

На правах рукописи



Звонарева Юлия Николаевна

**ВЛИЯНИЕ ПОЭТАПНОГО ВНЕДРЕНИЯ АИТП
НА ГИДРАВЛИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

05.14.01 - Энергетические системы и комплексы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Казань - 2019

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

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

Официальные оппоненты: **Стенников Валерий Алексеевич**,
член-корреспондент РАН, доктор технических наук,
профессор, заслуженный деятель науки РФ, директор ФГБУН
«Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева» СО РАН
(ИСЭМ СО РАН).

Рафальская Татьяна Анатольевна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Теплогазоснабжения и вентиляции» ФГБОУ ВО
«Новосибирский государственный архитектурно-
строительный университет (Сибстрин)».

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур Российской
академии наук (ОИВТ РАН), г. Москва.

Защита состоится 4 июня 2019 года в 14 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.082.06 при ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», по адресу: 420066 г. Казань, ул. Красносельская, д.51, ауд. Д 225, тел/факс (843)519-42-55.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51, КГЭУ, Ученому секретарю диссертационного совета Д 212.082.06.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Казанского государственного энергетического университета и на официальном сайте КГЭУ: <https://kgeu.ru/Diss/Dissertant/273?idDiss=92>.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Зиганшин Ш.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Анализ результатов разработки схем теплоснабжения поселений показал повсеместное планирование увеличения мощности энергоисточников и диаметров тепловых сетей. В тоже время программы энергосбережения предусматривают снижение теплопотребления подключенных зданий и потерь в сетях. Успешные проекты совершенствования энергетических систем реализуются одновременно и в теплоснабжении, и в теплопотреблении. Создание совершенных систем теплоснабжения (СТС) без систем регулирования подключенных зданий невозможно.

Законодательством (ФЗ №417 от 07.12.2011) предусмотрен перевод всех систем теплоснабжения РФ на закрытую схему с 01.01. 2022 г. Поставленная ФЗ 417 цель влечет за собой решение многих научно-технических задач. В частности, одним из путей развития СТС является постепенная ликвидация центральных тепловых пунктов (ЦТП) и установка индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) на абонентских узлах. При этом происходит разрегулировка гидравлического режима работы СТС, из-за гидравлической связи элементов системы. Это оказывает отрицательное влияние на надежность теплоснабжения и снижает эффективность работы теплоисточников и системы в целом. Исходя из вышесказанного, тема диссертационного исследования является актуальной.

Основные результаты исследования получены в рамках выполнения - гос. задания №13.6994.2-017/БЧ по теме «Разработка методологии определения надежности системы теплоснабжения с целью повышения энергоэффективности» Министерства образования и науки РФ.

Степень научной разработанности проблемы. Вопросам совершенствования энергетических систем и повышения их энергоэффективности посвящено большое количество исследовательских работ. Среди них следует отметить научные исследования Стенникова В.А., Selim H., P. Wang, F.C. Leite, Липовка Ю.Л., Gabrielaitaene I., Sunden B., Панфилова В. И., W. Kröger, D. Cicone Jr., Zhou Z., Wang Z., H. Jensen, L.C. Ribeiro Galvão, M.E. Morales и др. Вопросы поддержания заданного гидравлического режима в тепловых сетях и требуемого перепада давлений в абонентских узлах при изменениях работы системы теплоснабжения отражены в трудах авторов Моисеева Б.В., Богомолова В.П., Шаповала А.Ф., Сикерина И.Е., Голяка С.А., Пашенцева Л. В.. Российскими и иностранными авторами Перминовым И.А., Петрекевичем Л.А. Зайцевым О.Н., Лукьянченко Д.М., Karlsson K. B., Petrović S. N., Lake A., Rezaie B., Beyerlein S., Перминов И.А., Петрекевич Л.А. - рассмотрены современные методы регулирования тепловых сетей путем внедрения автоматизированного инженерного оборудования в системах теплоснабжения. Вопросы использования математических моделей в программных комплексах для исследования гидравлических режимов, описываются в статьях Кудинова В.А., Кассина Н.В., Смирнова Л.В., Fu D.Z., Huang G.H., Батухтина А.Г., Калугина А.В.

Объект исследования - системы теплоснабжения и тепловые сети.

Предметом исследования являются методы совершенствования теплоэнергетических систем.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка методического и программного обеспечения для повышения эффективности систем централизованного теплоснабжения поселений путем поэтапного внедрения

автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов (АИТП) с сохранением гидравлической устойчивости системы.

Для достижения цели поставлены следующие **задачи**:

1. Определить достоинства и недостатки схем присоединения потребителей к тепловым сетям посредством АИТП.
2. Используя существующие программные комплексы смоделировать работу системы теплоснабжения при поэтапном внедрении АИТП.
3. Оценить влияние поэтапного внедрения у абонентов АИТП на гидравлическую устойчивость системы теплоснабжения. Определить процент потребителей, оснащенных АИТП в СЦТ приводящий к повышению эффективности работы системы.
4. Провести лабораторные и натурные исследования по оценке энергоэффективности поэтапного внедрения АИТП в системах теплоснабжения.
5. Разработать алгоритм определения потенциала энергосбережения и методику с соответствующим программным обеспечением, позволяющую оценить влияние технических решений по внедрению АИТП в системы централизованного теплоснабжения на их финансово-экономические и инвестиционные показатели.

Научная новизна исследования:

1. Разработан алгоритм расчета энергетической эффективности оптимизации систем теплоснабжения при поэтапном внедрении АИТП.
2. Определена зависимость показателей эффективности систем теплоснабжения от числа абонентов оснащенных АИТП.
3. Усовершенствована методика расчета гидравлических режимов работы систем теплоснабжения с учетом определения их гидравлической устойчивости при поэтапном внедрении АИТП.
4. Разработана методика определения влияния внедрения АИТП на финансово-экономические и инвестиционные показатели работы энергетических систем.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты исследований позволили разработать новый методический подход для обоснования модернизации систем централизованного теплоснабжения путем внедрения АИТП.

Практическая значимость работы.

1. Методика оценки потенциала энергосбережения и коммерческой эффективности внедрения мероприятий по установке АИТП использовалась при разработке документов «Схема и программа развития электроэнергетики Республики Татарстан в части развития теплоэнергетики на 2018-2022 годы» и «Схема и программа развития электроэнергетики Республики Башкортостан в части развития теплоэнергетики на 2019-2023 годы» (*Акт о внедрении результатов диссертационных исследований и их апробации*).
2. Алгоритм расчета потенциала энергосбережения систем теплоснабжения использовался при оптимизации системы теплоснабжения промышленного предприятия ООО «Термокам» г. Нижнекамск (*Акт внедрения*).
3. Методика оценки потенциала энергосбережения и коммерческой эффективности поэтапного внедрения мероприятий по установке АИТП используется при эксплуатации систем коммунального теплоснабжения в г. Казани (*Акт внедрения*).
4. Определение числа абонентов системы оборудованных АИТП оптимального процента оснащенности потребителей АИТП использовались при реализации городской

программы по ликвидации ЦТП и перевода потребителей на автоматизированные тепловые пункты в микрорайонах, находящихся на балансе различных управляющих компаний г. Казань (*Акт внедрения*).

5. Результаты работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» при чтении лекции по дисциплинам «Потребители теплоты предприятий и объектов ЖКХ» «Надежность установок и систем теплоснабжения» (*Акт использования результатов диссертации*).

Методология и методы исследования. В процессе исследования применялись методы математического моделирования, математической статистики, экспертных оценок, прогнозирования. Эмпирическую базу исследования составили статистические и отчетные информационные данные, материалы, характеризующие производственно-хозяйственную деятельность теплоснабжающих организаций Республики Татарстан и Республики Башкортостан, экспертные заключения, законодательные акты и другие нормативно-правовые документы.

Достоверность и обоснованность научных результатов и выводов подтверждается использованием общепринятых методов теоретических и экспериментальных исследований, корректным использованием математического аппарата, удовлетворительными результатами измерений, использованием аттестованной измерительной техники.

На защиту выносятся:

1. Методика расчета гидравлических режимов работы систем теплоснабжения с учетом определения их гидравлической устойчивости при поэтапном внедрении АИТП.
2. Алгоритм и методика расчета потенциала энергосбережения систем теплоснабжения при внедрении АИТП с целью определения возможного снижения потребления энергетических ресурсов.
3. Методика определения влияния внедрения АИТП на финансово-экономические и инвестиционные показатели работы энергетических систем.

Личное участие автора заключается: в определении целей и задач исследований; выборе методологической и информационной базы; проведения экспериментальных исследований, разработке методик оценки потенциала энергосбережения и определения коммерческой эффективности при принятии технических решений о модернизации системы теплоснабжения.

Апробация работы. Результаты исследования обсуждались на XIV Международной научно-технической конференции «Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов» (г. Саратов, 2018г.); Международной научно-практической конференции «Водно-энергетический форум-2018» (г. Казань, 2018г.), XV-XVIII Международных симпозиумах «Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в Республике Татарстан» (Казань, 2015-2018г.г.), X, XII, XIII Международных научно-технических конференциях «Энергия» (г. Иваново, 2015-2018г.г.), VII Международной научно-технической конференции «Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике и промышленности» (Ульяновск, 2017), XIII Международной научно-технической конференции «Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика» (Москва, 2017), VII межвузовской научно-методической конференции, посвященной 70-летию Ю.Г. Назмеева (Казань, 2016), Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы технических наук в России и зарубежном» (Челябинск, 2015), VII Международной научно-

практической конференции «21 век: фундаментальная наука и технологии» (NorthCharleston, SC, USA: CreateSpace, 2015), IX Семинаре ВУЗов по теплофизике и энергетике (Казань, 2015), III Международной научно-практической конференции «Стратегия развития инвестиционно-строительного и жилищно-коммунального комплексов в условиях саморегулирования» (Казань, 2015).

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 27 печатных работах, из них 3 статьи в журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science, 3 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и 19 публикаций в материалах всероссийских и международных научных конференций. Общий объем публикаций составляет 11,56 п.л.. Список основных публикаций автора приведен в конце автореферата, полный список - в диссертации.

Соответствие паспорту специальности. По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям 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 и *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.

Структура и содержание исследования. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа содержит: 178 страниц машинописного текста, 43 рисунка, 18 таблиц и 4 приложения на 16 страницах. Библиографический список включает 155 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследований, научная и практическая значимость полученных результатов, изложены основные положения, выносимые на защиту, приведена краткая характеристика работы.

В первой главе дано определение понятиям центральный и индивидуальный тепловой пункт, приведены наиболее часто используемые при эксплуатации систем теплоснабжения схемы присоединения абонентских узлов к тепловым сетям. Рассмотрена эффективность индивидуальных тепловых пунктов, по сравнению с центральными тепловыми пунктами. Их достоинствами являются: простота в обслуживании и эксплуатации; снижение эксплуатационных расходов; сокращение теплопотерь в системах горячего водоснабжения; уменьшение расхода электроэнергии на циркуляцию и перекачку горячей воды; надежность функционирования; возможность контроля состояния тепловых сетей; точное определение объемов теплопотерь благодаря узлам учета; уменьшение числа плановых или аварийных отключений.

Рассмотрены вопросы существующих способов и методов регулирования тепловой энергии в точках подключения потребителей. Особое внимание уделено задачам обеспечения потребителей требуемым количеством тепла.

Во второй главе проведен анализ методов гидравлических расчетов тепловых сетей. Существует несколько способов гидравлического расчета, основными из которых являются:

- расчет по удельным линейным потерям давления;
- расчет по характеристикам гидравлического сопротивления.

Гидравлические потери принято разделять на два вида:

- потери на трение по длине - возникают при равномерном течении, в чистом виде - в прямых трубах постоянного сечения, они пропорциональны длине трубы, определяются по формуле Дарси (1)

$$\Delta P_{\text{л}} = \lambda \frac{l}{d} P_{\text{д}}, \quad (1)$$

- местные гидравлические потери - обусловлены местными гидравлическими сопротивлениями - изменениями формы и размера канала, деформирующими поток, определяются по формуле Вейсбаха (2).

$$\Delta P_{\text{м}} = \xi P_{\text{д}} = \xi \frac{\rho v^2}{2}, \quad (2)$$

Примером местных потерь могут служить: внезапное расширение трубы, внезапное сужение трубы, поворот, клапан и т.п.

На основе вышеприведенных зависимостей определяются гидравлические потери (безвозвратные потери удельной энергии на участках гидравлических систем, обусловленные наличием вязкого трения)

$$\Delta P = \Delta P_{\text{л}} + \sum \Delta P_{\text{м}}, \quad (3).$$

Для упрощения инженерных расчетов гидравлических режимов в тепловых сетях, автором была создана таблица зависимости коэффициента гидравлического сопротивления для всех типоразмеров стальных трубопроводов в зависимости от длины прямого участка тепловой сети и получено Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ «Со.Ну.Res.» №2018618521.

При эксплуатации тепловых сетей возникают проблемы, связанные с нарушением режима их работы. Причинами возникающих проблем могут быть повышенный расход теплоносителя, недостаточный диаметр трубопроводов, уменьшение диаметров труб из-за отложения на их внутренней поверхности.

Эффективным инструментом для определения причин проблем, имеющих в теплосети, являются компьютерные модели, дающие возможность воспроизведения гидравлических и температурных режимов работы, рассматривающие теплосети как единые системы. В основе компьютерных моделей лежат два условия: выполнение баланса расходов, т.е. равенства притока и оттока воды в каждом узле (4) и равенство нулю потерь напора при обходе каждого кольца (5).

$$\sum_{v^{+}(i)} G_v - \sum_{v^{-}(i)} G_v = b_i \quad (4)$$

$$\sum h_i = 0 \quad (5)$$

Этих соотношений достаточно для построения замкнутой системы алгебраических уравнений относительно неизвестного расхода в ветвях сети и давления в ее узлах. Ввиду квадратичной зависимости напора от расхода с учетом коэффициента сопротивления, система уравнений получается нелинейной.

При выполнении диссертационной работы с помощью программного комплекса «Zulu Thermo» была смоделирована реально существующая система централизованного теплоснабжения для типичного жилого квартала города Казань, работающая от ЦТП. Информационно-графическая система «Zulu Thermo», предназначена для моделирования и расчетов теплогидравлических режимов работы тепловых сетей. Использование расчетного комплекса «Zulu Thermo», позволяет анализировать режимы работы тепловой сети и аварийные ситуации, оценивать мероприятия по модернизации и перспективному развитию системы централизованного теплоснабжения.

Фактические показатели потребления тепловой энергии (расход, тепловая нагрузка потребителей), технические характеристики тепловых сетей и установленного оборудования на них, полученные по натурным замерам и показателям приборов учета, позволили создать математическую модель, приближенную к реальной работе сети исследуемого жилого квартала.

В процессе отладки модели использовались показания приборов учета потребляемой тепловой энергии, интегрированных в АСКУТ: тепловычислители, расходомеры, термопреобразователи. Передача данных в диспетчерскую службу осуществлялась адаптером сотовой связи «Взлет АССВ-030». Созданная математическая модель позволила оценить текущее состояние тепловой сети по распределению давления, скорости и расхода теплоносителя в различных точках исследуемой системы. Разница результатов расчетов компьютерной модели от реальных показателей сети составила 3%.

Однако данный программный комплекс, как и другие аналогичные программы, предназначенные для моделирования и расчета тепловых систем, позволяет оценивать состояние и проводить расчеты в установившемся режиме работы, не оценивая динамику процесса.

Автором было учтено суточное колебание тепловой нагрузки и расхода сетевой воды на отопление у потребителей, оснащенными приборами учета и автоматического регулирования. Это позволило более детально проанализировать влияние на энергетическую эффективность системы теплоснабжения мероприятий по оснащению потребителей АИТП.

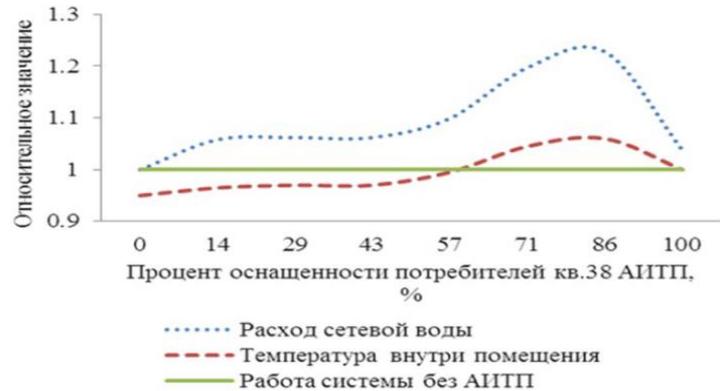
Изучено влияние поэтапного внедрения АИТП на тепловой и гидравлический режимы работы тепловой сети с учетом колебания температуры наружного воздуха и изменения параметров теплоносителя. Проведен анализ влияния поэтапного внедрения в систему АИТП на теплоснабжение потребителей, подключенных по элеваторной схеме без автоматического регулирования. Выполнена оценка снижения энергопотребления с учетом поэтапного внедрения АИТП (рисунок 1). Установлено что, чем меньше потребителей остается без автоматики, тем с наибольшим «перетопом», относительно нормативных значений, они работают.

Проведен анализ влияния на гидравлическую устойчивость системы теплоснабжения при поэтапном внедрении АИТП (рисунок 2).

Установка АИТП у числа абонентов, потребляющих 30-75% тепловой нагрузки, требует увеличения располагаемого напора на выходе из ЦТП, а, следовательно, и

увеличения давления в подающем трубопроводе. Для обеспечения потребителей теплоносителем требуемых параметров система автоматического регулирования должна быть установлена на числе потребителей, тепловая нагрузка которых превышает 75% от суммарной.

Рисунок 1. Изменение относительного значения расхода и температуры внутреннего воздуха у потребителей, присоединенных по элеваторной схеме в зависимости от числа абонентов, оснащенных АИТП



Проведен анализ влияния на гидравлическую устойчивость системы теплоснабжения при поэтапном внедрении АИТП (рисунок 2).

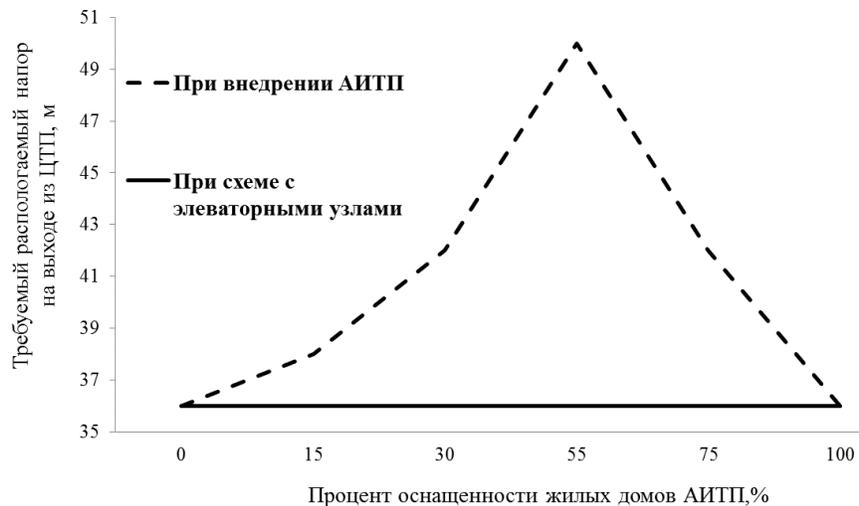


Рисунок 2. Требуемый располагаемый напор на выходе ЦТП в зависимости от процента оснащения АИТП потребителей

Установка АИТП у числа абонентов, потребляющих 30-75% тепловой нагрузки, требует увеличения располагаемого напора на выходе из ЦТП, а, следовательно, и увеличения давления в подающем трубопроводе. Для обеспечения потребителей теплоносителем требуемых параметров система автоматического регулирования должна быть установлена на числе потребителей, тепловая нагрузка которых превышает 75% от суммарной.

Полученные результаты основаны на подходе, предполагающем обеспечение требуемого перепада давлений не только у потребителей, оснащенных АИТП, но и у потребителей, подключенных по элеваторной схеме смешения теплоносителя с учетом стабилизации требуемого температурного режима внутри помещения и в соответствии СП131.13330.2012; в создании гидравлического режима тепловой сети исследуемого квартала, позволяющего обеспечивать требуемый перепад давления в каждой точке системы (от ЦТП до конечного потребителя) и в точке подключения квартала (ЦТП) к магистральным

городским сетям, для сохранения гидравлической устойчивости СЦТ города. Анализ значений расхода теплоносителя и изменения тепловой нагрузки у потребителей проведен по результатам моделирования и по фактическим показателям приборов учета рассматриваемой тепловой сети.

Улучшение энергетических показателей работы системы теплоснабжения при внедрении АИТП относительно работы с элеваторными узлами смешения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Снижение энергетических показателей работы системы теплоснабжения

Показатели	Среднее снижение расхода сетевой воды	Среднее снижение тепловой нагрузки на отопление
Расчетное значение	31.3%	23.3%
Фактическое значение	42.1%	33.5%

Фактические показатели работы исследуемой системы теплоснабжения приняты по показаниям приборов учета и архивным ведомостям потребления тепловой энергии, за отопительные периоды 2013-2015 г.г., предоставленными управляющей компанией, обслуживающей данный квартал.

В третьей главе представлены результаты лабораторных исследований. Дано описание лабораторного стенда, и его характеристики. Задачей эксперимента было сопоставление полученных при моделировании данных с результатами испытаний, для оценки возможности решения реальных эксплуатационных задач, связанных с внедрением АИТП.

Лабораторный стенд «Централизованное теплоснабжение» создан из комплектующих компании «Данфосс» (рисунок 3) Управление работой стенда осуществляется компьютерной программой, написанной в среде LabView.

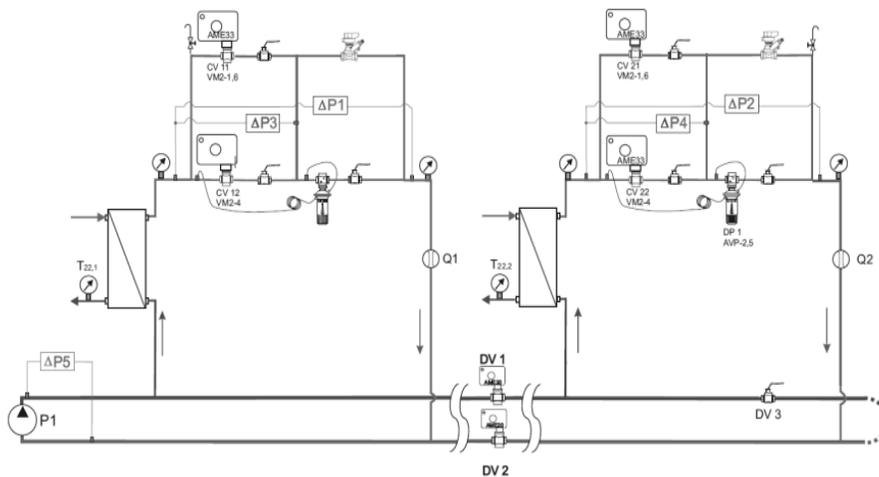


Рисунок 3.
Принципиальная схема
стенда

Исходными данными при проведении стендовых испытаний являлись полученные ранее фактические и расчетные значения параметров моделируемой системы теплоснабжения. На абонентах автоматическими регуляторами CV11 и CV21 задавалось требуемое гидравлическое сопротивление системы и определялся располагаемый напор на входе в рассматриваемый контур.

На рисунке 4 представлены графики расчетных и экспериментальных значений. Как видно из графика, значительное влияние на гидравлический режим системы теплоснабжения, оказывает уровень оснащённости потребителей системы АИТП в 60%. При этом наблюдается увеличение располагаемого напора на входе в рассматриваемый контур.

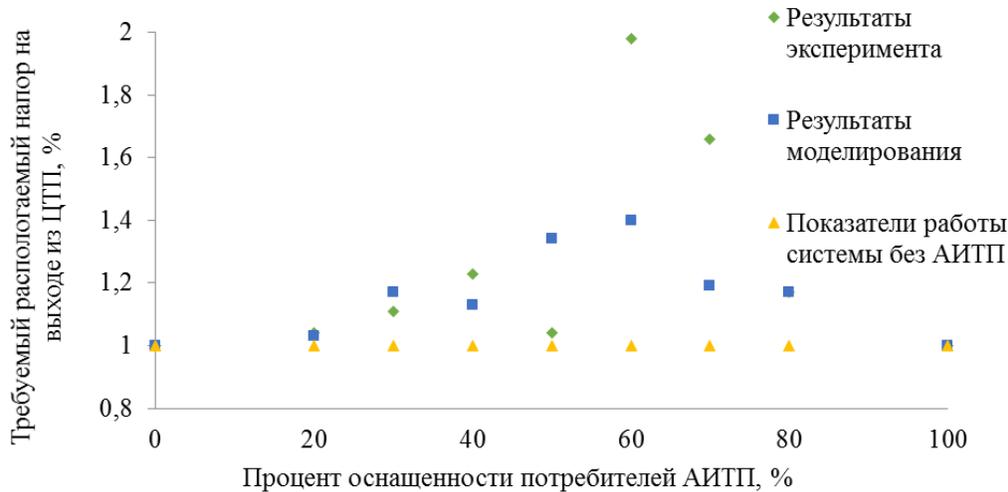


Рисунок 4. Требуемый располагаемый напор на выходе из ЦТП в зависимости от процента оснащённости АИТП потребителей

Повышение давления сетевой воды в точках присоединения квартальных тепловых сетей к магистральным, может вызвать гидравлическую разрегулировку системы теплоснабжения города в целом, которая может привести к возникновению аварийных, либо переходных гидравлических процессов, вызванных колебанием давления в СЦТ.

Показателем стабильного гидравлического режима работы, при эксплуатации систем централизованного теплоснабжения, является коэффициент гидравлической устойчивости (K_y), варьируемый в диапазоне «0÷1» и зависящий от величины гидравлического сопротивления систем подключенных потребителей тепла и обратно пропорциональный величине располагаемого напора, развиваемого насосами.

Напор, развиваемый насосами в теплоисточнике, должен преодолевать гидравлическое сопротивление сети и систем теплопотребления: $\Delta H_{расп} \geq \Delta H_{пот}$. Чем выше значение коэффициента « K_y », тем более гидравлически устойчивой считается система. Это имеет место при снижении потерь напора в сетях до потребителя и может вызвать увеличение количества перекачиваемой сетевой воды сверх нормативных объемов, т.е. повлечь гидравлическую разрегулировку системы. Степень разрегулированности гидравлического режима прямо пропорциональна коэффициенту гидравлической устойчивости K_y :

$$K_y = \frac{G_p}{G_\phi} = \sqrt{\frac{\Delta H_{пот}}{\Delta H_{расп}}} = \frac{1}{X} \quad (6)$$

где: $\Delta H_{пот}$ - потери напора в системе теплопотребления; $\Delta H_{расп}$ - располагаемый напор в тепловой сети на выходе из источника; G_ϕ - фактический расход сетевой воды в системе; G_p - расчетный расход сетевой воды при проектном температурном графике.

Результаты проведенных исследований позволили оценить влияние поэтапного внедрения АИТП на гидравлическую устойчивость и степень разрегулированности рассматриваемой системы теплоснабжения. Стабильный гидравлический режим работы системы централизованного теплоснабжения достигается при $K_y = 1$. Наибольшая

разрегулированность возникает при оснащении АИТП числа потребителей имеющих тепловую нагрузку 30%-75% от общей (таблица 2).

Таблица 2. Влияние поэтапного внедрения АИТП на коэффициент гидравлической устойчивости СЦТ

Процент оснащённости потребителей АИТП, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Коэффициент гидравлической устойчивости (K_u)	1	0,97	0,92	0,86	0,76	0,72	0,76	0,86	0,89	0,96	1
Степень разрегулированности СТС, X	1	1,03	1,09	1,16	1,32	1,39	1,32	1,16	1,12	1,04	1

На основании полученных в результате исследования данных, в формулу расчета перепада давления на источнике, используемую при гидравлическом расчете, предлагается ввести коэффициент, описывающий степень разрегулировки системы теплоснабжения в зависимости от процентного оснащения АИТП потребителей:

$$\Delta P = XSG^2 \quad (7)$$

где G - массовый расход воды на расчетном участке, кг/ч; S - характеристика гидравлического сопротивления участка, Па / (кг/ч)²; X - степень регулировалось системы теплоснабжения в зависимости от процентного оснащения потребителей АИТП; ΔP - требуемый перепад давления на источнике.

В четвертой главе рассмотрена экономическая эффективность внедрения мероприятий по оснащению АИТП потребителей. Данные мероприятия позволяют рационально использовать теплоноситель, снижают затраты на подготовку и передачу теплоносителя, позволяют повысить надежность систем теплоснабжения, за счет ликвидации внутриквартальных сетей ГВС и снижения циркулирующего расхода сетевой воды.

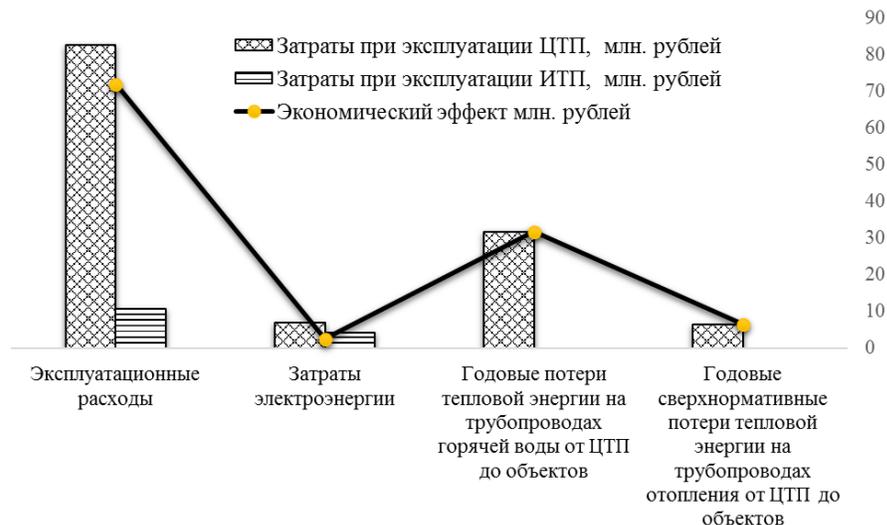


Рисунок 5.
Достигнутый экономический эффект при реализации программы по установке 70 АИТП в г. Набережные Челны

Представлен опыт реализации программы по оснащению потребителей АИТП для крупных городов Республик Татарстан и Башкортостан. На рисунке 5 приведен достигнутый

реализующая методику и получено Свидетельство о государственной регистрации №2018618174 «TEI.Re.Te».

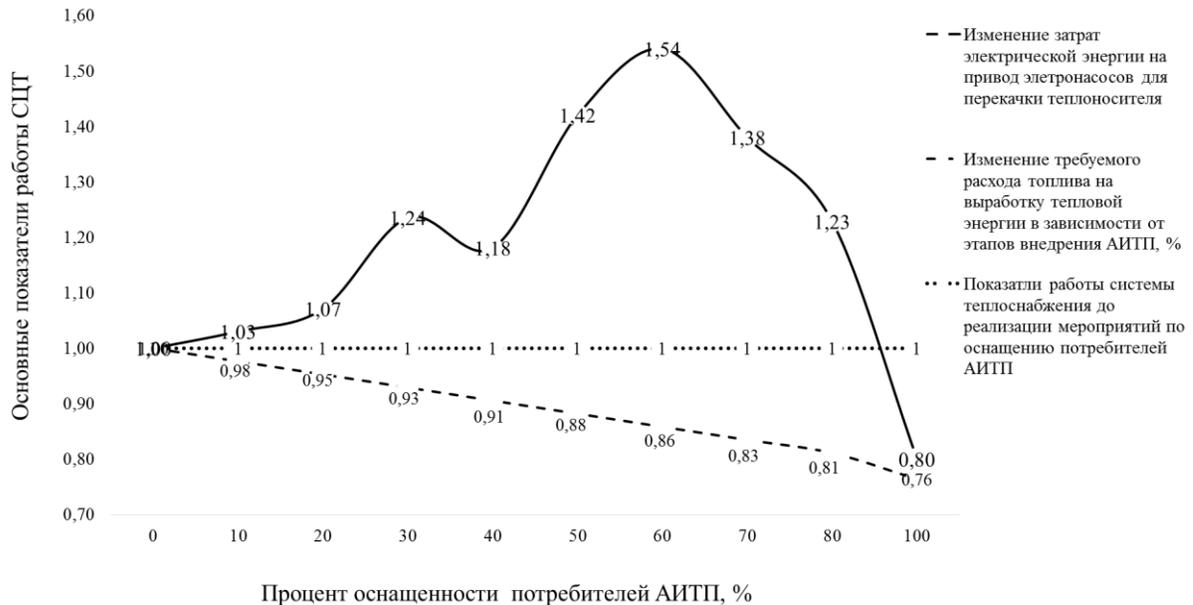


Рисунок 7. Показатели эффективности работы СЦТ в зависимости от процентной оснащённости потребителей АИТП

Разработанный в результате диссертационного исследования подход включает в себя анализ технической эффективности работы систем теплоснабжения после внедрения энергосберегающих мероприятий по установке АИТП и оценивает экономическую эффективность от принятия технических решений. Создана программа расчета для ЭВМ реализующая методику и получено Свидетельство о государственной регистрации №2018618174 «TEI.Re.Te». Методика может быть использована управляющими, теплогенерирующими и транспортирующими теплоноситель компаниями, при принятии взвешенных технических решений о целесообразности участия в реализации проектов по оснащению АИТП потребителей тепловой энергии, находящихся на их балансе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

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

1. Установлено, что при работе СЦТ имеются проблемы, связанные с эксплуатацией четырехтрубных внутриквартальных тепловых сетей от ЦТП, причиной которых является интенсивный коррозионный износ трубопроводов ГВС. Переход от ЦТП к АИТП позволяет снизить стоимость эксплуатации внутриквартальных тепловых сетей и уменьшить протяженность подверженных внутренней коррозии трубопроводов ГВС, снизить расход теплоносителя и расход электроэнергии на его перекачку. Основными преимуществами схем присоединения потребителей с АИТП являются: простота в обслуживании и эксплуатации; снижение эксплуатационных расходов и т.д..

2. Используя программный комплекс «Zulu Thermo» смоделирована система теплоснабжения типичного жилого квартала г. Казань. На основании созданной модели

оценено влияние поэтапного внедрения АИТП на тепловой и гидравлический режимы работы тепловой сети с учетом колебания температуры наружного воздуха и изменения параметров теплоносителя при этом. Для упрощения расчетов составлена программа для ЭВМ позволяющая определить зависимости коэффициента гидравлического сопротивления для всех типоразмеров стальных трубопроводов в зависимости от длины прямого участка тепловой сети. Полученные результаты позволяют оптимизировать теплогидравлические режимы существующих тепловых сетей.

3. Оценено влияние поэтапного внедрения АИТП на гидравлическую устойчивость исследуемой системы теплоснабжения с целью повышения ее эффективности. В результате моделирования определен оптимальный процент оснащённости потребителей АИТП в системе, составляющий менее 30% и/или более 75% от общего числа потребителей. Оснащение АИТП потребителей в диапазоне 30-75 % ведет к повышению давления в трубопроводах сетевой воды, что может привести к возникновению аварийных, либо переходных гидравлических процессов, вызванных колебанием давления в системе теплоснабжения города в целом.

4. Проведены лабораторные и натурные исследования по оценке эффективности поэтапного внедрения АИТП в системах теплоснабжения. Получена зависимость, отражающая влияние процентов оснащённости потребителей АИТП на показатели эффективности работы СЦТ. Сопоставление расчетных и экспериментальных показателей, показало, что наиболее эффективной является оснащённость АИТП потребителей, имеющих подключенную тепловую нагрузку более 75% от общей. Используя полученные результаты разработан алгоритм расчета потенциала энергосбережения систем коммунального теплоснабжения с целью оценки размера возможного снижения потребления энергетических ресурсов.

5. Разработана методика расчета комплексной оценки энергоэффективного теплопотребления закрытых систем коммунального теплоснабжения для определения потенциала энергосбережения и расчета коммерческой эффективности работы систем централизованного теплоснабжения при внедрении АИТП.

Методические подходы, разработанные в диссертационной работе, легли в основу разработки схем и программ развития электро- и теплоэнергетики РТ и РБ на 2017-2018 г.г. и в работы по оптимизации систем теплоснабжения с целью повышения их эффективности для ряда управляющих компаний Республики Татарстан.

Поставленная цель диссертационной работы достигнута.

Направления дальнейшей разработки темы исследования диссертационной работы. Необходимо оценить влияние процента оснащённости потребителей АИТП на гидравлическую устойчивость системы теплоснабжения при различных вариантах внедрения: от наиболее удаленного потребителя к ЦТП и в хаотичном порядке. Проанализировать влияние на гидравлические режимы работы мероприятий по оснащению АИТП для открытых систем теплоснабжения.

Основные материалы диссертации опубликованы в работах:

Статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ:

1. Звонарева Ю.Н. Совершенствование систем теплоснабжения путем внедрения АИТП / Ю.Н. Звонарева // **Вестник Казанского государственного энергетического**

университета. 2019. №1 (41). С. 12-21 (общий объем - 0,56 п.л., личный вклад - 0,56 п.л.).

2. Звонарева Ю.Н. Работа системы теплоснабжения при поэтапном внедрении автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков // **Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики**. Издательство: КГЭУ (г. Казань). 2017. Т. 19. №1-2. С. 31-40 (общий объем - 0,56 п.л., личный вклад – 0,28 п.л.).

3. Звонарева Ю.Н. Оценка экономического эффекта для потребителей при установке автоматизированных узлов учета и регулирования тепловой энергии / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков, С.А. Назарычев// **Инженерный вестник Дона**, 2015, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3315 (Перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК № 1016 на дату публикации 10.2015; общий объем - 0,44 п.л., личный вклад - 0,15 п.л.).

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

4. Zvonareva Julia N. Efficiency of Heating System Phased Introduction of Automatic Control Unit/ Sergey A. Nazarychev, Yuriy V. Vankov, Julia N. Zvonareva, Yevgeniya V. Izmailova // 2018 Helix ISSN 2319 – 5592 (Online) (общий объем - 0,5 п.л., личный вклад - 0,13 п.л.).

5. Zvonareva Y.N. Modelling of the thermal network operational mode directed at increase of its power efficiency / Y.N. Zvonareva, Y.V. Vankov, E.M. Onuchin// (2017) International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), St. Petersburg, 2017, pp. 1-3. doi: 10.1109/ICIEAM.2017.8076462 (общий объем - 0,19 п.л., личный вклад - 0,06 п.л.).

6. Zvonareva, Y.N., Vankov, Y.V. Energy saving in systems of heat supply of the large municipal associations powered from several sources of heat / Y.N. Zvonareva, Y.V. Vankov// (2015) Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering, 326 (11), pp. 75-82 (общий объем - 0,44 п.л., личный вклад - 0,22 п.л.).

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018618174. «TEI.Re.Te» / **Ю.Н. Звонарева**, А.Р. Загреддинов. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.07.2018 г.:

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018618521. «Co.Hy.Res.» / **Ю.Н. Звонарева**, Ю.В. Ваньков, Е.В. Измайлова. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 13.07.2018 г.

Подписано к печати

29.03.2019 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 № 5061

Типография «ZURKAZAN», 420095, Казань, ул.Серова, 4а, офис 204