышение температуры теплоносителя обратной линии, что не соответствует пункту 9.2.1 Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок. Также у данного объекта наблюдается небольшое отклонение от температурного графика.

Соблюдение температурного режима в здании является одной из главных составляющих для энергоэффективного потребления тепловой энергии. У данных объектов есть потенциал для повышения точности регулирования температурного режима, что может в лучшую сторону повлиять на качество управления тепловым потреблением объектов, а также добиться снижения затрат на обеспечение данных объектов тепловой энергией.

3.3 Анализ потребления теплоносителя

Построим для объектов с независимой системой отопления (объекты № 1, 3, 4) графики разницы расходов в подающей и обратной линии в процентном соотношении. Данная разница не должна превышать 6%.

Для объекта №1:

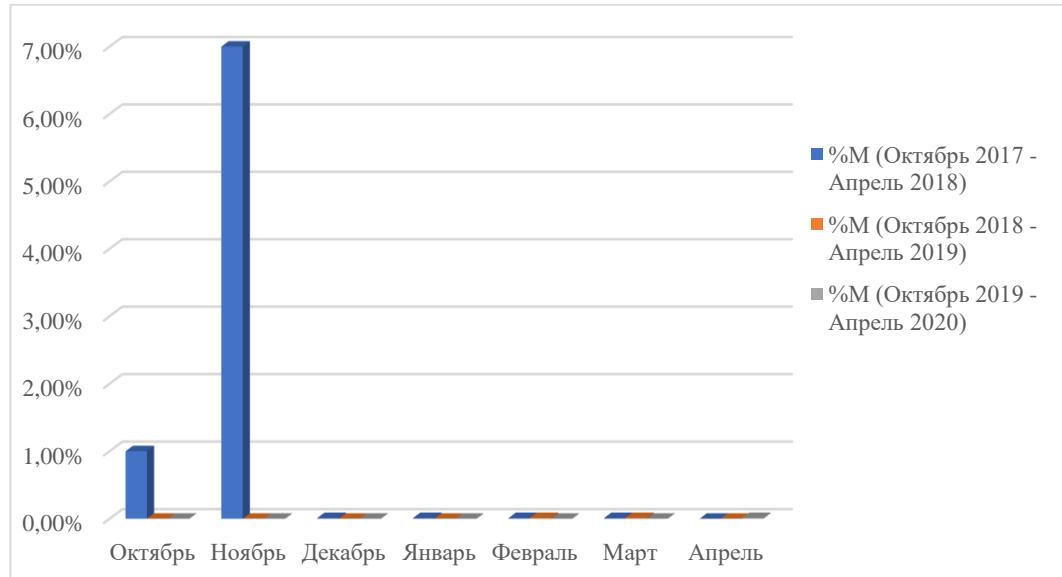


Рисунок 25 – Разница между расходами подающей и обратной линии для объекта № 1

Для объекта №3:

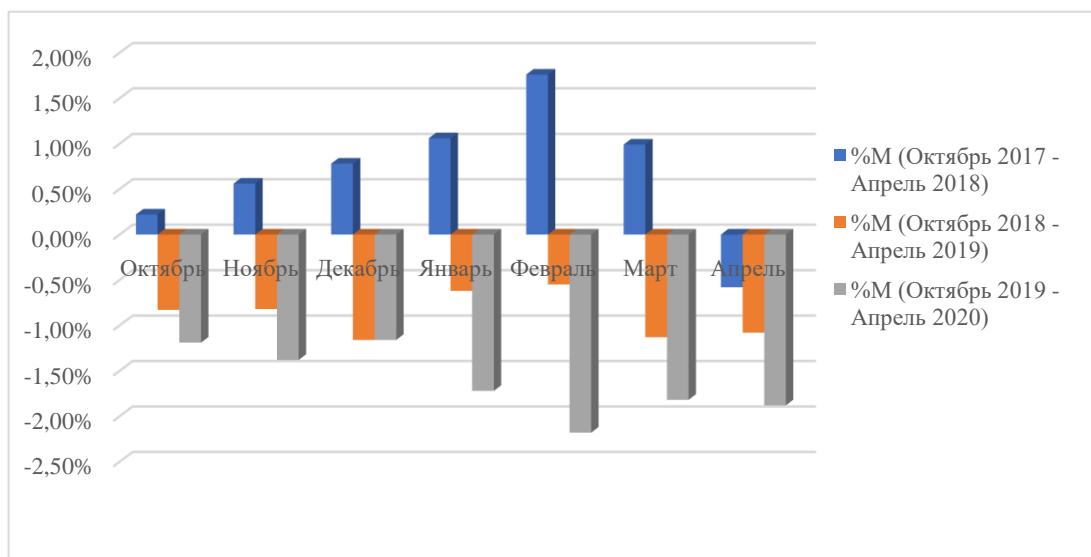


Рисунок 26 – Разница между расходами подающей и обратной линии для объекта № 3

Для объекта №4:

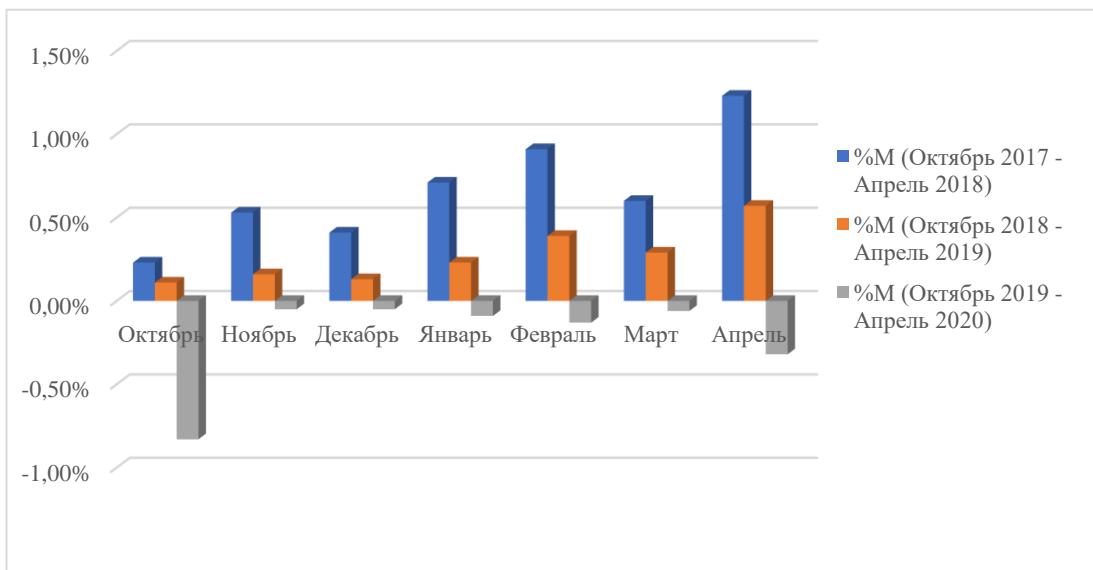


Рисунок 27 – Разница между расходами подающей и обратной линии для объекта № 3

Из графиков видно, что только в ноябре 2017г. на объекте № 1 наблюдалось отклонение разницы между расходами подающей и обратной линии от 6%. Это может свидетельствовать о том, что в системе отопления в этот период была утечка теплоносителя.

Проведенный анализ потребления тепловой энергии на отопление исследуемых объектов хорошо демонстрирует тот факт, что использование систем автоматического управления в системах теплопотребления само по себе не гарантирует соблюдение оптимальных режимов теплоснабжения, а значит мы можем наблюдать нерациональное использование энергоресурсов даже в случае использования тепловых пунктов. Поэтому, помимо использования систем автоматического управления, необходимо создание информационно-аналитических систем, в том числе с использованием современных информационных технологий, для определения возможностей повышения эффективности систем теплопотребления.

4 Расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление жилых зданий

4.1 Тепловой баланс здания

Тепловой баланс зданий и сооружений позволяет установить соотношение между тепловыми потерями и количеством тепла, поступающим из вне и количеством тепла, которое выделяется источниками внутри зданий и сооружений. Теплопоступлением называют приток тепловой энергии внутрь здания от различных источников. К теплопотерям относят расход энергии, при котором движение потока направлено изнутри через ограждающие конструкции наружу. Все теплопоступления в здание и его теплопотери схематично представлены на рисунке 28.



Рисунок 28 – Тепловой баланс здания

Уравнение теплового баланса здания имеет следующий вид:

$$Q_{\text{от}} + Q_{\text{быт}} + Q_{\text{рад}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{ок}} + Q_{\text{вент}}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{от}}$ – теплопоступления от системы отопления, Вт;

$Q_{\text{быт}}$ – бытовые тепловыделения здания, Вт;

$Q_{\text{рад}}$ – теплопоступления в здание от солнечной радиации, Вт;

$Q_{\text{ст}}$ – тепловые потери через стены, Вт;

$Q_{\text{ок}}$ – потери тепла через окна, Вт;

$Q_{\text{вент}}$ – тепловые потери здания на вентиляцию, Вт.

Используя уравнение 4, можно определить требуемый расход тепловой энергии на отопление здания. Данный расчет покажем на примере объекта под номером 3 при средней температуре наружного воздуха $-18,5^{\circ}\text{C}$ в январе 2018г. Для остальных месяцев отопительного периода полученные данные сведем в таблицу 13.

Характеристики здания, необходимые для проведения расчета представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Геометрические характеристики объекта № 3

Наименование характеристики	Значение
Объем здания, м^3	96840
Площадь ограждающих конструкций, м^2	21600
Площадь остекления, м^2	5400
Площадь стен без учета площади остекления, м^2	16200
Площадь покрытий и перекрытий над проездами, м^2	1345
Жилая площадь, м^2	10026
Площадь ограждающих конструкций, расположенных на северной стороне, м^2	4752
Площадь ограждающих конструкций, расположенных на южной стороне, м^2	4795,2
Площадь ограждающих конструкций, расположенных на западной и восточной сторонах, м^2	12052,8

4.2 Определение теплопоступлений здания

Бытовые тепловыделения здания, Вт, найдем по формуле:

$$Q_{\text{быт}} = q_{\text{быт}} \cdot A_{\text{ж}}, \quad (5)$$

где $q_{\text{быт}}$ — величина бытовых тепловыделений на 1 м² площади жилых помещений, Вт/м². Для жилых зданий с расчетной заселенностью квартир 45 м² общей площади на человека $q_{\text{быт}}$ составляют 10 Вт/м² [5];

$A_{\text{ж}}$ — жилая площадь здания, м².

$$Q_{\text{быт}} = 10 \cdot 10026 = 100260 \text{ Вт.}$$

Теплопоступления через окна от солнечной радиации для четырех фасадов зданий, Вт, ориентированных по четырем направлениям, определим по формуле:

$$Q_{\text{рад}} = \frac{I_1 \cdot A_{\text{ок1}} + I_2 \cdot A_{\text{ок2}} + I_3 \cdot A_{\text{ок3}} + I_4 \cdot A_{\text{ок4}}}{31 \cdot 24 \cdot 3600} \cdot 10^6, \quad (6)$$

где I_1, I_2, I_3, I_4 — средняя за месяц величина солнечной радиации на вертикальные поверхности при действительных условиях облачности, соответственно ориентированная по четырем фасадам здания, МДж/м². Данная величина определяется для каждого месяца по методике свода правил [6].

$A_{\text{ок1}}, A_{\text{ок2}}, A_{\text{ок3}}, A_{\text{ок4}}$ — площадь светопроемов фасадов здания, соответственно ориентированных по четырем направлениям, м².

$$\begin{aligned} Q_{\text{рад}} &= \frac{57 \cdot 1188 + 358 \cdot 1198 + 100 \cdot 1820 + 100 \cdot 1193}{31 \cdot 24 \cdot 3600} \cdot 10^6 = \\ &= 59603,2 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

4.3 Определение тепловых потерь здания

Тепловые потери через стены, покрытия и перекрытия над проездами здания, Вт, определим по формуле:

$$Q_{\text{ст}} = \left(\frac{A_{\text{ст}}}{R_{0 \text{ ст}}^{\text{тр}}} + \frac{A_{\text{п}}}{R_{0 \text{ п}}^{\text{тр}}} \right) \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{ок}}), \quad (7)$$

где $A_{\text{ст}}$ – площадь наружных стен здания, без учета остекления, м^2 ;

$A_{\text{п}}$ – площадь покрытий и перекрытий над проездами, м^2 ;

$R_{0 \text{ ст}}^{\text{тр}}$ – базовое значение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен здания, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$. $R_{0 \text{ ст}}^{\text{тр}}$ примем равным 3,7 $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ [5].

$R_{0 \text{ п}}^{\text{тр}}$ – базовое значение приведенного сопротивления теплопередаче покрытий и перекрытий над проездами здания, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$. $R_{0 \text{ п}}^{\text{тр}}$ примем равным 5,4 $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ [5].

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °C , принимаемая при расчете ограждающих конструкций групп зданий указанных в таблице 3: по поз. 1 - по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по ГОСТ 30494 (в интервале 20-22 °C); по поз. 2 - согласно классификации помещений и минимальных значений оптимальной температуры по ГОСТ 30494 (в интервале 16-21 °C); по поз. 3 - по нормам проектирования соответствующих зданий. $t_{\text{в}} = 21 \text{ °C}$;

$t_{\text{ок}}$ – средняя температура наружного воздуха, °C . Для января 2018 года средняя температура воздуха составила -18,5 °C .

$$Q_{\text{ст}} = \left(\frac{16200}{3,7} + \frac{1345}{5,4} \right) \cdot (21 - (-18,5)) = 240433 \text{ Вт.}$$

Тепловые потери через окна здания, Вт, определим по формуле:

$$Q_{\text{ок}} = \frac{A_{\text{ок}}}{R_{0 \text{ ок}}^{\text{тр}}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{ок}}), \quad (8)$$

где $A_{\text{ок}}$ – площадь остекления здания, м^2 ;

$R_{0\text{ ок}}^{\text{тр}}$ – базовое значение приведенного сопротивления теплопередаче окон здания, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$. $R_{0\text{ ок}}^{\text{тр}}$ примем равным $0,62 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ [5].
 $t_{\text{в}}, t_{\text{ок}}$ – то же, что и в формуле 7.

$$Q_{\text{ок}} = \frac{5400}{0,62} \cdot (21 - (-18,5)) = 344032,26 \text{ Вт.}$$

Тепловые потери здания на вентиляцию, Вт, найдем по формуле:

$$Q_{\text{вент}} = \frac{A_{\text{ж}} \cdot n_{\text{в}}}{3600} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{ок}}), \quad (9)$$

где $A_{\text{ж}}$ – то же, что и в формуле 5;

$n_{\text{в}}$ – количество удаляемого воздуха из помещения, $\text{м}^3/\text{ч}$. Для жилых помещений $n_{\text{в}}$ составляет $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 жилых помещений (по СНиП 2.08.01-89*);

$c_{\text{в}}$ – теплоемкость воздуха, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$. $c_{\text{в}} = 1297$;

$t_{\text{в}}, t_{\text{ок}}$ – то же, что и в формуле 7.

$$Q_{\text{вент}} = \frac{10026 \cdot 3}{3600} \cdot 1297 \cdot (21 - (-18,5)) = 426929 \text{ Вт.}$$

4.4 Определение требуемого теоретического расхода тепловой энергии на отопление здания и сравнение его с практическим значением

Определив все значения теплопоступлений в здание и все значения теплопотерь, вычислим требуемый расход тепловой энергии на отопление, Вт, используя уравнение теплового баланса (формула 4):

$$Q_{\text{от}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{ок}} + Q_{\text{вент}} - (Q_{\text{быт}} + Q_{\text{рад}}), \quad (10)$$

$$Q_{\text{от}} = 240433 + 344032,26 + 426929 - (100260 + 59603,2) = \\ = 851791,22 \text{ Вт.}$$

Определим теоретическую удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление для января 2018г., Вт/(м³·°C), по формуле:

$$q_{\text{от}}^{\text{T}} = \frac{Q_{\text{от}}}{V_3 \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{ок}})}, \quad (11)$$

где V_3 – объем здания, м³;

$t_{\text{в}}, t_{\text{ок}}$ – то же, что и в формуле 7.

$$q_{\text{от}}^{\text{T}} = \frac{851791,22}{96840 \cdot (21 - (-18,5))} = 0,223 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C}).$$

Для остальных месяцев отопительного периода теоретическая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление определяется аналогично расчету выше, поэтому полученные данные для них представим в сводной таблице 13.

Таблица 13 – Результаты расчета теоретической удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление

Дата	$t_{\text{ок}}$	$Q_{\text{ст}}$	$Q_{\text{ок}}$	$Q_{\text{рад}}$	$Q_{\text{быт}}$	$Q_{\text{вент}}$	$Q_{\text{от}}$	$Q_{\text{от}}$	$q_{\text{от}}^{\text{T}}$
	°C	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	ГКал	Вт (м ³ · °C)
Отопительный период 2017 – 2018 гг.									
Октябрь	2,5	112607,9	161129	114446	100000	199954,2	259245	165,72	0,145

Продолжение таблицы 13

Дата	$t_{ок}$	$Q_{ст}$	$Q_{ок}$	$Q_{рад}$	$Q_{быт}$	$Q_{вент}$	$Q_{от}$	$Q_{от}$	$q_{от}^T$
	°C	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	ГКал	Вт	(М ³ · °C)
Ноябрь	-4,8								
Декабрь	-8,2								
Январь	-18,5								
Февраль	-12,9								
Март	-4,8								
Апрель	4,8								
Отопительный период 2018 – 2019 гг.									
Октябрь	6								
Ноябрь	-7,2	171650,9	91303,68						
Декабрь	-17,5	234346,1	280452	335323	245613	130645			
Январь	-11,2	195998,6	59603	45048	75498	114446			
		100000	100000	100000	100000	100000			
		348028,3	416120,8	304795	162125				
		664875	840742	546560	169628				
		425,01	537,43	338,11	108,43				
		0,213	0,226	0,200	0,117				

Окончание таблицы 13

Сравним теоретические значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление объекта № 3 со значениями, полученными на практике, построив графики зависимости их от среднемесячной температуры наружного воздуха (рисунки 29, 30). Данные значения представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Теоретические и практические удельные характеристики расхода тепловой энергии

Дата	Температура наружного воздуха °C	$q_{\text{от}}^{\text{T}}$ Bt/(m ³ ·°C)	$q_{\text{от}}^{\text{пр}}$ Bt/(m ³ ·°C)
Октябрь 2017	2,5	0,145	0,156
Ноябрь 2017	-4,8	0,194	0,150
Декабрь 2017	-8,2	0,213	0,168
Январь 2018	-18,5	0,223	0,143
Февраль 2018	-12,9	0,198	0,230
Март 2018	-4,8	0,155	0,186
Апрель 2018	4,8	0,074	0,232
Октябрь 2018	6	0,117	0,169
Ноябрь 2018	-7,2	0,200	0,144
Декабрь 2018	-17,5	0,226	0,135
Январь 2019	-11,2	0,213	0,197
Февраль 2019	-13,8	0,200	0,198
Март 2019	0,9	0,124	0,164
Апрель 2019	3,9	0,084	0,194
Октябрь 2019	4,7	0,129	0,155
Ноябрь 2019	-8,3	0,203	0,136
Декабрь 2019	-8,7	0,214	0,154
Январь 2020	-7,5	0,207	0,186
Февраль 2020	-7,1	0,184	0,186
Март 2020	-0,9	0,135	0,183
Апрель 2020	10,1	-0,018	0,301

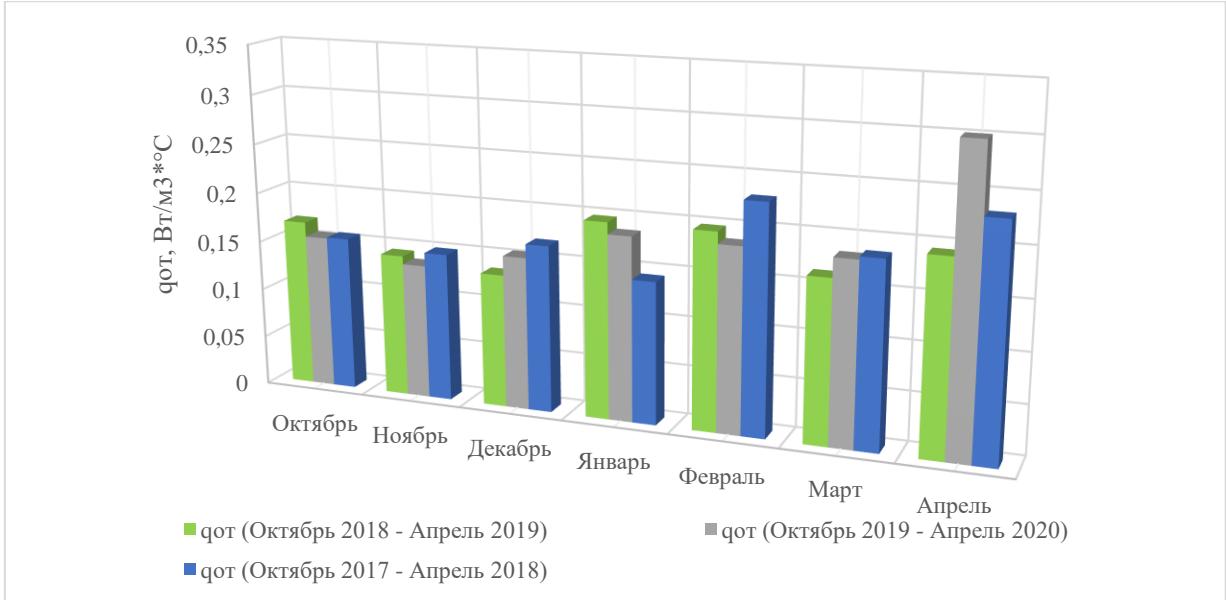


Рисунок 29 – График зависимости удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление от температуры наружного воздуха, полученной на практике

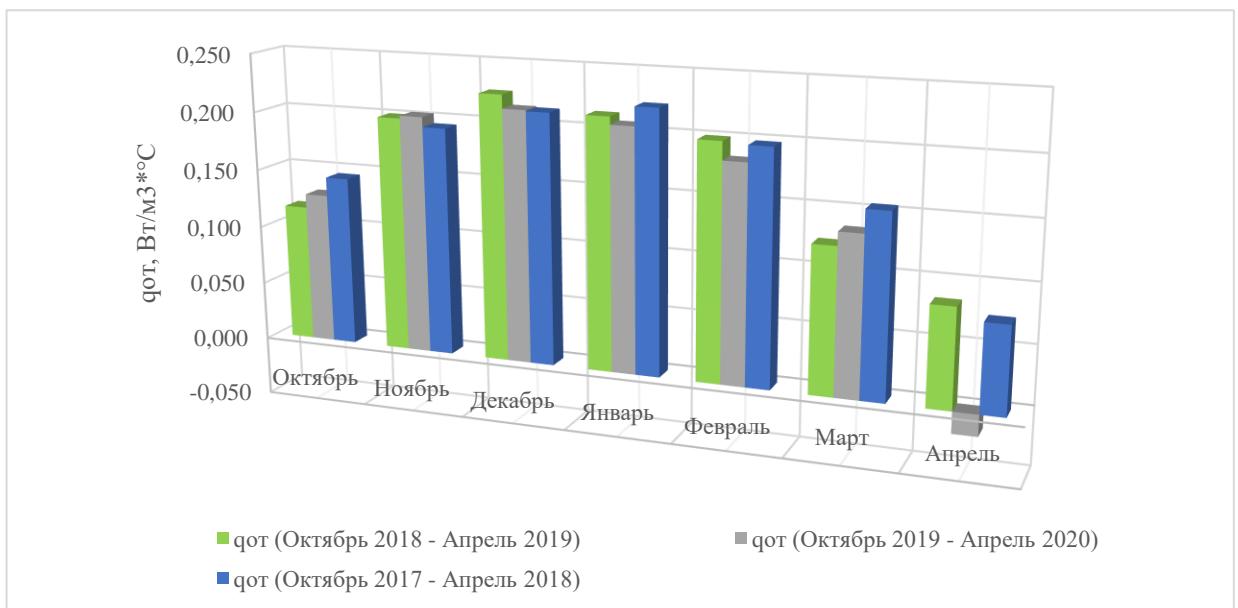


Рисунок 30 – График зависимости теоретической удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление от температуры наружного воздуха

На полученных графиках видно, что в холодное время года, преимущественно в зимние месяцы отопительного периода, теоретические значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и

практические примерно одинаковые, что в принципе характерно для данного периода. Другая ситуация наблюдается в осенние и весенние месяцы отопительного периода. Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление, полученная на практике оказывается выше теоретической, что свидетельствует о явном перерасходе тепловой энергии на отопление в более теплые месяцы отопительного периода.

4.5 Расчет возможной экономии тепловой энергии

Для оценки достигнутой потребности энергии на отопление и вентиляцию, установлены следующие классы энергосбережения (таблица 3) в % отклонения расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемой (базовой) величины. Для объекта № 3 примем класс энергоэффективности В+. Для этого введем коэффициент эффективности равный 0,7.

Рассчитаем возможную экономию тепловой энергии в денежном эквиваленте для января 2019г.

Определим разницу между удельной характеристикой расхода тепловой энергии на отопление, полученной на практике, и теоретической удельной характеристикой расхода тепловой энергии на отопление по формуле:

$$\Delta q_{\text{от}} = q_{\text{от}}^{\text{п}} - q_{\text{от}}^{\text{т}} \cdot 0,7, \quad (12)$$

$$\Delta q_{\text{от}} = 0,197 - 0,213 \cdot 0,7 = 0,048 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})} = 95,92 \text{ Гкал.}$$

Тогда возможную экономию, тыс. руб., в пересчете на сегодняшний день, можно определить по формуле:

$$\mathcal{E} = \Delta q_{\text{от}} \cdot T_{\text{тэ}}, \quad (13)$$

где $T_{т\vartheta}$ – тариф на тепловую энергию для потребителей АО "Енисейская ТГК (ТГК-13)" на 2021 год для г. Красноярска, руб./Гкал. $T_{т\vartheta} = 1472,08$.

$$\mathcal{E} = 95,92 \cdot 1472,08 = 141,207 \text{ тыс. руб.}$$

Для остальных месяцев возможная экономия денежных средств рассчитывается аналогично, поэтому полученные данные по ним представим в виде таблицы 15.

Таблица 15 – Возможная экономия денежных средств для каждого месяца отопительного периода

Дата	$\Delta q_{от}$	$\Delta q_{от}$	Возможная экономия
	Вт/(м ³ ·°C)	ГКал	тыс. руб.
Октябрь 2017	0,055	62,79	92,43367
Ноябрь 2017	0,014	21,53	31,69349
Декабрь 2017	0,019	34,87	51,32545
Январь 2018	0,000	0,00	0
Февраль 2018	0,091	172,85	254,4521
Март 2018	0,078	124,63	183,4697
Апрель 2018	0,180	174,79	257,3093
Октябрь 2018	0,088	81,39	119,8165
Ноябрь 2018	0,004	6,70	9,858665
Декабрь 2018	0,000	0,00	0
Январь 2019	0,048	95,92	141,207
Февраль 2019	0,058	112,86	166,1444
Март 2019	0,077	96,17	141,5632
Апрель 2019	0,135	138,26	203,5313
Октябрь 2019	0,065	65,56	96,51631
Ноябрь 2019	0,000	0,00	0
Декабрь 2019	0,005	8,56	12,6079
Январь 2020	0,041	72,32	106,4625
Февраль 2020	0,057	89,47	131,7124
Март 2020	0,089	120,25	177,0233
Апрель 2020	0,314	204,74	301,3906

Исходя из полученных данных в таблице 15, можно найти среднюю возможную экономию денежных средств в год. Средняя годовая экономия составит 826,172 тыс. руб.

Таким образом, можно сделать вывод, что в настоящее время система отопления недостаточно эффективна, о чем свидетельствует довольно высокий перерасход тепловой энергии на отопление. Поэтому, для достижения ее экономии, необходимо в корне пересмотреть существующий режим регулирования системы отопления.

5 Повышение энергетической эффективности здания за счет изменения режима работы системы отопления

Одним из способов повышения энергоэффективности системы отопления является изменение ее режима работы.

Регулирование тепловой нагрузки в настоящее время возможно несколькими методами:

- изменением температуры теплоносителя – качественный метод;
- изменением расхода теплоносителя – количественный метод;
- Совместным изменением температуры и расхода теплоносителя – качественно-количественный метод.

Качественное регулирование осуществляется изменением температуры при постоянном расходе теплоносителя. Качественный метод является наиболее распространенным видом центрального регулирования водяных тепловых сетей.

Количественное регулирование отпуска теплоты производится изменением расхода теплоносителя при постоянной его температуре в подающем трубопроводе.

Качественно-количественное регулирование выполняется путем совместного изменения температуры и расхода теплоносителя.

В большинстве случаев регулирование подачи тепловой энергии на отопление регулируется согласно разработанным температурным графикам. Как правило, используются следующие температурные графики: 150/70, 130/70, 115/70, 105/70, 95/70. Выбирается график в зависимости от конкретных местных условий. Домовые системы отопления работают по графикам 105/70 и 95/70. По графикам 150, 130 и 115/70 работают магистральные тепловые сети.

На примере объекта № 3 проведем проверку на предмет того, осуществляется ли регулирование отпуска тепловой энергии согласно температурному графику.

Для начала построим график Россандера для теоретических и практических значений расхода тепловой энергии на отопление (рисунки 31, 32, 33). Исходные данные для построения данного графика представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Исходные данные для построения графика Россандера

Дата	Средняя температура наружного воздуха	Расход тепловой энергии на отопление (практические значения)	Количество дней стояния средней температуры наружного воздуха	Расход тепловой энергии на отопление (теоретические значения)
	°C	ГКал	Дни	ГКал
Отопительный период 2017 – 2018 гг.				
Январь 2018	-18,5	342,17	31	381,1471
Февраль 2018	-12,9	423,13	59	262,5722
Декабрь 2017	-8,2	294,47	90	269,6499
Ноябрь 2017	-4,8	222,91	120	210,0671
Март 2018	-4,8	286,42	151	172,9489
Октябрь 2017	2,5	169,35	182	116,0032
Апрель 2018	4,8	211,63	212	50,46677
Отопительный период 2018 – 2019 гг.				
Декабрь 2018	-17,5	312,96	31	376,2029
Февраль 2019	-13,8	374,18	59	271,8859
Январь 2019	-11,2	381,71	90	297,5087
Ноябрь 2018	-7,2	235,05	120	236,6776
Март 2019	0,9	193,92	151	107,6422
Апрель 2019	3,9	187,33	181	60,44572
Октябрь 2018	6	147	212	75,9026
Отопительный период 2019 – 2020 гг.				
Декабрь 2019	-8,7	274,74	31	275,3785
Ноябрь 2019	-8,3	231,04	61	248,8741
Январь 2020	-7,5	316,36	92	255,1166
Февраль 2020	-7,1	292,07	120	202,5507
Март 2020	-0,9	237,48	151	128,2653
Октябрь 2019	4,7	146,96	182	90,79711
Апрель 2020	8	178,65	212	0

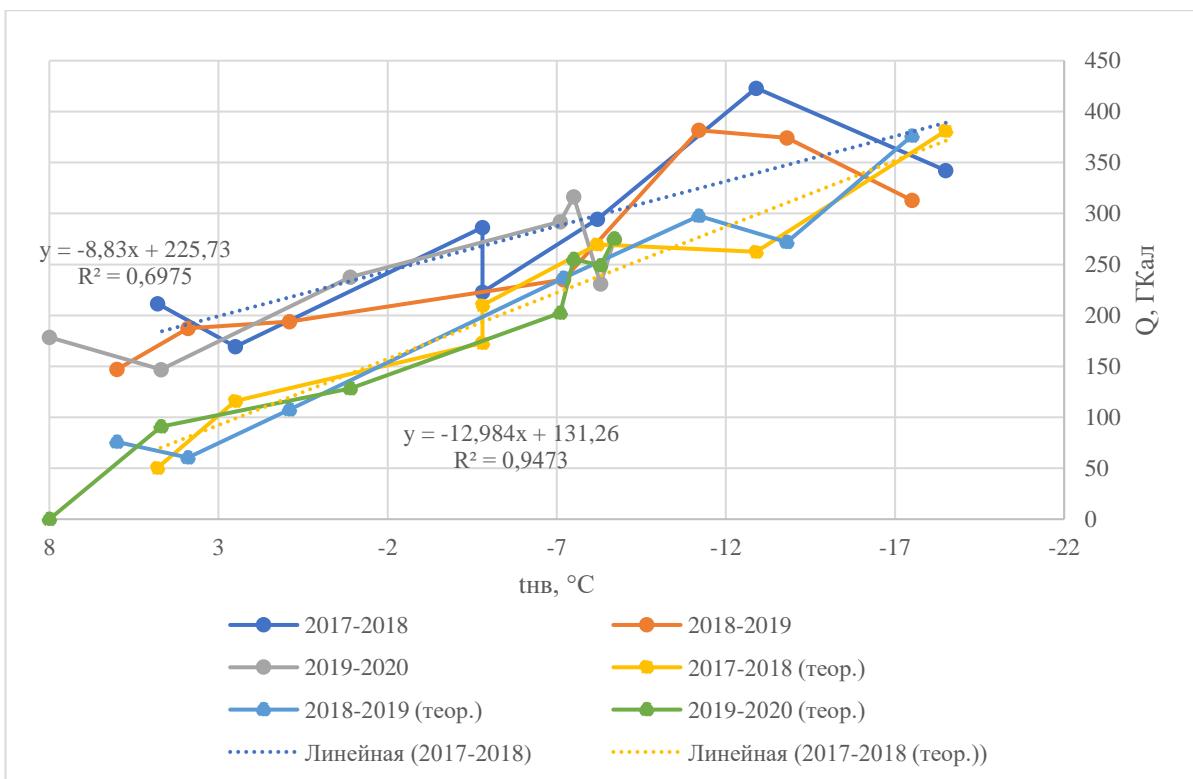


Рисунок 31 – График Россандера – зависимость расхода тепловой энергии на отопление от температуры наружного воздуха

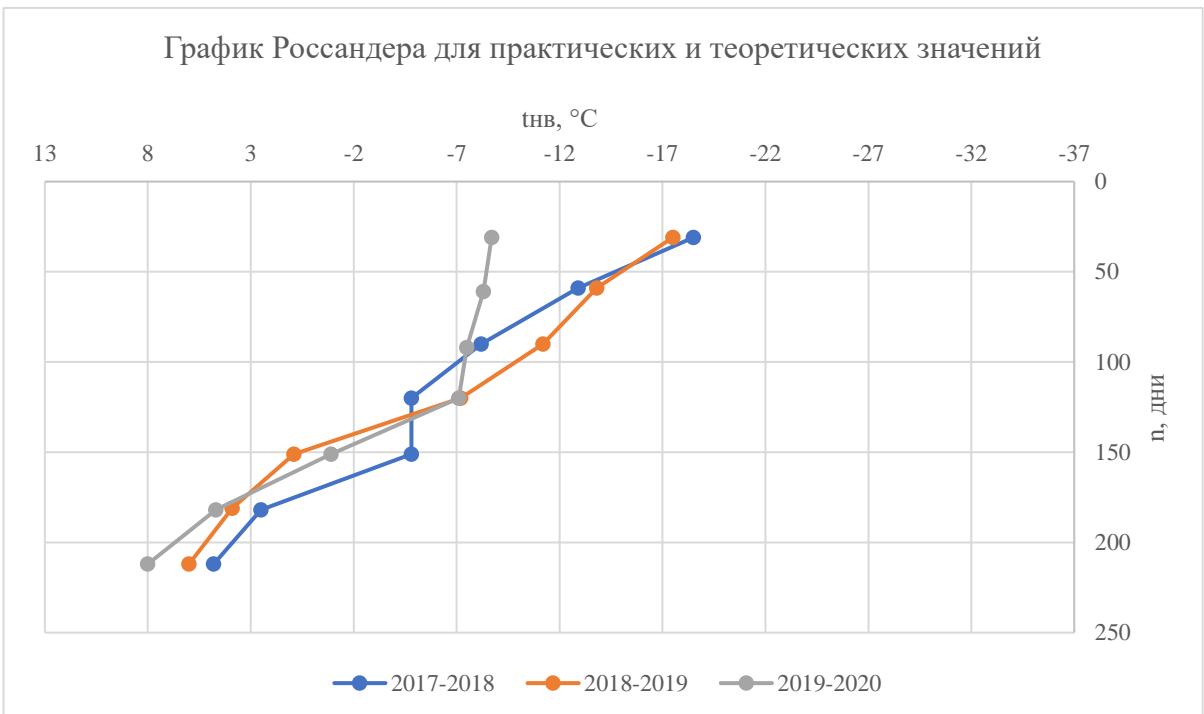


Рисунок 32 – График Россандера – зависимость температуры наружного воздуха от количества дней ее стояния

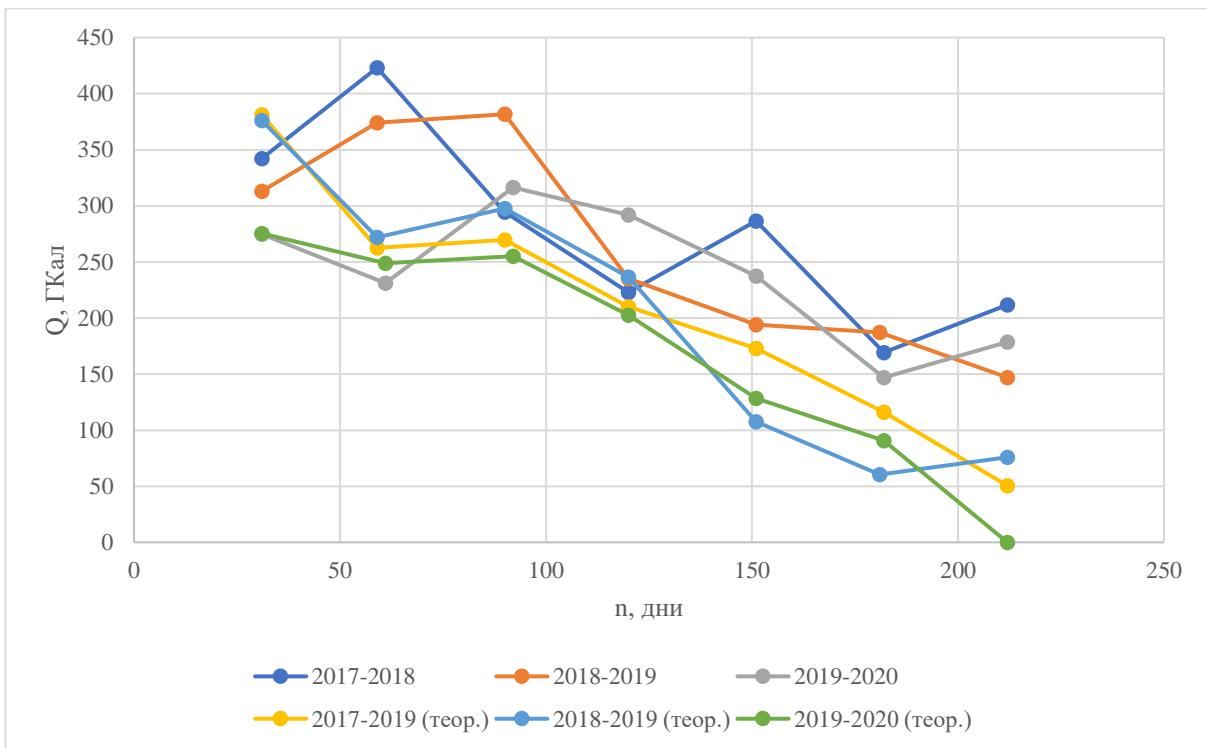


Рисунок 33 – График Россандера – зависимость расхода тепловой энергии от количества дней стояния средней температуры наружного воздуха

Для того, чтобы проверить, действительно ли отпуск тепловой энергии осуществляется согласно температурному графику, необходимо построить зависимость разницы температур подающей и обратной линии от температуры наружного воздуха для значений разностей температур по существующему температурному графику 95/70, для разностей температур теоретических и практических значений. Для определения разности температур подающей и обратной линии для теоретических и практических значений необходимо выполнить линейную аппроксимацию (см. рисунок 31), в результате которой получим два уравнения линейной зависимости расхода тепловой энергии на отопление от температуры наружного воздуха для теоретических и практических значений. В данном случае будем аппроксимировать линии, относящиеся к отопительному периоду 2017 – 2018 гг. Используя полученные уравнения, найдем разности температур по формулам:

Для теоретических значений:

$$\Delta t = \frac{(-12,984 \cdot t_{\text{HB}} + 131,26) \cdot c_{\text{B}} \cdot 10^9}{4190 \cdot 10^3 \cdot G_{\text{B}}}, {}^{\circ}\text{C} \quad (14)$$

Для практических значений:

$$\Delta t = \frac{(-12,984 \cdot t_{\text{HB}} + 131,26) \cdot c_{\text{B}} \cdot 10^9}{4190 \cdot 10^6 \cdot G_{\text{B}}}, {}^{\circ}\text{C} \quad (15)$$

где t_{HB} – температура наружного воздуха, ${}^{\circ}\text{C}$;

c_{B} – теплоемкость воды, $\text{kДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. $c_{\text{B}} = 4,19$;

G_{B} – массовый расход теплоносителя в системе отопления, т. $G = 22820$

Полученные данные разностей температур подающей и обратной линии представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Значения разностей температур подающей и обратной линии для температурного графика 95/70, теоретических и практических значений.

Температура наружного воздуха	T1	T2	Разница температур по температурному графику	Разница температур для практических значений	Разница температур для теоретических значений
Единица измерения - ${}^{\circ}\text{C}$					
8	41,2	35,8	5,4	6,79	1,20
7	42,7	36,8	5,9	7,18	1,77
6	44,1	37,7	6,4	7,57	2,34
5	45,5	38,7	6,8	7,95	2,91
4	46,9	39,6	7,3	8,34	3,47
3	48,3	40,6	7,7	8,73	4,04
2	49,7	41,5	8,2	9,12	4,61
1	51	42,5	8,5	9,50	5,18
0	52,4	43,3	9,1	9,89	5,75
-1	53,7	44,2	9,5	10,28	6,32
-2	55	45	10	10,66	6,89
-3	56,3	45,9	10,4	11,05	7,46

Окончание таблицы 17

Температура наружного воздуха	T1	T2	Разница температур по температурному графику	Разница температур для практических значений	Разница температур для теоретических значений
Единица измерения - °C					
-4	57,6	46,7	10,9	11,44	8,03
-5	58,9	47,6	11,3	11,82	8,59
-6	60,2	48,4	11,8	12,21	9,16
-7	61,5	49,2	12,3	12,60	9,73
-8	62,8	50,1	12,7	12,98	10,30
-9	64	50,9	13,1	13,37	10,87
-10	65,3	51,7	13,6	13,76	11,44
-11	66,6	52,5	14,1	14,14	12,01
-12	67,8	53,3	14,5	14,53	12,58
-13	69	54	15	14,92	13,14
-14	70,3	54,8	15,5	15,30	13,71
-15	71,5	55,6	15,9	15,69	14,28
-16	72,7	56,3	16,4	16,08	14,85
-17	73,9	57,1	16,8	16,46	15,42
-18	75,1	57,9	17,2	16,85	15,99
-19	76,3	58,6	17,7	17,24	16,56

Используя полученные данные построим график зависимости разности температур подающей и обратной линии от температуры наружного воздуха для температурного графика 95/70, теоретических и практических значений (рисунок 34).

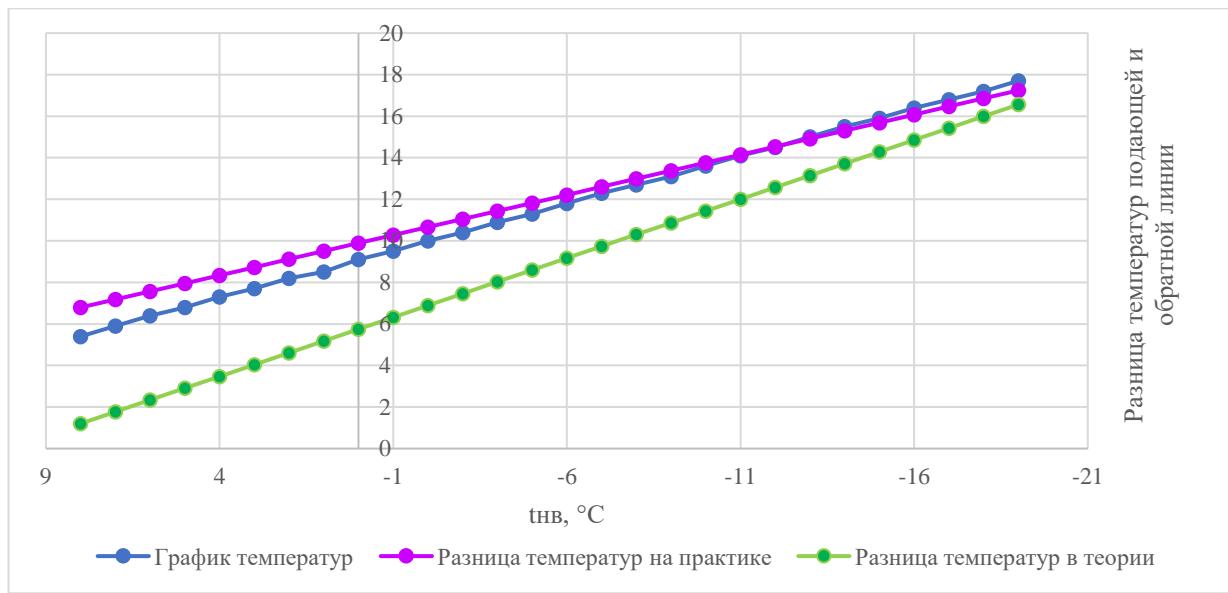


Рисунок 34 – График зависимости разности температур подающей и обратной линии от температуры наружного воздуха

Исходя из графика, полученного выше, можно сделать следующие суждения. На графике изображены три линии зависимости разности температур от температуры наружного воздуха. Синяя линия – это тот температурный график, который на данный момент используется для регулирования системы теплоснабжения. Фиолетовая линия показывает нам то, как мы этот температурный график получили в реальности, ее отклонение от синей указывает на то, что на самом деле температурный график, зашитый в систему автоматического регулирования системы отопления, не выполняется. Но если мы хотим, чтобы управление системой теплоснабжения соответствовало теоретическим данным, которые мы получили в ходе выполнения анализа и математической модели, которую мы разработали, необходимо для регулирования системы теплоснабжения использовать температурный график, обозначенный на графике зеленой линией. Поэтому для повышения энергоэффективности системы теплоснабжения нам просто необходимо использовать другой тепловой график, потому что регулирование, осуществляющееся на сегодняшний день, не соответствует графику Россандера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение энергоэффективности зданий в России на сегодняшний день является стратегической задачей. Энергопотребление большей части многоквартирных домов является низкоэффективным. В среднем, энергопотребление в домах в полтора раза выше, чем в странах с похожим климатом. Исходя из того, что жилищный сектор занимает второе место по энергопотреблению и обладает значительным потенциалом к энергосбережению, проблема энергоэффективности зданий является актуальной.

В ходе проведения данной исследовательской работы были подробно рассмотрены существующие способы повышения энергетической эффективности зданий, приведены их основные преимущества и недостатки.

Был выполнен анализ потребления тепловой энергии на отопление жилым сектором на примере 4 объектов теплоснабжения. Данный анализ включал в себя оценку удельных показателей энергопотребления, в результате которой для рассматриваемых объектов теплоснабжения был подобран свой класс энергоэффективности; оценку температурного режима объектов теплопотребления, в ходе которой на некоторых объектах было выявлено превышение температуры теплоносителя обратной линии по сравнению с температурным графиком; оценку потребления теплоносителя, в результате которой было выявлено, что разница расходов в подающей и обратной линии в процентном соотношении не превышает требуемого значения.

Далее были рассчитаны теоретические удельные характеристики расхода тепловой энергии на отопление жилых зданий и проведено их сравнение с реальными значениями, которые были рассчитаны по данным от приборов учета тепловой энергии рассматриваемых объектов. В результате сравнения данных характеристик было выявлено, что на практике наблюдается достаточно высокий перерасход тепловой энергии на отопление зданий, что свидетельствует о том, что система отопления в реальности

недостаточно эффективна. Исходя из этого была рассчитана возможная экономия тепловой энергии в денежном эквиваленте.

В заключении исследовательской работы была проведена проверка на предмет того, действительно ли отпуск тепла осуществляется согласно температурному графику, в ходе которой было выявлено, что температурный график, по которому осуществляется регулирование подачи тепловой энергии на объекты теплоснабжения не выполняется. На основании этого был сделан вывод, что повысить энергоэффективность системы теплоснабжения можно путем использования другого температурного графика, который был бы приближен к теоретическим данным, полученным в ходе выполнения исследовательской работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Грудзинский М. М., Прижицецкий С. И. Энергоэффективные системы отопления // «АВОК». – 1999. – № 6
2. Грановский В. Л., Прижицецкий С. И. Система отопления жилых зданий массового строительства и реконструкции с комплексным автоматизированием теплопотребления // «АВОК». – 2002. – № 5
3. Золотухин И. В., Куракин К. Э., Гула Д. Н. Пофасадное регулирование систем отопления зданий и сооружений. // «Известия ТулГУ. Технические науки». – 2020. – № 6
4. Прохоров В. И., Усиков С. М. О рациональности применения терmostатов в системах водяного отопления // «САНТЕХНИКА, ОТОПЛЕНИЕ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ». – 2018. - № 6
5. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с Изменением N 1)
6. СП 131.13330.2018. Свод правил. Строительная климатология. СНиП 23-01-99* (утв. Приказом Минстроя России от 28.11.2018 N 763/пр)
7. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях
8. Приказ Минэнерго РФ от 24 марта 2003 г. N 115 "Об утверждении Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок"
9. Владыкина А. Н. Повышение энергетической эффективности жилых домов / А.Н. Владыкина // Устойчивое развитие науки и образования. – 2019. – № 7. – С. 121–126.
10. Глазунова Е. К., Василенко А. И., Скорик Т. А. Удельные отопительные нагрузки и энергоэффективность современной жилой застройки // Научное обозрение. 2013, № 2. С. 94–96.
11. Страхова Н. А., Скорик Т. А., Соколова Г. Н. Экологические и экономические аспекты теплозащитных мероприятий // Научное обозрение. 2013, № 2. С. 91–93.

12. Данекянц А. Г., Волосатова, Т.А. Общие вопросы энергоэффективности в современной России. // «Строительство–2014»: материалы Международной научно – практической конференции. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун –т, 2014. с 12–13.
13. Волосатова Т. А. Некоторые вопросы энергоэффективности тепловых сетей в разрезе текущего состояния комплекса ЖКХ России. // Инженерный вестник Дона. 2013, №4.
14. Мартынова Е. В. Пространственный анализ энергоэффективности жилищного фонда муниципального образования на примере Ростова–на–Дону. // Научное обозрение. 2013, № 2. С. 88–90.
15. Лысёв В. И., Шилин А. С. Направления повышения энергоэффективности зданий и сооружений // Холодильная техника и кондиционирование. 2017. №2. С. 18–25.
16. Нормы и данные для теплотехнических расчетов ограждающих конструкций производственных и гражданских зданий. II часть. Наружные стены. М., 1939.
17. Гагарин В.Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий. // Строительные материалы. 2010, №3, стр. 8 – 16.
18. Васильев Г.П. Основные задачи городской программы об энергосберегающем домостроении в Москве. Энергосбережение. 2009, №4, стр.8 – 12.
19. Гагарин В.Г., Козлов В.В. О комплексном показателе тепловой защиты оболочки здания. // Журнал АВОК. 2010. №4, стр. 52–60.
20. Фаренюк Г.Г., Фаренюк Е.Г. Тепловые и экономические аспекты энергосбережения в зданиях. Экологические системы. М.: Авок–пресс, 2004.
21. Табунщикова Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: Авок–пресс, 2002.

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Теплотехники и гидрогазодинамики»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.А. Кулагин
подпись
« 23 » июня 2021г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Повышение энергетической эффективности зданий»

13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

13.04.01.01 «Энергетика теплотехнологий»

Научный руководитель Колосов 21.06.2021 доцент, к.т.н. М.В. Колосов
подпись, дата

Выпускник Баженова 21.06.2021 Л.С. Баженова
подпись, дата

Рецензент Липовка 21.06.2021 доцент, д.т.н. Ю.Л. Липовка
подпись, дата

Красноярск 2021