

На правах рукописи



Кобылкин Михаил Владимирович

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ
НАСОСНЫХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ «ТЭЦ-ПОТРЕБИТЕЛЬ»

Специальность 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иркутск 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Забайкальский государственный университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент
Батухтин Андрей Геннадьевич

Официальные оппоненты: **Карпенко Евгений Иванович**
доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория плазменно-энергетических процессов и технологий, заведующий лабораторией

Степанова Елена Леонидовна
кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, отдел теплосиловых систем, старший научный сотрудник

Ведущая организация: **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург**

Защита диссертации состоится « 28 » ноября 2018 г. в 09:00 на заседании диссертационного совета Д 003.017.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН) по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, малый конференц-зал (3-й этаж, к. 355).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИСЭМ СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, к. 407 и на сайте <http://isem.irk.ru/dissert/case/DIS-2018-02/>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью составителя, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Автореферат разослан «__» _____ 2018 г

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 003.017.01,
доктор технических наук, профессор



**Клер
Александр Матвеевич**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Теплофикация, с термодинамической точки зрения, имеет неоспоримое преимущество перед отдельной выработкой тепла и электрической энергии, позволяя экономить значительное количество энергетических ресурсов. Однако потери тепла при ее транспортировке, распределении и потреблении, а также неоднозначная государственная политика в отношении ТЭЦ, ставят под сомнение экономическую целесообразность ее использования, что может привести к потере наиболее эффективного способа использования топливно-энергетических ресурсов.

При текущем уровне развития энергосберегающих технологий, повысить эффективность комбинированной выработки возможно путем внедрения теплонасосных установок (ТНУ) непосредственно в системы централизованного теплоснабжения (СЦТ). Однако существующие разработки в данной области предполагают полную реконструкцию систем теплоснабжения для получения положительного системного эффекта, не учитывая переходный этап частичной модернизации, при котором вероятен отрицательный эффект от использования ТНУ из-за изменения режимов отпуска тепла с источника. Это делает их внедрение практически невозможным в текущих условиях развития российской энергетики.

Таким образом, разработка способа начального внедрения ТНУ в СЦТ, с целью повышения энергетической эффективности комплекса теплоснабжения в переходный период совместной работы ТНУ и не модернизированных объектов системы, является актуальной задачей.

Объектом исследования являются системы централизованного теплоснабжения, включая системы отопления и горячего водоснабжения, рассматриваемые как основная область внедрения теплонасосных установок.

Предметом исследования является совершенствование способов работы теплонасосных установок в условиях централизованного теплоснабжения, с оценкой их влияния на систему в целом.

Цель работы - повышение энергетической эффективности систем централизованного теплоснабжения путем внедрения теплонасосных установок в системы отопления и горячего водоснабжения потребителей.

В соответствии с целью работы решались **задачи исследования:**

- определить целесообразность и соответствующее место внедрения ТНУ в СЦТ;
- разработать эффективный способ теплоснабжения с применением ТНУ, исключая негативное влияние на эффективность работы ТЭЦ;
- разработать малозатратное технологическое решение реализующее способ;
- теоретически обосновать возможность эксплуатации разработанного технологического решения для различных потребителей, путем создания математической модели.

- разработать программный комплекс, позволяющий использовать модель для расчета основных технических характеристик модернизированных систем теплоснабжения;

- создать экспериментальную установку, моделирующую работу системы теплоснабжения здания с ТНУ;

- провести экспериментальное исследование для проверки соответствия полученных результатов с результатами теоретического моделирования;

- разработать методику расчета технико-экономических показателей ТЭЦ с учетом изменения режима отпуска теплоты при совместной работе с ТНУ.

- представить технико-экономическое обоснование разработки.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработан способ ГВС для потребителей в СЦТ, основанный на внедрении ТНУ в систему теплоснабжения здания, с использованием системы отопления как источника низкопотенциальной теплоты в межотопительный период, тем самым обеспечивая тригенерацию в системе «ТЭЦ-потребитель».

2. Разработана малозатратная универсальная система компенсации нагрузки ГВС (УСК-ГВС) позволяющая реализовать способ для широкого круга потребителей.

3. Получена эмпирическая зависимость коэффициента преобразования ТНУ (COP) от температуры внутреннего воздуха здания, для которого планируется установка разработанного технологического решения.

4. Разработана нестационарная математическая модель работы УСК-ГВС позволяющая оценить изменение COP и степень влияния ТНУ на температурный режим здания в ходе её эксплуатации.

5. Разработан способ определения рабочих параметров циркуляционного насоса УСК-ГВС.

6. Разработана методика расчета технико-экономических показателей ТЭЦ работающих совместно с УСК-ГВС

Практическая ценность работы определяется тем, что:

- разработана и применена малозатратная УСК-ГВС, отличительной особенностью которой является утилизация избыточного тепла помещений в летний период, позволяющая сократить затраты энергии на кондиционирование.

- разработан программный комплекс, позволяющий рассчитывать основные технические характеристики УСК-ГВС в СЦТ;

- создана экспериментальная установка, моделирующая работу системы теплоснабжения с внедренной ТНУ, которая позволяет производить оценку влияния ТНУ на температурный режим здания с определением зависимости COP от температуры внутреннего воздуха при отслеживаемых внешних климатических изменениях;

- разработан и применен способ определения рабочих параметров циркуляционного насоса УСК-ГВС;

- получены аналитические зависимости для расчета технико-экономических показателей ТЭЦ.

- результаты исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО

«ЗабГУ» в лекционных курсах подготовки студентов, обучающихся по специальности «Тепловые электрические станции» и направлению подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника», по дисциплинам «Энергосбережение» и «Технико-экономические основы проектирования ТЭС», а также при повышении квалификации по программе «Энергосбережение» в ФГБОУ ВО «ЗабГУ».

Методология и методы исследования. В ходе диссертационного исследования применялись: обобщение литературных источников; анализ и оценка существующих способов теплоснабжения с применением ТНУ; лабораторные экспериментальные исследования; методы математического моделирования; обработка результатов исследований с применением численных и аналитических методов решения дифференциальных уравнений; оценка и обоснование возможности реализации разработок, с учетом текущих технико-экономических условий.

Достоверность и обоснованность результатов работы обеспечивается применением современной измерительной техники, достижений прикладных научных дисциплин, сопряженных с предметом исследования, корректностью допущений математических моделей и оценкой погрешности результатов исследований, основанной на общепринятой методике, а также согласованием результатов расчета с опытными данными, полученными в ходе экспериментальных исследований и данными других авторов.

Автор защищает: разработанный способ ГВС; разработанную УСК-ГВС; математическую модель работы ТНУ в системе теплоснабжения потребителя; способ определения рабочих параметров циркуляционного насоса УСК-ГВС; методику расчета технико-экономических показателей ТЭЦ работающей совместно с УСК-ГВС, результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Личный вклад автора заключается в проведении системного анализа существующей информации о технических решениях, способствующих повышению эффективности теплофикации за счет применения ТНУ, разработке УСК-ГВС, теоретическом обосновании возможности ее применения, создании нестационарной математической модели работы системы, подготовке и проведении лабораторного экспериментального исследования работы УСК-ГВС, создании методики определения рабочих параметров циркуляционного УСК-ГВС, технико-экономическом обосновании предлагаемого технологического решения с использованием разработанной методики оптимизации.

Все исследования по теме диссертации выполнены лично автором под руководством научного руководителя.

Апробация работы. Основные методологические положения и результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на Международных научно-практических конференциях: «Кулагинские чтения» (ЗабГУ, Чита, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017); «Энергетика в современном мире» (ЗабГУ, Чита, 2013, 2015, 2017); «Электроэнергетика глазами молодежи – 214» (ТПУ, Томск, 2014); «Энергосбережение и повышение энергоэффективности: от теории к практике» (ТГУ, Томск, 2014); «Инновационные технологии в технике и

образовании» (ЗабГУ, Чита, 2014, 2015, 2016, 2017). На Всероссийских конференциях: «Пути совершенствования работы теплоэнергетических устройств» (ДВФУ, Владивосток, 2012); «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность» (ТПУ, Томск, 2013); «Электроэнергетика Байкальского региона: проблемы и перспективы» (БНЦ СО РАН, Улан-Удэ, 2016). На Краевой выставке научно-технического творчества молодежи «НТТМ» (Чита 2014, 2016), а также на расширенном заседании кафедры «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет» (ЗабГУ, Чита, 2015, 2016), на расширенном заседании кафедры «Промышленная энергетика» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (СПбГПУ, Санкт-Петербург, 2016).

Соответствие паспорту специальности. Диссертация посвящена вопросам повышения эффективности использования ТНУ в системах «ТЭЦ-потребитель». В диссертации рассмотрено новое техническое решение внедрения ТНУ в системы отопления и горячего водоснабжения, подключенные к СЦТ с оценкой его влияния на технико-экономические показатели ТЭЦ.

Соответствие диссертации специальности 05.14.01 подтверждается выполнением исследований в следующих областях, указанных в паспорте специальности:

- п. 2. «Исследование и разработка нетрадиционных источников энергии и новых технологий преобразования энергии...» соответствуют представленные в диссертации результаты теоретического и экспериментального исследования нового источника низкопотенциальной энергии для ТНУ, способного обеспечить тригенерацию на базе стандартных СЦТ, а также представленные способ компенсации нагрузки ГВС и схема УСК-ГВС с использованием данного источника.

- п. 3. «Использование на этапе проектирования и в период эксплуатации методов математического моделирования с целью исследования и оптимизации структуры и параметров...» соответствует представленная нестационарная математическая модель работы УСК-ГВС использованная для определения рабочих параметров циркуляционного насоса и исследования происходящих в системе теплоснабжения потребителя энергетических процессов с целью получения необходимых расчётных параметров для определения технико-экономических показателей ТЭЦ.

- п. 5. «Разработка и исследование в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве тепловой и электрической энергии...» соответствует представленная методика расчета эффективности системы «ТЭЦ-потребитель» с УСК-ГВС и технико-экономическое обоснование УСК-ГВС.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 25 печатные работы, в т.ч. 5 – в изданиях из перечня ВАК, получено 2 патента и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 124 источника. Она изложена на 120 с. текста, имеет 30 рисунков и 12 таблиц. Общий объем диссер-

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, ее научная новизна и практическая ценность, сформулированы положения, выносимые на защиту, представлена структура диссертации.

В главе 1 представлен анализ текущего состояния, эффективности и перспектив теплоснабжения России. Результаты этого анализа позволили сделать вывод, что в отрасли теплоснабжения наибольшую актуальность на сегодняшний день представляют энергоэффективные разработки, предназначенные для потребителей теплоты в СЦТ.

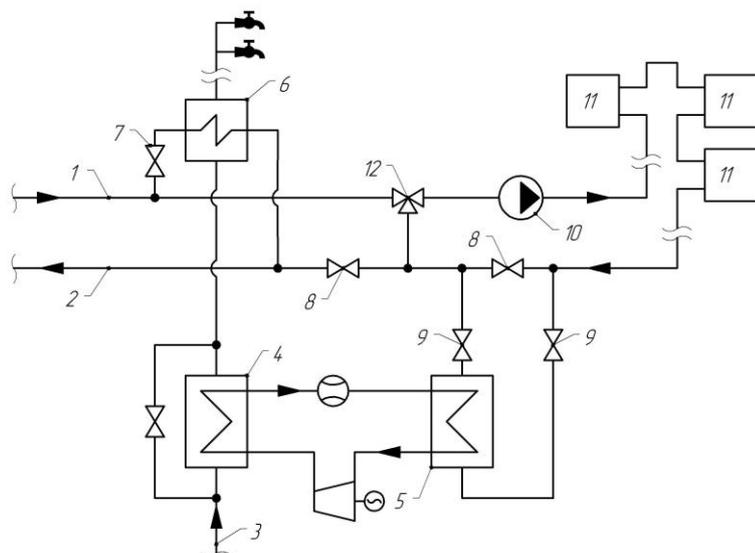


Рисунок 1. Принципиальная схема, описывающая способ горячего водоснабжения здания с ТНУ:

1 – подающий трубопровод, 2 – обратный трубопровод, 3 – трубопровод воды идущей на горячее водоснабжение, 4 – конденсатор, 5 – испаритель, 6 – теплообменник ГВС, 7, 8, 9 – запорная арматура, 10 – циркуляционный насос, 11 – отопительный прибор, 12 – трехходовой клапан

условиях СЦТ. Представлена разработка УСК-ГВС для работы в межотопительный период и теоретическое обоснование возможности её реализации для различных потребителей.

Согласно выполненному анализу, основным начальным направлением внедрения ТНУ можно считать компенсацию нагрузки ГВС в межотопительный период. При этом положительный системный эффект от внедрения возможно получить только при использовании низкопотенциальной теплоты, производство которой не требует затрат невозобновляемых топливных ресурсов.

В этом направлении разработан адаптированный к российским условиям способ перехода систем ГВС, в летний период времени, на легкодоступный источник тепла без значительной реконструкции исходной схемы теплоснабжения.

Рассмотрено развитие технологий с применением ТНУ в системах теплоснабжения России, а также произведен критический обзор перспективных технических решений внедрения ТНУ в условиях СЦТ, что позволило оценить недостатки существующих разработок и причины их ограниченного использования.

В заключительной части главы сформулированы цели и основные задачи выполняемой научной работы.

В главе 2 рассматриваются основные требования, предъявляемые к системам теплоснабжения с ТНУ в

Источником тепла в данном способе выступает замкнутый контур системы отопления здания.

Сущность способа заключается в использовании системы отопления в качестве низкотенциального источника тепла. Тепло забирается холодным теплоносителем, который циркулирует в замкнутом контуре системы отопления, и, посредством ТНУ, передается на нагрев воды, идущей на ГВС (Рисунок 1).

Способ позволяет получить высокие значения COP, при компактности, автономности по теплотреблению и минимальных затратах на внедрение. Также отличительной особенностью способа является утилизация избыточного тепла помещений, это позволяет с минимальными затратами достигнуть эффекта тригенерации на базе стандартных СЦТ.

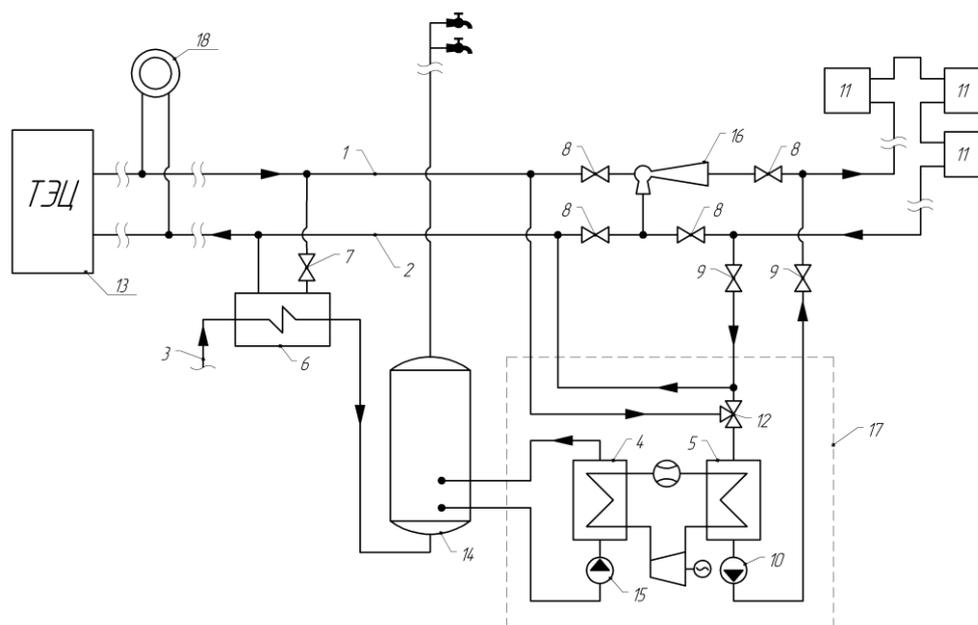


Рисунок 2. Универсальная система компенсации нагрузки ГВС:

1-12 – то же, что и на рис. 1, 13 – источник теплоснабжения, 14 – бак аккумулятора, 15 – циркуляционный насос бака, 16 – элеватор, 17 – блок ТНУ, 18 – немодернизированный потребитель

Основываясь на способе, разработана УСК-ГВС, универсальная для различных типов отопительных систем (Рисунок 2).

В данном схемном решении решена проблема стабильности работы путем установки собственного циркуляционного насоса и организации, в случае необходимости, подпитки контура системы отопления горячим теплоносителем из тепловой сети, а также снижена установленная мощность ТНУ за счет бака аккумулятора, позволяющего выровнять график нагрузки ГВС.

УСК-ГВС сохраняет все преимущества исходного способа, при этом позволяет упростить его внедрение для различных потребителей.

Также система предполагается как основа для дальнейшего внедрения большинства существующих более глобальных разработок в области использования ТНУ в СЦТ.

Для теоретического обоснования возможности использования системы отопления в качестве источника низкотенциального тепла, а также для опре-

деления эффективности системы разработана нестационарная математическая модель, позволяющая оценить изменение температуры воздуха в помещении при работе системы отопления в режиме охлаждения.

Для определения изменения температуры внутри здания, при внешних и внутренних тепловых воздействиях, предложены различные уравнения, позволяющие описать происходящий процесс. Наиболее простым уравнением, позволяющим смоделировать работу системы, является дифференциальное уравнение, предложенное Е.Я. Соколовым для расчета теплового баланса здания с учетом теплоаккумулирующих свойств.

Поскольку модель составляется для неотапительного режима, то для описания работы ТНУ, с учетом перехода системы отопления на восприятие избыточного тепла помещений, уравнение Е.Я. Соколова преобразовано в следующий вид начального уравнения:

$$\beta \cdot Q_{T.B.} d\tau = Q_{T.П.} d\tau + F_{CT} \cdot S_{CT} \cdot \rho_{CT} \cdot c_{CT} dt_{CT},$$

где: $Q_{T.B.}$ – тепловосприятие отопительной системы для нужд ТНУ, Дж/с; $Q_{T.П.}$ – теплопоступление в здание извне, Дж/с; β – коэффициент снижения тепловосприятия системой отопления; F_{CT} – суммарная поверхность конструкций зданий, м²; S_{CT} – толщина стенки здания, м; ρ_{CT} – плотность материала стен здания, кг/м³; c_{CT} – теплоемкость материала стен здания, кДж/кг·°С; t_{CT} – средняя температура наружной стены здания, °С;

Тепловосприятие системы $Q_{T.B.}$ представляет собой необходимое количество теплоты, потребляемое тепловым насосом, для поддержания нагрузки ГВС, с учетом потребляемой мощности компрессора ТНУ:

$$Q_{T.B.} = Q_{ГВС} - N = Q_{ГВС} - \frac{Q_{ГВС}}{\mu},$$

где: $Q_{ГВС}$ – нагрузка ГВС, Дж/с; N – мощность компрессора ТНУ, Дж/с; μ – COP,

Коэффициент снижения тепловосприятия системой отопления β используется в случае захлаживания помещения, и показывает, сколько теплоты будет компенсировано за счет подмеса горячего теплоносителя из подающего трубопровода тепловой сети.

Теплопоступление в здание извне $Q_{T.П.}$ представляет собой суммарное количество теплоты, поступающей в помещения.

Комплекс $F_{CT} \cdot S_{CT} \cdot \rho_{CT} \cdot c_{CT} dt_{CT}$, который учитывает аккумуляцию тепла в стенах здания, аналитически преобразуется в комплекс, который зависит от температуры внутреннего воздуха в здании:

$$\theta dt_{\theta} = F_{CT} \cdot S_{CT} \cdot \rho_{CT} \cdot c_{CT} dt_{CT},$$

где: θ – константа, которая является производной по температуре внутреннего воздуха для уравнения, описывающего частный случай аккумуляции тепла, Дж/°С.

Температура внутреннего воздуха в предложенной системе также будет оказывать определенное влияние на коэффициент преобразования ТНУ в зависимости от ряда заданных параметров системы:

- технические характеристики ТНУ,
- нагрузка ГВС,
- тип отопительной системы,
- тип и количество отопительных приборов,
- расход теплоносителя в системе отопления.

Поскольку зависимость коэффициента преобразования ТНУ от температуры внутреннего воздуха $\mu = f(t_g)$ будет различной для каждой конкретной отопительной системы, то наиболее рациональным способом ее описания является эмпирическая зависимость с поправочными коэффициентами, которые учитывают заданные параметры системы, а также с возможностью изменения относительной доли нагрузки ГВС при выбранном постоянном расходе теплоносителя. Кроме этого, для возможности дальнейшего решения начального уравнения необходимо представить зависимость $\mu = f(t_g)$ в виде обратной зависимости $\frac{1}{\mu} = f(t_g)$, исключив тем самым наличие искомой переменной в знаменателе уравнения. Таким образом, на основании подробного расчёта теплового баланса, включающего ТНУ, систему отопления с отопительными приборами и помещением здания, получим следующую эмпирическую зависимость в упрощенном виде:

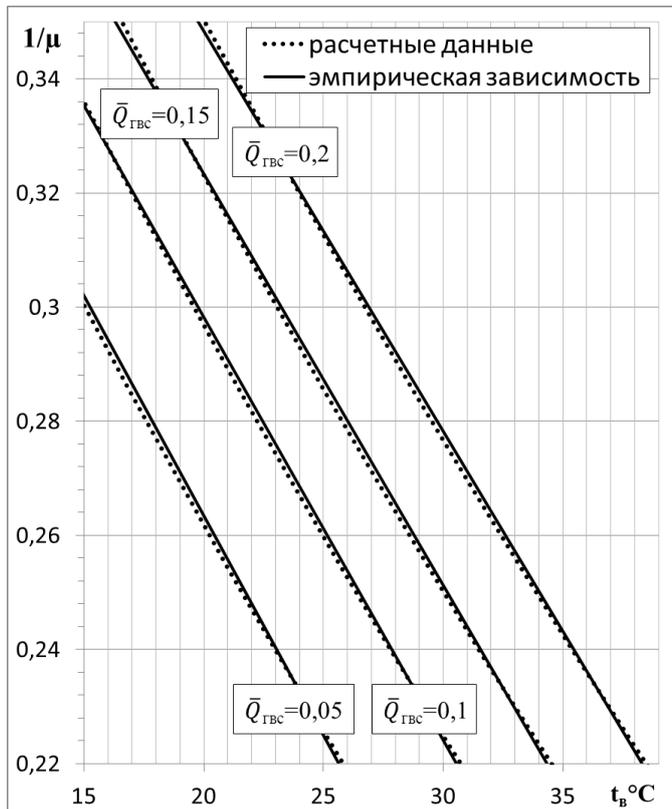


Рисунок 3. Семейство зависимостей $1/\mu$ от температуры воздуха при различных значениях относительной доли нагрузки ГВС

уравнения. Таким образом, на основании подробного расчёта теплового баланса, включающего ТНУ, систему отопления с отопительными приборами и помещением здания, получим следующую эмпирическую зависимость в упрощенном виде:

$$\frac{1}{\mu} = A + B \cdot t_g,$$

$$A = a_1 + b_1 \cdot \bar{Q}_{ГВС} - c_1 \cdot \exp(-\bar{Q}_{ГВС}),$$

$$B = -a_2 + b_2 \cdot \bar{Q}_{ГВС} - c_2 \cdot \exp(-\bar{Q}_{ГВС}),$$

где: $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ – эмпирические поправочные коэффициенты, которые учитывают влияние заданных параметров системы на изменение температуры;

$\bar{Q}_{ГВС} = \frac{Q_{ГВС}}{Q_{сек}^{ном} \cdot n_{сек}}$ – безразмерный комплекс, учитывающий изменение относительной доли нагрузки ГВС; $Q_{сек}^{ном}$ – расчетный тепловой поток одной секции радиатора, Дж/с; $n_{сек}$ – количество секции радиатора, шт;

– технические характеристики ТНУ, нагрузка ГВС, тип отопительной системы, тип и количество отопительных приборов, расход теплоносителя в системе отопления.

Зависимость коэффициента преобразования от температуры воздуха с достаточной точностью подтверждается расчётными данными (Рисунок 3) полученными в результате расчета теплового баланса между ТНУ, системой отопления и помещениями здания. Относительная погрешность вычислений по упрощенной зависимости не превысила 0,2% при различных значениях относительной доли нагрузки ГВС.

Расчетное уравнение для определения изменения температуры внутри здания полученное в ходе интегрирования исходного уравнения с учетом вышеизложенного имеет следующий вид:

$$t_6 = \frac{[\beta \cdot Q_{ГВС} \cdot (1 - A) - Q_{Т.П.} + (Q_{Т.П.}^{нач} - \beta \cdot (Q_{ГВС} - Q_{ГВС} (A + B \cdot t_6^{нач}))) \cdot \exp(\tau^*)]}{(Q_{ГВС} \cdot B \cdot \beta)}$$

где: $\tau^* = \frac{\tau \cdot (Q_{ГВС} \cdot B \cdot \beta)}{\theta}$ – безразмерное время тепловой инерции.

Данное уравнение является основой алгоритма математического моделирования работы УСК-ГВС. Алгоритм модели заложен в программный комплекс расчета ТНУ в системах централизованного теплоснабжения.

В главе 3 представлено экспериментальное исследование работы ТНУ в системе отопления корпуса «Э», ее оптимизация, а также определение степени влияния ТНУ на режим работы и технико-экономические показатели ТЭЦ.

Подтверждение достоверности модели проводилось на экспериментальной системе теплоснабжения. Экспериментальная система представляет собой блок ТНУ, подключенный в локализованный участок системы отопления корпуса «Э», включающий одно охлаждаемое помещение «А» моделирующее охлаждаемое здание. Для проверки модели на достоверность расчетов температуры в здании без ТНУ, в экспериментальную систему включено неохлаждаемое помещение «В», не имеющее прямой связи с помещением «А», но обладающее схожими характеристиками и находящееся в тех же климатических условиях, т.е. на той же стороне здания.

Проведенные исследования показали, что показатель COP полученный в результате вычисления эмпирической зависимости, полученной в ходе теоретического моделирования работы системы, имеет среднеквадратичное отклонение

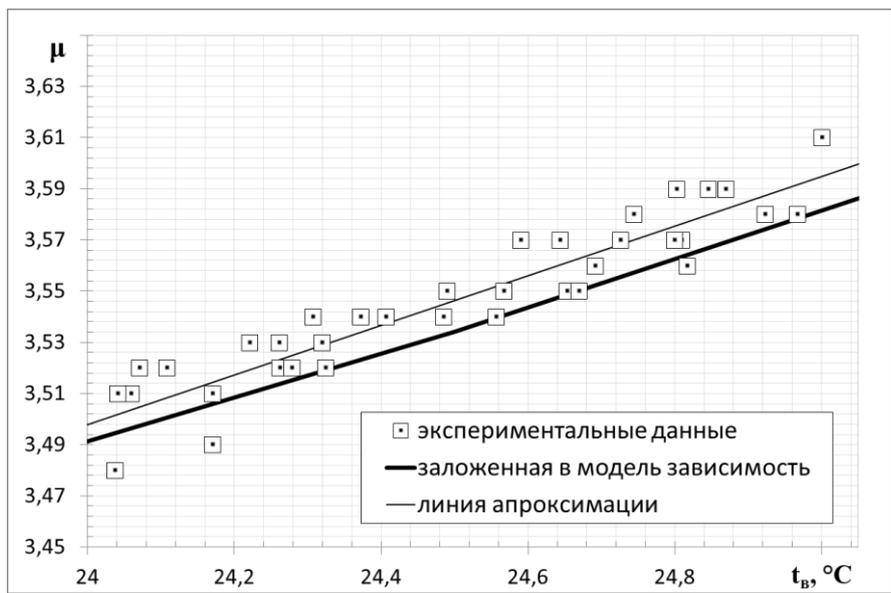


Рисунок 4. Зависимость COP от температуры воздуха

от экспериментальных значений COP 0,016, максимальная абсолютная погрешность составила 0,03. Данное значение находится в пределах абсолютной погрешности экспериментальных данных, составившей 0,04, что свидетельствует о достоверности полученной зависимости.

Зависимость COP от температуры воздуха представлена на рисунке 4.

Расчеты температуры воздуха на основании математической модели проводились при условии, что температура наружного воздуха и энергетическая освещенность приняты как истинные параметры, замеряемые соответствующим оборудованием (Рисунок 5).

Среднеквадратичное отклонение расчётной температуры от температуры, полученной экспериментально, составило $0,107^{\circ}\text{C}$ для помещения «А» и $0,108^{\circ}\text{C}$ для помещения «В», что не превышает абсолютную погрешности экспериментальных измерений, которая составила $0,2^{\circ}\text{C}$ и подтверждает достоверность результатов, полученных при математическом моделировании.

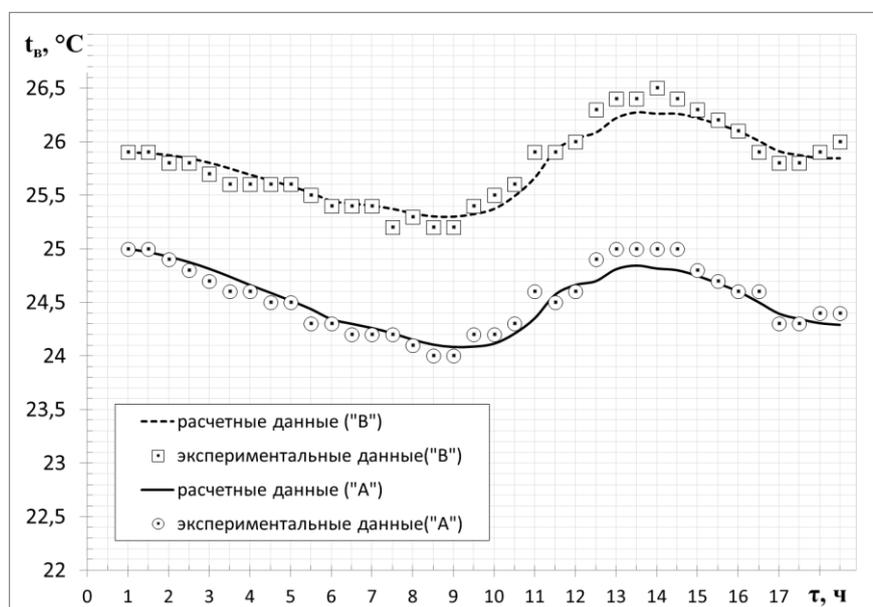


Рисунок 5. Изменение температуры воздуха в течение эксперимента

Проведение эксперимента позволило подтвердить достоверность математической модели, что дает возможность использовать модель для определения необходимых параметров системы и расчета ее эффективности.

Однако модель позволяет рассчитать эффективность разработки при известном составе оборудования конкретного потребителя, но не позволяет достоверно оценить максимальную эффективность

перспективного внедрения множества УСК-ГВС в систему теплоснабжения. Это объясняется отсутствием конкретных рекомендаций для выбора циркуляционного насоса системы отопления работающей в режиме охлаждения.

Циркуляционный насос является оборудованием, которое необходимо выбрать исходя из множества исходных данных для поддержания определенного расхода в системе отопления. Расход теплоносителя оказывает влияние на мощность насоса, на эффективность теплообмена в отопительных приборах и испарителе ТНУ (изменяя тем самым COP установки в целом), на нагрузку системы кондиционирования, а также влияет на текущие и капитальные затраты УСК-ГВС. Следовательно, выбор насосов без учета вышеперечисленных факторов не может быть приемлемым вариантом при оценке системной эффектив-

ности, поскольку заведомо приведет к искажению результатов.

В связи с этим предложено мероприятие по определению рабочих параметров циркуляционного насоса системы.

Поскольку при определении рабочих параметров циркуляционного насоса необходимо учесть изменение технических характеристик различного оборудования с изменением текущих издержек, а также капитальные затраты, то расчеты целесообразно проводить по условию минимальных дисконтированных затрат (ΔZ) при различных значениях расхода в системе отопления за расчетный период.

Целевая функция для определения расхода, при использовании уравнения ΔZ , имеет следующий вид:

$$\begin{cases} G_{C.O.}^{opt} = \lim_{\Delta Z \rightarrow \min} f(\Delta Z) \\ \Delta Z = \sum_{i=1}^2 K_i + (\sum_{j=1}^5 I_j - I_0) \cdot (1 + \alpha) \\ G_{C.O.}^{\min} < G_{C.O.}^{opt} < G_{C.O.}^{\max} \\ Q_{ГВС} = const, \end{cases}$$

где: I_0 – эксплуатационные издержки без УСК-ГВС, руб./год; I_1 – эксплуатационные издержки от работы ТНУ, руб./год; I_2 – эксплуатационные издержки от работы циркуляционного насоса, руб./год; I_3 – эксплуатационные издержки от компенсации нагрузки ГВС, руб./год; I_4 – эксплуатационные издержки от работы оборудования для кондиционирования воздуха, руб./год; I_5 – прочие эксплуатационные издержки, включающие издержки от потерь тепла в трубопроводах, от работы насоса бака-аккумулятора и т.д. не зависящие от расхода теплоносителя в системе отопления, руб./год.; K_1 – общие капитальные затраты, не зависящие от расхода теплоносителя, включающие затраты на ТНУ, бак аккумулятор, монтажные работы и т.д. руб.; K_2 – капитальные затраты на циркуляционный насос и его установку, руб.; α – дисконтирующий множитель, год⁻¹; $G_{C.O.}$ – расход в системе отопления, т/ч; $G_{C.O.}^{\min}, G_{C.O.}^{\max}$ – минимальный и максимальный допустимые расходы в системе отопления, т/ч; $G_{C.O.}^{opt}$ – оптимальный расход теплоносителя в системе отопления здания, т/ч.

Используя представленную функцию, произведен расчет рабочего расхода циркуляционного насоса УСК-ГВС для корпуса «Э» Забайкальского государственного университета.

Согласно характеристикам оборудования и данным модели, оптимальный расход теплоносителя на систему отопления составит 14,1 т/ч, при расходе в зимнее время – 20 т/ч.

При оптимальном расходе теплоносителя, коэффициент преобразования ТНУ в среднем составит 3,68. Для остальных потребителей города Читы COP в среднем составит 3,2. Данный показатель находится выше нижнего предела эффективности, за который принято считать COP равный 2,5, и располагается на уровне классических проектов использующих ТНУ.

Условием успешного внедрения системы компенсации нагрузки ГВС является исключение непреднамеренного снижения эффективности ТЭЦ, что ведет к необходимости рассмотреть соответствующую методику расчета технико-

экономических показателей эксплуатации ТЭЦ с учетом изменения режима отпуска теплоты.

Методика расчета эффективности системы «ТЭЦ-потребитель» с УСК-ГВС (Рисунок 6) основывается на стандартной методике определения технико-экономических показателей с использованием физического метода разделения суммарного расхода условного топлива между теплотой и электрической энергией. Основным отличием от базовой методики является введение низкопотенциального источника теплоты в тепловой баланс станции.

Согласно методике источник теплоснабжения производит и отпускает потребителю теплоту в необходимом для него количестве, при этом ТНУ включен в процесс производства, и весь полученный эффект от использования низкопотенциального источника теплоты в полном объеме относится к источнику.

УСК-ГВС потребляет из тепловой сети только ту часть теплоты, которую невозможно покрыть из низкопотенциального источника вследствие ограниченных возможностей системы отопления. Данная часть теплоты вырабатывается на ТЭЦ за счет органического топлива B_T^Q , с поправкой на потери теплоты в тепловой сети. Однако, в принятой схеме теплоснабжения, для производства теплоты затрачивается также и электрическая энергия, которую следует учесть отдельно в виде топливного эквивалента B_T^N и отнести к расходу топлива на производство теплоты.

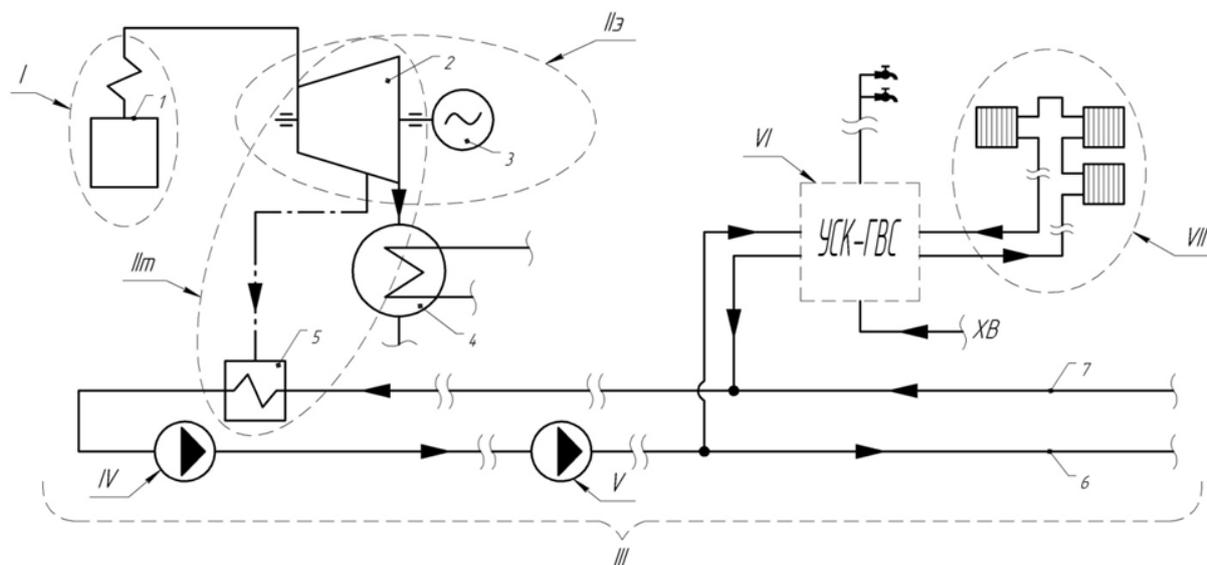


Рисунок 6. Условная схема комплекса «ТЭЦ-потребитель» с УСК-ГВС:

I – котельный цех, IIа – часть станции, условно отвечающая за выработку электроэнергии, IIб – часть станции, условно отвечающая за выработку теплоты, III – теплосеть, IV – сетевые насосы, V – повысительные насосы, VI – УСК-ГВС, VII – система отопления потребителя, 1 – котельный агрегат, 2 – турбоагрегат, 3 – генератор, 4 – конденсатор, 5 – сетевая подогревательная установка, 6 – подающий трубопровод, 7 – обратный трубопровод.

Таким образом, удельный расход условного топлива на производство теплоты составит:

$$b_T^{\delta p} = \frac{B_T^{\Sigma}}{Q_{ГВС}^{omn.}},$$

где: $B_T^{\Sigma} = f(B_T^Q, B_T^N)$ – количество топлива, затраченное на производство теплоты за отчетный период, кг; $Q_{ГВС}^{omn.} = f(Q_{ГВС})$ – количество теплоты, отпущенное на нужды ГВС за отчетный период, Гкал;

Особого внимания, при данном подходе, требует расчет удельного расхода условного топлива на выработку электроэнергии. Это обусловлено влиянием компенсации нагрузки ГВС на баланс мощности в системе. Во-первых, возникает необходимость выработки дополнительной мощности для ТНУ и циркуляционных насосов УСК-ГВС. Во-вторых, сокращается потребляемая мощность оборудованием тепловых сетей и систем кондиционирования у потребителей. В-третьих, сокращается недовороботка мощности турбинами ТЭЦ.

Удельный расход условного топлива на производство электрической энергии рассчитывается:

$$b_{\Sigma}^{\delta p} = \frac{B_K^{\Sigma} - B_T^{\Sigma}}{W_{выр.}},$$

где: $B_K^{\Sigma} = f(Q_{ГВС}^{omn.}, N_{полн.})$ – полный расход условного топлива на ТЭЦ за отчетный период, г; $W_{выр.} = f(N_{полн.})$ – выработанная электроэнергия за отчетный период, кВт·ч; $N_{полн.}$ – полная мощность станции.

КПД использования топлива на ТЭЦ, с учетом тригенерации, примет вид:

$$\eta_{ТЭЦ(УСК)} = \frac{k_{\Sigma} \cdot W_{выр.} + Q_{ГВС}^{omn.} + Q_{НПИТ}}{B_K^{\Sigma} \cdot Q_p^H},$$

где: k_{Σ} – тепловой эквивалент выработанной электроэнергии, МДж/(кВт·ч); Q_p^H – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг; $Q_{НПИТ}$ – теплота, полученная из низкопотенциального источника, соответствующая полученному потребителем холоду, МВт.

Для получения численных значений приведенных выше показателей с целью подтверждения выводов об их изменении относительно показателей действующих систем теплоснабжения, а также для определения эффективности комплекса «ТЭЦ-потребитель» с УСК-ГВС произведен расчет технико-экономических показателей Читинской ТЭЦ-1, результаты которого сведены в таблицу 1.

Таблица 1. – Техничко-экономические показатели Читинской ТЭЦ-1.

Вариант системы	Мощность ТЭЦ, МВт	Нагрузка ГВС, МВт	Расхода пара на турбины, кг/с	Расход топлива, кг/с	$b_T^{\delta p}$, кг.у.т./Гкал	$b_{\Sigma}^{\delta p}$, г/(кВт·ч)	$\eta_{ТЭЦ}$, %
Без модернизации	351,00	107,00	373,15	36,5	161,8	314,60	46,70
Со 100% модернизацией	357,03	107,00	357,47	34,93	139,0	311,91	50,23

Дополнительная мощность, в размере 6,03 МВт, которую необходимо поддерживать турбинами Читинской ТЭЦ-1 в случае перехода на УСК-ГВС, определена как мощность оборудования УСК-ГВС (23 МВт) за вычетом высвобожденной мощности систем кондиционирования (15,623 МВт) и мощности насосов в системе теплоснабжения (1,35 МВт). Графически перераспределение мощности можно представить в виде гистограммы, рисунок 7.

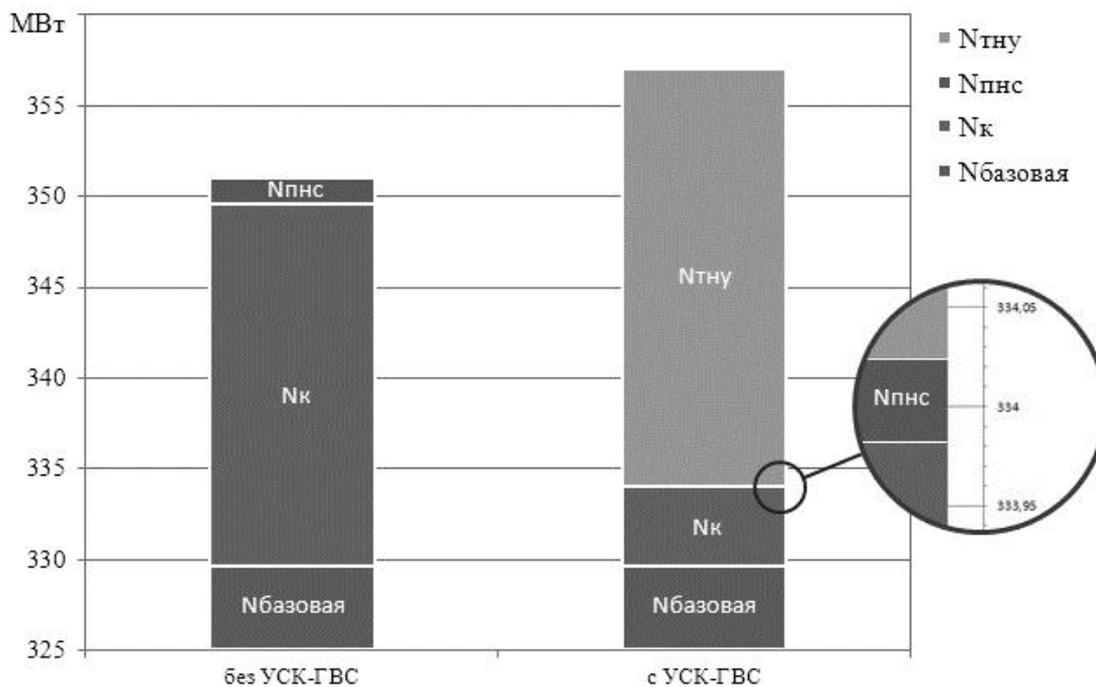


Рисунок 6. Перераспределение мощности при модернизации системы теплоснабжения Читинской ТЭЦ-1:

$N_{тну}$ – мощность, необходимая для работы ТНУ и циркуляционных насосов УСК-ГВС; $N_{пнс}$ – мощность, необходимая для работа насосов ПНС и источника теплоснабжения; N_k – мощность, затрачиваемая на снабжение систем кондиционирования; $N_{базовая}$ – мощность, необходимая для снабжения потребителей электрической энергией и независящая от режима теплоснабжения.

Благодаря снижению недовыработки мощности, вследствие частичного закрытия теплофикационных отборов, бóльшая мощность поддерживается меньшим расходом пара, что позволяет сократить расход топлива, а сохранение при этом теплофикационной мощности за счет ТНУ позволяет снизить удельные показатели.

Согласно методике внедрение УСК-ГВС положительно сказывается на технико-экономических показателях ТЭЦ, позволяя сокращать удельные показатели расходов топлива, как на выработку теплоты, так и на выработку электроэнергии. Для условий Читинской ТЭЦ-1 100% модернизация потребителей позволит снизить b_T^{op} с 161,6 кг.у.т./Гкал до 138,98 кг.у.т./Гкал, b_9^{op} с 314,60 г/(кВт·ч) до 311,91 г/(кВт·ч). В абсолютных величинах внедрение УСК-ГВС позволит сэкономить до 17625,6 т.у.т за межотопительный период (средняя продолжительность периода для г. Читы составляет 3200 ч.). При этом, помимо нагрузки ГВС, потребитель обеспечивается холодом.

В главе 4 дается описание практики внедрения УСК-ГВС.

УСК-ГВС, оптимизированная при помощи описанного способа, с зимним расширением, для перевода системы отопления в дежурный режим, введена в опытно-практическую эксплуатацию на тепловом пункте корпуса «Э» Забайкальского государственного университета.

ТНУ внедрена в существующую схему теплоснабжения корпуса «Э» с учетом возможности смены режима работы (Рисунок 8).

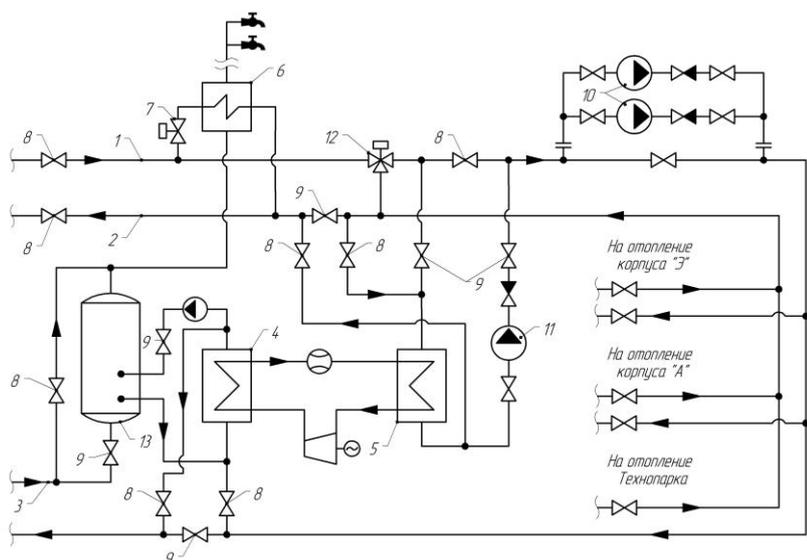


Рисунок 8. Принципиальная схема теплового пункта корпуса «Э»:

1 – подающий трубопровод, 2 – обратный трубопровод, 3 – трубопровод воды идущей на ГВС, 4 – конденсатор, совмещенный с баком-аккумулятором, 5 – испаритель, 6 – теплообменник ГВС, 7, 8, 9 – запорная арматура, 10 – основной циркуляционный насос, 11 – дополнительный циркуляционный насос, 12 – трехходовой клапан, 13 – бак-аккумулятор.

модернизацию системы отопления окупаются менее чем за 1 год, с последующей экономией 412 тыс. руб. в год.

Такой эффект объясняется особенностями летнего режима теплоснабжения, при котором 40% теплоты, потребляемой корпусом «Э», приходится на тепловые потери теплосетей, в пределах границ эксплуатационной ответственности.

Эффект от работы УСК-ГВС совместно с режимом дежурного отопления приведен в таблице 2.

Влияние на ТЭЦ в данном случае минимально, поскольку рассматривается один потребитель из более чем 2800 узлов ввода, находящихся на балансе Читинской ТЭЦ-1.

Расширение УСК-ГВС предназначено для возможности использования принципов дежурного отопления в здании, в котором имеется локальное помещение с круглосуточным пребыванием людей.

Расширение модуля в зимнее время позволяет осуществить догрев теплоносителя, идущего в данное помещение, за счет теплоты обратной сетевой воды.

Согласно выполненным исследованиям, в летнее время затраты при использовании стандартной схемы ГВС по меньшей мере в 7 раз превышают затраты при использовании УСК-ГВС, в связи с чем, капитальные затраты на

Таблица 2. – Основные результаты. (Для уровня цен на III-кв. 2016г.)

№ п/п	Наименование	Летний режим	Зимний режим	Одновременное внедрение
Для потребителя				
1	Экономия тепловой энергии, Гкал	112,9	293,8	406,7
2	Затраты электрической энергии, кВт.	19555,1	14280	16235,1
3	Экономия в денежном эквиваленте, руб./год	412737	1201159	1613896
4	Капитальные затраты, руб.	300000	27000*	327000
5	Срок окупаемости, год.	0,73	0,02	0,2
Для источника				
6	Экономия условного топлива, т.у.т./год	11,1	34,9	46
7	Экономия в денежном эквиваленте, руб./год	21120	66059	87180

* – капитальные затраты на расширение приняты при условии наличия установленной УСК-ГВС.

Таким образом, переход от стандартной схемы ГВС к схеме с использованием ТНУ для корпуса «Э», позволил выгодно компенсировать нагрузку ГВС и избежать значительных тепловых потерь.

С целью оценки сроков окупаемости при различном соотношении тарифов на тепловую и электрическую энергию проведен анализ экономичности системы для двадцати пяти крупных городов России, представленный в виде графика на рисунке 9.

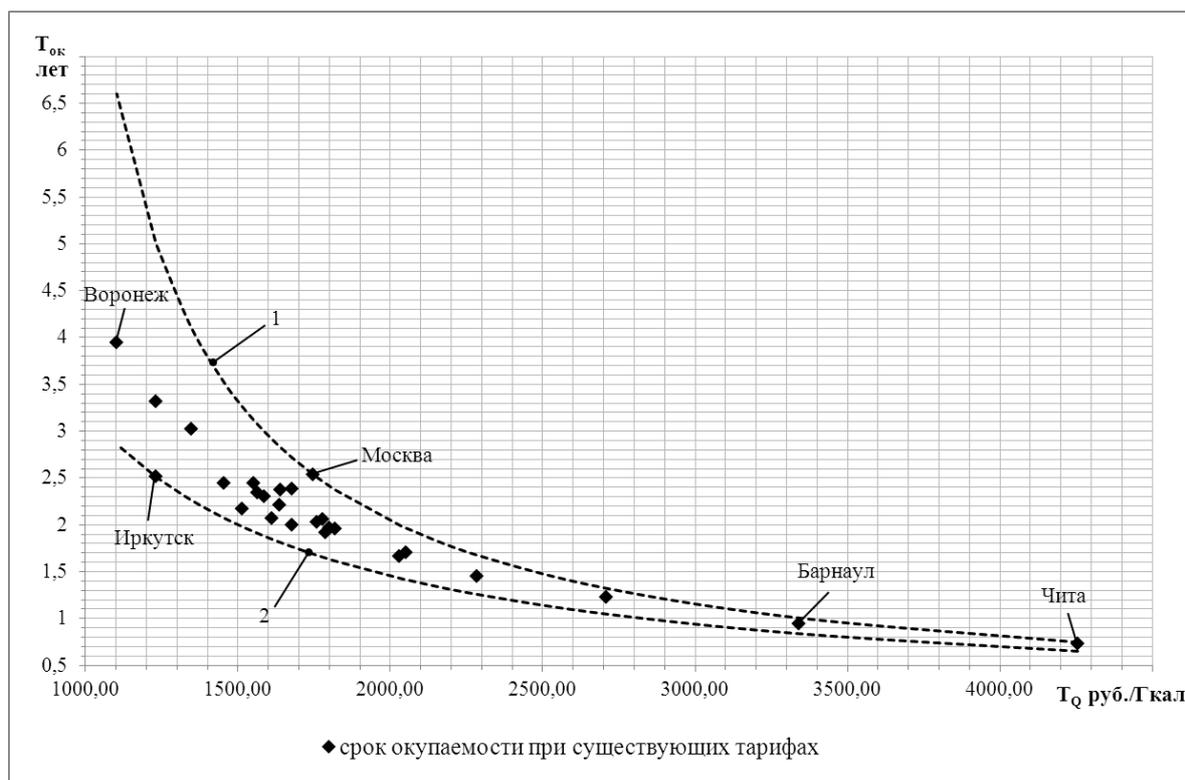


Рисунок 9. Анализ сроков окупаемости УСК-ГВС для различных городов России:

1 – линия отображающая зависимость срока окупаемости от тарифа на тепловую энергию при максимальном тарифе на электроэнергию, 2 – линия отображающая зависимость срока окупаемости от тарифа на тепловую энергию при минимальном тарифе на электроэнергию.

Как видно из графика, для большинства городов, представленных в выборке, характерен срок окупаемости менее 2,5 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы сводятся к следующему:

1. Анализ современной проблематики ограниченного использования ТНУ в отрасли теплоснабжения показал, что применение ТНУ для теплоснабжения является одним из наиболее актуальных способов энергосбережения со значительным потенциалом возможного дальнейшего развития. При этом наиболее перспективное направление их внедрения, для успешной реализации программы энергосбережения в России, включает в себя совершенствование существующих СЦТ, с целью эффективной работы совместно с ТЭЦ.

2. Разработан способ ГВС потребителей, основанный на внедрении ТНУ в систему теплоснабжения здания, с использованием системы отопления как источника низкопотенциальной теплоты в неотапительный период. Способ позволяет получить высокие значения коэффициента преобразования, при компактности, автономности по теплоснабжению и минимальных затратах на внедрение. Также отличительной особенностью способа является утилизация избыточного тепла помещений в летний период, что позволяет охлаждать помещения, используя лишнее тепло для нужд ГВС.

3. Разработана малозатратная УСК-ГВС, позволяющая реализовать способ для широкого круга потребителей, вне зависимости от схемы теплового узла здания, сохраняя при этом все преимущества базового способа.

4. Разработана нестационарная математическая модель работы УСК-ГВС, позволяющая оценить степень влияния ТНУ на температурный режим здания, основанная на полученной эмпирической зависимости COP от температуры внутреннего воздуха. Алгоритм математической модели заложен в программный комплекс расчета ТНУ в системах централизованного теплоснабжения.

5. Проведенные экспериментальные исследования позволили подтвердить достоверность полученной в ходе теоретического обоснования зависимости COP от температуры воздуха, а также достоверность расчетов математической модели.

6. Разработан способ определения рабочих параметров циркуляционного насоса для предложенной системы. Для корпуса «Э» оптимальный расход теплоносителя на систему отопления составил 14,1 т/ч, при расходе в зимнее время – 20 т/ч. При данном расходе теплоносителя, коэффициент преобразования ТНУ в среднем составил 3,68. Для остальных потребителей города Читы COP в среднем составил 3,2.

7. Предложена методика расчета технико-экономических показателей ТЭЦ работающих с УСК-ГВС. Для условий Читинской ТЭЦ-1 100% модернизация

потребителей позволит снизить b_T^{op} с 161,6 кг.у.т./Гкал до 138,98 кг.у.т./Гкал, b_3^{op} с 314,60 г/(кВт·ч) до 311,91 г/(кВт·ч). В абсолютных величинах внедрение УСК-ГВС позволит сэкономить до 17625,6 т.у.т за межотопительный период.

8. Универсальная система внедрена на тепловом пункте корпуса «Э» Забайкальского государственного университета, с учетом разработанного способа определения рабочих параметров циркуляционного насоса. Практика внедрения дала возможность получить технико-экономические данные, позволяющие считать внедрение системы целесообразным. По результатам исследований получено, что затраты при использовании стандартной схемы по меньшей мере в 7 раз превышают затраты при использовании ТНУ, в связи с чем, капитальные затраты на модернизацию системы отопления окупаются менее чем за 1 год, с последующей экономией 412 тыс. руб. в год.

9. Проведен анализ изменения сроков окупаемости УСК-ГВС в зависимости от изменения тарифов на тепловую и электрическую энергии для 25 крупных городов России. Для большинства городов, представленных в выборке, получен срок окупаемости менее 2,5 лет.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

Ведущие рецензируемые научные журналы из перечня ВАК

1. Батухтин А.Г. Анализ методов повышения эффективности систем централизованного теплоснабжения / А.Г. Батухтин, В.В. Пинигин, М.В. Кобылкин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2012. – № 3. – С. 45–51.

2. Батухтин А.Г. Повышение эффективности современных систем теплоснабжения / А.Г. Батухтин, С.А. Иванов, М.В. Кобылкин, А.В. Миткус // Вестник ЗабГУ – 2013. – №9(100). – С.112-116

3. Батухтин А.Г. Применение водяных теплонасосных установок с неклассическим источником низкопотенциальной энергии для компенсации нагрузки горячего водоснабжения / А.Г. Батухтин, С.А. Иванов, М.В. Кобылкин // Промышленная энергетика. –2015. – № 3. – С. 18-21.

4. Батухтин А.Г. Энергоэффективная система теплоснабжения. Задачи и проблемы математического моделирования / А.Г. Батухтин, С.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин, П.Г. Сафронов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 2. – С. 157-160.

5. Батухтин А.Г. Применение тепловых насосов для развития теплофикации / А.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин, М.Г. Барановская // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. –2016. –№ 1 (238). –С. 28-36. DOI: 10.5862/JEST.238.3

Патенты

6. Патент 2561846 РФ, МПК F24D 17/02. Способ горячего водоснабжения / А.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин, С.Г. Батухтин (РФ). – 2013128513/12; заявл. 21.06.2013; опубл. 10.09.2015, Бюл. №25, – 5 с.

7. Патент 2527186 РФ, МПК F24D 10/00. Система автоматического регулирования отопления здания / А.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин, М.С. Басс (РФ). – №2013107651/08; заявл. 20.02.2013; опубл. 27.08.2014, Бюл. №24, – 6 с.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

8. Свид. 2016610577 Российская Федерация. Свидетельство об официальной государственной регистрации программ для ЭВМ. Программа расчета ТНУ в систе-

мах централизованного теплоснабжения / А.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин, Ю.В. Дорфман, М.Г. Барановская (РФ). – №2016610577; заявл. 25.11.2015; опубл. 14.01.2016, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

Статьи в трудах, материалах международных и всероссийских конференций, в сборниках научных трудов

9. Кобылкин М.В. Оптимизация работы ТЭС / М.В. Кобылкин, А.Г. Батухтин, П.А. Разманов, М.А. Разманова // XII Международная научно-практическая конференция «Кулагинские чтения». – Чита: ЗабГУ, – 2012. – Ч. I. – 168 с. – С. 126-128.

10. Батухтин А.Г. Современные способы модернизации существующих систем теплоснабжения / А.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин, А.В. Миткус, В.В. Петин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – №7 (14) – Часть 2 – С.40–45.

11. Батухтин А.Г. Перспективные технологии энергосбережения с использованием тепловых насосов / А.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин, М.Е. Минькович // Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность: материалы XIX Всероссийской научно-технической конференции. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ООО «Скан», – 2013. – 851 с. – С. 218-220.

12. Батухтин А.Г. Технологии энергосбережения в современных системах теплоснабжения / А.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин, М.Е. Минькович // Энергетика в современном мире: VI Международная заочная научно-практическая конференция – Чита: ЗабГУ, – 2013. – 145 с. – С. 74-78.

13. Кобылкин М.В. Перспективное направление внедрения тепловых насосов / М.В. Кобылкин, С.Г. Батухтин, К.А. Кубряков // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 5-1 (24). – С. 74-75.

14. Батухтин А.Г. Тепловые насосы в российских системах отопления. Проблемы и перспективные решения / А.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин // Nauka-Rastudent.ru. – 2014. – № 11 (11). – С. 42.

15. Батухтин А.Г. Управление расходом теплоносителя для теплоснабжения потребителей / А.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин // Новости теплоснабжения. – 2014. – № 11. – 56 с. – С. 32–35

16. Батухтин А.Г. Краткий обзор современных технологических решений с применением тепловых насосов в системах отопления / А.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин // XIV Международная научно-практическая конференция «Кулагинские чтения». – Ч. I. – Чита: ЗабГУ, – 2014. – С. 106–111.

17. Батухтин А.Г. Применение теплонасосных установок в системах горячего водоснабжения и отопления / А.Г. Батухтин, С.А. Иванов, М.В. Кобылкин // XIV Международная научно-практическая конференция «Кулагинские чтения». – Ч. I. – Чита: ЗабГУ, – 2014. – С. 116–120.

18. Батухтин А.Г. Существующие технологии компенсации нагрузки ГВС с применением тепловых насосов / А.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин // Научные труды V Международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи – 214». – Том 2. – Томск: ТПУ, – 2014. – С. 517–519.

19. Батухтин А.Г. Метод повышения эффективности системы теплоснабжения / А.Г. Батухтин, С.Г. Батухтин, П.Г. Сафронов, М.В. Кобылкин // Nauka-Rastudent.ru. – 2015. – № 5 (17). – С. 43.

20. Батухтин А.Г. Современные технологии энергосбережения в комплексе «ТЭС-потребитель» / А.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин, С.Г. Батухтин, П.Г. Сафронов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 5-2 (36). – С. 20-23.

21. Кобылкин М.В. Моделирование нестационарного процесса изменения тем-

пературы внутреннего воздуха для здания, оборудованного теплонасосным модулем / М.В. Кобылкин, А.Г. Батухтин // Инновационные технологии в технике и образовании VII Международная научно-практическая конференция: сб. ст.. отв. ред. М. И. Мелихова. –2015. –С. 237-241.

22. Кобылкин М.В. Универсальная система компенсации нагрузки ГВС. Моделирование процесса теплоснабжения / М.В. Кобылкин, А.Г. Батухтин // Энергетика в современном мире сб. ст. VII Международная заоч. науч.-практич. конф.. под ред. Н. С. Кузнецовой. –2015. –С. 80-84.

23. Batukhtin A.G., Kobylkin M.V., Batukhtin S.G., Safronov P.G. Energy saving measures for public office buildings The Fifth International Conference on Eurasian scientific development Vienna, 2015. С. 115-118.

24. Кобылкин М.В. Тепловые насосы в комплексе «ТЭЦ-потребитель». Повышение энергетической эффективности административных зданий / М.В. Кобылкин // Nauka-Rastudent.ru. –2016. –№ 3. –С. 41.

25. Кобылкин М.В. Сохранение и развитие когенерации в условиях действующей политики «котельнизации» теплоэнергетической отрасли / М.В. Кобылкин, Ю.О. Риккер // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов XVI международная научно-практическая конференция: в 3 частях. –2016. –С. 164-168.

Отпечатано в ИСЭМ СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130
Заказ № 142, тираж 100 экз.