

На правах рукописи



**ЗАПОЛЬСКАЯ ИРИНА НИКОЛАЕВНА**

**ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДА НА ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ ОТ  
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ  
СИСТЕМУ ГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

Специальность 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Казань - 2022

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» на кафедре «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения»

Научный  
руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Ваньков Юрий Витальевич**

Официальные  
оппоненты: **Цветков Николай Александрович**, профессор кафедры «Теплогазоснабжение и инженерные системы в строительстве» ФГБОУ ВО "Томский государственный архитектурно-строительный университет", д.т.н, профессор.

**Самарин Олег Дмитриевич**, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ), к.т.н., доцент.

Ведущая  
организация: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»**

Защита состоится «26» апреля 2022г. в 11 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д212.082.06, созданного на базе при ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по адресу: 420066 г.Казань, ул. Красносельская, 51, ауд. Д.- 224, тел./факс (843) 519-42-55.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, с указанием контактных данных и заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 420066 г.Казань, ул. Красносельская, 51, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.082.06

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» и на официальном сайте КГЭУ <http://www.kgeu.ru>.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Зиганшин Ш.Г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Анализ текущего состояния систем теплоснабжения городов России показал низкую эффективность и высокий уровень износа тепловых сетей. Причиной высокого износа является установившаяся сегодня система сдерживания темпов роста тарифов на коммунальные ресурсы без практики системного анализа самих значений тарифов.

Учитывая тот факт, что теплоснабжение является основной составляющей в системе жилищно-коммунального хозяйства, описанные выше проблемы непосредственно сказываются на конечном потребителе – населении в виде низкого качества оказываемых услуг по отоплению и ГВС, снижению надежности теплоснабжения, высоких тарифов на тепловые ресурсы.

Наибольшая проблема отмечается в городах с закрытой схемой горячего водоснабжения (ГВС), доля которых в Российской Федерации составляет более 50%. Возраст сетей теплоснабжения отмечается на уровне 38 лет и выше.

Одним из способов повышения эффективности системы теплоснабжения в таких городах является модернизация системы горячего водоснабжения путем установки индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) с индивидуальными водо-водяными подогревателями (ИВВП) непосредственно у потребителей горячей воды на абонентских узлах с последующей ликвидацией центральных тепловых пунктов (ЦТП) и сетей ГВС. При этом до конца не изучен эффект, получаемый в рамках проведенной модернизации энергетической системой в целом.

Для принятия решения муниципальными образованиями совместно с едиными теплоснабжающими организациями о переводе населенного пункта на горячее водоснабжение от ИВВП в целях повышения надежности системы ГВС при разработке схем теплоснабжения необходимы исследования и инструменты расчета ожидаемых последствий. Исходя из вышесказанного, тема диссертационного исследования является актуальной.

### **Степень научной разработанности проблемы.**

Вопросами повышения надежности работы энергетических систем, исследованием влияния технических решений на их эффективность занимаются многие ученые и эксперты энергетической отрасли. Ключевыми авторами в этой отрасли являются Соколов Е.Я., Николаев А.А., Зингер Н.М., Аксенов М.А. и др. На повышение надежности эксплуатации тепловых сетей и сетей ГВС посредством своевременного выявления дефектов на тепловых сетях, внедрение новых методов и типов изоляции трубопроводов, а также способов оценки их надежности, направлены научные исследования таких ученых, как Банников А.В., Родиев Л.В., Цыганкова Ю.С., Сенников В.В. и др. В работах таких ученых как Балабан-Ирменен Ю.В., Ланин И.С. Ахметова И.Г., Самарин О.Д., Звонарева Ю.Н., Смирнов В.В. раскрыты вопросы совершенствования и выявления потенциала энергосбережения энергетических систем, методы снижения тепловых потерь и теплоносителя в трубопроводах. Вопросы повышения качества горячего водоснабжения отражены в трудах Шарапова В.И., Ямлеевой Э.У, Гершковича В.Ф., Ливчака В.И., Шищенко В.В., задачи снижения теплопотребления на нужды

ГВС и отопления ставят в своих работах такие авторы, как Семенов В.Г., Цветков Н.А., Ротов П.В., Панфилов В.И. и др.

**Объект исследования** – система теплоснабжения города с закрытой схемой горячего водоснабжения с комбинированной выработкой электрической энергии.

**Предмет исследования** – способ модернизации системы горячего водоснабжения путем установки индивидуальных тепловых пунктов с водоводяными подогревателями у потребителей.

**Цель и задачи исследования.** Цель диссертационной работы заключается в оценке влияния модернизации системы горячего водоснабжения путем установки ИВВП в многоквартирных домах (МКД) на систему теплоснабжения городов Республики Татарстан.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ современного состояния системы теплоснабжения городов с закрытой системой горячего водоснабжения, определить проблемные вопросы.

2. Определить особенности перевода населенных пунктов на горячее водоснабжение от ИВВП.

3. Определить критерии оценки влияния перехода на горячее водоснабжение от ИВВП на систему теплоснабжения города.

4. Провести оценку влияния перехода на горячее водоснабжение от ИВВП по выбранным показателям на систему теплоснабжения города Казани в зоне действия единой теплоснабжающей компании АО «Татэнерго».

5. Разработать методику оценки влияния перехода на горячее водоснабжение от ИВВП на систему теплоснабжения города.

6. Провести апробацию методики оценки влияния перехода на горячее водоснабжение от ИВВП на систему теплоснабжения на примере городов Республики Татарстан с закрытой схемой горячего водоснабжения (Заинск, Нижнекамск).

**Научная новизна исследования:**

1. Определены основные критерии оценки влияния перевода системы ГВС с ЦТП на ИВВП на работу системы теплоснабжения города.

2. Получены и проанализированы новые данные по оценке эффективности перехода на ИВВП многоквартирными домами городов с закрытой схемой ГВС на примере г. Казани.

3. Определены коэффициенты эффективности, позволяющие оценить динамику ключевых показателей системы теплоснабжения городов после перевода системы ГВС на ИВВП.

4. Разработана методика оценки влияния модернизации системы теплоснабжения городов с закрытой схемой ГВС путем установки ИВВП с последующей ликвидацией ЦТП и сетей ГВС.

5. На основании разработанной методики определен алгоритм и зарегистрирован программный продукт «Transition2ITP», позволяющий оперативно произвести расчет влияния перехода на ИВВП на систему теплоснабжения города с закрытой схемой ГВС.

**Теоретическая значимость работы** заключается в том, что проведенные исследования позволили разработать методический подход оценки влияния перехода на горячее водоснабжение от ИВВП на систему теплоснабжения городов с закрытой схемой ГВС с комбинированной выработкой электрической энергии. Результаты работы могут быть рекомендованы к включению в электронную модель системы теплоснабжения города в виде отдельного раздела «Предложения по переводу городов с закрытой схемой горячего водоснабжения на ИТП», а также в методические указания по разработке схем теплоснабжения, утвержденные приказом Минэнерго России № 212 от 05.03.2019г.

**Практическая значимость работы.**

1. Проведенное исследование оценки влияния перехода на горячее водоснабжение от ИВВП на систему теплоснабжения может использоваться городами с закрытой схемой теплоснабжения при оценке энергетического и экономического эффекта от модернизации системы горячего водоснабжения путем установки ИВВП и ликвидацией ЦТП и сетей ГВС.

2. Разработанная методика расчета эффективности системы теплоснабжения города при переходе на ГВС от ИВВП использовалась при проведении оптимизации работы системы теплоснабжения АО «Татэнерго» г. Заинск, при разработке плана ликвидации ЦТП и перехода на ИВВП ООО «БашРТС» по системе теплоснабжения в г. Уфа Республики Башкортостан, а также ОАО «ВКиЭХ» по системе теплоснабжения г. Нижнекамск Республики Татарстан (Акты внедрения).

3. Зарегистрирован программный продукт, разработанный на основании предложенных автором алгоритма и методики оценки эффективности системы теплоснабжения города при переходе на горячее водоснабжение от ИВВП (Свидетельство о регистрации).

4. Результаты работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по направлению подготовки бакалавров и магистров «Теплоэнергетика и теплотехника» при чтении лекции по дисциплинам «Потребители теплоты предприятий и объектов ЖКХ», «Надежность установок и систем теплоснабжения» (Акт использования результатов диссертации).

**На защиту выносятся**

1. Основные критерии оценки влияния перевода системы ГВС с ЦТП на ИВВП непосредственно на работу системы теплоснабжения города.

2. Результаты экспериментальной оценки влияния перехода на горячее водоснабжение от ИВВП по выбранным показателям на систему теплоснабжения города Казани на примере единой теплоснабжающей организации АО «Татэнерго».

3. Разработанная методика оценки влияния перевода системы ГВС на работу системы теплоснабжения города.

4. Разработанная методика расчета эффективности работы системы теплоснабжения города при переходе на ИВВП.

5. Результаты апробации предложенной методики расчета эффективности перевода на горячее водоснабжение от ИВВП на примере системы теплоснабжения городов Республики Татарстан (Заинск, Нижнекамск).

**Методология и методы исследования.** В процессе исследования применялись теоретические и экспериментальные методы, в том числе методы эмпирического исследования, математической статистики, экспертных оценок, а также общенаучные методы исследования в рамках сравнительного, логического, статистического анализа.

База данных, принятая за основу исследования, состоит из статистических и отчетных информационных данных, материалов, характеризующих производственно-хозяйственную деятельность теплоснабжающих организаций Республики Татарстан, экспертные заключения, законодательные акты и другие нормативно-правовые документы.

**Достоверность и обоснованность результатов работы** обусловлены применением стандартных методик расчетов показателей теплоснабжения с применением современных прикладных программных продуктов и справочных данных, использованием аттестованной измерительной техники.

**Личное участие автора** заключается в определении целей и задач исследования, выборе методологической и информационной базы, оценке влияния модернизации системы горячего водоснабжения на технико-экономические показатели работы энергетической системы, выработке соответствующего алгоритма расчета и методики определения влияния перехода на горячее водоснабжение от индивидуальных тепловых пунктов с ИВВП на финансово-экономические показатели работы системы теплоснабжения города с закрытой схемой ГВС.

Основные результаты получены лично автором под руководством д.т.н., профессора Ванькова Ю.В.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** По тематике и методам исследования диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.14.01 – «Энергетические системы и комплексы» в части пункта 3 - использование на этапе проектирования и в период эксплуатации методов математического моделирования с целью исследования и оптимизации структуры и параметров энергетических систем и комплексов и происходящих в системах энергетических процессов, пункта 5 - разработка и исследование в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве тепловой и электрической энергии, при транспортировке теплоты и энергоносителей в энергетических системах и комплексах, пункта 6 - исследование влияния технических решений, принимаемых при создании и эксплуатации энергетических систем и комплексов, на их финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экономику природопользования

**Апробация работы.** Основные положения работы, результаты теоретических и расчетных исследований обсуждались на Научно-технической конференции «Smart Energy System 2019», SES2019» ( г. Казань, 2019г.); Российском энергетическом форуме – 2019г. (г.Уфа, 2019г.); Международной конференции «International Russian Automation Conference (RusAutoCon)» (г. Сочи, 2020г.);

Международном научном семинаре им. Ю.Н. Руденко «Методические вопросы исследования надежности больших энергетических систем», 92-м научном заседании «Надежность энергоснабжения потребителей в условиях их цифровизации» (г. Казань, 2020г.); XXV Всероссийском аспирантско-магистерском научном семинаре, посвященном Дню энергетика (г. Казань, 2021г.).

**Публикации.** По результатам диссертационного исследования опубликовано 10 работ, в том числе 5 статей в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России, 2 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных цитирования Scopus.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 194 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения. Работа содержит 46 рисунков и 24 таблицы, список использованных источников содержит 150 наименования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и задачи исследования, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также основные положения, выносимые на защиту, проведена краткая характеристика работы.

**В первой главе** проведен анализ современного состояния систем теплоснабжения в городах с закрытой схемой горячего водоснабжения в России и за рубежом. Отмечено, что несмотря на большое количество федеральных и региональных программ, направленных на повышение эффективности и надежности отрасли теплоснабжения, текущее состояние отрасли неудовлетворительное. Наиболее высокий возраст трубопроводов, как следствие, высокий уровень повреждаемости, зафиксирован в регионах с закрытой схемой приготовления горячей воды, более 38 лет (при среднем сроке службы 25 лет). Анализ состояния тепловых сетей и сетей ГВС по РФ, в том числе по Республике Татарстан показал, что наибольший уровень износа приходится на сети горячего водоснабжения (более 70%), в результате повреждений которых оказывается негативное влияние на квартальные сети отопления.

Проведено исследование существующих научно-технических решений организации горячего водоснабжения в городах с закрытой схемой ГВС в России и за рубежом, существующих проблем и способов их решения. Показана целесообразность модернизации системы ГВС путем установки ИТП с ИВВП непосредственно на объекте потребления с последующей ликвидацией ЦТП и сетей ГВС. Определены основные критерии оценки влияния перехода на ИВВП на систему теплоснабжения города.

**Во второй главе** представлены результаты исследований влияния модернизации системы ГВС путем установки ИВВП на объектах горячего водоснабжения на систему теплоснабжения города с закрытой схемой ГВС на примере города Казани.

Проведена оценка влияния данного подхода на основные показатели работы источников теплоснабжения, тепловых сетей, на потребление тепловой энергии и расхода сетевой воды на ГВС в МКД.

Основной задачей является доказательство существующего энергетического эффекта, получаемого системой теплоснабжения города с закрытой схемой ГВС на примере г. Казани, от перехода на ГВС от ИВВП.

Исследование проводилось на основании полученных данных в рамках реализованной программы по переходу с централизованной системы горячего водоснабжения на ИВВП по производству горячей воды в г. Казани в зоне действия ЕТО-1 (АО «Татэнерго»). База данных для исследования по тепловым сетям состояла из следующих показателей: потери тепловой энергии и теплоносителя в сетях отопления и сетях ГВС, данные о повреждаемости сетей, уровне износа и замены тепловых сетей и сетей ГВС, потребление электрической энергии на перекачку теплоносителя на нужды ГВС по 3 городам Республики Татарстан (Казань, Набережные Челны, Нижнекамск) за период с 2014 по 2021гг. Данные получены из данных, отраженных в схемах теплоснабжения городов, а также из информации, представленной едиными теплоснабжающими организациями.

База данных для исследования потребления тепловой энергии многоквартирными домами включала в себя показатели: расхода холодной воды, тепловой энергии как на нужды отопления, так и на нужды горячего водоснабжения; характеристики многоквартирных домов (год постройки, этажность, площадь, данные по капитальному ремонту внутридомовых сетей теплоснабжения, количества проживающих и пр.); почасовое потребление тепловой энергии теплоносителя; тарифы на тепловую энергию и теплоноситель по МКД г. Казани, перешедших на ИВВП за период с 2014 по 2021 гг. Данные были получены посредством специализированной биллинговой программы. Для исследования влияния перехода на ИВВП на источники теплоснабжения использовались данные из схем теплоснабжения городов.

Проведен расчет снижения потерь тепловой энергии и теплоносителя. Согласно проведенным расчетам снижение потерь тепловой энергии в сетях ГВС с учетом роста потерь в сетях отопления после перехода на круглогодичное использование сетей отопления составляет 5% в год, при 100% снижении потерь теплоносителя в сетях ГВС. Исключение из системы теплоснабжения сетей ГВС также позволило повысить уровень обновления сетей отопления (4,5% в год) и снизить уровень повреждаемости в тепловых сетях и сетях ГВС до 0,37 повреждений на 1 п. км.

Кроме того, отмечается снижение удельных расходов электрической энергии на транспортировку теплоносителя сетевой воды на 40% и снижение текущих эксплуатационных затрат на 4% в год.

Анализ динамики потребления тепловой энергии на нужды ГВС проводился путем сравнения потребления МКД за 2015 и 2021гг. (до и после установки ИВВП) в летние периоды (июнь-август) в целях нивелирования влияния расхода тепловой энергии на отопление. Анализ изменения теплопотребления был проведен по двум параметрам: потребление тепловой энергии на подогрев холодной воды и расход холодной воды на нужды ГВС.

В выборке участвовали многоквартирные дома г. Казани, в которых потребление горячей воды в заданном периоде фиксировалось приборами учета. Исключены дома с резким отклонением потребления тепловой энергии или холодной воды на



ГВС более чем на 100%. Общее количество МКД, попавших в выборочную совокупность, составило 720.

В целом по всей группе анализируемых объектов было отмечено снижение потребления тепловых ресурсов за летний период 2021г. по сравнению с аналогичным периодом 2015г. на 11 тыс. Гкал (19,8%). При этом изменение потребления холодной воды было несущественным – снижение составило около 1%. Отсутствие динамики в потреблении холодной воды исключает снижение потребления тепловой энергии за счет уменьшения фактического расхода горячей воды на нужды потребителей.

В стоимостном выражении снижение потребления тепловой энергии на нужды ГВС составило 22 млн. руб., в том числе за счет снижения платежей за тепловую энергию 21,9 млн. руб.

На диаграмме 1 представлено изменение теплотребления на 1 квадратный метр в Гкал после установки ИВВП в домах в среднем за месяц в 2021г. по сравнению с 2015г.

Из 720 МКД в 511 (или 71%) домах наблюдается снижение расхода тепловой энергии на подогрев холодной воды и, как следствие, снижение потребления тепловой энергии на 0,00117 Гкал на 1 м<sup>2</sup>. 131 дом (18%) не получили существенного эффекта. И только по 78 домам (11%) наблюдается прирост потребления тепловой энергии на 0,00067 Гкал на 1 м<sup>2</sup>.

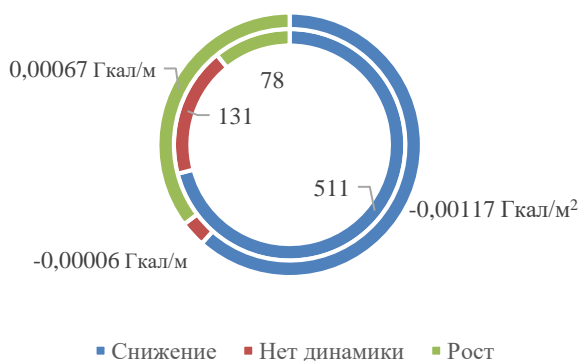


Диаграмма 1. Структура МКД по динамике теплотребления после перехода на ИВВП с отражением изменения теплотребления в Гкал на 1 м<sup>2</sup> в месяц

Влияние на изменение потребления тепловой энергии иных внешних факторов (этажность, расположение МКД, удаленность от ЦТП, площадь помещений) не установлено.

Снижение потребления тепловой энергии вызвано регулировкой температуры горячей воды путем установки оптимальных значений в соответствии с требованиями законодательства. Данный факт был доказан путем проведения численного эксперимента по изменению температуры горячей воды.

Эксперимент проведен в соответствии с правилами расчета потребления тепловой энергии согласно п. 48 Методики осуществления коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя (утвержденная Приказом Министра России от 17.03.2014 N 99/пр).

В соответствии с формулами данной методики был смоделирован температурный режим путем фиксации температуры в дневное и ночное время на примере многоквартирного дома по адресу: г. Казань, ул. Ямашева, 79б за июнь 2015г. на основе часовой ведомости потребления тепловой энергии. Согласно полученным расчетам изменение температуры горячей воды путем регулировки на ИТП (при средней температуре теплоносителя от ЦТП равной  $62,6^{\circ}\text{C}$ ) позволит снизить потребление тепловой энергии до 10% при неизменной величине фактического потребления (график 2).

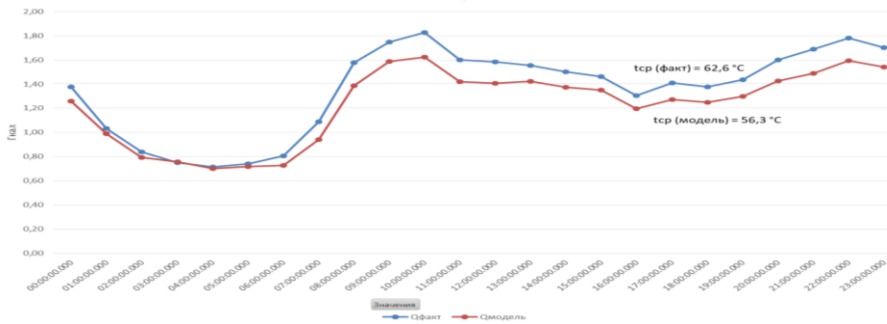


График 2. Динамика потребления тепловой энергии в течении суток (июнь 2015.) по МКД (г. Казань, ул. Ямашева, 79б).

Снижение вызвано сокращением расхода тепловой энергии на технологические и циркуляционные потери тепловой энергии внутри дома (Таблица 1).

Таблица 1. Сравнение теплотребления за месяц при фактической температуре теплоносителя и смоделированной ( $57^{\circ}\text{C}$  в дневные часы,  $55^{\circ}\text{C}$  в ночные)

	Q факт (при $t_{ср}$ (факт) = $62,6^{\circ}\text{C}$ ), Гкал	Q модель (при $t_{ср}$ (модель) = $56,3^{\circ}\text{C}$ ), Гкал	Изменение, Гкал	Изменение, %
Q на технические потери	6,50	5,91	-0,59	-9,13
Q на циркуляцию	12,40	10,01	-2,39	-19,26
Q на потребление и с утечкой теплоносителя	13,62	13,61	-0,01	-0,09
Q всего	32,49	29,53	-2,97	-9,13

Снижение расходов тепловой энергии на потери возможно за счет регулировки и фиксации температуры горячей воды непосредственно на индивидуальном тепловом пункте.

Также зафиксирован социальный эффект в виде повышения удовлетворенности населением качества поставки горячей воды: обеспечение стабильной температуры горячей воды в соответствии с требованием законодательства и возможностью ее регулировки под фактические запросы, период отключения горячей воды соответствует нормативным требованиям.

Исследование влияния перехода на горячее водоснабжение от ИВВП на источники теплоснабжения проводилось путем анализа изменений показателей работы ТЭЦ и котельных до и после проведения модернизации системы ГВС (Таблица 2).

Как видно из таблицы 2, существенных изменений в данных показателях после перехода на горячее водоснабжение от ИВВП не наблюдается. Отмечается незначительное снижение отпуска тепловой энергии, а также рост величины суточных колебаний расхода сетевой воды от источника тепловой энергии.

Таблица 2. Динамика ТЭП источников теплоснабжения после установки ИВВП

	КТЭЦ-1	КТЭЦ-2	РК "Азино"	РК "Горки"	РК "Савиново"
Присоединенная тепловая нагрузка, Гкал/ч	588,50	508,95	668,46	124,15	376,63
2016г.					
Отпуск тепловой энергии, тыс. Гкал/год	1 348,5	1 973,2	959,0	374,5	909,4
Удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, г у.т./кВт·ч	313,5	250,9	-	-	-
Удельный расход топлива на отпуск теплоты, кг у.т./ Гкал	143,4	139,6	151,1	154,5	145,4
Суточные колебания расхода сетевой воды от источника теплоснабжения , т/ч	1 000	2 000	400	700	2 000
2020г.					
Отпуск тепловой энергии, тыс. Гкал/год	1 347,3	1 921,5	954,0	438,4	871,3
Удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, г у.т./кВт·ч	265,60	228,80	-	-	-
Удельный расход топлива на отпуск теплоты, кг у.т./ Гкал	144,1	141,5	149,2	155,4	147,1
Суточные колебания расхода сетевой воды от источника теплоснабжения , т/ч	1 100	2 800	600	1 050	1 200

Необходимо отметить, что снижение отпуска тепловой энергии неизбежно в связи с реализацией мероприятий федерального закона № 261 об энергоэффективности. Суточные колебания расхода сетевой воды, отмечаемые источниками теплоснабжения после перехода на ИВВП, вызваны установкой вместе с ИВВП автоматических узлов погодного регулирования. Кроме того, существенное влияние оказывает температурный режим наружного воздуха.

Модернизация системы ГВС путем установки ИВВП позволила ТЭЦ учесть влияние негативных факторов на работу и своевременно перестроиться с учетом новых современных вызовов, нацеленных, в первую очередь, на требования потребителей.

**В третьей главе** разработана методика, позволяющая проводить оценку влияния установки ИВВП на систему теплоснабжения города с закрытой схемой ГВС. На основании методики разработан и зарегистрирован программный комплекс «Transition2ITP», с помощью которого заинтересованные организации могут рассчитать ожидаемый эффект от перевода городов с закрытой схемой ГВС на ИВВП.

Посредством методов математического моделирования автором разработаны коэффициенты эффективности, применение которых позволит спрогнозировать динамику ключевых показателей системы теплоснабжения после перехода на ИВВП.

Для объектов теплоснабжения (МКД) основным показателем является динамика потребления тепловой энергии, для тепловых сетей - динамика потерь тепловой энергии, для источников теплоснабжения – динамика отпуска тепловой энергии в систему теплоснабжения. В связи с этим определены: коэффициент снижения потребления тепловой энергии на нужды ГВС в МКД, коэффициент снижения тепловых потерь и коэффициент экономичности работы ТЭЦ после перехода на ИВВП.

Определение коэффициента снижения теплоснабжения МКД проводится на основе данных из выборки теплоснабжения МКД до и после перехода на ИВВП на примере г. Казани. Коэффициент определяется по формуле 1.

$$K_{\Delta Q} = \frac{\Delta Q_{cp}}{S_{МКД}}, \quad (1)$$

где  $K_{\Delta Q}$  – коэффициент снижения потребления тепловой энергии на нужды ГВС МКД в месяц (Гкал/м<sup>2</sup>);  $\Delta Q_{cp}$  – динамика потребления тепловой энергии на нужды ГВС в МКД в среднем за месяц (Гкал);  $S_{МКД}$  – площадь МКД (м<sup>2</sup>).

Выборочная совокупность была проанализирована методами математической статистики на предмет ее нормальности, определения достоверного интервала, выявления зависимостей, а также была проведена группировка по году постройки МКД

С учетом этого статистическим методом средних величин изменения теплоснабжения в месяц на 1 м<sup>2</sup> площади МКД в каждой группе определены значения коэффициента снижения потребления тепловой энергии на нужды ГВС в месяц после перехода на ИВВП (таблица 3).

Таблица 3. Значения коэффициентов снижения потребления тепловой энергии на нужды ГВС после перехода на ИВВП

Годы постройки МКД	$K_{\Delta Q}$ , Гкал/м <sup>2</sup>
до 1980г.	$-0,94 \cdot 10^{-3}$
после 1980г.	$-1,06 \cdot 10^{-3}$

Коэффициент снижения потерь тепловой энергии после перехода на ИВВП рассчитан по формуле 2.

$$k_{mn} = \frac{\Delta Q_{норм.тн}}{L_{ГВС}}, \quad (2)$$

где  $k_{mn}$  – коэффициент снижения потерь тепловой энергии сетях ГВС и отопления после перехода на ИВВП, Гкал/п.км;  $Q_{норм.тн}$  – снижение потерь тепловой энергии после перехода на ИВВП, Гкал;  $L_{ГВС}$  – протяженность сетей ГВС, п.км.

Данный показатель может быть применим для расчета ожидаемого снижения потерь тепловой энергии и для других систем теплоснабжения, учитывая нормативность данного показателя.

Согласно расчетам, коэффициент снижения тепловых потерь предлагается принять равным  $k_{mn} = 227$  Гкал/1п.км сетей ГВС.

Коэффициент экономичности работы ТЭЦ в зависимости от динамики отбора пара на нужды теплоснабжения, имеет следующий вид:

$$k_{эк} = \frac{(S_{до80гг} \cdot k_{\Delta Q_{до80гг}} + S_{после80г} \cdot k_{\Delta Q_{после80г}}) \cdot 12 + L_{ГВС} \cdot k_{mn}}{Q_{ТЭЦ} \cdot 0,8} \quad (3)$$

где  $Q_{ТЭЦ}$  – годовой полезный отпуск тепловой энергии от ТЭЦ в год, предшествующий переходу на ИТП (Гкал),  $S_{до80гг}$ ,  $S_{после80г}$  – площадь многоквартирных домов в муниципальном образовании до и после 1980 года постройки соответственно ( $m^2$ ),  $k_{\Delta Q_{до80гг}}$ ,  $k_{\Delta Q_{после80г}}$  – коэффициенты снижения потребления тепловой энергии на нужды ГВС после перехода на ИВВП с учетом года постройки МКД до и после 1980 года ( $Гкал/m^2$ ).

Кумулятивный эффект, получаемой системой теплоснабжения города после перехода на ИВВП, определяется суммированием полученных эффектов отдельными элементами этой системой.

Для расчета данного эффекта вводится следующая формула:

$$\mathcal{E}_{ЭС} = \mathcal{E}_{МКД} + \mathcal{E}_{ТС} + \mathcal{E}_{ИТ} \quad (4)$$

где  $\mathcal{E}_{МКД}$  – эффект, полученный многоквартирными домами в год, руб.;  $\mathcal{E}_{ТС}$  – эффект, полученный тепловыми сетями в год, руб.;  $\mathcal{E}_{ИТ}$  – эффект, полученный источниками теплоснабжения, руб.

В работе автором представлен расчет данных показателей с учетом установленных коэффициентов эффективности.

На основании предлагаемого алгоритма и методики разработан программный комплекс на базе программного обеспечения MS Office Excel с VBA программированием.

Программно-расчетный комплекс «Transition2ИТР» предназначен для проведения укрупненного расчета экономического эффекта при переводе горячего водоснабжения от ИВВП для систем теплоснабжения с закрытой схемой горячего водоснабжения преимущественно с комбинированной выработкой электрической энергии.

Программный комплекс рекомендуется к использованию теплоснабжающими организациями, муниципальными органами власти, управляющим компаниям и ТСЖ для принятия решения о переводе системы горячего водоснабжения на ИВВП.

**В четвертой главе** проводится апробация разработанной методики оценки влияния перевода горячего водоснабжения от индивидуальных тепловых пунктов с ИВВП на систему теплоснабжения города на примере г. Заинск и г. Нижнекамск.

Проведенный посредством ППК «TRANSITION2ИТР» расчет эффекта от модернизации системы ГВС путем перехода на ИВВП показал: по г. Заинск возможное снижение потребления тепловой энергии на нужды ГВС многоквартирными домами на 25,98%, срок окупаемости данного проекта по системе теплоснабжения города составит 2,54 лет; по г. Нижнекамск снижение

потребления тепловой энергии на нужды ГВС многоквартирными домами на 24,92%, срок окупаемости данного проекта по системе теплоснабжения города составит 2,16 лет.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

В соответствии с задачами исследований в диссертационной работе получены следующие результаты:

1. Определены основные критерии оценки влияния перевода системы горячего водоснабжения с ЦТП на ИВВП на работу системы теплоснабжения. В целях нивелирования влияния динамики потребления тепловой энергии на отопление на результаты, анализ перехода на горячее водоснабжение от ИВВП проводился за межотопительный период. Оценка влияния перехода на горячее водоснабжение от ИВВП на систему теплоснабжения проводился для городов с закрытой схемой горячего водоснабжения с комбинированной выработкой электрической энергии.

2. На основании данных на примере г. Казани проведена оценка влияния перехода на ИВВП на систему теплоснабжения города по выбранным критериям, получены новые данные об эффективности перехода на индивидуальные водоводяные подогреватели многоквартирными домами городов с закрытой схемой ГВС.

3. Проведена оценка влияния перехода на ИВВП на тепловые сети системы теплоснабжения, которая показала, что фактическое снижение потерь тепловой энергии и теплоносителя по г. Казани сопоставимо с расчетными данными, снижение тепловой энергии на 4,4% и 5% соответственно, снижение потерь сетевой воды на 77% и 100% теплоносителя соответственно. Отмечается снижение уровня повреждаемости сетей до 0,37 повреждений на 1 п.км, расходов электрической энергии на транспортировку теплоносителя на 40%, эксплуатационных затрат 4 % (326 млн. руб. в год), а также рост уровня замены сетей отопления вырос до 4,5%. Срок окупаемости проекта составил 2,3 года.

4. Проведена оценка влияния перехода на ИВВП теплоснабжение многоквартирными домами. Отмечается снижение потребления тепловой энергии более чем в 71% МКД после установки ИВВП в среднем на 19,8% при относительно неизменном потреблении холодной воды на нужды ГВС. Также отмечается социальный эффект за счет создания качественно нового уровня надежности и экономичности системы ГВС для потребителей.

5. Проведена оценка влияния перехода на ИВВП на источники теплоснабжения. Установлено возможное снижение экономичности работы ТЭЦ на 4,47% за счет снижения отпуска тепловой энергии на 5,59%. Суточные колебания расхода сетевой воды, отмечаемые источниками теплоснабжения после перехода на ИВВП, не связаны с установкой ИВВП.

6. Посредством методов математического моделирования разработаны и рассчитаны коэффициенты эффективности для оценки влияния перевода системы ГВС на ИВВП на систему теплоснабжения городов с закрытой схемой ГВС преимущественно с комбинированной выработкой электрической энергии.

7. Разработана методика оценки влияния перевода системы горячего водоснабжения на ИВВП на систему теплоснабжения городов с закрытой схемой теплоснабжения и комбинированной выработкой электрической энергии с последующей ликвидацией сетей ГВС и ЦТП.

8. На основании разработанной методики зарегистрирован программный продукт «Transition2ITP», позволяющий оперативно произвести расчет влияния перехода на ИВВП на систему теплоснабжения города с закрытой схемой ГВС.

9. Проведена апробация разработанной методики оценки влияния перехода на горячее водоснабжение от ИТП на систему теплоснабжения города на примере городов Республики Татарстан: г. Заинск и г. Нижнекамск.

Поставленная цель диссертационной работы достигнута.

**Направления дальнейшей разработки темы исследования диссертационной работы.** Необходимо оценить влияние перехода на ИТП с учетом динамики теплопотребления на отопление и иных факторов с использованием цифровых технологий. Учитывая, что доля населенных пунктов, источниками теплоснабжения которых являются котельные (более 70% всех мощностей РФ), достаточно большая, необходимо провести аналогичное исследование в городах с закрытой схемой ГВС с указанной системой теплоснабжения.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ**

*Статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ:*

1. Запольская, И.Н. Повышение эффективности систем ГВС установкой автоматизированных ИТП / И.Н. Запольская, Ю.В. Ваньков, Ш.Г. Зиганшин, А.Ф. Валеев, О.И. Зверев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. - 2017. - №4 (36). - С. 54-64. (общий объем – 10 п.л., личный вклад – 7 п.л.).

2. Ваньков, Ю.В. Снижение тепловых потерь энергоснабжающей организации модернизацией систем горячего водоснабжения / Ю.В. Ваньков, И.Н. Запольская, Е.В. Измайлова, А.Р. Загретдинов, Р.Н. Валиев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. - 2018. - №4. - С. 13-24. (общий объем – 11 п.л., личный вклад – 6 п.л.).

3. Ваньков, Ю.В. Снижение энергопотребления при переходе на горячее водоснабжение от индивидуальных тепловых пунктов / Ю.В. Ваньков, И.Н. Запольская, Е.В. Измайлова, А.Р. Загретдинов, Л.В. Плотникова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. - 2019. - №1. - С. 19-27. (общий объем – 9 п.л., личный вклад – 5 п.л.).

4. Ваньков, Ю.В. Повышение надежности транспортировки тепловой энергии до потребителей в условиях модернизации системы горячего водоснабжения / Ю.В. Ваньков, И.Н. Запольская, С.О. Гапоненко, Л.Р. Мухаметова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. - 2020. - Т. 12. - № 4 (48).- С. 29-37.

5. Запольская, И.Н. Влияние индивидуальных водо-водяных подогревателей на потребление тепловой энергии многоквартирными домами / И.Н. Запольская //

Вестник Казанского государственного энергетического университета. - 2021. - №3 (51). - С. 146-155. (общий объем – 10 п.л., личный вклад – 6 п.л.).

*Статьи в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science:*

6. Zapolskaya, I.N. The impact of the transition of hot water “preparation” by means of individual heating stations on the Kazan energy system / I.N. Zapolskaya, O.I. Zverev, R.R. Rotach // E3S Web of Conferences 124, 05012 - 2019. – P.05012 (общий объем – 5 п.л., личный вклад – 4 п.л.).

7. Zapolskaya, I.N. The Impact of the Transition of Hot Water “Preparation” by Means of Automated Individual Heating Points on the Efficiency of Heat Supply Sources in Kazan / I.N. Zapolskaya, Y.V. Vankov, Y.N. Zvonareva, A.A. Radionov, V.R. Gasiyarov // Advances in Automation II. RusAutoConf - 2020. - V 729. – P 70-79 (общий объем – 7 п.л., личный вклад – 5 п.л.).

*Публикации в других изданиях:*

8. Ваньков, Ю.В. Повышение надежности транспортировки тепловой энергии потребителей в условиях модернизации системы горячего водоснабжения / Ю.В. Ваньков, И.Н. Запольская // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 71. Надежность энергоснабжения потребителей в условиях их цифровизации. В 3-х книгах Иркутск: ИСЭМ СО РАН – 2020. – Том 3 – С. 355-363 (общий объем – 8 п.л., личный вклад – 7 п.л.).

9. Запольская, И.Н., Шаповалов С.К. Методика оценки влияния переноса функции горячего водоснабжения в индивидуальный тепловой пункт на систему теплоснабжения / И.Н. Запольская, С.К. Шаповалов // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика. – Казань : Казан. гос. энерг. ун-т. – №5 - 2021. – С. 13-17. (общий объем – 5 п.л., личный вклад – 3 п.л.).

*Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ*

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021680212. «TRANSITION2ITP» / Ю.В. Ваньков, И.Н. Запольская, К.В. Лапин, С.К. Шаповалов. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 22.11.2021 г.

Подписано к печати

15.02.2022 г

Формат 60x84/16

Гарнитура «Times»

Вид печати РОМ

Бумага офсетная

Физ. печ. л. 1,16

Усл. печ. л. 1,10

Уч.-изд. л. 1,00

Тираж 100 экз.

Заказ № 1602/1

Типография «Вестфалика» (ИП Колесов В.Н.) 420111, г. Казань, ул. Московская, 22, тел.: 292-98-92