

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»

На правах рукописи



Звонарева Юлия Николаевна

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

05.14.01 - Энергетические системы и комплексы

Диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Ваньков Юрий Витальевич

Казань 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СХЕМ АБОНЕНТСКИХ ПОДКЛЮЧЕНИЙ К ТЕПЛОЙ СЕТИ И ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	18
1.1 Эффективность индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) по сравнению с центральными (ЦТП)	18
1.1.1 Центральный тепловой пункт	18
1.1.2 Индивидуальный тепловой пункт	23
1.2 Способы и методы регулирования отпуска тепловой энергии	33
1.2.1 Методы регулирования тепловой нагрузки.	34
1.2.2 Автоматическое регулирование потребления тепловой энергии	36
1.3 Основы потокораспределения	40
Выводы по главе 1	43
2 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕДРЕНИЯ АИТП НА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ, ПОДКЛЮЧЕННЫХ ПО ЭЛЕВАТОРНОЙ СХЕМЕ	45
2.1 Анализ методов гидравлических расчетов тепловых сетей	45
2.1.1 Гидравлический расчет по удельным потерям давления	48
2.1.2 Гидравлический расчет по характеристикам сопротивления	50
2.2 Математическое моделирование гидравлического режима тепловой сети	54
2.3 Гидравлическая устойчивость систем теплоснабжения	57
2.4 Определение оптимального числа абонентов для перевода на АИТП с точки зрения гидравлической устойчивости системы	60
Выводы по главе 2	70

3	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЦЕНТА ОСНАЩЕНИЯ АИТП ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ИЗ ОБЩЕГО ЧИСЛА АБОНЕНТОВ.....	73
3.1	Характеристика экспериментально-лабораторного стенда	73
3.1.1	Редукторный электропривод.....	75
3.1.2	Регулирующий клапан	76
3.1.3	Регулятор перепада давления AVP.....	77
3.1.4	Ручной балансирующий клапан LENO™ MSV-BD.....	78
3.2	Анализ результатов эксперимента и сравнение с натурными измерениями на реальной тепловой сети.	79
3.3.	Влияние поэтапного внедрения АИТП на гидравлическую устойчивость системы теплоснабжения.....	84
	Выводы по главе 3.....	90
4	ПОКАЗАТЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ АИТП.....	93
4.1	Опыт реализации «Программы оснащения АИТП».....	93
4.1.1	Техническая целесообразность внедрения АИТП.....	99
4.1.2	Экономическая целесообразность внедрения АИТП	102
4.1.3	Социальная целесообразность	108
4.1.4	Источники финансирования программ реализации энергосберегающих мероприятий, направленных на повышение эффективности систем теплоснабжения.....	109
4.2.	Расчет экономического эффекта на примере многоквартирного жилого дома.....	110
4.2.1	Оценка потенциала возможной экономии тепловой энергии при внедрении АИТП.....	110

4.2.2 Оценка коммерческой эффективности реализации программы	116
4.3 Методика расчета энергетической эффективности при оптимизации работы систем коммунального теплоснабжения	122
Выводы по главе 4	136
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	138
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ	144
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	146
ПРИЛОЖЕНИЯ	163
Приложение А. Акты использования и реализации трудов	163
Приложение Б. Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ	170
Приложение В. Справочные таблицы	172
Приложение Г. Результаты проведенных исследований	174

ВВЕДЕНИЕ

Теплоснабжение в России имеет большое экономическое и социальное значение, любые сбои в обеспечении потребителей тепловой энергией негативным образом воздействуют на экономику страны. Повышение эффективности (надежности, качества и экономичности работы) при эксплуатации систем теплоснабжения является важной задачей.

Согласно Энергетической стратегии России на период до 2020 года целями теплоснабжения являются:

- надежное снабжение теплом экономики и населения страны;
- повышение эффективности функционирования и обеспечение устойчивого развития отрасли на базе новых современных технологий;
- максимально эффективное использование возможностей когенерации [1].

Для достижения этих целей предусматривается решение следующих основных задач:

- разработка программы реформирования теплоснабжения в России и создание государственной системы управления процессами теплоснабжения;
- пересмотр политики теплоснабжения городов и предприятий в части оптимального снижения уровней централизации с целью повышения надежности теплоснабжения и снижения затрат на передачу тепловой энергии;
- разработка и осуществление мер государственного регулирования для обеспечения коммерческой эффективности теплофикации и для сохранения первичных энергоресурсов, снижения вредных выбросов от энергоисточников в окружающую среду, рационального использования территорий городов.

Большинство обозначенных проблем в последние годы все чаще возникают в жилищно-коммунальном секторе и связаны с эксплуатацией и дальнейшим развитием систем теплоснабжения (централизованных, децентрализованных, автономных, индивидуальных).

Чтобы повысить энергоэффективность систем теплоснабжения существующего оборудования, исчерпавшее свой парковый ресурс, требуется обновлять и оптимизировать схемно-технологические решения.

Теплоснабжение в крупных городах представлено обычно двумя секторами. В первом случае источниками тепла служат теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) – предприятия, на которых осуществляется совместная выработка тепловой и электрической энергии, во втором случае в тепловые сети поступает тепло, вырабатываемое в котельных [2, 3].

Теплоэлектроцентрали, находясь в центре тепловых нагрузок, отпускают тепловую энергию, в тепловые сети [4]. Отопительные котельные, находящиеся в тех же зонах, что и ТЭЦ, вырабатывают тепловую энергию в некомбинированном режиме, что в конечном итоге, влияет на энергосбережение, с точки зрения сжигания топлива, и, как следствие, на конечный тариф для потребителя.

Принципиально, котельные должны получать только ту нагрузку, которая не может быть выработана на ТЭЦ при комбинированном режиме. Надо всемерно содействовать эффективной загрузке ТЭЦ, наращиванию теплофикационных мощностей, переводу мощностей котельных в пиковый или резервный режим работы [5, 6].

И дело не просто в модернизации теплоисточников, а в себестоимости выработки тепла.

Для снижения себестоимости тепловой энергии необходимо оптимизировать системы теплоснабжения в границах городов или тепловых узлов.

Основные мероприятия, направленные на оптимизацию систем теплоснабжения:

- магистральные сети должны быть закольцованы, чтобы можно было от любой станции в любой момент подать необходимое количество тепла;
- загрузка ТЭЦ должна быть максимально эффективной, отопительные котельные, являясь менее эффективными источниками должны загружаться по «остаточному» принципу;

- оптимизировать режимы отпуска и потребления тепловой энергии с учетом внедрения энергосберегающих технологий и мероприятий [7].

Оптимизация режимов для каждой стороны имеет совершенно различные критерии.

Для поставщика она состоит в оптимизации процесса когенерации или совместной выработки электрической и тепловой энергии, оптимизации загрузки источников, необходимостью сетевых переключений для производства профилактических и аварийно-восстановительных работ.

Для потребителя это оптимизация достижения качественно-количественных показателей режимов работы системы теплоснабжения [8].

По данным статических показателей Министерства энергетики РФ ежегодно в России производится около 600 млн Гкал тепловой энергии. За период 2013-2017г.г. среднегодовой прирост производства тепловой энергии составляет 2,5%. При этом около 50% объектов коммунального теплоснабжения и инженерных сетей требуют замены.

В течение отопительного периода 2014-2015 гг. в РФ количество тепловых сетей территориальных генерирующих компаний (ТГК) с превышенным нормативным сроком эксплуатации возросло на 3,6%, а количество аварийных ситуаций на магистральных тепловых сетях, по сравнению с отопительным периодом 2013-2014 гг., увеличилось на 16 %.

При этом количество не отражаемых более мелких нарушений в распределительных тепловых сетях на порядки выше. Причиной этого, является высокий уровень износа тепловых сетей и сетей горячего водоснабжения (ГВС).

Наибольшую подверженность к износу имеют сети ГВС, которые используются для транспортировки «приготовленной» горячей воды в центральных тепловых пунктах до потребителя при закрытой схеме теплоснабжения.

Существующая схема «приготовления» горячей воды в большинстве регионов России предполагает подачу теплоносителя от теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), центральной котельной, который по магистральным и квартальным

теплотрассам поступает на центральный тепловой пункт (ЦТП). В тепловом пункте посредством пластинчатых или трубчатых теплообменных аппаратов, через которые проходит теплоноситель («греющая сторона»), происходит нагрев холодной воды до температуры не более 65-70°C температура горячей воды на выходе из теплообменника должна обеспечивать температуру горячей воды у потребителя в пределах, регламентированных СанПиН 2.1.4.2496, с учетом снижения температуры горячей воды в тепловых сетях и стояках зданий. Далее горячая вода по централизованным сетям ГВС транспортируется до инженерных сетей объектов водопотребления.

Системы централизованного горячего водоснабжения по сравнению с другими инженерными сооружениями (системами отопления, холодного водоснабжения и канализации) являются наименее надежными и долговечными.

Если установленный и фактический сроки службы зданий оцениваются в 50 –100 лет, а систем отопления, холодного водоснабжения и канализации в 20 – 25 лет, то для систем горячего водоснабжения при закрытой схеме теплоснабжения от ЦТП и выполнении коммуникаций из стальных труб без антикоррозионных покрытий фактический срок службы не превышает 10 лет, а в отдельных случаях 2 – 3 года.

Это происходит вследствие того, что на теплоисточнике (ТЭЦ, котельная) вода как следует подготавливается, чтобы снизить ее агрессивность, а вот вода для горячего водоснабжения используется обыкновенная водопроводная (как правило очень жесткая и не деаэрированная), которую теплоноситель греет в теплообменнике. Поэтому трубопроводы ГВС выходят из строя намного чаще [9].

Трубопроводы горячего водоснабжения без защитных покрытий подвержены внутренней коррозии и значительному загрязнению ее продуктами. Это приводит к активной коррозии трубопроводов горячей воды, и как следствие, к снижению пропускной способности коммуникаций, росту гидравлических потерь и нарушениям в подаче горячей воды, особенно на верхние этажи зданий при недостаточных напорах городского водопровода. В крупных системах горячего водоснабжения от центральных тепловых пунктов зарастание трубопроводов

продуктами коррозии нарушает регулирование разветвленных систем и ведет к перебоям в подаче горячей воды. Из-за интенсивной коррозии, особенно внешних сетей горячего водоснабжения от ЦТП, возрастают объемы текущих и капитальных ремонтов. Последние связаны с частыми переключками внутренних (в домах) и внешних коммуникаций, нарушением благоустройства городских территорий внутри кварталов, длительным прекращением подачи горячей воды большому количеству потребителей при выходе из строя головных участков трубопроводов горячего водоснабжения.

Коррозионные повреждения трубопроводов горячего водоснабжения от ЦТП в случае их совместной прокладки с разводящими сетями отопления приводят к затоплению последних горячей водой и их интенсивной внешней коррозии. При этом возникают трудности в обнаружении мест аварий, приходится выполнять большой объем земляных работ и ухудшать благоустройство жилых районов.

При незначительных различиях в капиталовложениях на сооружение систем горячего, холодного водоснабжения и отопления эксплуатационные расходы, связанные с частой переключкой и ремонтом коммуникаций горячего водоснабжения, несоизмеримо более высокие. Коррозия систем горячего водоснабжения и защита от нее приобретают особо важное значение в связи с размахом жилищного строительства в России.

Возвращаясь к оценке состояния труб ГВС в городах, можно на примере г. Казани отметить, что количество изношенных сетей ГВС, обслуживаемых Казанскими тепловыми сетями со сроком эксплуатации более 10 лет составляет более 60% от общей протяженности (см. Рисунок 1).

В 2017 году больше 30 % от общего числа зафиксированных повреждений пришлось на сети горячего водоснабжения, которые составляют всего 17 % от общей протяженности тепловых сетей города.

Высокая повреждаемость сетей ГВС приводит к постоянным затоплениям каналов централизованных сетей теплоснабжения, ускорению их внешней коррозии и росту потерь в сетях теплоснабжения и ГВС.

Одним из оправдавших себя способов повышения эффективности теплоснабжения является вывод из эксплуатации ЦТП и сетей ГВС и переноса функций «приготовления» горячей воды к потребителю посредством установки индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) с индивидуальными водо-водяными подогревателями (ИВВП) в многоквартирных домах. Строительство в последние годы домов новых серий с подвальными помещениями и производство бесшумных центробежных насосов способствует переходу во многих случаях к проектированию ИТП и повышению надежности горячего водоснабжения [10].

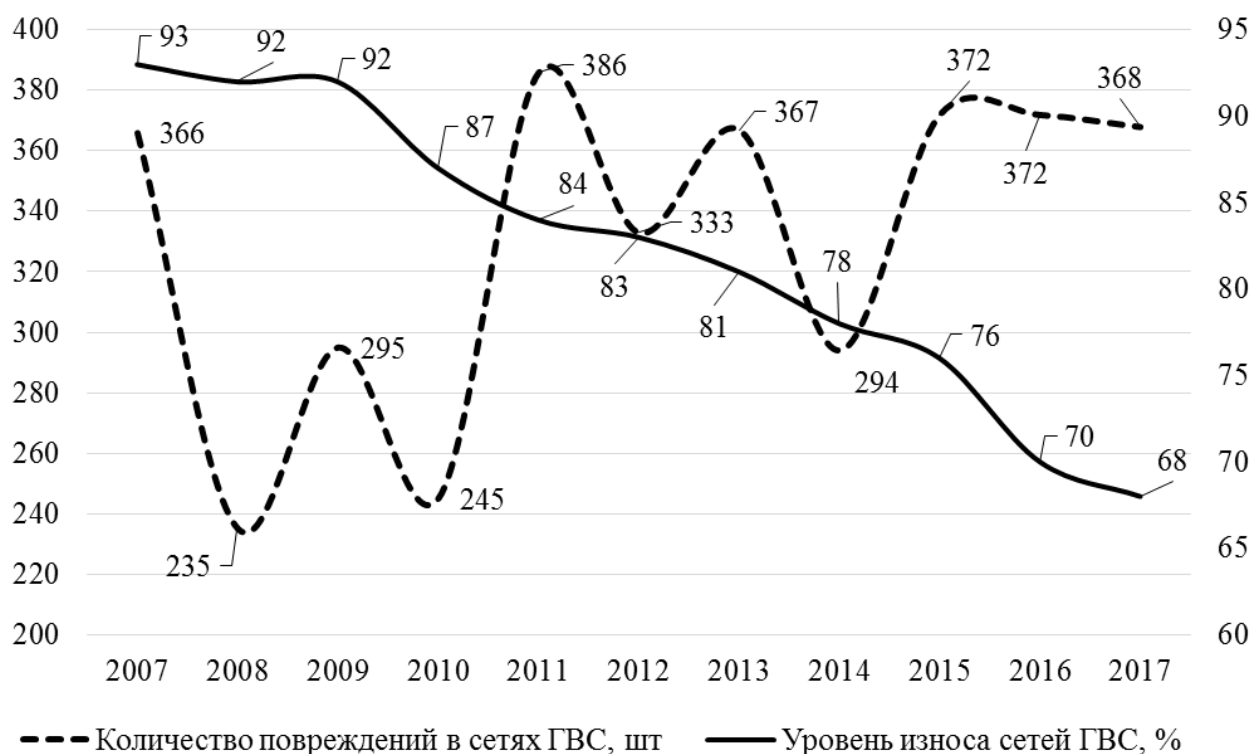


Рисунок 1. Уровень износа тепловых сетей ГВС и количество повреждений на них (г. Казань)

Актуальность темы работы. Теплосети, запитываемые от ТЭЦ и котельных являются сложными разветвленными гидравлическими системами, при эксплуатации которых возникают нарушения режимов работы такие как:

- недостаточные перепад давления между прямым и обратным трубопроводом;
- повышенное давление в обратном трубопроводе;

- разрегулированность сети у потребителей («недотопы» и «перетопы»).

Причинами указанных проблем могут быть повышенный расход теплоносителя, недостаточный диаметр трубопроводов, уменьшение диаметров труб из-за отложения на их внутренней поверхности.

Разработка схем теплоснабжения муниципальных образований [9] (в соответствии с требованиями постановления правительства РФ от 22 февраля 2012 года №154) показала повсеместное планирование увеличения мощности энергоисточников и диаметров тепловых сетей (см. Рисунок 2).

В тоже время разработанные программы энергосбережения городских округов и муниципальных районов предусматривают снижение теплопотребления подключенных зданий и потерь в сетях.

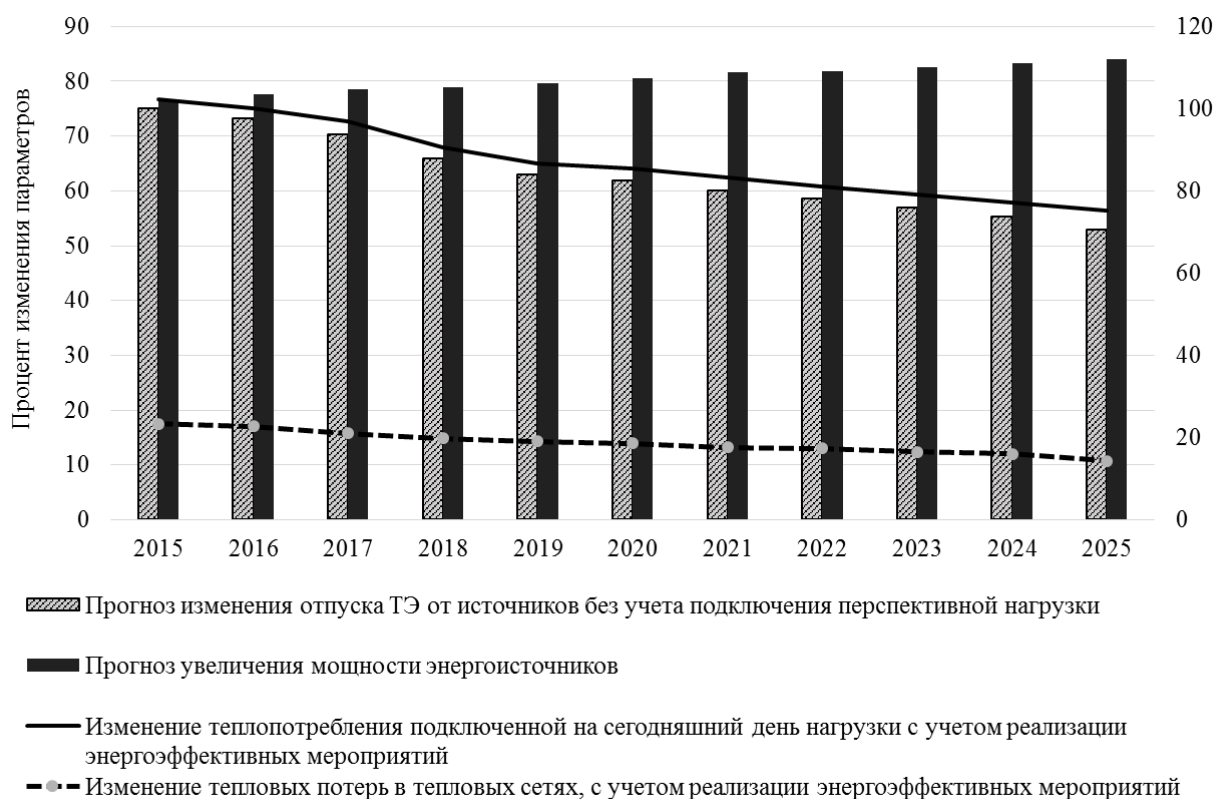


Рисунок 2. Фактические и прогнозные показатели изменения отпуска, потребления и потерь тепловой энергии в системах теплоснабжения на период 2015-2025 гг. по Республике Татарстан

Анализ изменения показателей работы выполнен по данным разработанных и утвержденных Схем теплоснабжения крупных муниципальных объединений Республики Татарстан [10-12].

Совершенствование теплоэнергетических систем, согласно программам развития и прогнозных показателей потребления и отпуска тепловой энергии необходимо реализовывать одновременно и в теплоснабжении, и в теплопотреблении. Создание совершенных систем централизованного теплоснабжения (СЦТ) без систем автоматизации и регулирования в подключенных зданиях 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 [13].

В частности, развитие систем теплоснабжения осуществляется с учетом установки ИТП и постепенной ликвидации центральных тепловых пунктов (Рисунок 3).

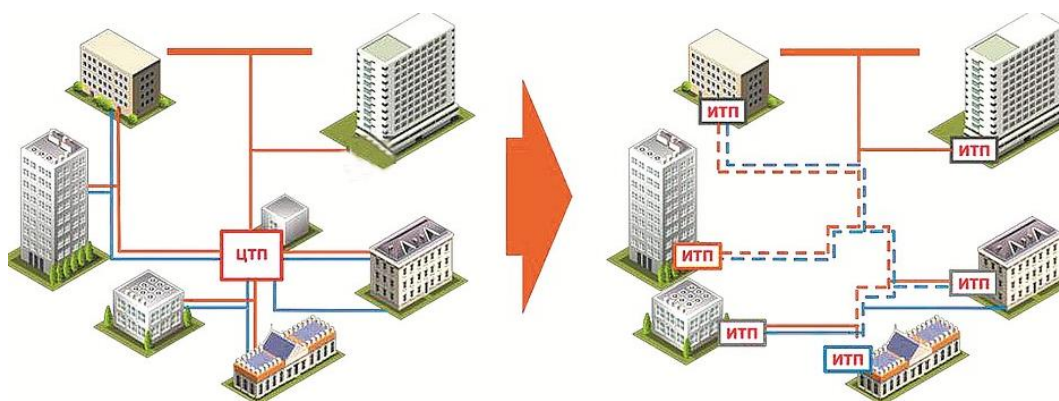


Рисунок 3. Изменение схемы распределения теплоносителя при ликвидации центральных тепловых пунктов

Гидравлическая взаимосвязь элементов системы при ее модернизации приводит к разрегулировке гидравлического режима работы. Это оказывает отрицательное влияние на надежность теплоснабжения и снижает эффективность работы теплоисточников и системы в целом.

Исходя из вышесказанного, тема диссертационного исследования является актуальной.

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, Gabrielaitiaene I., Sunden B., W. Kröger, D. Cicone Jr., Zhou Z., Wang Z., H. Jensen, L.C. Ribeiro Galvão, M.E. Morales и др [14-16].

Вопросы поддержания заданного гидравлического режима в тепловых сетях и требуемого перепада давлений в абонентских узлах при изменениях работы системы теплоснабжения отражены в трудах авторов Моисеев Б.В., Богомоллов В.П., Шаповал А.Ф., Сикерин И.Е., Голяк С.А., Пашенцева Л. В. [17-19].

Российскими и иностранными авторами, такими как Karlsson K. В., Petrović S. N., Зайцев О.Н., Лукьянченко Д.М., Lake A., Rezaie B., Beyerlein S., Перминов И.А., Петрекевич Л.А. - изучены современные методы регулирования тепловых сетей путем внедрения автоматизированного инженерного оборудования в системах теплоснабжения [20-26].

Вопросы создания и 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. и др. [27-34].

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 оснащённости потребителей АИТП использовались при реализации городской программы по ликвидации центральных тепловых пунктов 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*).

Акты внедрения, использования и реализации результатов научных исследований представлены в Приложении А.

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.

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.

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.

Личное участие автора заключается: в определении целей и задач исследований; выборе методологической и информационной базы; проведении экспериментальных исследований, разработке методик оценки потенциала энергосбережения и определения коммерческой эффективности при принятии технических решений 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), XII Международной научно-практической конференции «Техника и технология» (2014), XVIII Международной научно-технической конференции «Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика» (Москва, 2012).

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 (см. Приложение Б) и 18 публикаций в материалах всероссийских и международных научных конференций. Общий объем публикаций составляет 11,56 п.л..

1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СХЕМ АБОНЕНТСКИХ ПОДКЛЮЧЕНИЙ К ТЕПЛОЙ СЕТИ И ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

1.1 Эффективность индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) по сравнению с центральными (ЦТП)

Система теплоснабжения с центральными тепловыми пунктами (ЦТП), через которые осуществляется подача тепла по отдельным трубопроводам на отопление и горячее водоснабжение зданий, широко распространена в нашей стране.

С развитием систем теплоснабжения, все более актуальнее и эффективнее с точки зрения экономии тепловой энергии, капиталовложений и снижении эксплуатационных затрат, становятся схемы присоединения потребителей через индивидуальные тепловые пункты (ИТП).

1.1.1 Центральный тепловой пункт

Тепловой пункт или сокращенно ТП это комплекс оборудования, расположенный в отдельном помещении обеспечивающий отопление и горячее водоснабжение здания или группы зданий [35].

Основное отличие ТП от котельной заключается в том, что в котельной происходит, нагрев теплоносителя за счет сгорания топлива, а тепловой пункт работает с нагретым теплоносителем, поступающим из централизованной системы. Нагрев теплоносителя для ТП производят теплогенерирующие предприятия - промышленные котельные и ТЭЦ.

Центральный тепловой пункт (ЦТП) - это тепловой пункт обслуживающий группу зданий, например, микрорайон, поселок городского типа, промышленное предприятие и т.д. Необходимость в ЦТП определяется индивидуально для каждого района на основании технических и экономических расчетов, как правило, возводят один центральный тепловой пункт для группы объектов с расходом теплоты 12-35 МВт [36].

Тепловые сети состоят из трубопроводов и обеспечивают транспортировку теплоносителя. Они бывают первичные, соединяющие теплогенерирующие

предприятия с тепловыми пунктами и вторичные, соединяющие ЦТП с конечными потребителями. ЦТП являются посредниками между первичными и вторичными тепловыми сетями или теплогенерирующими предприятиями и конечными потребителями.

Функция ЦТП – распределение теплоносителя по системам отопления и горячего водоснабжения (ГВС) обслуживаемых зданий, а также функции обеспечения безопасности, управления и учета.

В ЦТП происходит:

- преобразование теплоносителя, например, превращение пара в перегретую воду;
- изменение различных параметров теплоносителя, таких как давление, температура и т. д.;
- управление расходом теплоносителя и водоподготовка для ГВС;
- распределение теплоносителя по системам отопления и горячего водоснабжения;
- защита вторичных тепловых сетей от повышения параметров теплоносителя;
- обеспечение отключения отопления или горячего водоснабжения в случае необходимости.

Схема присоединения абонента через центральный тепловой пункт представлена на Рисунке 1.1.

Как правило, центральный тепловой пункт – это отдельно стоящее одноэтажное здание с расположенным в нем оборудованием и коммуникациями.

Автоматика ЦТП отслеживает средний температурный график. Это может стать причиной излишней подачи теплоснабжения, когда часть зданий, подключённых к ЦТП, прошла модернизацию, а часть нет. Подобный эффект наблюдается в случаях, когда к ЦТП подключены здания с различными температурными графиками: детский сад, школа и жилой дом.

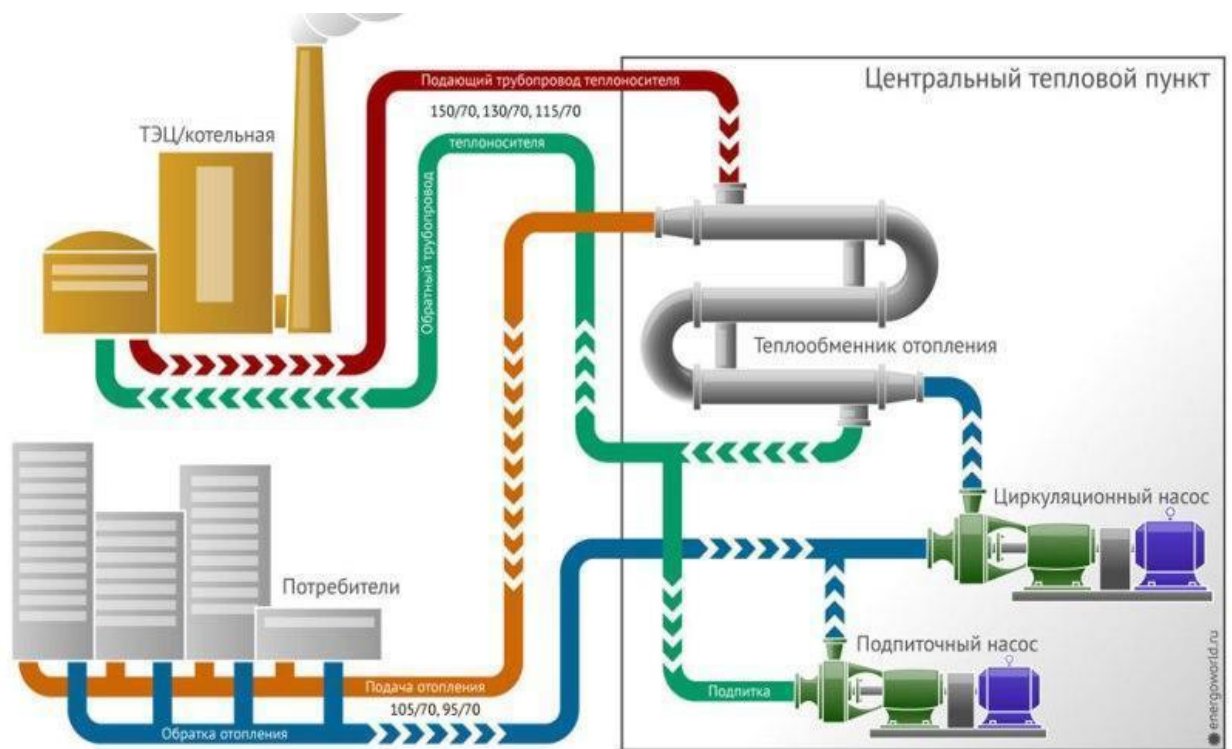


Рисунок 1.1. Схема присоединения абонента через центральный тепловой пункт

Температурный график работы тепловой сети определяет то, в каком режиме тепловой пункт будет работать в дальнейшем и какое оборудование необходимо в нем устанавливать [37].

Различают несколько температурных графиков работы тепловой сети: $150/70^{\circ}\text{C}$, $130/70^{\circ}\text{C}$, $110/70^{\circ}\text{C}$, $95/70^{\circ}\text{C}$.

Если температура теплоносителя не превышает 95°C , то его остается только распределить по всей отопительной системе. В этом случае возможно применять только коллектор с балансировочными клапанами для гидравлической увязки циркуляционных колец.

Если же температура теплоносителя превышает 95°C , то такой теплоноситель нельзя напрямую использовать в системе отопления без его температурной регулировки. Именно в этом и заключается важная функция теплового пункта. При этом необходимо, чтобы температура теплоносителя в системе отопления изменялась в зависимости от изменения температуры наружного воздуха [38].

В тепловых пунктах старого образца (Рисунок 1.2) в качестве регулирующего устройства применяется элеваторный узел, позволяющий существенно снизить стоимость оборудования, однако с помощью такого теплового пункта (ТП) невозможно осуществлять точную регулировку температуры теплоносителя, особенно при переходных режимах работы системы.

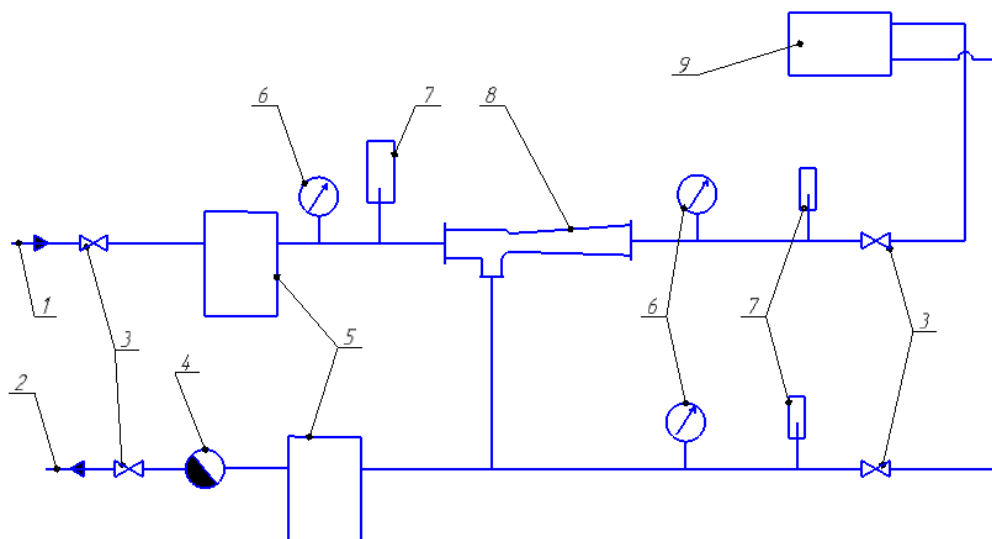


Рисунок 1.2. Схема теплового пункта с элеваторным узлом:

- 1 – подающий трубопровод; 2 – обратный трубопровод; 3 – задвижки;
 4 – водомер; 5 – грязевики; 6 – манометры; 7 – термометры; 8 – элеватор;
 9 – нагревательные приборы системы отопления

Элеваторный узел обеспечивает только «качественную» регулировку теплоносителя, когда температура в системе отопления изменяется в зависимости от температуры теплоносителя, приходящего от централизованной тепловой сети. Это приводит к тому, что «регулировка» температуры воздуха в помещениях производится потребителями при помощи открытого окна и с огромными тепловыми затратами, уходящими атмосферу [39].

Особенно низкая эффективность работы элеваторных узлов проявилась с ростом цен на тепловую энергию, а также с невозможностью работы централизованной тепловой сети по температурному или гидравлическому графику, на который были рассчитаны установленные ранее элеваторные узлы.

Принцип работы элеватора заключается в том, чтобы смешивать теплоноситель из централизованной тепловой сети и воду из обратного трубопровода системы отопления до температуры, соответствующей нормативной для данной системы. Это происходит за счет принципа эжекции при использовании в конструкции элеватора сопла определенного диаметра (см. Рисунок 1.3). После элеваторного узла смешанный теплоноситель подается в систему отопления здания [40].

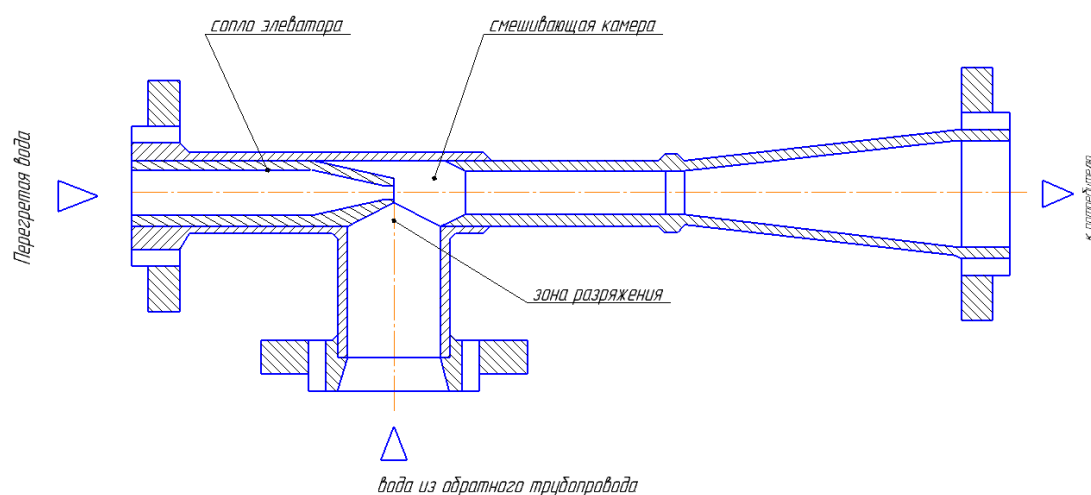


Рисунок 1.3. Принципиальная схема конструкции элеваторного узла

Элеватор совмещает одновременно два устройства: циркуляционный насос и смесительное устройство. На эффективность смешения и циркуляции в системе отопления не влияют колебания теплового режима в тепловых сетях. Вся регулировка заключается в правильном подборе диаметра сопла и обеспечения необходимого коэффициента смешения (нормативный коэффициент 2,2). Следует отметить, что при присоединении потребителей посредством элеваторного узла смешения, отсутствуют затраты на электроэнергию.

Однако имеются многочисленные недостатки, которые сводят на нет всю простоту и неприхотливость обслуживания данного устройства.

На эффективность работы напрямую влияют колебания гидравлического режима в тепловых сетях. Так, для нормального смешения, перепад давлений в подающем и обратном трубопроводах необходимо поддерживать в пределах 0,8 –

2 бар; температура на выходе из элеватора не поддается регулировке и напрямую зависит только от изменения температуры тепловой сети. В этом случае, если температура теплоносителя, поступающего из котельной, не соответствует температурному графику, то и температура на выходе из элеватора будет ниже необходимой, что напрямую повлияет на внутреннюю температуру воздуха в помещениях здания [41].

Подобные устройства получили широкое применение во многих типах зданий, подключенных к централизованной тепловой сети. Однако в настоящее время они не соответствуют требованиям по энергосбережению, в связи с чем подлежат замене на современные индивидуальные тепловые пункты (ИТП).

При централизованном регулировании отмечается значительный перерасход энергии для отопления и горячего водоснабжения зданий, возникают проблемы с организацией учёта потребления тепла собственниками зданий, организацией правильной оплаты потребления, с определением потерь тепла при транспортировке.

В переходные периоды в связи с резкими перепадами температур наружного воздуха, регулярно дестабилизируется режим работы тепловых сетей.

С учётом износа коммунальной инфраструктуры и необходимостью проведения ремонтных работ логичным и обоснованным является внедрение в ходе реконструкции тепловых сетей новых технологий, которые позволят устранить недостатки схемы отопления с использованием ЦТП.

Стоимость ИТП значительно выше, чем ЦТП. Но при этом они наиболее экономически целесообразны и позволяют снижать теплопотребление до 30% [42].

1.1.2 Индивидуальный тепловой пункт

Индивидуальный тепловой пункт – важнейшая составляющая систем теплоснабжения зданий. От его характеристик во многом зависит регулирование систем отопления и ГВС, а также эффективность использования тепловой энергии. Поэтому тепловым пунктам уделяется большое внимание [43].

Индивидуальный тепловой пункт – это комплекс устройств, расположенный в обособленном помещении (как правило, в подвальном помещении), состоящий

из элементов, обеспечивающих присоединение системы отопления и горячего водоснабжения к централизованной тепловой сети. По подающему трубопроводу осуществляется подача теплоносителя в здание [44]. С помощью второго обратного трубопровода в котельную попадает уже охлажденный теплоноситель из системы.

Схема присоединения абонента через индивидуальный тепловой пункт представлена на Рисунке 1.4.

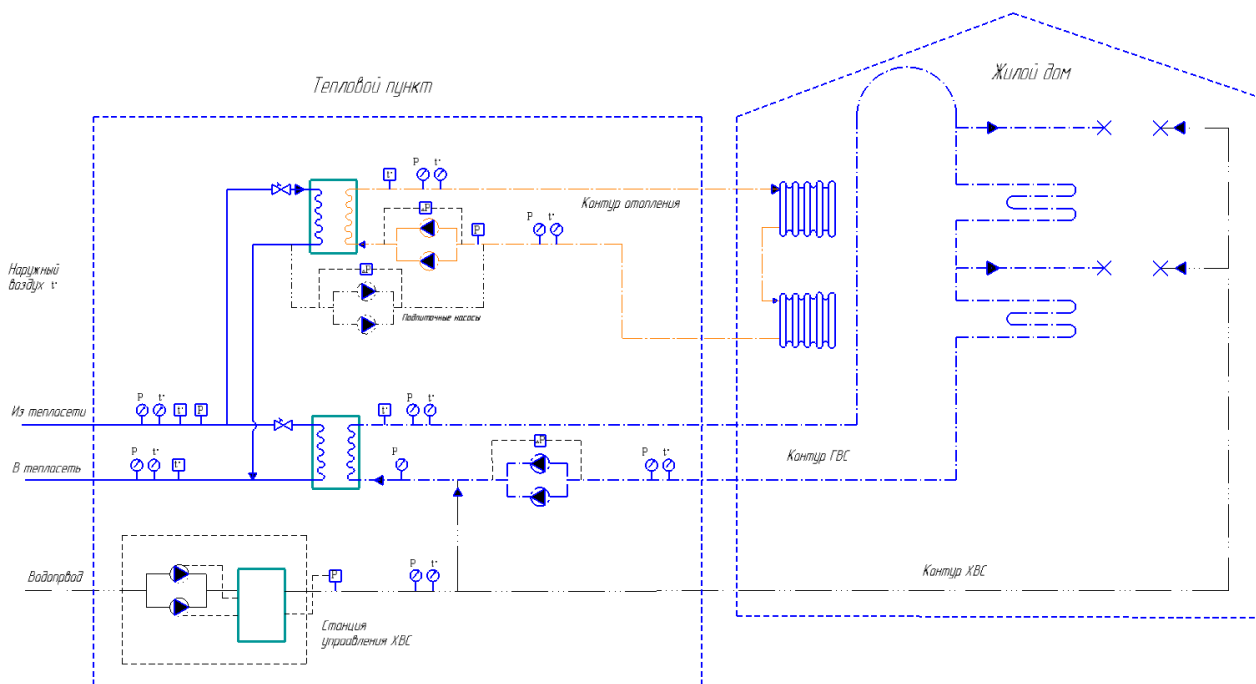


Рисунок 1.4. Схема присоединения абонента через ИТП

В современных системах централизованного теплоснабжения энергосбережение достигается, в частности, за счет регулирования температуры теплоносителя с учетом поправки на изменение температуры наружного воздуха.

Для этих целей в каждом тепловом пункте применяют комплекс оборудования (Рисунок 1.5) для обеспечения необходимой циркуляции в системе отопления (циркуляционные насосы) и регулирования температуры теплоносителя (регулирующие клапаны с электрическими приводами, контроллеры с датчиками температуры).

Большинство тепловых пунктов имеет в своем составе также теплообменник для подключения к внутренней системе горячего водоснабжения (ГВС) с циркуляционным насосом. Набор оборудования зависит от конкретных задач и

исходных данных. Именно поэтому, из-за различных возможных вариантов конструкции, а также своей компактности и транспортабельности, современные ИТП получили название модульных (Рисунок 1.6).

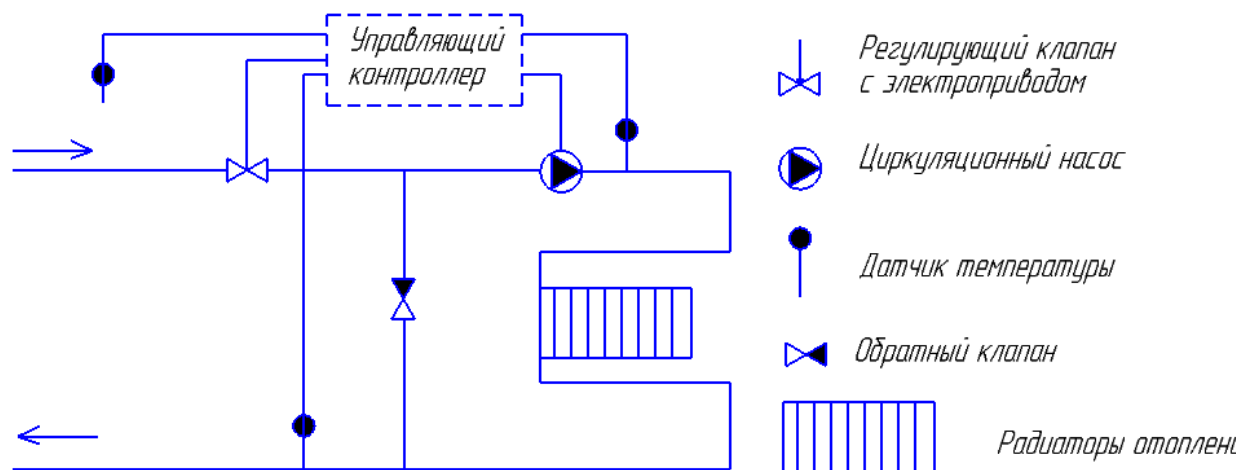


Рисунок 1.5. Принципиальная схема индивидуального теплового пункта с использованием контроллера, регулирующего клапана и циркуляционного насоса

В ИТП с зависимым присоединением системы отопления к внешним тепловым сетям циркуляция теплоносителя в отопительном контуре поддерживается циркуляционным насосом. Управление насосом осуществляется в автоматическом режиме от контроллера или от соответствующего блока управления. Автоматическое поддержание необходимого температурного графика в отопительном контуре также осуществляется электронным регулятором. Контролер воздействует на регулирующей клапан, расположенный на подающем трубопроводе на стороне внешней тепловой сети («острой воде») [45]. Между подающим и обратным трубопроводами установлена смесительная переключка с обратным клапаном, за счет которой осуществляется подмес в подающий трубопровод из обратной линии теплоносителя, с более низкими температурными параметрами (Рисунок 10).

В ИТП с зависимым присоединением системы отопления к внешним тепловым сетям циркуляция теплоносителя в отопительном контуре

поддерживается циркуляционным насосом. Управление насосом осуществляется в автоматическом режиме от контроллера или от соответствующего блока управления.



Рисунок 1.6. Современный модульный индивидуальный тепловой пункт в сборе

Автоматическое поддержание необходимого температурного графика в отопительном контуре также осуществляется электронным регулятором. Контролер воздействует на регулирующий клапан, расположенный на подающем трубопроводе на стороне внешней тепловой сети («острой воде») [46]. Между подающим и обратным трубопроводами установлена смесительная переключательная перемычка с обратным клапаном, за счет которой осуществляется подмес в подающий трубопровод из обратной линии теплоносителя, с более низкими температурными параметрами (Рисунок 1.7).

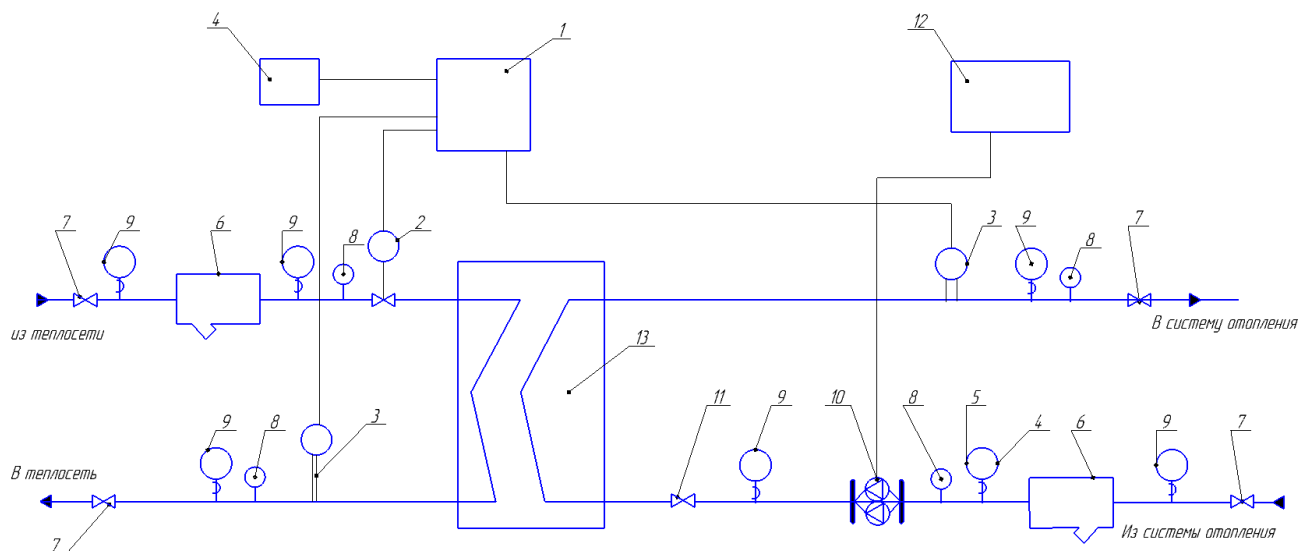


Рисунок 1.7. Принципиальная схема модульного теплового пункта,

подключенного по зависимой схеме:

1 – контроллер; 2 – двухходовой регулирующий клапан с электрическим приводом; 3 – датчики температуры теплоносителя; 4 – датчик температуры наружного воздуха; 5 – реле давления для защиты насосов от сухого хода; 6 – фильтры; 7 – задвижки; 8 – термометры; 9 – манометры; 10 – циркуляционные насосы системы отопления; 11 – обратный клапан; 12 – блок управления циркуляционными насосами

В данной схеме работа системы отопления зависит от давлений в центральной тепловой сети. Поэтому во многих случаях потребуется установка регуляторов перепада давления, а, в случае необходимости, и регуляторов давления «после себя» или «до себя» на подающем или на обратных трубопроводах.

В независимой системе для присоединения к внешнему источнику тепла используется теплообменник (Рисунок 1.8).

Циркуляция теплоносителя в системе отопления осуществляется циркуляционным насосом. Управление насосом производится в автоматическом режиме контроллером или соответствующим блоком управления. Автоматическое поддержание необходимого температурного графика в нагреваемом контуре также осуществляется электронным регулятором. Контроллер воздействует на

регулируемый клапан, расположенный на подающем трубопроводе на стороне внешней тепловой сети («острой воде»).

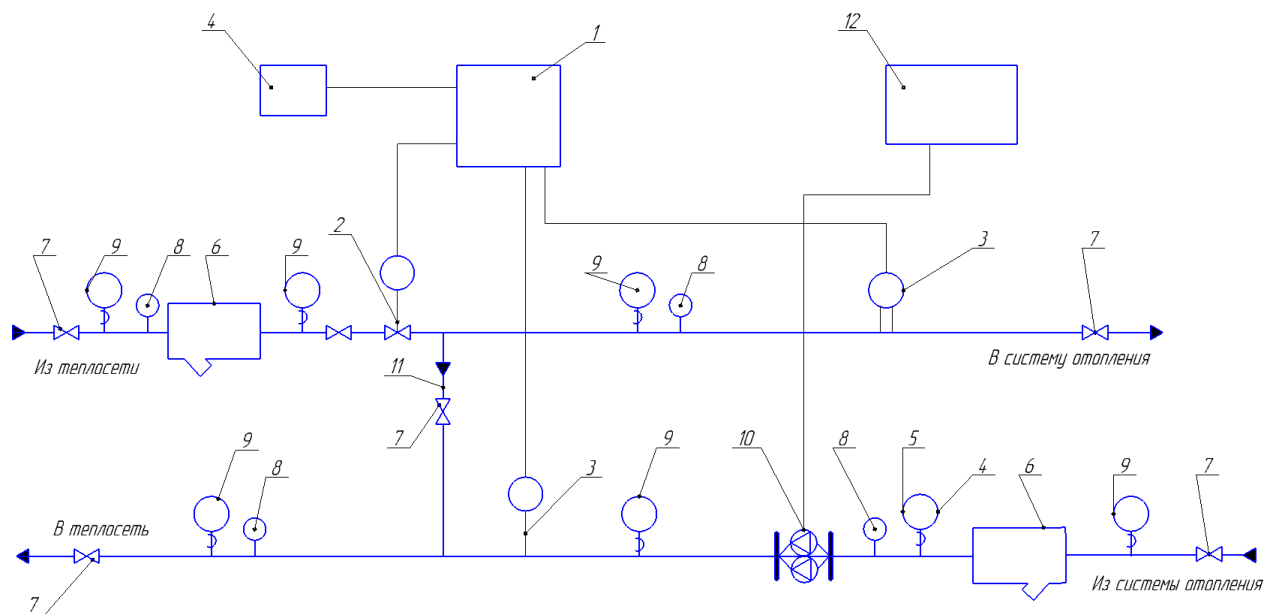


Рисунок 1.8. Принципиальная схема модульного теплового пункта, подключенного по независимой схеме:

1 – контроллер; 2 – двухходовой регулирующий клапан с электрическим приводом; 3 – датчики температуры теплоносителя; 4 – датчик температуры наружного воздуха; 5 – реле давления для защиты насосов от сухого хода; 6 – фильтры; 7 – задвижки; 8 – термометры; 9 – манометры; 10 – циркуляционные насосы системы отопления; 11 – обратный клапан; 12 – блок управления циркуляционными насосами; 13 – теплообменник системы отопления

Достоинством данной схемы является то, что отопительный контур независим от гидравлических режимов централизованной тепловой сети. Также система отопления не страдает от несоответствия качества входящего теплоносителя, поступающего из центральной тепловой сети (наличия продуктов коррозии, грязи, песка и т.д.), а также перепадов давления в ней. По причине необходимости установки и последующего обслуживания теплообменника стоимость капитальных вложений при применении независимой схемы выше [47].

Как правило, в современных системах применяются разборные пластинчатые теплообменники (Рисунок 1.9), которые достаточно просты в обслуживании и

ремонтпригодны: при потере герметичности или выходе из строя одной секции, теплообменник возможно разобрать, а секцию заменить. Также, при необходимости, можно повысить мощность путем увеличения количества пластин теплообменника.

Кроме того, в независимых системах применяют паяные неразборные теплообменники.



Рисунок 1.9. Теплообменники для независимых систем подключения ИТП

ГВС от теплового пункта.

Наиболее простой и распространенной является схема с одноступенчатым параллельным присоединением подогревателей горячего водоснабжения (Рисунок 1.10). Они присоединены к той же тепловой сети, что и системы отопления зданий. Вода, из наружной водопроводной сети подается в подогреватель ГВС. В нем она нагревается сетевой водой, поступающей из подающего трубопровода тепловой сети [48].

Охлажденная сетевая вода подается в обратный трубопровод тепловой сети. После подогревателя горячего водоснабжения нагретая водопроводная вода подается в систему ГВС. Если приборы в этой системе закрыты (к примеру, в ночное время), то горячая вода по циркуляционному трубопроводу снова подается в подогреватель ГВС.

Эту схему с одноступенчатым параллельным присоединением подогревателей горячего водоснабжения рекомендуется применять, если отношение максимального расхода теплоты на ГВС зданий к максимальному расходу теплоты на отопление зданий менее 0,2 или более 1,0. Схема используется при нормальном температурном графике сетевой воды в тепловых сетях.

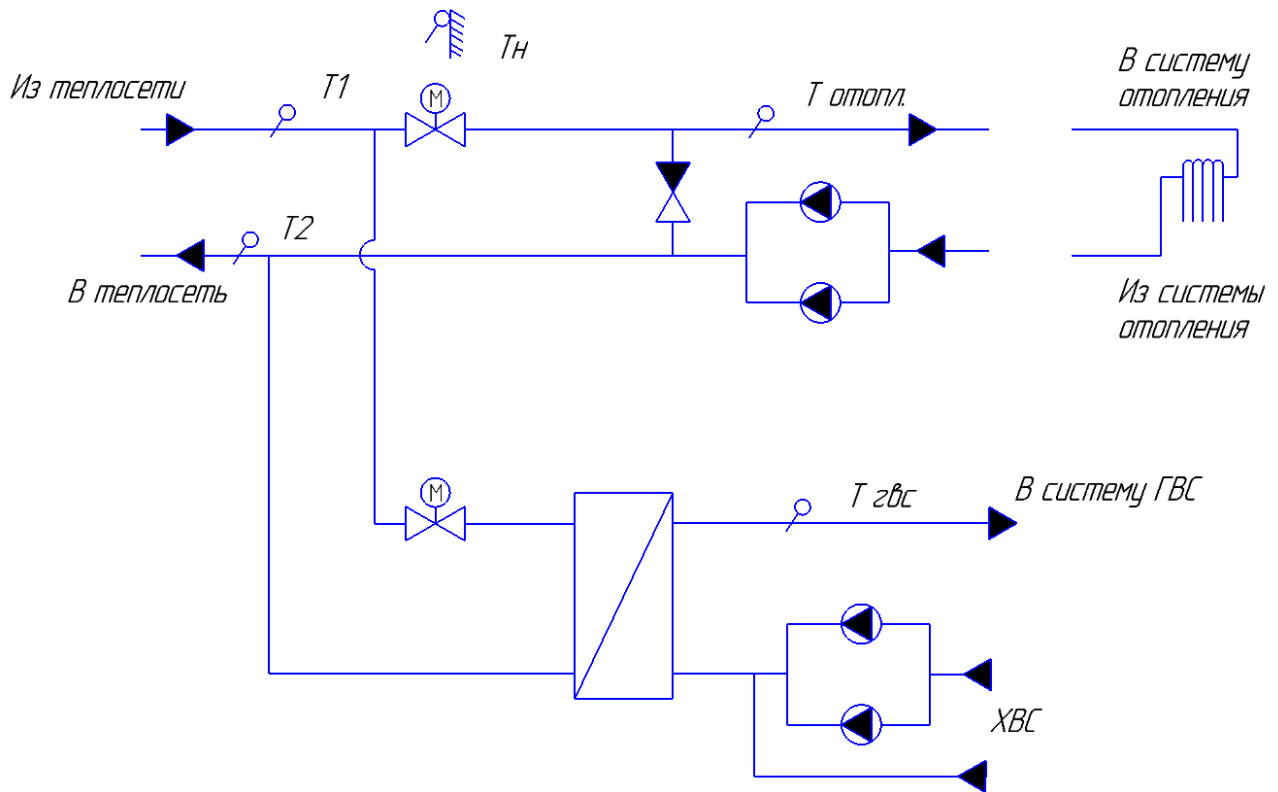


Рисунок 1.10. Схема с зависимым присоединением системы отопления к тепловой сети и одноступенчатым параллельным присоединением теплообменника ГВС

Кроме того, применяется двухступенчатая система подогрева воды в системе ГВС. В ней в зимний период холодная водопроводная вода сначала подогревается в теплообменнике первой ступени (с 5 до 30 °С) теплоносителем из обратного трубопровода системы отопления, а затем для окончательного догрева воды до необходимой температуры (60 °С) используется сетевая вода из подающего трубопровода тепловой сети (Рисунок 1.11). Идея состоит в том, чтобы использовать для нагрева бросовую тепловую энергию обратной линии от системы

отопления. При этом сокращается расход сетевой воды на подогрев воды в системе ГВС. В летний период нагрев происходит по одноступенчатой схеме.

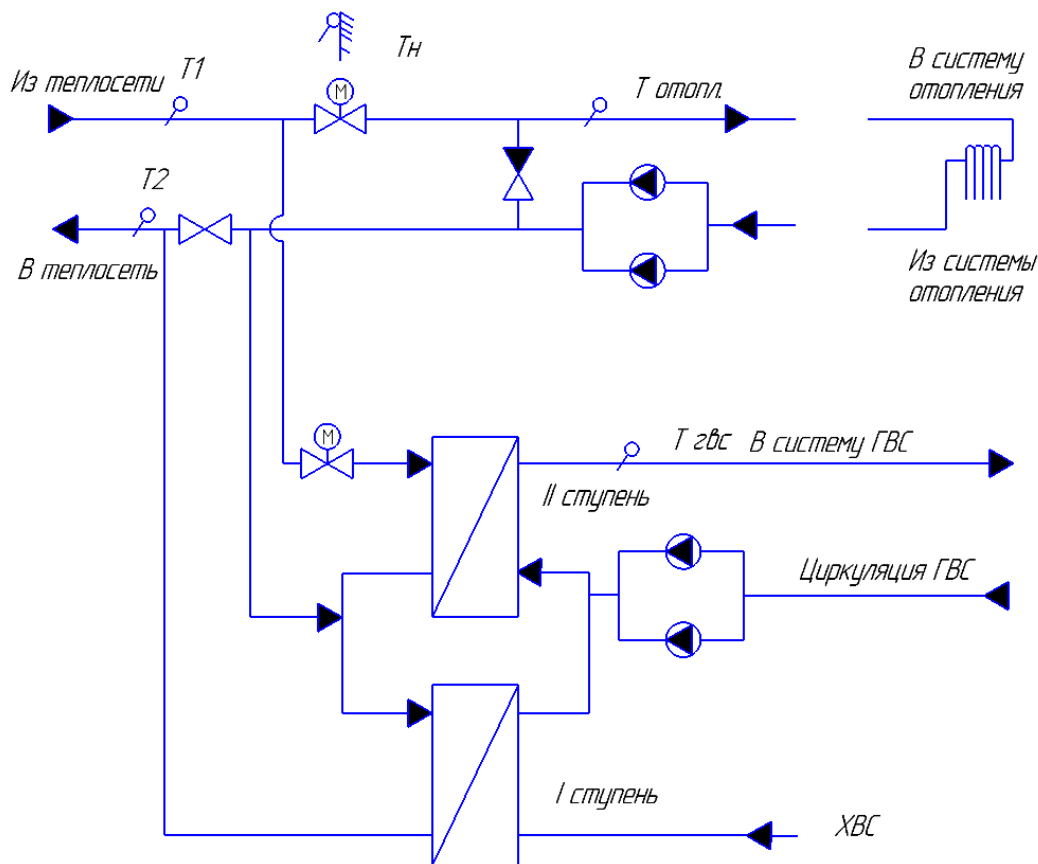


Рисунок 1.11. Схема теплового пункта с зависимым присоединением системы отопления к тепловой сети и двухступенчатым нагревом воды

Важнейшей характеристикой современного теплового пункта является наличие приборов учета тепловой энергии.

В тепловом пункте должно быть размещено оборудование, арматура, устройства контроля, управления и автоматизации, с помощью которых осуществляют:

- регулирование температуры теплоносителя по погодным условиям;
- изменение и контроль параметров теплоносителя;
- учет тепловых нагрузок, затрат теплоносителя и конденсата;
- регулирование затрат теплоносителя;
- защиту локальной системы от аварийного повышения параметров теплоносителя;

теплоносителя;

- доочистку теплоносителя;
- заполнение и подпитку систем отопления;
- комбинированное теплообеспечение с использованием тепловой энергии от альтернативных источников.

Подсоединение потребителей к теплосети должно осуществляться по схемам с минимальными затратами воды, а также экономией тепловой энергии за счет установки автоматических регуляторов теплового потока и ограничения затрат сетевой воды. Не допускается присоединение системы отопления к тепловой сети через элеватор вместе с автоматическим регулятором теплового потока.

При установке индивидуальных тепловых пунктов используются теплообменное оборудование с малыми габаритами, высокими теплотехническими и эксплуатационными характеристиками. В наивысших точках трубопроводов тепловых пунктов следует устанавливать воздухоотводчики, причем рекомендуется применять автоматические устройства с обратными клапанами. В нижних точках следует устанавливать штуцеры с запорными кранами для спуска воды и конденсата.

На вводе в тепловой пункт на подающем трубопроводе следует устанавливать грязевик, а перед насосами, теплообменниками, регулирующими клапанами и счетчиками воды – сетчатые фильтры. Кроме того, фильтр-грязевик необходимо устанавливать на обратной линии перед регулирующими устройствами и приборами учета. По обе стороны от фильтров следует предусмотреть манометры.

Для защиты каналов ГВС от накипи нормами предписано использовать устройства магнитной и ультразвуковой обработки воды.

Принудительная вентиляция, которой необходимо обустроить ИТП, рассчитывается на кратковременное действие и должна обеспечивать 10-кратный обмен с неорганизованным приливом свежего воздуха через входные двери.

Во избежание превышения уровня шума, ИТП не допускается располагать рядом, под или над помещениями жилых квартир, спален и комнат игр детских садов и

т.д. Кроме того, регламентируется, что установленные насосы должны быть с допустимым низким уровнем шума [49].

Тепловой пункт следует оснащать средствами автоматизации, приборами теплотехнического контроля, учета и регулирования, которые устанавливаются на месте или на щите управления.

Автоматизация ИТП должна обеспечивать:

- регулирование затрат тепловой энергии в системе отопления и ограничение максимального расхода сетевой воды у потребителя;
- заданную температуру в системе ГВС;
- поддержание статического давления в системах потребителей теплоты при их независимом присоединении;
- заданное давление в обратном трубопроводе или необходимый перепад давления воды в подающем и обратном трубопроводах тепловых сетей
- защиту систем теплоснабжения от повышенного давления и температуры;
- включение резервного насоса при отключении основного рабочего и др.

Современные проекты предусматривают обустройство удаленного доступа к управлению тепловыми пунктами. Это позволяет организовать централизованную систему диспетчеризации и осуществлять контроль за работой систем отопления и ГВС [50].

1.2 Способы и методы регулирования отпуска тепловой энергии

Эффективность традиционных технологий выработки теплоты на ТЭЦ в последние годы существенно снизилась. В отечественных системах теплоснабжения почти повсеместно нарушаются основные принципы качественного регулирования, не работает прежняя структура отпуска теплоты.

Изменившаяся структура отпуска теплоты подразумевает применение новых более экономичных технологий в системах теплоснабжения. Одним из перспективных направлений развития отечественного теплоснабжения является совершенствование технологий регулирования тепловой нагрузки путем перехода

к низкотемпературному теплоснабжению, количественному и качественно-количественному регулированию.

Методы центрального регулирования были разработаны с учетом технических и технологических возможностей первой половины XX века, которые претерпели значительные изменения.

При корректировке принципов регулирования тепловой нагрузки возможно частичное использование зарубежного опыта по применению других методов регулирования, в частности, количественного регулирования.

Перевод систем теплоснабжения на количественное и качественно-количественное регулирование тепловой нагрузки является, как показывает опыт зарубежных стран, эффективным энергосберегающим мероприятием [51].

1.2.1 Методы регулирования тепловой нагрузки.

Качественное регулирование.

Преимущество: стабильный гидравлический режим тепловых сетей.

Недостатки:

- низкая надежность источников пиковой тепловой мощности;
- необходимость применения дорогостоящих методов обработки подпиточной воды теплосети при высоких температурах теплоносителя;
- повышенный температурный график для компенсации отбора воды на ГВС и связанное с этим снижение выработки электроэнергии на тепловом потреблении;
- большое транспортное запаздывание (тепловая инерционность) регулирования тепловой нагрузки системы теплоснабжения;
- высокая интенсивность коррозии трубопроводов из-за работы системы теплоснабжения большую часть отопительного периода с температурами теплоносителя 60-85 °С;
- колебания температуры внутреннего воздуха, обусловленные влиянием нагрузки ГВС на работу систем отопления и различным соотношением нагрузок ГВС и отопления у абонентов;

- снижение качества теплоснабжения при регулировании температуры теплоносителя по средней за несколько часов температуре наружного воздуха, что приводит к колебаниям температуры внутреннего воздуха;
- при переменной температуре сетевой воды существенно осложняется эксплуатация компенсаторов [52].

Количественное и качественно-количественное регулирование.

Преимущества:

- увеличение выработки электроэнергии на тепловом потреблении за счет понижения температуры обратной сетевой воды;
- работа системы теплоснабжения большую часть отопительного периода с пониженными расходами сетевой воды и значительной экономией электроэнергии на транспорт теплоносителя;
- меньшая инерционность регулирования тепловой нагрузки, т.к. система теплоснабжения более быстро реагирует на изменение давления, чем на изменение температуры сетевой воды;
- постоянная температура теплоносителя в подающей магистрали теплосети, способствующая снижению коррозионных повреждений трубопроводов теплосети;
- наилучшие тепловые и гидравлические показатели по режиму систем отопления за счет уменьшения влияния гравитационного напора и снижения перегрева отопительных приборов;
- возможность применения при $t=110$ °С в местных системах и квартальных сетях долговечных трубопроводов из неметаллических материалов;
- поддержание температуры сетевой воды постоянной, которое благоприятно сказывается на работе компенсаторов;
- отсутствие необходимости в смесительных устройствах абонентских вводов.

Недостатки:

- переменный гидравлический режим работы тепловых сетей;

- большие, по сравнению с качественным регулированием, капитальные затраты в теплосети [53].

Количественное и качественно-количественное регулирование, которое обладает целым рядом преимуществ перед качественным регулированием, как было показано выше, не может быть внедрено в существующих системах теплоснабжения без их модернизации и применения новых технологических решений.

При количественном и качественно-количественном регулировании организацию переменного расхода сетевой воды в теплосетях необходимо сопровождать полным оснащением местных систем теплопотребления приборами автоматического регулирования параметров теплоносителя и гидравлической защиты от возникновения аварийных режимов [54].

Регулирование тепловой производительности местной системы теплопотребления производят изменением расхода обратной сетевой воды с помощью регулятора расхода, установленного после системы отопления. Установка регулятора расхода после системы отопления позволяет свести к минимуму влияние нагрузки ГВС на работу системы отопления без значительного увеличения расхода сетевой воды в тепловой сети.

Полное оснащение всех потребителей тепловой энергии приборами автоматического регулирования и гидравлической защиты способствует перенесению основной доли регулирования на местные системы. Роль центрального регулирования при этом сводится к корректировке параметров теплоносителя на коллекторах теплоисточника в зависимости от параметров теплоносителя на абонентских вводах [55].

1.2.2 Автоматическое регулирование потребления тепловой энергии

Автоматическое регулирование потребления тепловой энергии позволяет создать комфортный тепловой режим при более качественном и точном регулировании. Автоматическое регулирование может осуществляться как на тепловом вводе в дом, так и индивидуально в каждой квартире [56].

Основной принцип автоматических систем заключается в регулировании расхода по измеряемой температуре. При регулировании на тепловом вводе используются измерения температуры наружного воздуха, при регулировании на радиаторах – температура внутри помещения. При увеличении температуры наружного воздуха и температуры внутри помещения расход теплоносителя автоматически пропорционально уменьшается и наоборот увеличивается при снижении температуры внутри помещения и наружного воздуха. За счет снижения величины расхода происходит уменьшение значения потребляемой тепловой энергии.

На контроллер приходит сигнал от датчика температуры наружного воздуха. Далее в контроллере вычисляется необходимое значение температуры теплоносителя $T_{в3}$ при данной температуре наружного воздуха $T_{нв}$. Существует зависимость или график зависимости между температурой наружного воздуха и температурой теплоносителя, которая и программируется в контроллере. Сигнал от датчика фактической температуры теплоносителя T_3 сравнивается с вычисленным значением $T_{в3}$ и если фактическое значение превышает вычисленное значение температуры по графику, то регулирующий клапан начинает уменьшать расход до тех пор, пока температуры T_3 и $T_{в3}$ не будут равны.

Понижение температуры воды T_3 происходит за счет смешения воды с более низкой температурой из обратного трубопровода в подающий. Расход в системе отопления при этом вне зависимости от положения регулирующего клапана остается постоянным за счет циркуляционного насоса, установленного на перемычке между подающим и обратным трубопроводом.

Помимо регулирования по графику температуры в подающем трубопроводе, можно одновременно поддерживать график температуры обратной воды. При таком регулировании обеспечивается заданная зависимость разности температур от температуры наружного воздуха. Дополнительно может быть установлен переход с дневного на ночной режим, т.е. снижение температуры в подающем трубопроводе в ночные часы, но данный режим подходит в основном только для

объектов, где ночью отсутствуют люди. В жилых домах должен поддерживаться постоянный тепловой режим [57].

Индивидуальное автоматическое регулирование на радиаторах достигается при помощи использования радиаторных терморегуляторов. Радиаторный терморегулятор представляет собой регулирующий клапан, устанавливаемый на входе в радиатор по ходу воды. Воздействие на клапан происходит механически при помощи терморегулирующего элемента. Принцип действия терморегулирующего элемента основан на расширении/сжатии газа или жидкости в баллоне терморегулятора при увеличении/снижении температуры внутри помещения. Достаточно установить настройку радиаторного терморегулятора на комфортную температуру, и он автоматически будет поддерживать необходимый расход через радиатор для получения постоянной заданной температуры воздуха в помещении. Диапазон настройки терморегуляторы достаточно велик от 6 до 26 °С. Минимальная настройка предохраняет радиатор от замораживания. Комфортной температурой считается 20 °С при длительном отсутствии людей в помещении её можно уменьшить до 17 °С, а затем обратно вернуть настройку. Нагрев помещения на недостающие три градуса происходит в течение часа.

При установке радиаторного терморегулятора потребитель получает:

- создание индивидуального комфорта в помещениях, что сохраняет здоровье людей, так как нет колебаний температуры;
- исключение «перетопов», не нужно открывать форточки, так как температура в помещении поддерживается постоянной на заданном уровне;
- экономия потребляемой тепловой энергии, получаемая за счет уменьшения расхода через отопительные приборы.

Конечно, необходимо сочетать автоматическое регулирование на тепловом вводе с установкой автоматических радиаторных терморегуляторов для получения максимального экономического эффекта при создании комфортных условий в помещениях.

Необходимо отметить, что пароводяное теплоснабжение очень специфично, требует одновременного решения вопросов гидродинамики и теплопередачи;

кроме того, тепловая энергия – особенный вид энергии, ее параметры должны контролироваться в обоих направлениях от источника к потребителю и наоборот, поэтому применение систем автоматического регулирования необходимо рассматривать с учетом технико-экономических приоритетов.

Экономический смысл установки систем автоматического регулирования существует, как и без установки приборов учета, так и после установки приборов учета тепловой энергии.

В первом случае система регулирования, регулируя расход тепловой энергии существенно снижает затраты теплоснабжающих организаций в то время как потребители оплачивают тепло по утвержденному тарифу.

Во втором случае потребители оплачивают за фактически потребленное тепло с учетом экономии, которая составляет в среднем от 10% до 30%. Повсеместно устанавливаются общедомовые приборы коммерческого учета тепла [58].

Установка только теплосчетчиков не может уменьшить суммарные затраты на производство и передачу тепловой энергии. Действительно, если теплосчетчики будут установлены всюду, потребители все равно будут оплачивать поставщику тепла все издержки.

Большие резервы экономии имеются в социальной сфере: поликлиники, школы, в общественных, административных зданиях, прежде всего потому, что в них имеются периоды отсутствия людей в отапливаемых помещениях, во время которых возможно задавать заниженные параметры обеспечения теплом и горячей водой без нарушения комфорта в рабочее время. Т.е. при пуско-наладочных работах системы регулирования, например, в школе, возможно сразу заложить экономичный режим потребления тепла этим объектом на период зимних каникул.

В жилых домах неприменимо программное снижение температуры в помещениях. Но имеется возможность отдельного регулирования фасадов одного здания при разных условиях воздействия солнечного освещения и других климатических факторов. Для этого используются двухконтурные регуляторы температуры, в каждый контур которого вводится программа регулирования [59].

Важным фактором энергосбережения для многих объектов является ликвидация осенне-весенних «перетоков», когда для целей подготовки горячей воды на объекты подается теплоноситель с заведомо завышенной температурой при положительных температурах наружного воздуха, выше так называемой точки «срезки» температурного графика. В домах, где имеется бойлер для подготовки горячей воды, поскольку в периоды отсутствия разбора горячей воды теплоноситель циркулирует через бойлер-теплообменник напрасно, снижая также его эксплуатационный ресурс, кроме того, изменения параметров теплоисточника очень инерционно распространяются по тепловой сети, что корректируется внутридомовыми регуляторами температуры. По санитарным нормам требуются различные температурные условия в помещениях, а это не всегда реализуется при одинаковой температуре теплоносителя. С учетом всех этих факторов необходимо модернизировать системы теплоснабжения с помощью современных систем качественно-количественного регулирования.

1.3 Основы потокораспределения

Для достижения оптимальных гидравлических и тепловых режимов в тепловых сетях и системах теплоснабжения необходимо обеспечить корректное потокораспределение для поддержания заданного температурного режима у потребителей тепловой энергии [60].

Задача расчета потокораспределения на индивидуальном тепловом пункте сводится к определению векторов расходов и давлений с целью корректного выбора насосов, регулирующих клапанов и др.

Для любого теплового пункта с установившимся течением жидкости, состоящей из n -участков, m -узлов и k - линейно независимых контуров имеет место зависимость

$$m-1+k=n \quad (1.1)$$

На всех участках имеет место квадратичный закон гидравлического сопротивления:

$$\Delta P_i + \Delta P_{pm.i} = S_i G_i^2 \quad (1.2)$$

где ΔP_i - потеря давления на участке, Па; $\Delta P_{pm.i}$ - перепад давлений, создаваемый насосом, Па, (при отсутствии насоса на i -м участке $\Delta P_{pm.i} = 0$); S_i - характеристика гидравлического сопротивления i -го участка, Па/(кг/с)²; G_i - неизвестный расход теплоносителя, кг/с.

Уравнение (1.2) приемлемо только для одного участка теплового пункта.

В работах академика Хасилева В. Я. введены диагональные матрицы S и G и векторные обозначения \vec{G} , $\overrightarrow{\Delta P_{pm}}$, $\overrightarrow{\Delta P}$, позволяющие описывать работу теплового пункта и участков тепловых сетей, присоединенных к нему ($i= 1, \dots, n$) [61-63].

$$\overrightarrow{\Delta P} + \overrightarrow{P_{pm}} = S \cdot G \cdot \vec{G} \quad (1.3)$$

где $\overrightarrow{\Delta P}$ - вектор искомых потерь на участках ТП; $\overrightarrow{\Delta P_{pm}}$, - вектор известных перепадов давлений, создаваемых насосами (циркуляционными, смесительными или повысительными) на отдельных участках ТП; S – диагональная матрица характеристик гидравлического сопротивления всех участков теплового пункта; G – диагональная матрица модулей расходов теплоносителя всех участков теплового пункта; \vec{G} – вектор искомых расходов на всех участках ТП.

Потокораспределение в любых водяных тепловых пунктах подчинено двум сетевым законам.

Согласно первого сетевого закона, в любом узле j , будет соблюдаться материальный баланс:

$$\sum_j G_i = G_{ndj}, \quad j = 1, \dots, m \quad (1.4)$$

где $\sum_j G_i$ – алгебраическая сумма расходов по всем участкам теплового пункта с общим узлом j : если в узле j потребитель, то $G_{nd_j} > 0$, если источник - $G_{nd_j} < 0$ и если узел является тройником, то $G_{nd_j} = 0$.

Узловые расходы теплоносителя, должны быть заданы таким образом, чтобы по ИТП выполнялось условие целостности:

$$\sum_{j=1}^m G_{nd_j} = 0, \quad G_{nd_m} = - \sum_{j=1}^{m-1} G_{nd_j} \quad (1.5)$$

При использовании матрицы соединений \mathbf{A} , отображающую топологию схемы ИТП, соединяющую все ее n участков и $(m-1)$ линейно зависимых узлов, материальные балансы (1.4) для всей схемы ИТП можно записать в виде:

$$\mathbf{A} \cdot \vec{G} = \vec{G}_{nd} \quad (1.6)$$

где \vec{G}_{nd} – вектор узловых расходов ИТП.

По второму сетевому закону для любого контура схема изменение потерь давления суммарно должно быть равно нулю:

$$\sum_c \Delta P_c = 0 \quad (1.7)$$

Для любого независимого контура ($c=1, \dots, k$) для схемы ИТП в целом

$$\mathbf{B} \cdot \vec{\Delta P} = 0, \quad (1.8)$$

где \mathbf{B} – матрица контуров.

Уравнения первого и второго сетевого закона дополняют друг друга и образуют единую систему уравнений с неизвестными G_i и ΔP_i известную как первая математическая модель потокораспределения:

$$A \cdot \vec{G} = \vec{G}_{nd} \quad (1.9)$$

$$B \cdot S \cdot G \cdot \vec{G} = B \cdot \overrightarrow{\Delta P_{pm}}$$

Данная математическая модель потокораспределения является исходной системой алгебраических уравнений для обобщенного метода контурных расходов при расчете гидравлических режимов работы ИТП [63-66].

Выводы по главе 1

В работе изучены сведения о центральных и индивидуальных тепловых пунктах, наиболее часто используемых при эксплуатации систем теплоснабжения схем присоединения абонентских узлов к тепловым сетям.

Рассмотрена эффективность индивидуальных тепловых пунктов, по сравнению с центральными тепловыми пунктами.

Установлено, что при работе ЦТП возникают проблемы, связанные с эксплуатацией четырехтрубных внутриквартальных тепловых сетей от ЦТП, происходит интенсивный коррозионный износ трубопроводов ГВС, для большинства потребителей не выдерживается нормативный температурный режим внутри помещения, при этом происходит перерасход теплоносителя и электрической энергии на его перекачку.

Переход от ЦТП к АИТП позволяет снизить стоимость эксплуатации внутриквартальных тепловых сетей и уменьшить протяженность подверженных внутренней коррозии трубопроводов ГВС, работающих на недеаэрированной водопроводной воде, 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; сокращение теплотерь в системах горячего водоснабжения; возможность контроля состояния тепловых сетей.

Так же, для обеспечения потребителей требуемым количеством тепла, заданных параметров, для создания комфортных условий труда и быта, согласно установленных нормативных значений, изучены способы и методы регулирования тепловой энергии в точках подключения потребителей и основы потокораспределения теплоносителя в тепловых сетях.

В границах крупных городов, имеющих закольцованные тепловые сети запитанные, как правило, от нескольких источников тепловой энергии, важным, с точки зрения сохранения заданного гидравлического режима работы, является рациональное потокораспределение между источниками.

Нормативное распределение тепловой нагрузки между потребителями при внедрении АИТП позволяет исключить перерасход тепловой энергии. При этом в точках подключения потребителей к тепловым сетям, происходит изменение гидравлического сопротивления.

Изменение гидравлического сопротивления каждого потребителя, влияет на гидравлический режим работы тепловых сетей и режим отпуска тепловой энергии от источника.

В масштабах городов, имеющих разветвлённые закольцованные тепловые сети большой протяженности, увязка всех эксплуатируемых внутриквартальные сети компаний, при реализации городских программ по повышению энергетической эффективности работы СЦТ, позволит обеспечить стабильный гидравлический режим работы всей системы теплоснабжения города, достичь экономии теплоносителя, затрат на его транспортировку и рационального потребления тепловой энергии.

2 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕДРЕНИЯ АИТП НА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ, ПОДКЛЮЧЕННЫХ ПО ЭЛЕВАТОРНОЙ СХЕМЕ

2.1 Анализ методов гидравлических расчетов тепловых сетей

При проектировании и эксплуатации тепловых сетей гидравлических расчет является одной из главных составляющих, влияющих на качество и надежность теплоснабжения.

В процессе эксплуатации тепловых сетей целью гидравлического расчета чаще всего является определение фактических давлений и напоров в различных точках сети с учетом фактического состояния трубопроводов и реальных нагрузок потребителей.

В некоторых случаях может быть поставлена также задача определения пропускной способности трубопроводов при известном их диаметре и располагаемом напоре (перепаде давлений).

В результате гидравлического расчета можно получить информацию:

- для определения капиталовложений, расхода металла (труб) и основного объема работ по сооружению трубопроводов тепловой сети;
- для определения характеристик сетевых циркуляционных и подпиточных насосов, количества насосов и их размещения;
- для выяснения условий работы источников теплоты, тепловой сети и абонентских систем, а также, выбора схем присоединения теплопотребляющих установок к тепловой сети;
- для выбора средств автоматического регулирования параметров теплоносителя в тепловой сети на групповых, местных тепловых пунктах и на абонентских вводах;
- для разработки режимов эксплуатации систем теплоснабжения [67-68].

При разработке расчетных гидравлических режимов следует исходить из условия обеспечения надежного теплоснабжения потребителей, экономичной и безопасной работы оборудования и минимальных затратах электрической энергии на перекачку теплоносителя.

Гидравлический режим определяется взаимосвязью между расходом теплоносителя и давлением в различных точках системы в определенный момент времени. Расчет гидравлического режима дает возможность определить потокораспределение и изменение давлений в сети [69].

При разработке гидравлического режима часто используют линейную единицу давления - напор. Графическое отображение зависимости напора от расхода теплоносителя является характеристикой сети (Рисунок. 2.1).

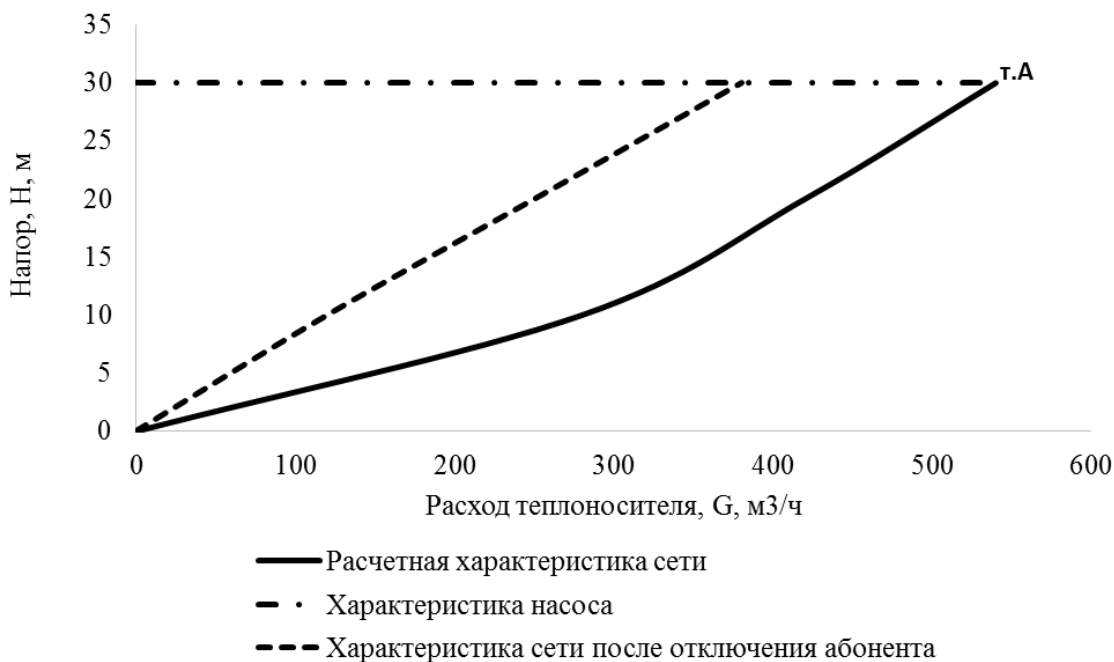


Рисунок 2.1. Характеристика тепловой сети с насосами:

Пересечение расчетной характеристики с характеристикой насоса (точка А) определяет режим работы насоса на подающую сеть, т.е. требуемое количество напора, необходимое, для прокачки заданного количества теплоносителя.

Гидравлический расчет системы отопления основывается на уравнении:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{л}} + \sum \Delta P_{\text{м}}, \quad (2.1)$$

где $\Delta P_{\text{л}}$ - линейные потери давления, Па, вызванные силами трения в трубах;
 $\sum \Delta P_{\text{м}}$ - сумма местных потерь давления, Па, обусловленных изменением структуры

потока (скорости, направления, слияния) в фитингах, запорно-регулирующих устройствах и оборудовании.

Потери давления на трение определяют по формуле Дарси:

$$\Delta P_{\text{л}} = \lambda \frac{l}{d} P_{\text{д}}, \quad (2.2)$$

где λ - коэффициент гидравлического трения; l и d - соответственно длина и внутренний диаметр трубопровода участка системы отопления, м; $P_{\text{д}}$ - динамическое давление в трубопроводе, Па [70].

Под участком системы отопления понимают такую ее часть, которая имеет одинаковый расход теплоносителя и постоянный диаметр трубопровода. В длину трубы участка, как правило, включают длины фитингов и запорно-регулирующей арматуры. Длина оборудования (отопительных приборов, теплообменников, грязевиков и т.д.) оценивается коэффициентом местного сопротивления для каждого элемента системы.

Из многочисленных зависимостей для определения коэффициента гидравлического трения в отечественной практике применяется формула Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{k_{\text{э}}}{d} \right)^{0,25} \quad (2.3)$$

В компьютерных программах применяют формулу Колбрука- Уайта:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k_{\text{э}}}{3,71d} \right) \quad (2.4)$$

и ее модифицированный вариант:

$$\lambda = \left[-2 \lg \left(\frac{6,1}{Re^{0,915}} + 0,134 \frac{k_{\text{э}}}{d} \right) \right]^{-2} \quad (2.5)$$

где Re - число Рейнольдса; $k_э$ - эквивалентная шероховатость, м.

При использовании стальных труб рекомендуется применять формулу Альтшуля, труб из других материалов - модифицированную формулу Колбрука-Уайта.

Местные потери давления определяют по формуле Вейсбаха, Па:

$$\Delta P_M = \xi P_D = \xi \frac{\rho v^2}{2}, \quad (2.6)$$

где ξ - коэффициент местного сопротивления; v - средняя по площади скорость теплоносителя, м/с; ρ - плотность теплоносителя, кг/м³.

На основе вышеприведенных зависимостей существует несколько способов гидравлического расчета, основными из которых являются:

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

Оба способа получили широкое применение, как в отечественной, так и зарубежной практике проектирования. Единого подхода в представлении гидравлических характеристик производителями элементов систем отопления нет. Поэтому при ручных расчетах и разработке компьютерных программ используют комбинирование способов или адаптацию имеющихся гидравлических характеристик под конкретный расчет [71-72].

2.1.1 Гидравлический расчет по удельным потерям давления

Метод гидравлического расчета по удельным потерям описывается уравнением:

$$\Delta P = Rl + z, \quad (2.7)$$

где R - удельная линейная потеря давления на 1 м трубы, Па/м; z - местные потери давления, Па.

Параметры R и z производители представляют графиками, таблицами или формулами. При этом следует обращать внимание на параметры теплоносителя, при которых они получены.

Принятие перепадов температур воды в стояках или приборных ветках равными перепаду температур воды в системе, а также наглядность подбора труб в диапазоне экономически рекомендованных удельных линейных потерь давления делает этот способ расчета самым простым.

Исходя из экономических требований, значения параметра R для труб разных производителей имеют диапазон 100...250 Па/м. Соответственно скорость воды - 0,25...0,65 м/с (данные ориентировочны, т.к. зависят от диаметра труб) [73].

Экономические требования базируются на сопоставлении стоимостей трубы и энергии на прокачивание теплоносителя. Однако иногда целесообразно выйти за указанные пределы для предотвращения гидравлического разбалансирования, упрощения монтажа и эксплуатации, обеспечения эффективной работы регулирующей арматуры системы отопления. Следует также учитывать, что увеличение диаметра труб приводит к значительному возрастанию стоимости системы отопления за счет использования соответствующих фитингов и запорно-регулирующей арматуры; повышению водоемкости системы отопления и, как следствие, снижению энергосбережения.

Существует проектная практика упрощенного подхода (экспресс-метода) к гидравлическим расчетам на основе данного способа. Окончательное потокораспределение возлагают на автоматические средства регулирования. Но даже они не в состоянии обеспечить равномерное прогревание помещений при запуске системы отопления, при выводе ее в рабочее состояние после ночного режима или внезапного похолодания, если система отопления была гидравлически не сбалансирована при расчете.

Кроме того, при таком подходе автоматическое управление потокораспределением может выходить за пределы эффективного регулирования, что приводит к проявлению чрезмерной или недостаточной чувствительности автоматической запорно-регулирующей арматуры [74].

2.1.2 Гидравлический расчет по характеристикам сопротивления

Данный метод гидравлического расчета описывается уравнением:

$$\Delta P = SG^2 \quad (2.8)$$

где G - массовый расход воды на расчетном участке, кг/ч; S - характеристика гидравлического сопротивления участка, Па / (кг/ч)², определяемая по формуле:

$$S = A \left(\frac{\lambda}{d} l + \sum \xi \right), \quad (2.9)$$

где A - удельное динамическое давление на участке, Па / (кг/ч)², рассчитанное по формуле:

$$A = \frac{6,25}{10^8 \rho d^4}. \quad (2.10)$$

Этот способ получил широкое применение в отечественной практике проектирования благодаря сходимости результатов расчетов с реальными эксплуатационными условиями [75].

Расчет коэффициента гидравлического сопротивления

Гидравлические потери или гидравлическое сопротивление - безвозвратные потери удельной энергии (переход её в теплоту) на участках гидравлических систем, обусловленные наличием вязкого трения.

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;
- местные гидравлические потери – обусловлены местными гидравлическими сопротивлениями – изменениями формы и размера канала,

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

Теплоноситель, проходя по трубе, в любом случае испытывает сопротивление. Величина сопротивления зависит от скорости потока, диаметра трубы и гладкости её внутренней поверхности. Чем меньше скорость потока и больше диаметр и гладкость трубы, тем меньше гидравлическое сопротивление.

Коэффициент гидравлического сопротивления участка, Па / (кг/ч)², определяется по формуле:

$$S = \frac{\Delta P}{G^2}, \quad (2.11)$$

где ΔP - потери напора на участке, Па; G - массовый расход воды на расчетном участке, кг/ч [76].

Потери напора на участках можно записать, используя эмпирическую формулу:

$$\Delta P_{i-k} = S_{i-k} \cdot G_{i-k}^2 = s_0 \cdot \delta \cdot l_{i-k} \cdot G_{i-k}^2, \quad (2.12)$$

где s_0 – величина удельного сопротивления труб, определяемая по Таблице 1 Приложения В, δ - значение поправочного коэффициента, определяемое по Таблице 2 Приложения В.

Для определение значения поправочного коэффициента, вычисляются скорости движения воды в трубах w_{i-k} , м/с, соответствующие выбранным диаметрам d_{i-k} и расходам G_{i-k} на участках.

Скорость движения воды в трубах w_{i-k} , м/с, рассчитывается по формуле:

$$W_{i-k} = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (2.13)$$

Для определения скорости движения воды в трубах задаемся оптимальными расходами G , л/с, представленными в Таблице 3 Приложения В.

Для упрощения расчетов гидравлических режимов тепловой сети с целью повышения качества и надежности теплоснабжения, как для существующих, так и для вновь проектируемых систем, используя известные физические зависимости была разработана таблица изменения коэффициента гидравлического сопротивления для всех типоразмеров стальных трубопроводов в зависимости от длины прямого участка тепловой сети. (см. Таблицу 2.1).

Разработанная таблица может быть использована для выбора наиболее оптимальных параметров работы тепловой сети при проведении гидравлических расчетов, для оценки падения давления на прямых участках тепловой сети с учетом гидравлических потерь по длине трассы, с учетом перекачиваемого расхода теплоносителя и диаметра трубопровода.

Таблица 2.1 Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от диаметра трубопровода и длины участка тепловой сети

Условный диаметр трубопровода Ду, мм	Коэффициент гидравлического сопротивления участка														
	Длина участка теплотрассы, м														
	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1150	1300	1500	2000
50	0,110580	0,221160	0,442320	0,663480	0,884640	1,105800	1,326960	1,548120	1,769280	1,990440	2,211600	2,543340	2,875080	3,317400	4,423200
60	0,103140	0,206280	0,412560	0,618840	0,825120	1,031400	1,237680	1,443960	1,650240	1,856520	2,062800	2,372220	2,681640	3,094200	4,125600
75	0,047167	0,094334	0,188668	0,283002	0,377336	0,471671	0,566005	0,660339	0,754673	0,849007	0,943341	1,084842	1,226343	1,415012	1,886682
80	0,018172	0,036344	0,072688	0,109032	0,145376	0,181720	0,218064	0,254408	0,290752	0,327096	0,363440	0,417956	0,472472	0,545160	0,726880
100	0,007781	0,015561	0,031122	0,046683	0,062244	0,077805	0,093366	0,108927	0,124488	0,140049	0,155610	0,178952	0,202293	0,233415	0,311220
125	0,003818	0,007636	0,015272	0,022908	0,030544	0,038180	0,045816	0,053452	0,061088	0,068724	0,076360	0,087814	0,099268	0,114540	0,152720
150	0,001555	0,003111	0,006222	0,009333	0,012444	0,015555	0,018666	0,021777	0,024888	0,027999	0,031110	0,035776	0,040443	0,046665	0,062220
175	0,001055	0,002110	0,004220	0,006331	0,008441	0,010551	0,012661	0,014771	0,016881	0,018992	0,021102	0,024267	0,027432	0,031653	0,042204
200	0,000348	0,000696	0,001392	0,002088	0,002784	0,003480	0,004175	0,004871	0,005567	0,006263	0,006959	0,008003	0,009047	0,010439	0,013918
250	0,000109	0,000219	0,000437	0,000656	0,000875	0,001094	0,001312	0,001531	0,001750	0,001968	0,002187	0,002515	0,002843	0,003281	0,004374
300	0,000042	0,000085	0,000169	0,000254	0,000339	0,000423	0,000508	0,000593	0,000677	0,000762	0,000847	0,000974	0,001101	0,001270	0,001693
350	0,000017	0,000034	0,000067	0,000101	0,000134	0,000168	0,000201	0,000235	0,000269	0,000302	0,000336	0,000386	0,000437	0,000504	0,000672
400	0,000008	0,000017	0,000033	0,000050	0,000067	0,000084	0,000100	0,000117	0,000134	0,000151	0,000167	0,000192	0,000218	0,000251	0,000335
450	0,000004	0,000009	0,000018	0,000027	0,000036	0,000045	0,000054	0,000063	0,000071	0,000080	0,000089	0,000103	0,000116	0,000134	0,000179
500	0,000002	0,000005	0,000009	0,000014	0,000019	0,000023	0,000028	0,000032	0,000037	0,000042	0,000046	0,000053	0,000060	0,000069	0,000093
600	0,000001	0,000002	0,000004	0,000006	0,000008	0,000010	0,000012	0,000014	0,000016	0,000018	0,000020	0,000023	0,000026	0,000031	0,000041
700	-	0,000001	0,000002	0,000003	0,000004	0,000005	0,000006	0,000007	0,000008	0,000009	0,000010	0,000011	0,000013	0,000015	0,000020
800	-	-	0,000001	0,000001	0,000002	0,000002	0,000003	0,000003	0,000004	0,000004	0,000004	0,000005	0,000006	0,000007	0,000009
900	-	-	-	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000002	0,000002	0,000002	0,000002	0,000003	0,000003	0,000004	0,000005
1000	-	-	-	-	-	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000002	0,000002	0,000002
1200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001

2.2 Математическое моделирование гидравлического режима тепловой сети

Городские теплосети, представляют собой сложные разветвленные гидравлические системы.

При их эксплуатации частой проблемой становится недостаточный перепад давления между прямым и обратным трубопроводом, повышение давления в обратном трубопроводе, разрегулированность сети у потребителей и др. Причинами указанных проблем могут быть повышенный расход теплоносителя, либо недостаточный диаметр трубопроводов, уменьшение внутреннего диаметра труб из-за отложения на их внутренней поверхности [77].

Эффективным инструментом для наиболее достоверного определения основных причин указанных проблем, имеющихся в любой конкретной теплосети, являются компьютерные модели, которые дают возможность воспроизвести гидравлические и температурные режимы работы, рассматривая теплосети как единые системы (с учетом любого количества внутренних кольцевых структур). В основе компьютерных моделей лежат два условия: выполнение баланса расходов, т.е. равенства притока и оттока воды в каждом узле и равенство нулю потерь напора при обходе каждого кольца.

Этих соотношений формально 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. Для решения таких систем применяются итерационные методы с использованием компьютеров [78-79].

При построении модели используется полная информация об объекте: длина и диаметр трубопроводов, степень их шероховатости, состояние запорных арматур, отметки высоты расположения оборудования, расход среды в тепловых камерах, характеристика насосного оборудования. Для максимального приближения компьютерной модели к реальной тепловой сети выполняется ее верификация с использованием имеющихся экспериментальных данных по расходу и давлению

теплоносителя в различных точках сети. Соответствие созданной математической модели реальной системе теплоснабжения зависит от количества экспериментальных данных и составляет 1-3%.

После выполнения идентификации можно считать, что компьютерная модель реальной тепловой сети (ее эквивалент) построена. Такие модели позволяют выполнять практически любые вычисления экспериментов применительно к данной тепловой сети - определять текущее состояние по распределению давления скорости и расхода в различных точках тепловой сети, находить действительные причины недостаточного располагаемого перепада давления и повышенного давления в обратных трубопроводах, определять участки, где происходят наибольшие потери напора. Важным преимуществом модели является возможность проведения любых изменений в сети в целях устранения имеющихся проблем (изменение диаметра трубопровода, открытие или закрытие задвижек, изменение характеристик насосов, возможность подключения дополнительных нагрузок на участках сети). Модель позволяет оценить возможность теплосети принять дополнительную нагрузку, а также выполнить проектирование ее новых участков или тепловых выводов. сети, что позволяет оперативно принимать меры по изменению текущего режима, а также выбрать наилучшие варианты реконструкции тепловой сети [80].

В настоящее время созданы многочисленные программы, позволяющие моделировать гидравлические режимы в тепловых сетях. Принципиально эти программы решают три взаимосвязанные задачи:

- выполняют гидравлические расчеты сети в некотором расчетном режиме;
- рассчитывают на основании гидравлических расчётов в этом режиме диаметры отверстий в дроссельных устройствах, которые должны быть установлены на абонентских вводах;
- выполняют расчеты гидравлических режимов работы сети в текущем режиме, т.е. в условиях, отличающихся от расчетных [81].

В расчетном режиме каждый абонент должен получить расход воды в полном соответствии со своей тепловой нагрузкой. После выполнения наладочных

расчётов предполагается, что дроссельные устройства «установлены» в соответствии с условиями работы сети в расчётном режиме, т.е. сеть виртуально налажена. Затем можно моделировать любой текущий режим работы сети, который отличается от расчётного режима положением запорной арматуры, количеством подключенных абонентов, новыми режимами работы сетевых насосов и др.

Для получения полностью достоверных результатов гидравлических расчетов необходимо создать такую компьютерную модель сети, реакция которой на любые изменения режимов работы точно соответствует реакции на эти же изменения моделируемой сети.

Полностью задача может быть решена только при выполнении ряда условий:

- соответствие фактических расходов тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение каждого потребителя расходам, введенным в модель через его описание;
- наличие технических характеристик участков трубопроводов моделируемой сети (диаметров, толщины стенки и шероховатости внутренней поверхности трубопроводов), полученных на основании измерений расходов и давлений воды в характерных точках сети [82].

На основании этих данных формируется описание этих участков в модели.

Модель позволяет достаточно точно прогнозировать режим работы моделируемой сети при введенных исходных данных. В этом случае появляется возможность провести теоретический анализ работы моделируемой сети, выявить ее недостатки или преимущества, увидеть если не количественную, то, по крайней мере, качественную реакцию сети на изменение режимов работы. Однако на практике встречаются тепловые сети, для которых выбор расчетного режима далеко не однозначен, а, следовательно, и результаты наладочных расчетов могут быть разными. К таким сетям относятся системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) крупных муниципальных объединений [83-84].

2.3 Гидравлическая устойчивость систем теплоснабжения

В настоящее время регулирование энергопотребляющих систем становится одним из важнейших приоритетов развития энергетического комплекса России. Системы теплоснабжения имеют большое экономическое и социальное значение, обеспечивая нормальную жизнедеятельность во всех регионах страны, поэтому к надежности их функционирования предъявляются особенно высокие требования.

Существующие способы регулирования отпуска теплоты в водяных системах теплоснабжения, не обеспечивают в течение всего отопительного сезона потребителей требуемым количеством энергии. Для решения этой проблемы необходимо достижение стабильного гидравлического режима или максимального показателя гидравлической устойчивости тепловой сети в течение всего отопительного периода.

Тепловой баланс помещений должен поддерживаться в течение всего отопительного сезона, и потребители должны получать расчетное количество теплоты в независимости от способа регулирования на источнике теплоты, типа прокладки тепловых магистралей и тепловой защиты здания.

Реконструируемые и вновь строящиеся объекты интенсивно оснащаются автоматизированными индивидуальными тепловыми пунктами с узлами учета тепловой энергии (АИТП).

Изменение расходов теплоносителя в сети, тем существеннее, чем выше доля разнородных объектов с (автоматизированными/неавтоматизированными) абонентскими вводами [85]. Колебания расходов воды приводят к потере гидравлической устойчивости тепловой сети.

В последние годы предприятия, вырабатывающие тепловую энергию под предлогом экономии топлива, снижения потерь в сетях, либо по другим причинам прибегают к снижению расчетной температуры.

Поставщики тепловой энергии «недоподачу» теплоты вследствие понижения температурного напора пытаются компенсировать увеличением расхода теплоносителя, включая в работу дополнительные насосные группы сетевой воды [86]. Что также влечет за собой гидравлическую разрегулировку системы.

Таким образом, к потере гидравлической устойчивости приводит ряд вышеуказанных факторов.

В статьях Пащенко Л.В. и Сикерина И.Е. [87, 88] обосновано негативное влияние снижения гидравлической устойчивости систем теплоснабжения на надежность их функционирования и на тепловую устойчивость этих систем. В том числе, на основании статей [89-91] удалось рассмотреть проблему гидравлической устойчивости систем теплоснабжения.

Как известно, под гидравлической устойчивостью понимают способность системы сохранять постоянный расход теплоносителя на абонентских вводах при изменении условий работы других потребителей [92].

Чем устойчивее система (источник → тепловая сеть → потребитель), тем меньше влияние гидравлического режима всей системы на гидравлический режим отдельных абонентов.

Отключение части нагрузки (отключение потребителей от централизованной поставки тепловой энергии) приводит к снижению потерь давления в сети и к росту располагаемых давлений и расхода воды у оставшихся абонентов.

Коэффициент гидравлической устойчивости может изменяться от «0» до «1», т.к. $G_p \geq G_f$, при этом должно выполняться неперенное условие работы системы – напор, развиваемый насосами в теплоисточнике, должен преодолевать гидравлическое сопротивление сети и систем теплоснабжения.

Также формулу для определения коэффициента гидравлической устойчивости (K_y) можно записать в виде:

$$K_y = \sqrt{\frac{\Delta P_{аб}}{P_n}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{аб}}{\Delta P_{аб} + \Delta P_c}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\Delta P_c}{\Delta P_{аб}}}} \quad (2.15)$$

где $\Delta P_{аб}$ - давление на абонентском вводе при расчетном расходе воды G_p ; $P_n = \Delta P_{аб} + \Delta P_c$ - давление сетевого насоса; ΔP_c - потери давления в сети при расчетном режиме [94].

Коэффициент гидравлической устойчивости зависит от величины гидравлического сопротивления систем подключенных потребителей тепла и обратно пропорционален величине располагаемого напора, развиваемого насосами.

Из формулы (2.15) следует, что гидравлическая устойчивость системы теплоснабжения повышается при уменьшении потерь давления в магистральных сетях ΔP_c и при увеличении гидравлического сопротивления абонентских установок (потерь давления в сети $\Delta P_{аб}$).

С этой целью целесообразно установка на вводах дроссельных шайб и клапанов-регуляторов, которые будут создавать сопротивления потоку, тем самым создавая местные потери напора на абонентском вводе.

То есть избыточный напор у потребителей будет поглощаться (компенсироваться) сопротивлениями дросселирующих шайб и регулирующих клапанов на абонентских вводах.

При питании от общей тепловой сети разнородных тепловых потребителей без авторегулирования абонентов невозможно добиться высокой гидравлической устойчивости системы. И путем правильной регулировки можно значительно увеличить гидравлическую устойчивость.

При эксплуатации тепловых сетей важной проблемой является выявление параметров разрегулировки и своевременное принятие решение по наладке гидравлического режима.

Для этого необходимо выполнение расчетов потокораспределения, и в случае отклонения реальных расходов от расчетных значений проводить наладочные мероприятия. По существу, наладочные мероприятия заключаются в увязке гидравлических сопротивлений теплопотребляющих установок в соответствии с режимом работы сетевого оборудования и требуемыми расходами теплоносителя [95].

Нарушение гидравлической устойчивости негативно отражается на надежности функционирования системы теплоснабжения, что выражается ростом интенсивности отказов.

2.4 Определение оптимального числа абонентов для перевода на АИТП с точки зрения гидравлической устойчивости системы

Известно, что установка автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов (АИТП) обеспечивает тепловой комфорт в помещениях при минимальных эксплуатационных затратах [96], так как при этом отсутствует необходимость регулирования параметров теплоносителя (расхода сетевой воды и тепловой нагрузки отопления) в источнике теплоснабжения при колебаниях температуры наружного воздуха в течение суток.

Применение терморегуляторов отопительных приборов систем отопления на практике привело к переходу систем теплоснабжения от качественного регулирования к качественно-количественному. При этом, для повышения энергетической эффективности всей системы теплоснабжения должно обеспечиваться оптимальное теплоснабжение не только каждого абонента, но и всей системы в целом [97-98].

При установке погодозависимого регулирования качество теплоснабжения улучшается лишь у конкретного потребителя. При этом, у остальных абонентов, подключенных через элеваторные узлы смешения, это приводит к изменению параметров теплоснабжения (таких как расход сетевой воды, температура внутри помещения и т.д.).

На энергоэффективное потребление тепловой энергии при внедрении автоматизированных ИТП с учетом оптимизации теплогидравлических процессов при эксплуатации систем теплоснабжения влияет множество факторов.

Реальные АИТП имеют каждый свои, только ему присущие особенности: по способу регулирования и по способам подключения потребителей к зависимым и независимым, открытым и закрытым системам теплоснабжения.

Для приближения расчетной модели проектируемого или эксплуатируемого ТП к реальной требуется учитывать все эти факторы, в их взаимосвязи, причем, особенно интересной представляется задача прогнозирования для конкретного АИТП оптимальной, как с научно-технической, так и с экономически

целесообразной точки зрения, системы автоматического регулирования с привязкой конкретных элементов сети.

Решение такой сложной задачи аналитическими методами не представляется возможным.

Для определения оптимального числа абонентов, подключенных к тепловым сетям через АИТП, с учетом влияния на гидравлическую устойчивость рассматриваемой системы теплоснабжения, в работе использовались современные экспериментальные и численные методы моделирования различных режимов работы СЦТ.

При выполнении диссертационной работы с помощью программного комплекса «Zulu Thermo» была смоделирована реально существующая система централизованного теплоснабжения для типичного жилого квартала 38-1 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. Однако данная система, как и множество других аналогичных программ, предназначенных для моделирования и расчета тепловых систем, позволяет давать только лишь оценку и проводить расчеты в статическом режим работы, а динамику процесса не оценивает.

Схема рассматриваемого квартала приведена на Рисунке 2.2.

При построении модели использовалась информация об объекте: длина и диаметр трубопроводов, степень их шероховатости, состояние запорных арматур, отметки высоты расположения оборудования, расход среды в тепловых камерах, характеристика насосного оборудования [99].

Для приближения компьютерной модели к реальной тепловой сети выполнена ее отладка (верификация) с использованием имеющихся экспериментальных данных по расходу и давлению теплоносителя в различных

точках сети. Погрешность расчетов в компьютерной модели от работы реальной сети составила порядка 3%.

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, максимально приближенную к реальной работе сети исследуемого жилого квартала.

Созданная математическая модель позволила: оценить текущее состояние тепловой сети по распределению давления, скорости и расхода теплоносителя в различных точках исследуемой системы; определить потребителей из числа абонентов, имеющих проблемы, связанных с недостаточным располагаемым перепадом давления и повышенного давления в обратных трубопроводах; определить потребителей, имеющих «перетоп» и нехватку теплоносителя для поддержания требуемого температурного режима в здании.

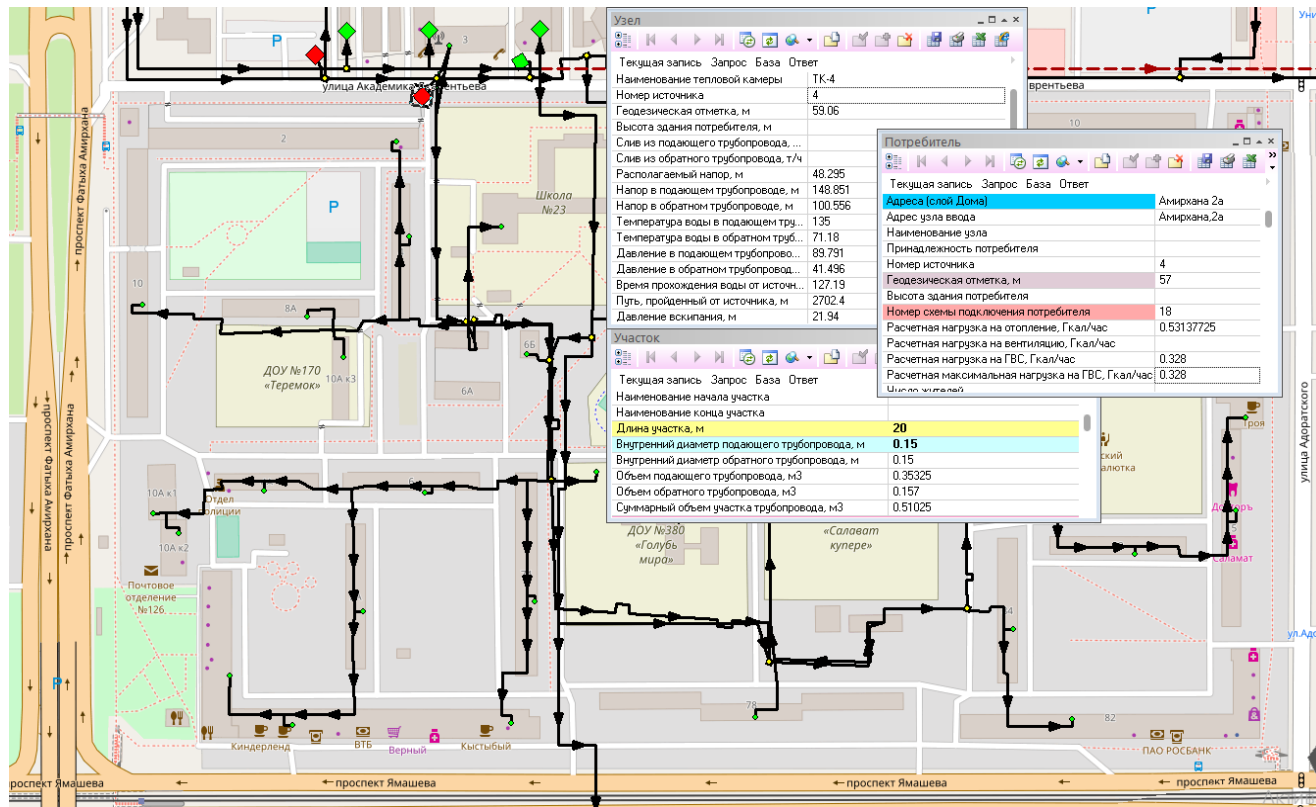


Рисунок 2.2 Схема теплоснабжения жилого квартала №38 в г. Казань

Для повышения энергоэффективности работы исследуемой тепловой сети при ее эксплуатации, было изучено влияние поэтапного внедрения автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов на тепловой и гидравлический режимы работы сети.

Внедрение АИТП моделировалось в несколько этапов:

1. Установка АИТП у потребителей тепловая нагрузка которых составляет 14% от общей.
2. Установка АИТП у потребителей тепловая нагрузка которых составляет 29% от общей.
3. Установка АИТП у потребителей тепловая нагрузка которых составляет 43% от общей.
4. Установка АИТП у потребителей тепловая нагрузка которых составляет 53% от общей.
5. Установка АИТП у потребителей тепловая нагрузка которых составляет 71% от общей.
6. Установка АИТП у потребителей тепловая нагрузка которых составляет 86% от общей.
7. Перевод 100% потребителей на АИТП.

В результате проведенных исследований, была дана оценка возможности снижения энергопотребления с учетом поэтапного внедрения АИТП [100-102].

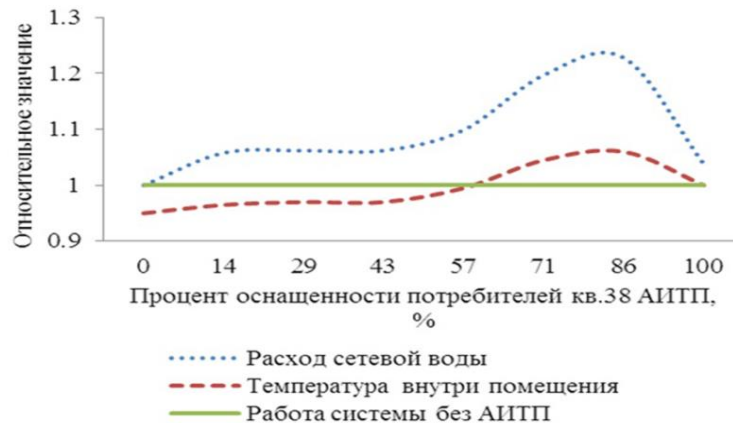


Рисунок 2.3. Изменение относительного значения расхода и температуры внутреннего воздуха у потребителей, присоединенных по элеваторной схеме в зависимости от числа абонентов, оснащенных АИТП

На Рисунке 2.3 приведены изменения значений относительного расхода сетевой воды и температуры внутри помещения на конечных потребителях рассматриваемого квартала (ул. Амирхана ж/д 2 и ул. Амирхана ж/д 10 а кор.1) в зависимости от процента оснащённости потребителей АИТП.

При работе рассматриваемой системы теплоснабжения до установки АИТП средняя температура внутри отапливаемых помещений была ниже требуемого нормативного значения, что объясняется разрегулировкой системы и наличием так называемых «недотопов» в ней.

При частичном оснащении потребителей АИТП, как видно по Рисунку 2.3, чем меньше потребителей остается без автоматики, тем с наибольшим «перетопом», относительно расчетных значений, они работают. При оснащении 100% потребителей АИТП, температурный режим внутри помещений стабилизируется и соответствует нормативным требованиям температур, для создания комфортных условий труда и быта.

Так же был проведен анализ влияния на гидравлический режим системы теплоснабжения переход с ЦТП на автоматизированные индивидуальные тепловые пункты (АИТП).

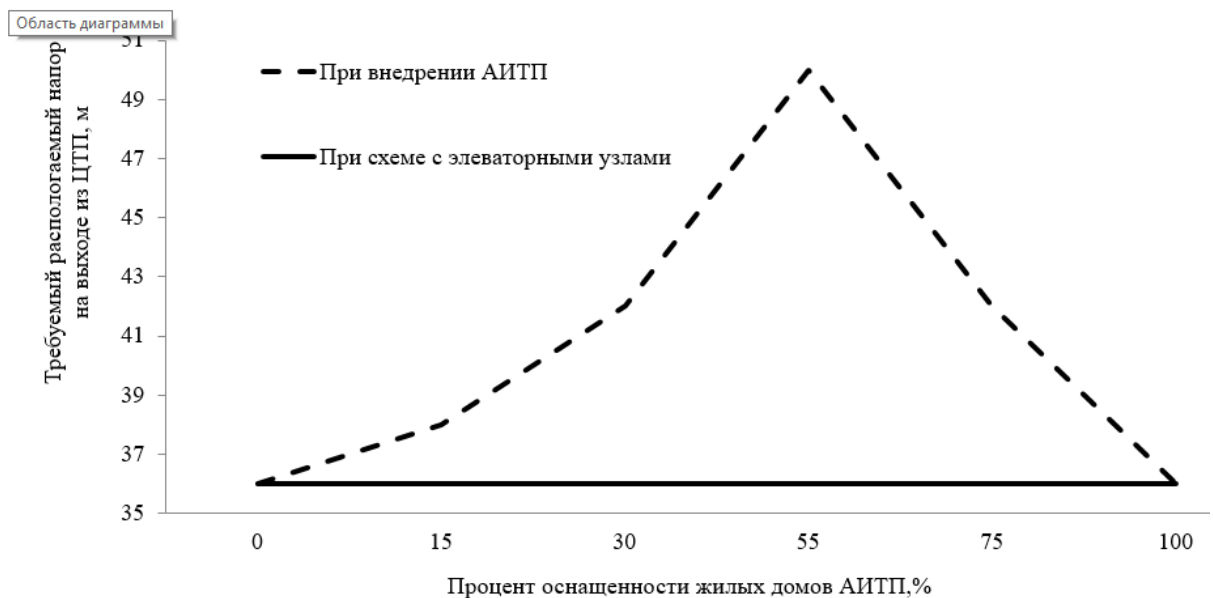


Рисунок 2.4. Требуемый располагаемый напор на выходе ЦТП в зависимости от этапов внедрения автоматизированных тепловых пунктов

Анализ смоделированных режимов работы показал (Рисунок 2.4), что внедрение АИТП у числа абонентов с подключенной тепловой нагрузкой менее 30% и более 75% от общей нагрузки системы теплоснабжения, не вносит значимого изменения в ее гидравлический режим.

Однако установка АИТП у числа абонентов, имеющих подключенную тепловую нагрузку в 30-75% от общей, требует увеличения располагаемого напора на выходе из ЦТП, а, следовательно, и увеличения давления в подающем трубопроводе [103].

Для наиболее качественного теплоснабжения система автоматического регулирования должна быть установлена на числе потребителей, превышающих 75% от общего количества.

Погодозависимое регулирование и регулирование перепада давлений обеспечивает:

- гидравлический баланс в сети централизованного теплоснабжения;
- гарантирует правильное распределение теплоносителя между всеми потребителями;
- уменьшают общий расход по сети;
- снижает потери тепла;
- улучшают условия работы насосов [104].

Так же был проведен сравнительный анализ полученных при моделировании результатов и фактических показателей приборов учета рассматриваемой тепловой сети, представленный в Таблице 1 Приложения Г.

Выводы по результатам моделирования основаны на комплексном подходе, заключающемся в поддержании требуемого перепада давлений не только на потребителях, оснащенных АИТП, но и на потребителях, подключенных по элеваторной схеме смешения теплоносителя с учетом стабилизации требуемого температурного режима внутри помещения в зависимости от его назначения и в соответствии СП 131.13330.2012 [105]; в создании оптимального гидравлического режима тепловой сети исследуемого квартала (от ЦТП до конечного потребителя) и достижении требуемого перепада давлений в точке подключения к

магистральным городским сетям, для сохранения гидравлической устойчивости всей СЦТ города Казань.

Внедрение автоматизированных узлов учета, расположенных непосредственно в отапливаемом здании, помимо повышения эффективности регулирования отопления (создание комфортных условий внутри помещения) позволяет так же говорить об энергетической эффективности с точки зрения снижения потребления тепловой энергии.

Снижение энергетических показателей работы системы теплоснабжения при внедрении АИТП относительно работы СТС с элеваторными узлами смешения приведены в Таблице 2.2.

При проведении исследования было учтено суточное колебание тепловой нагрузки и расхода сетевой воды на отопление у потребителей, оснащёнными приборами учета и автоматического регулирования.

Таблица 2.2. Энергетические показатели работы системы теплоснабжения

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

Это позволило наиболее детально проанализировать влияние на энергетическую эффективность мероприятий по оснащению потребителей автоматизированными индивидуальными тепловыми пунктами.

Для анализа изменения параметров теплоносителя не только в статическом режиме (по результатам расчёта в программном комплексе «Zulu Thermo»), но и в течении всего отопительного сезона, был разработан алгоритм пересчета фактических параметров теплоносителя по показаниям приборов учета на расчетные температуры наружного воздуха для оценки динамики процесса.

1. Выбираем температуру наружного воздуха, на которую в конкретные сутки, согласно температурного графика, задается температура в подающем трубопроводе на источнике.

2. Производим расчет электронной модели на заданные параметры (в нашем случае рассматривались самые холодные сутки января 2015 года со среднесуточной температурой наружного воздуха $t_{н.в.} = -11^{\circ}\text{C}$ и температурой теплоносителя в подающем трубопроводе $t_{п} = 103,4^{\circ}\text{C}$ (согласно утвержденного температурного графика)).

3. Определяем суточные колебания температуры наружного воздуха в течении самых холодных суток в месяце (Рисунок 2.5).

4. Задаемся, что у абонентов с АИТП, изменение расхода теплоносителя и тепловой нагрузки будет меняться в зависимости от температуры наружного воздуха (по показателям внешних приборов), при этом температура в теплосети на вводе у потребителя будет неизменна, так как регулирование температуры в подающем трубопроводе тепловых сетей корректируется 1 раз в сутки (на источнике).



Рисунок 2.5. Суточное колебание температуры наружного воздуха

5. Расчетным путем, задавшись $Q_{рас.}$ и изменениями температуры наружного воздуха определяем коэффициент изменения расхода и тепловой нагрузки

абонентов с АИТП на наибольшее отклонение температуры наружного воздуха в течение суток;

6. В электронной модели, созданной в ГИС «Zulu Thermo», изменяем параметры у абонентов и производим пересчет, с учетом расчетного коэффициента и этапов внедрения АИТП.

Блок схема предлагаемого алгоритма приведена на Рисунке 2.6.

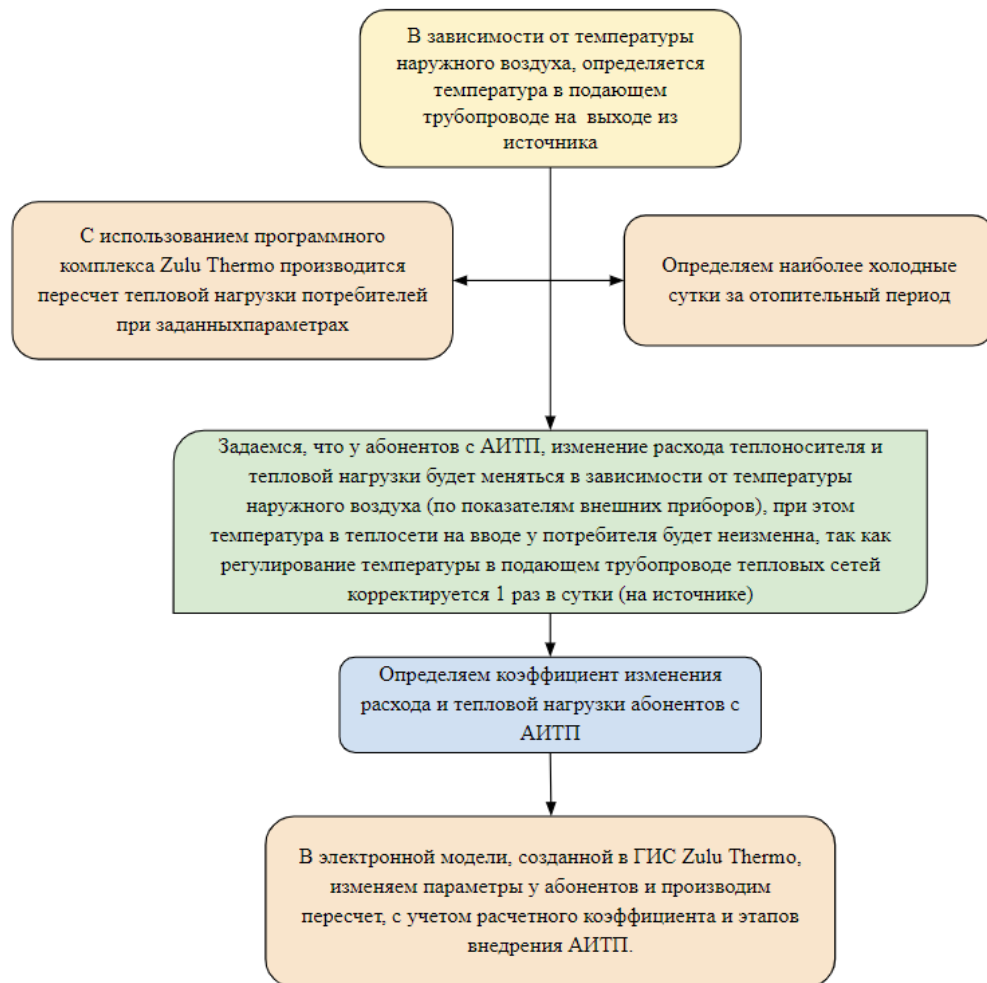


Рисунок 2.6. Блок-схема алгоритм расчета показателей работы системы теплоснабжения при суточных колебаниях температуры наружного воздуха

Значения теплопотребления в зависимости от колебаний температуры наружного воздуха с учетом поэтапного внедрения АИТП, полученные в результате расчета, по разработанному алгоритму, приведены в относительных величинах и представлены на Рисунке 2.7.

Как видно по Рисунку 2.7, чем больше потребителей оснащено АИТП, тем максимальное снижение теплопотребления в системе.

На Рисунке 2.8 приведены относительные значения расхода сетевой воды и тепловой нагрузки на отопление для различных вариантов расчета:

1. Система теплоснабжения с подключением потребителей через элеваторные узлы смешения.
2. Система теплоснабжения с учетом внедрения автоматизированных узлов учета и регулирования (расчетное значение).
3. Система теплоснабжения, оснащенная АИТП с учетом среднесуточных колебаний температуры воздуха.
4. Система теплоснабжения, оснащенная АИТП (фактические данные, принятые по показателям приборов учета).

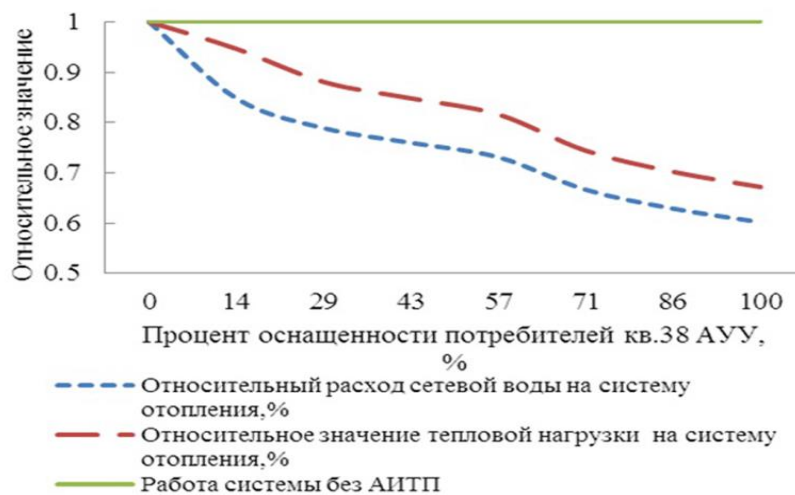


Рисунок 2.7. Снижение относительного теплопотребления в зависимости от колебаний температуры наружного воздуха с учетом процента оснащённости потребителей АИТП

Анализ представленных результатов показал, что предложенный алгоритм расчета динамики изменения наиболее приближен к реальным значениям.

Отклонение расчетных значений от фактических показателей минимально.

Снижение теплопотребления у абонентов в среднем составляет 25-30%, при этом улучшаются качество и надежность теплоснабжения.

Кроме того, снижение расхода сетевой воды в системе теплоснабжения ведет к экономии электрической энергии на перекачку теплоносителя [106].

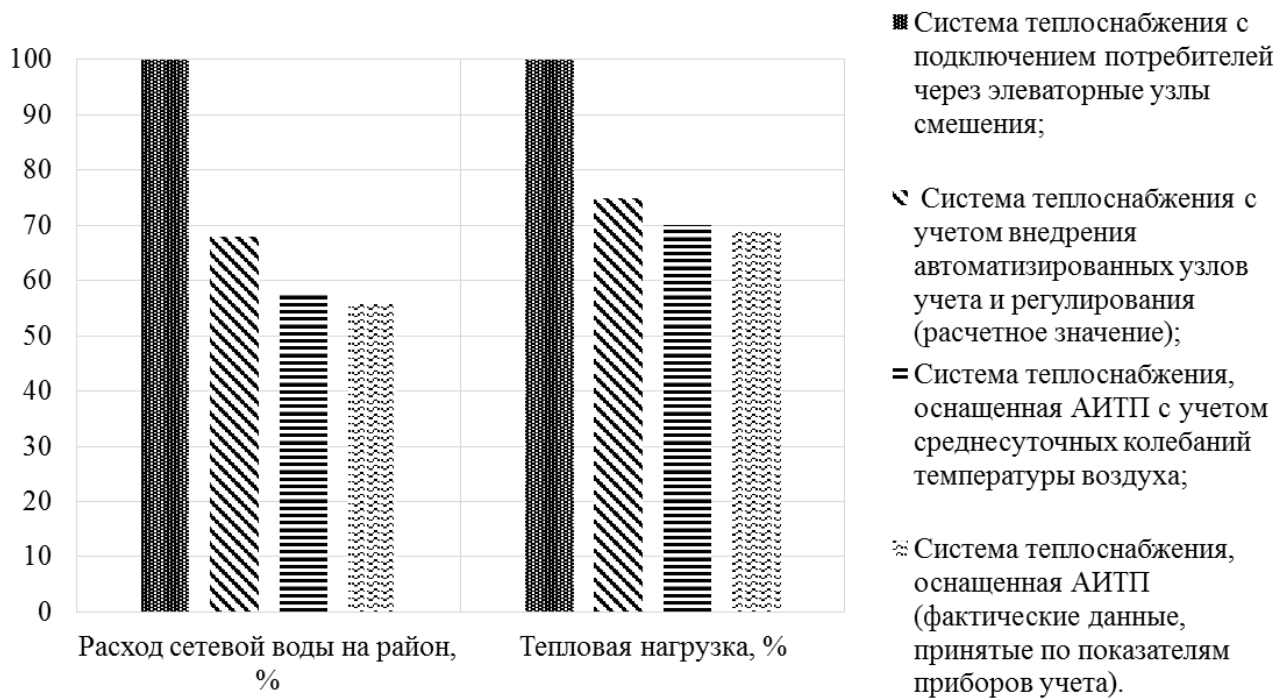


Рисунок 2.8. Относительные значения расхода сетевой воды и тепловой нагрузки на отопление для рассмотренных вариантов расчета

Выводы по главе 2

Во второй главе изучены существующие методы гидравлических расчетов тепловых сетей, определены возможности математического моделирования систем теплоснабжения, при расчете различных проектных и эксплуатационных режимов их работы.

Используя программный комплекс «Zulu Termo» смоделирована система теплоснабжения типичного жилого квартала для г. Казань. Созданная модель позволила: оценить текущее состояние тепловой сети, а именно определить параметры давления, скорости и расхода теплоносителя в различных точках; выявить потребителей, имеющих проблемы, связанных с недостаточным располагаемым напором, повышенным давлением в обратном трубопроводе;

имеющих «перетоп» и нехватку теплоносителя для поддержания требуемого температурного режима в здании.

На основании созданной модели было оценено влияние поэтапного внедрения АИТП на тепловой и гидравлический режимы работы тепловой сети.

Проведенные исследования позволили создать алгоритм расчета показателей работы системы теплоснабжения при суточных колебаниях температуры наружного воздуха, с помощью которых появилась возможность провести оценку энергетической эффективности от внедрения АИТП не только в статическом (с точки зрения изменения параметров теплоносителя) режиме, но и, что немаловажно, оценить динамику процесса.

При моделировании режимов работы системы теплоснабжения с учетом поэтапного внедрения АИТП обеспечивалось поддержание требуемых расчетных значений расхода и температуры теплоносителя у каждого потребителя, а также поддержание требуемого перепада давления в каждой точке системы с учетом гидравлических потерь по длине трассы.

Установлено, что чем меньше потребителей остается без автоматики, тем с наибольшим «перетопом»/«недотопом», относительно нормативных значений, они работают. При оснащении 100% потребителей АИТП, температурный режим внутри помещений стабилизируется и соответствует нормативным требованиям температур, для создания комфортных условий труда и быта.

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.

Разработанная программа может быть использована для выбора наиболее оптимальных параметров работы тепловой сети при проведении гидравлических расчетов, для оценки падения давления на прямых участках тепловой сети с учетом гидравлических потерь по длине трассы, с учетом перекачиваемого расхода теплоносителя и диаметра трубопровода.

В результате моделирования выведен оптимальный, с точки зрения гидравлической устойчивости, процент оснащённости потребителей АИТП в системе, имеющих подключенную тепловую нагрузку составляющую менее 30% и/или более 75% от общей.

Оснащение потребителей АИТП, имеющих подключенную тепловую нагрузку в диапазоне 30-75% от общей, ведет к повышению давления в трубопроводах сетевой воды.

Повышение давления в точках присоединения внутриквартальных сетей к магистральным может привести к возникновению аварийных, либо переходных гидравлических процессов, вызванных колебанием давления в системе теплоснабжения города в целом.

Полученные показатели оптимального процента оснащённости потребителей АИТП могут быть применены для систем теплоснабжения внутриквартальных сетей. При этом ЦТП принимается в качестве источника тепловой энергии, на выходе, из которого необходимо поддерживать заданный перепад давления. В данном случае, сохранение заданного перепада давления на выходе из ЦТП не внесет колебаний в систему теплоснабжения города в целом и позволит управляющим компаниям, проводить мероприятия по повышению энергоэффективности эксплуатируемых ими систем, без риска изменения гидравлического режима всего города.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЦЕНТА ОСНАЩЕНИЯ АИТП ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ИЗ ОБЩЕГО ЧИСЛА АБОНЕНТОВ

Для исследования гидравлических режимов систем теплоснабжения при применении погодозависимого регулирования в Казанском государственном энергетическом университете (КГЭУ) создан многопрофильный научно-технический центр, оснащённый широким спектром оборудования. Спроектированы и изготовлены стенды для физического моделирования режимов работы как наружных, так и внутридомовых тепловых сетей [107].

Лабораторные стенды позволяют проводить оценку адекватности теоретических моделей управления режимами работы инженерных систем без риска нанесения ущерба реальным объектам в случае проведения натурных исследований.

Задачей эксперимента было сопоставление полученных при моделировании данных с результатами испытаний, для оценки возможности решения реальных эксплуатационных задач, связанных с внедрением АИТП.

3.1 Характеристика экспериментально-лабораторного стенда

Эксперименты проводились на лабораторном стенде «Централизованное теплоснабжение, DEN» компании «Данфосс».

На Рисунке 3.1 и Рисунке 3.2 представлен лабораторный стенд и его схема, соответственно.

Управление стендом производится при помощи компьютерной программы, написанной в среде LabView.

LabVIEW - среда разработки лабораторных виртуальных приборов, является средой программирования, с помощью которой вы можете создавать приложения, используя графическое представление всех элементов алгоритма, что отличает ее от обычных языков программирования, таких как C, C++ или Java, где программируют, используя текст. Однако LabVIEW представляет собой

значительно большее, чем просто алгоритмический язык. Это среда разработки и исполнения приложений, предназначенная для исследователей - ученых и инженеров, для которых программирование является лишь частью работы. LabVIEW функционирует на компьютерах, работающих под управлением всех распространенных операционных систем: Windows, MacOS, Linux, Solaris и HP-UX.

Мощный графический язык программирования LabVIEW позволяет в сотни раз увеличить производительность труда. Создание законченного приложения с помощью обычных языков программирования может отнять очень много времени - недели или месяцы, тогда как с LabVIEW требуется лишь несколько часов, поскольку пакет специально разработан для программирования различных измерений, анализа данных и оформления результатов. Так как LabVIEW имеет гибкий графический интерфейс и прост для программирования, он также отлично подходит для моделирования процессов, презентации идей, создания приложений общего характера и просто для обучения современному программированию.

Измерительная система, созданная в LabVIEW, имеет большую гибкость по сравнению со стандартным лабораторным прибором, потому что она использует многообразие возможностей современного программного обеспечения. С помощью LabVIEW допустимо создать необходимый тип виртуального прибора при очень малых затратах по сравнению с обычными инструментами. При необходимости вы можете внести в него изменения буквально за минуты.

Благодаря своей графической природе LabVIEW - это пакет эффективного отображения и представления данных. Выходные данные могут быть показаны в любой форме, какую вы пожелаете. Диаграммы, графики стандартного вида, а также оригинальная пользовательская графика (user-defined graphics) составляют лишь малую часть возможных способов отображения выходных данных [108].

Стенд состоит из двух контуров системы теплоснабжения, на каждом из которых расположены по два редукторных электропривода АМЕ 33, по два регулирующих клапана VM2, по одному регулятору перепада давления AVP, и по одному ручному балансировочному клапану. На магистральной сети также

расположены три редукторных электропривода. Также в стенд входит насос Grundfos, расширительный бак, блок управления и частотный преобразователь.

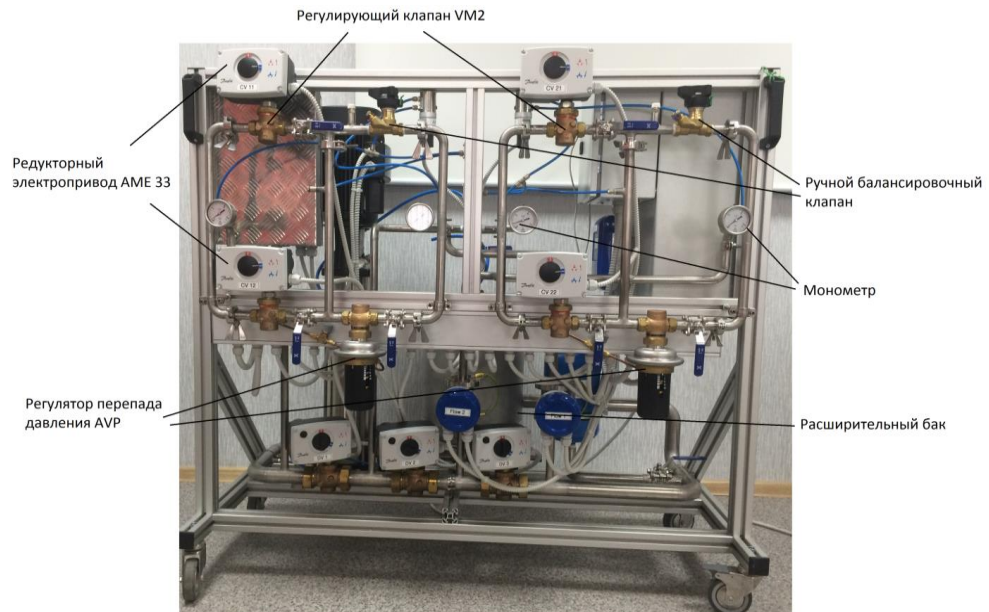


Рисунок 3.1. Лабораторный стенд «Централизованное теплоснабжение, DEN»

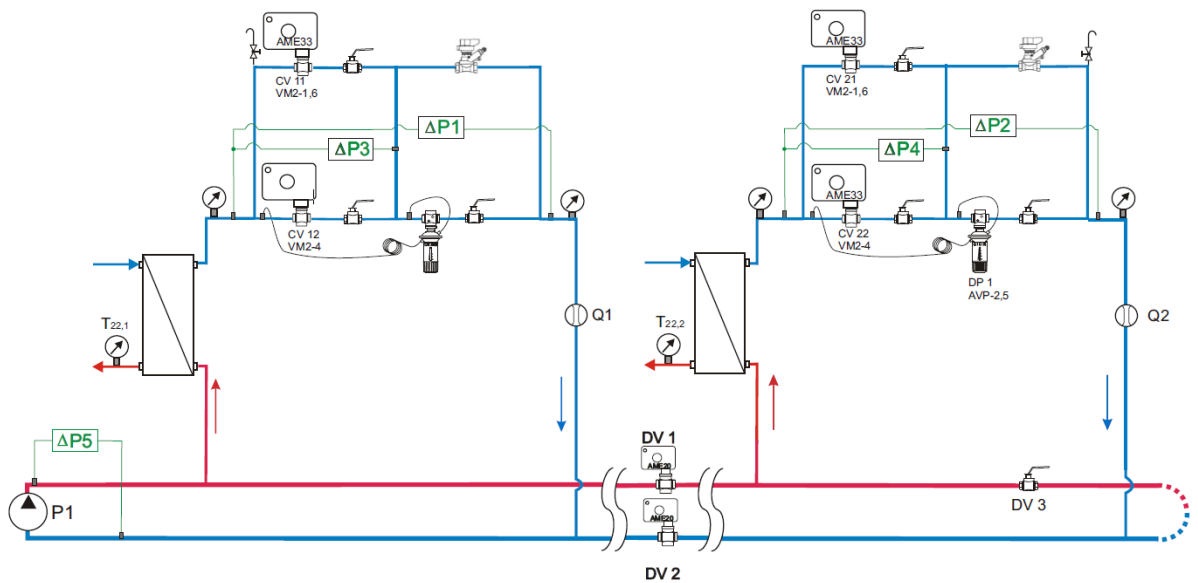


Рисунок 3.2. Принципиальная схема стенда

3.1.1 Редукторный электропривод

Электроприводы предназначены для управления регулирующими клапанами VRB3, VRG3, VF2, VF3 и VFS2 с условным проходом до 50 мм. Приводы автоматически настраивают ход своего штока клапана, что снижает время введения

клапана в эксплуатацию. Приводы обеспечивают длительную и безотказную работу регулирующих клапанов, например, в системах отопления зданий, вентиляции, кондиционирования воздуха, теплоснабжения и горячего водоснабжения.

Основные характеристики:

- оснащены концевыми моментами выключателя, защищающими электропривод и клапан от механических перегрузок;
- имеют диагностирующий светодиод;
- наличие функций сбора рабочих данных и самоподстройки под ход штока клапана;
- возможность ручного позиционирования;
- высокая прочность и малый вес.

Редукторный привод представлен на Рисунке 3.3.



Рисунок 3.3. Редукторный электропривод

3.1.2 Регулирующий клапан

Регулирующие клапаны VM2 и VB2 предназначены для применения с редукторными электрическими приводами AMV(E) 10, AMV(E) 20, AMV(E) 30, AMV(E) 13, AMV(E) 13SU, AMV(E) 23, AMV(E) 23SU, AMV(E) 33 преимущественно в системах тепло- и холодоснабжения зданий.

Основные характеристики:

- условное давление: $P_u = 25$ бар;

- характеристика регулирования: составная линейная, разгруженные по давлению, регулируемая среда: вода или 30% водный раствор гликоля;
- температура регулируемой среды: $T = 2-150\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- присоединение к трубопроводу: резьбовое (VM2), фланцевое (VB2).

Регулирующий клапан представлен на Рисунке 3.4.



Рисунок 3.4. Регулирующий клапан

3.1.3 Регулятор перепада давления AVP

AVP является моноблочным регулятором прямого действия для поддержания постоянного перепада давлений и предназначен для применения преимущественно в системах централизованного теплоснабжения. Регулятор состоит из регулирующего клапана и регулирующего блока с одной регулирующей диафрагмой и рукояткой для установки требуемого перепада давлений (без рукоятки – в версии регулятора с фиксированной настройкой).

Клапан регулятора закрывается при превышении установленной величины перепада давлений.

Основные характеристики:

- $Dy = 15-50\text{ мм}$; $P_y = 25\text{ бар}$; $Kvs = 1,6-20\text{ м}^3/\text{ч}$;
- диапазоны настройки перепада давлений для регулятора AVP: $\Delta P_{рег} = 0,2-1, 0,3-2\text{ бар}$;

- величина фиксированной настройки перепада давлений для AVP-F: $\Delta P_{рег} = 0,2, - 0,5$ бар;
- температура регулируемой среды (вода или 30 % водный раствор гликоля): $T = 2- 150$ °С;
- присоединение к трубопроводу: резьбовое (наружная резьба), через резьбовые, приварные или фланцевые фитинги и фланцевое.

Регулятор перепада давления AVP представлен на Рисунке 3.5.



Рисунок 3.5. Регулятор перепада давления AVP

3.1.4 Ручной балансировочный клапан LENO™ MSV-BD

LENO™ MSV-BD - это новое поколение ручных балансировочных клапанов, предназначенных для гидравлической балансировки систем отопления, тепло- и холодоснабжения, ГВС.

LENO™ MSV-BD сочетает в себе возможности балансировочного клапана и шарового крана, а также имеет ряд уникальных особенностей:

- простая настройка и блокировка настройки, цифровая шкала на рукоятке круговая, позволяет увидеть настройку практически с любой стороны;
- оснащен двумя измерительными ниппелями игольчатого типа (под 3-мм иглы);

- имеет встроенный дренажный кран, позволяющий осуществлять слив с обеих сторон от клапана;
- блок дренажного крана и измерительных ниппелей может поворачиваться на 360° для удобства слива и измерения;
- дополнительная возможность открытия или закрытия с помощью шестигранного ключа, рукоятка имеет цветной индикатор, показывающий положение клапана открыт/закрыт.

Ручные балансировочные клапаны LENO™ MSV-BD рекомендуется применять в системах с постоянным расходом, где они могут устанавливаться как на подающем, так и на обратном трубопроводах.

Ручной балансировочный клапан LENO™ MSV-BD представлен на Рисунке 3.6.



Рисунок 3.6. Ручной балансировочный клапан LENO™ MSV-BD

3.2 Анализ результатов эксперимента и сравнение с натурными измерениями на реальной тепловой сети.

Исходными данными при проведении лабораторных испытаний являлись фактические значения параметров работы рассматриваемой системы теплоснабжения, принятые по приборам учета, и расчетные значения, полученные в результате моделирования.

Эксперимент проводился по парно подключаемым потребителям (1 со 2, 2 с 3, 3 с 4, и т. д.). На каждом потребителе задавался фактический расход

теплоносителя при помощи ручных балансировочных клапанов, затем на первом потребителе включался АИТП, и система настраивала расход теплоносителя на первом потребителе по расчетному значению, заданному в программе, как нормативное значение. На втором потребителе расход теплоносителя не изменялся, т.к. он регулировался при помощи ручного балансировочного клапана. Насос работал на постоянное поддержание давления, имитируя источник теплоснабжения.

Задачей эксперимента было сопоставить полученные расчетным путем при моделировании данные и результаты эксперимента, для оценки возможности решения реальных эксплуатационных задач, связанных с внедрением АИТП.

Для достоверности эксперимент был проведен шесть раз, в зависимости от принятого в расчетах процента оснащённости потребителей АИТП.

Проведенный эксперимент показал, что внедрение АИТП в систему теплоснабжения, поможет более качественно регулировать тепловую энергию в системе теплоснабжения. Позволит настроить работу системы теплоснабжения, что предотвратит перерасход теплоносителя на начальных потребителях и его нехватку не конечных.

На Рисунке 3.7 представлено изменение расхода теплоносителя на первой паре потребителей.

Синяя линия описывает расход теплоносителя на первом потребителе, зеленая линия – расход теплоносителя на втором потребителе, черная линия характеризует нормативное значения расхода на первом потребителе.

На графике можно наблюдать, как изменился расход теплоносителя на первом потребителе, после установки на нем АИТП.

Фактический расход составлял 12,52 т/ч, после внедрения АИТП, автоматический балансировочный клапан вывел значение расхода на нормативное значение и расход составил 8,2 т/ч, что практически совпадает с расчетными значениями, которые составили 8,17 т/ч.

Для анализа эффективности внедрения АИТП результаты расчетов, экспериментов и фактические показатели работы сведены в Таблицу 3.1.

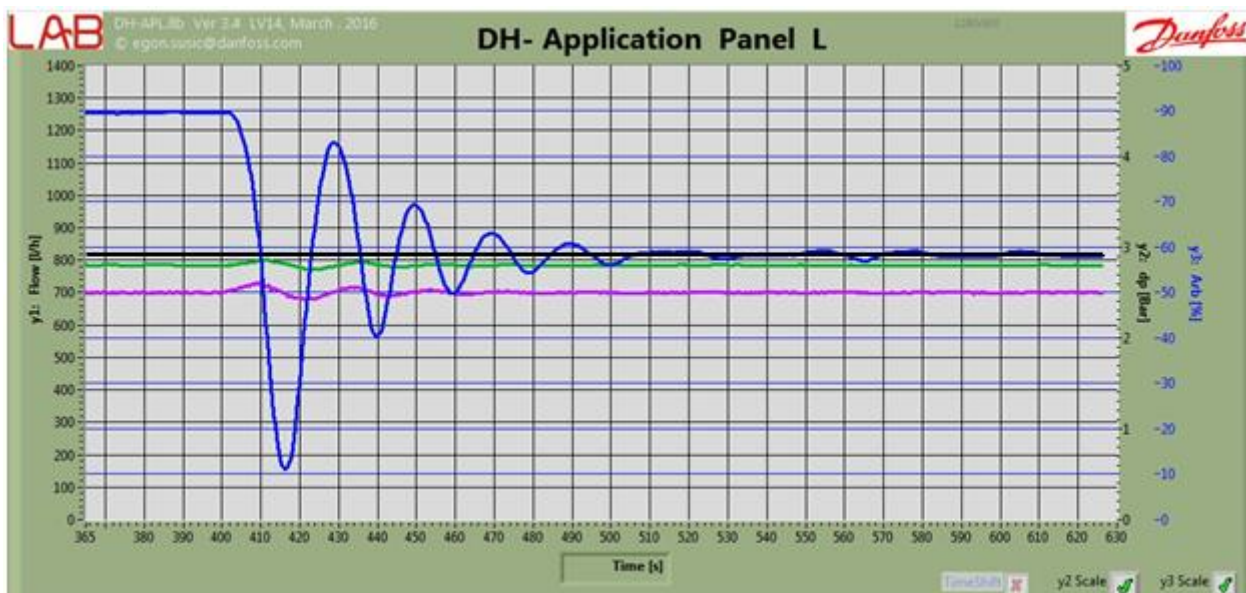


Рисунок 3.6. Изменения расхода теплоносителя на первом потребителе (синяя линия), после подключения на нем АИТП

На Рисунке 3.7 представлены относительные значения расхода сетевой воды на отопление для различных вариантов расчета:

1. Система теплоснабжения с подключением потребителей через элеваторные узлы смешения (фактические значения).
2. Система теплоснабжения с учетом внедрения автоматизированных узлов учета и регулирования (расчетное значение).
3. Система теплоснабжения с учетом внедрения автоматизированных узлов учета и регулирования (данные эксперимента).



Рисунок 3.7. Относительные значения расхода сетевой воды и тепловой нагрузки на отопление для рассмотренных вариантов расчета.

Таблица 3.1. Анализ изменения показателей работы тепловой сети с учетом внедрения автоматических узлов учета и регулирования

Адрес узла ввода	Показатель	Система теплоснабжения с подключением потребителей через элеваторные узлы смешения (фактические значения)	Система теплоснабжения с учетом внедрения автоматизированных узлов учета и регулирования (расчетное значение)	Система теплоснабжения с учетом внедрения автоматизированных узлов учета и регулирования (данные эксперимента)
Ул. Амирхана д.2	Расход сетевой воды на дом, т/ч	12,52	8,17	8,2
Ул. Амирхана д.4а		7,8	5,05	5
Ул. Амирхана д.10, кор.2		8,415	6,5	6,5
Ул. Амирхана д.2а		10,79	8,29	8,3
Ул. Ямашева д.74		14,85	9,55	9,5
Ул. Ямашева д.76 у.2		12,36	7,86	7,8

Эксперимент выполнялся в несколько этапов. На каждом абоненте в зависимости от заданной в расчетах степени оснащённости АИТП при помощи автоматических регуляторов CV11 и CV21 (см. Рисунок 3.2) задавалось гидравлическое сопротивление, при этом система насосом P1 автоматически настраивала требуемый располагаемый напор на входе в рассматриваемый контур.

Для сопоставления полученных фактических, расчетных и экспериментальных значений построен график (Рисунок 3.8).

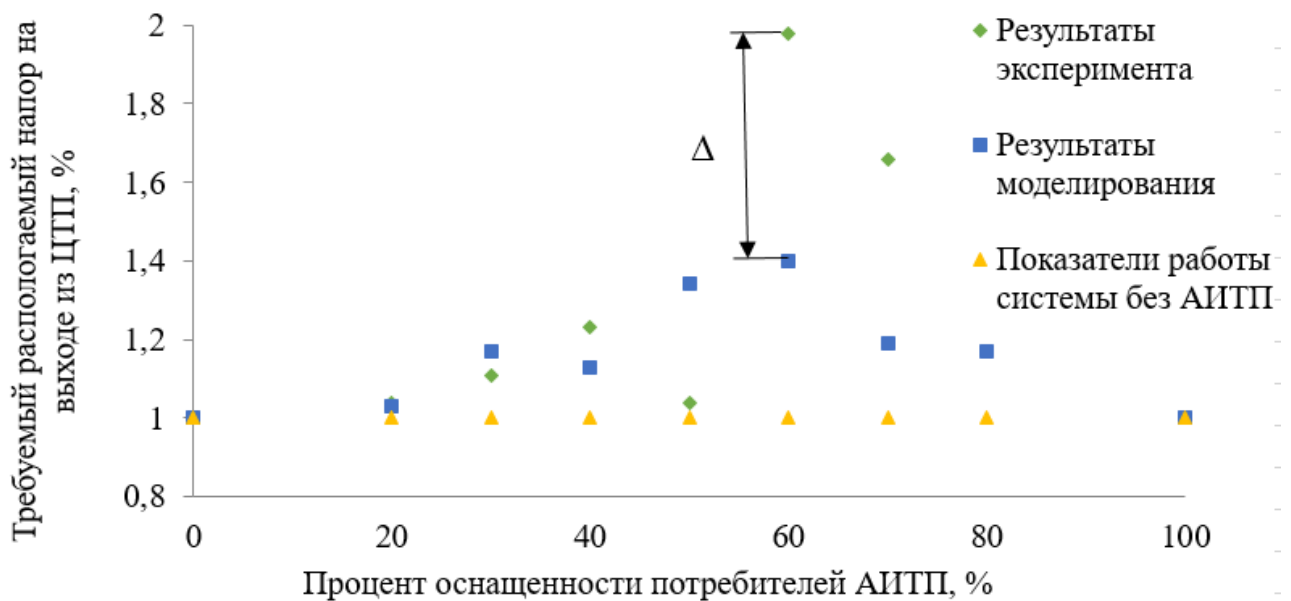


Рисунок 3.8. Требуемый располагаемый напор на выходе ЦТП в зависимости от процента оснащённости потребителей АИТП

Результаты проведенных исследований показали, что разработанные для проведения теплогидравлических расчетов пакеты программ, позволяют рассчитывать установившиеся режимы.

Как видно из графика, значительное влияние на гидравлический режим системы теплоснабжения (на колебание располагаемого напора на выходе из ЦТП), оказывает уровень оснащённости потребителей системы АИТП в 60%. При этом значении требуется значительное увеличение располагаемого напора на входе в рассматриваемый контур, следовательно, и увеличение давления в подающем трубопроводе. Разница « Δ » между полученными значениями в ходе проведения эксперимента и моделирования объясняется погрешностью приборов [115].

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.

3.3. Влияние поэтапного внедрения АИТП на гидравлическую устойчивость системы теплоснабжения.

Основная цель № 154 постановления РФ о разработке схем теплоснабжения городов - объективно оценить существующее положение в системах теплоснабжения и разработать ряд мероприятий по повышению эффективности систем теплоснабжения с учетом современных технологий.

По результатам первичной разработки во многих районах состояние систем теплоснабжения с позиции гидравлического режима оценивается как неудовлетворительное: изношенные сети, приводящие к многочисленным авариям, завышенные расходы теплоносителя, влекущие за собой дополнительные затраты на его подготовку и излишнее использование электроэнергии на перекачку теплоносителя, несоответствие температурного режима внутри отапливаемых зданий, нормативным требованиям.

Показатели, характеризующие тепловую сеть в отношении устойчивости к возмущениям или разрегулированию режима работы встречаются редко.

Как правило, этот показатель работы систем теплоснабжения не содержится в проектных документах тепловых сетей, не просчитывается при многочисленных изменениях в схемах при их развитии и реконструкции.

Оценка гидравлической устойчивости состоит в комплексном подходе ее изучения и осложняется ведомственной разобщенностью организаций, эксплуатирующих отдельные основные части единой системы теплоснабжения, состоящей из источника теплоснабжения, тепловых сетей и систем теплопотребления.

Каждая из этих частей характеризуется своим гидравлическим сопротивлением в зависимости от сочетания работающего оборудования, его характеристик работы и расхода теплоносителя.

Сопротивление системы теплоснабжения во многом зависит от числа включенных систем теплоснабжения, схем присоединения отопительных и нагревательных приборов и т.п.

Сопротивление сетей и оборудования теплогенерирующего источника преодолевается сетевыми насосами, установленными на источнике и подкачивающих насосных станциях магистральных тепловых сетей.

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 пропорционален величине располагаемого напора, развиваемого насосами (см. раздел 2.3):

$$K_y = \sqrt{\frac{\Delta H_{\text{пот}}}{\Delta H_{\text{сети}} + \Delta H_{\text{пот}}}} = \sqrt{\frac{\Delta H_{\text{пот}}}{\Delta H_{\text{расп}}}}, \quad (3.1)$$

где: $\Delta H_{\text{пот}}$ - потери напора в системе теплоснабжения; $\Delta H_{\text{сети}}$ – потери напора в тепловой сети от теплоисточника до потребителя; $\Delta H_{\text{расп}}$ - располагаемый напор в тепловой сети на выходе из источника [116; 117].

Обязательное условие работы системы - напор, развиваемый насосами в теплоисточнике, должен преодолевать гидравлическое сопротивление сети и систем теплоснабжения.

$$\Delta H_{\text{расп}} \geq \Delta H_{\text{пот}}, \quad (3.1)$$

Стабильный гидравлический режим при работе системы централизованного теплоснабжения достигается при $K_y = 1$. Чем выше значение коэффициента « K_y », тем более гидравлически устойчивой считается система.

Степень разрегулированности системы оценивается отношением расходов:

$$X = \frac{G_{\phi}}{G_p} \quad (3.2)$$

где G_{ϕ} - фактический расход сетевой воды в системе; G_p - расчетный (максимально возможный) расход сетевой воды при проектном температурном графике [93].

Отклонение фактического расхода G_{ϕ} от расчётной величины G_p вызывает гидравлическую разрегулировку абонентских систем.

Степень разрегулированности гидравлического режима обратно пропорциональна коэффициенту гидравлической устойчивости K_y [94]:

$$K_y = \frac{G_p}{G_{\phi}} = \sqrt{\frac{\Delta H_{\text{пот}}}{\Delta H_{\text{расп}}}} = \frac{1}{X} \quad (3.3)$$

Полученные результаты проведенных исследований позволили оценить влияние поэтапного внедрения АИТП на гидравлическую устойчивость и степень разрегулированности рассматриваемой системы теплоснабжения.

Наиболее стабильный гидравлический режим при работе системы централизованного теплоснабжения достигается при $K_y = 1$. Наибольшая разрегулированность возникает при оснащении АИТП числа потребителей, имеющих тепловую нагрузку, составляющую 30% - 75% от общей (Таблица 3.2).

При стабильной работе системы теплоснабжения сохраняется установленный тепловой и гидравлический режим, отсутствует разбалансировка системы и выставляется требуемый температурный режим непосредственно у потребителя.

Таблица 3.2. Влияние поэтапного внедрения АИТП на коэффициент гидравлической устойчивости СЦТ и степень разрегулированности СТС

Процент оснащённости АИТП, %	Коэффициент гидравлической устойчивости (K_u) рассматриваемой системы	Степень разрегулированности системы теплоснабжения, X
0	1	1
10	0,97	1,03
20	0,92	1,09
30	0,86	1,62
40	0,76	1,32
50	0,72	1,39
60	0,76	1,32
70	0,86	1,62
80	0,89	1,12
90	0,96	1,04
100	1	1

Приведенные в таблице данные описывают как поведет себя система теплоснабжения при изменении коэффициента гидравлической устойчивости, в зависимости от процентного оснащения потребителей АИТП. При повышении степени разрегулированности системы, потребители, не имеющие средств автоматического регулирования на узлах абонентских установок, получают теплоносителя больше нормы за счет соседних отрегулированных систем теплопотребления. Чем меньше показатель гидравлической устойчивости системы, тем выше степень разрегулировки гидравлического режима.

Гидравлический режим определяется взаимосвязью между расходом теплоносителя и давлением в различных точках системы в определенный момент времени. Расчет гидравлического режима дает возможность определить потокораспределение и изменение давлений в сети.

На Рисунке 3.9 приведена зависимость степени разрегулированности системы теплоснабжения в зависимости от процента оснащённости АИТП.

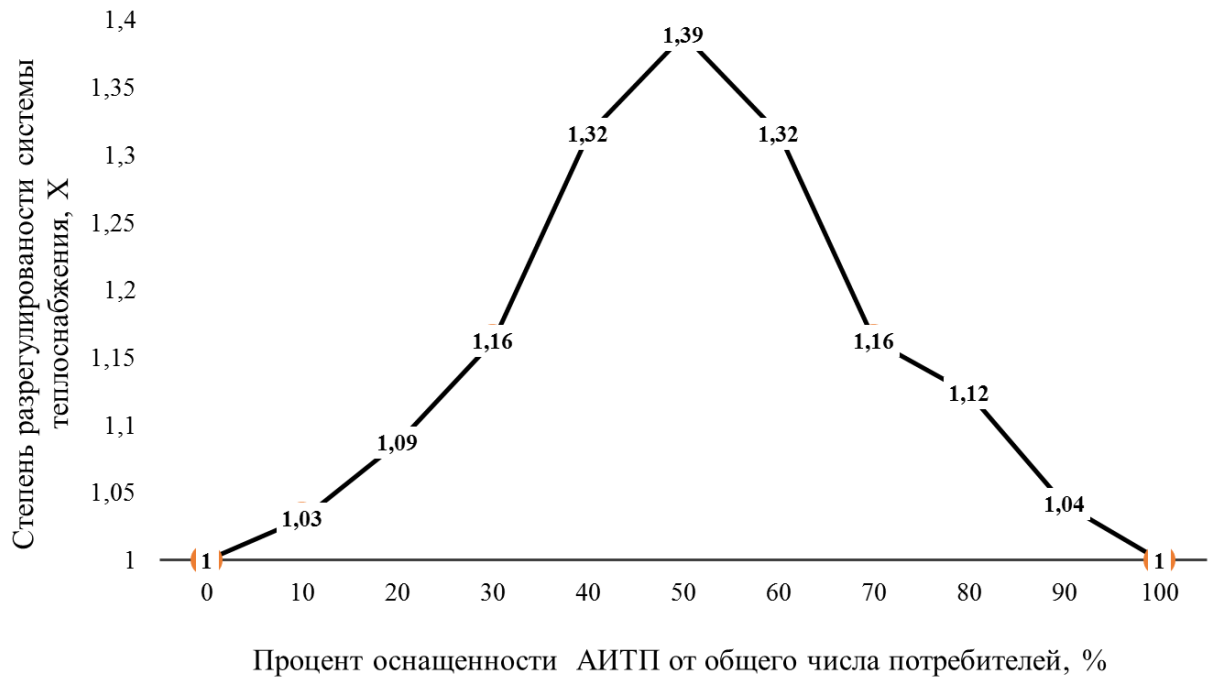


Рисунок 3.9. Степень разрегулированности системы теплоснабжения в зависимости от процента оснащённости АИТП.

Изменение давления в подающем трубопроводе является одним из основных постелей, характеризующих устойчивую работу системы теплоснабжения.

Задаваясь необходимостью сохранения постоянного перепада давления (для исключения гидравлической разрегулировки всей системы в масштабах системы города) в точках присоединения квартальных тепловых сетей к магистральным при ликвидации ЦТП для обеспечения потребителей требуемым количеством теплоносителя, в формулу перепада давления на выходе в рассматриваемый контур для усовершенствования методики по проведению гидравлических расчетов по удельным потерям систем теплоснабжения предлагается ввести новый коэффициент, описывающий степень разрегулировки системы теплоснабжения в зависимости от процентного оснащения АИТП потребителей:

$$\Delta P = XSG^2 \quad (3.4)$$

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

Ввод данного коэффициента в существующую расчетную методику позволит проводить предпроектные расчеты и принимать технически взвешенные решения по необходимости и целесообразности оснащения того или иного числа потребителей АИТП, с учетом влияния данных мероприятий на способность существующей системы теплоснабжения сохранить заданный гидравлический режим при внесении возмущений в систему.

Для выравнивания гидравлической устойчивости наиболее эффективным и малозатратным вариантом является комплексная регулировка гидравлического режима на основании расчетных данных и проектных решений. Для избежание гидравлической разрегулировки отдельных абонентов или отопительных систем с открытым водоразбором применяют элеваторы (или циркуляционные насосы на перемычке вместо элеваторов), обеспечивая постоянство расхода сетевой воды у потребителя. Сокращение расхода сетевой воды при регулировке системы способствует уменьшению потерь в сети, что увеличивает гидравлическую устойчивость последней.

Повышение гидравлической устойчивости сети возможно проведением дополнительного дросселирования потока воды в индивидуальных тепловых узлах потребителей и смешивающих устройствах (индивидуальное регулирование), а также в тепловых камерах магистральных тепловых сетей на квартальных ответвлениях (местное регулирование) и теплоисточнике (нейтральное регулирование).

Отсутствие так называемых «перетоков» и «недоотпусков тепла» позволяет экономить не только потребителям на приобретении качественных услуг, но и генерирующим компаниям на топливе и ремонте основного и вспомогательного оборудования [118].

При управлении современными системами теплоснабжения решаются вопросы обеспечения потребителей требуемыми параметрами теплоносителя, связанные с установкой заданных давлений, распределением потоков и т.п.

Решение более сложных задач, таких как прогнозирование поведения многокольцевой системы теплоснабжения города, на которую работают одновременно несколько источников тепла, при различных внешних условиях, требует внедрения электронного моделирования режимов работы тепловых сетей.

Выводы по главе 3

Экспериментальные исследования проводились для подтверждения адекватности данных, полученных при математическом моделировании по средствам программного комплекса «ZuluThermo», для исключения риска нанесения ущерба реальным объектам систем теплоснабжения.

Результаты проведенных исследований показали, что пакеты программ, созданные для теплогидравлических расчетов и моделирования режимов работы систем теплоснабжения, позволяют рассчитывать установившиеся режимы, упуская из вида динамичность системы. В этом случае имеется необходимость верифицировать полученные результаты на физических моделях (лабораторных стендах, экспериментальных установках). Сопоставление результатов, полученных при различных способах (математическое моделирование, лабораторный эксперимент) позволяет дать более точную оценку энергетической эффективности внедряемых энерго- и ресурсосберегающих мероприятий.

Полученные результаты проведенных исследований позволили оценить влияние поэтапного внедрения АИТП на гидравлическую устойчивость и степень разрегулированности СЦТ.

Выведенная зависимость показала, что наиболее стабильный гидравлический режим при работе системы централизованного теплоснабжения достигается при $K_u = 1$, а наибольшая разрегулированность возникает при оснащении АИТП числа потребителей, имеющих тепловую нагрузку, составляющую 30%-75% от общей.

Задаваясь необходимостью сохранения постоянного перепада давления (для исключения гидравлической разрегулировки всей системы в масштабах системы города) в точках присоединения квартальных тепловых сетей к магистральным при ликвидации ЦТП для обеспечения потребителей требуемым количеством теплоносителя, в формулу перепада давления на выходе в рассматриваемый контур для усовершенствования методики по проведению гидравлических расчетов по удельным потерям систем теплоснабжения предлагается ввести новый коэффициент, описывающий степень разрегулировки системы теплоснабжения в зависимости от процентного оснащения АИТП потребителей

Полученные зависимости позволяют оценить требуемый перепад давления на выходе из источника теплоснабжения (ТЭЦ или котельной) в зависимости от расчетного перепада давления в узловых точках системы (ЦТП), при внедрении АИТП на потребителях.

Ввод данного коэффициента в существующую расчетную методику позволит проводить предпроектные расчеты и принимать технически взвешенные решения по необходимости и целесообразности оснащения того или иного числа потребителей АИТП, с учетом влияния данных мероприятий на способность существующей системы теплоснабжения сохранить заданный гидравлический режим при внесении возмущений в систему, либо возможность подстроиться под новые параметры работы.

Возможность изменения рабочих параметров работы существующих систем теплоснабжения подразумевает под собой оценку пропускной способности магистральных тепловодов, наличие технической возможности на внесение изменений в режимные карты отпуска тепловой энергии от источника (техническая возможность увеличения давления в трубопроводе, наличие ограничений по давлению в трубопроводах и т.д.)

Полученные результаты направлены на увеличение эффекта от энергосберегающих мероприятий и могут быть использованы для оптимизации работы системы теплоснабжения, запитанной одновременно от нескольких источников тепловой энергии, действующих в границе крупного района города.

Достигнутый эффект, полученный при использовании результатов исследования, подтверждается актами использования и внедрения результатов диссертационной работы (см. Приложение А).

4 ПОКАЗАТЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ АИТП

4.1 Опыт реализации «Программы оснащения АИТП»

При проектировании и эксплуатации систем теплоснабжения муниципальных объединений, законодательством предусматривается ряд мероприятий, направленных на повышение эффективности энергетических систем.

Так, в соответствии с требованиями пункта 9 статьи 29 главы 7 ФЗ-190 «О теплоснабжении» с 1 января 2022 года не допускается использование централизованных открытых систем теплоснабжения для нужд горячего водоснабжения (ГВС) [119].

В целом, переход на закрытую схему должен учитывать не только обозначенные законодательством системы ГВС, но и взаимосвязь в работе всего энергетического комплекса.

Эффективность энергетических систем при внедрении мероприятий по переводу систем теплоснабжения с открытой на закрытую схему присоединения определяется:

- снижением расходов тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение (далее ГВС);
- снижением эксплуатационных затрат источников тепловой энергии и тепловых сетей;
- снижением потерь тепловой энергии и теплоносителя в сетях;
- снижением затрат на подготовку подпиточной воды в тепловых сетях.

Оптимальной является программа перехода систем отопления на независимую схему, т.е. переход от центральных тепловых пунктов (ЦТП) к автоматизированным схемам индивидуального подключения потребителей (АИТП).

Согласно 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности», принятым в ноябре 2009 года, Жилищным Кодексом РФ, Постановлением правительства РФ № 307 «О порядке предоставления

коммунальных услуг гражданам» собственники жилья имеют право регулировать потребление энергоресурсов в доме и оплачивать фактически потребленное количество ресурсов по показаниям приборов учета [120-122].

К сожалению, множество многоквартирных домов имеют традиционно нерегулируемые системы отопления.

Избыточное потребление тепла жилым фондом на сегодняшний день, по оценкам специалистов, составляет около 30-40% [123]. Одновременно с энергонезэффективным использованием тепловой энергии, ежегодно происходит рост тарифов. Так, например, за период 2010-2015 гг. по городу Казани рост тарифа на тепловую энергию составил 36,1% [124].

Снижение энергоемкости ЖКХ является важной задачей и это отмечено в Указе Президента РФ «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» от 04.06.2008 года [125].

Многokвартирные дома обладают существенным потенциалом для снижения потребления энергоресурсов. Использование этого потенциала позволит собственникам помещений в многоквартирном доме снизить плату за коммунальные услуги и, как следствие, - направлять полученные в результате экономии средства на содержание и ремонт дома, повышение уровня комфортности проживания. Однако, зачастую по причине высокой цены первоначальных вложений в эти технологии, отсутствия ясного понимания о сроках окупаемости затраченных денежных средств и неорганизованности собственников, повышение энергоэффективности отдельно взятого дома откладывается на неопределённое время.

Поставки тепла населению, организациям и предприятиям сферы услуг являются определяющими: доля этих потребителей в конечном потреблении тепловой энергии составляет около 60%. Из отпущенного тепла на нужды населения и бюджетного сектора 56% приходится на отопление и 44% - на нужды горячего водоснабжения.

На сегодняшний день порядка 70% жилых домов осуществляют горячее водоснабжение посредством открытого разбора из системы теплоснабжения.

Специалисты считают такое положение одной из причин энергозатратности жилищно-коммунального хозяйства [126-127].

В соответствии с изменениями и дополнениями, внесенными в Федеральный Закон № 190- «О теплоснабжении», коренным образом изменяются подходы к созданию систем горячего водоснабжения. Если раньше право на существование имели обе системы - открытая и закрытая, то с 1 января 2013 г. подключение вновь вводимых объектов капитального строительства к системам ГВС должно осуществляться только по закрытой схеме. А с 1 января 2022 г. открытые системы теплоснабжения должны быть упразднены [119].

Отказ от открытых систем теплоснабжения связан с возникающими «перетопами», которые носят массовый характер, и влекут за собой нерациональное использование тепловой энергии, а также, как следствие, излишнее использование энергоресурсов [128].

Понятие эффективности систем теплоснабжения включает в себя оптимизацию расходования тепловой энергии и энергетических ресурсов и обеспечение надежности и при эксплуатации энергетических систем.

Оптимизация расходования тепловой энергии при этом, заключается в обеспечении потребителей теплоносителем требуемых параметров, для поддержания нормативного теплового режима внутри зданий.

Однако, оптимизационную задачу обеспечения эффективности систем в отрыве от экономических факторов и реальных трудностей в их увязке с инженерными задачами решить невозможно.

Экономический фактор, приведенные или замыкающие затраты, или срок окупаемости должны обязательно учитываться при выборе технических решений систем теплоснабжения.

Необходимость перехода на независимую схему присоединения потребителей связана не только с возможностью потенциальной экономии энергоресурсов и затрат на их передачу, но и с надежностью энергетической системы. Переход на независимую схему присоединения, с точки зрения надежности системы, позволит исключить такие проблемы как высокое или

недостаточное давление в обратном трубопроводе, переменные или неудовлетворительные гидравлические режимы в сети, снизить вероятность гидравлических ударов.

Мероприятия, направленные на повышение эффективности рассматриваемых энергетических систем, предполагают установку автоматизированных схем с учетом теплотребления и для поддержания необходимых гидравлических режимов, температур горячей воды и температурного графика в системе отопления зданий.

Достигнутая экономия потребления электрической и тепловой энергии за пятилетний период в Республике Башкортостан представлен на Рисунке 4.1.

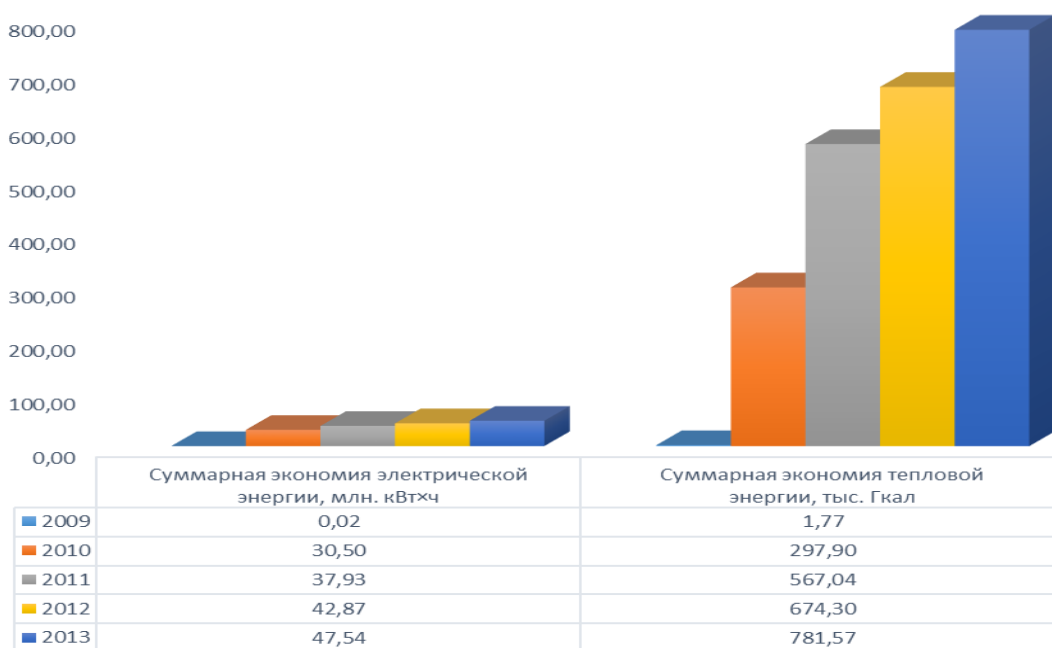


Рисунок 4.1. Динамика изменения экономии объемов потребления тепловой и электрической энергии за пятилетний период, с учетом реализации программы энергосбережения систем теплоснабжения в г. Уфа, Республика Башкортостан

Практический опыт проведенных мероприятий в соответствии с программой энергосбережения в г. Уфа (Республика Башкортостан) показал, что в результате внедрения энергосберегающих мероприятий, в том числе и реконструкции внутренних инженерных систем отопления зданий (внедрения АИТП) достигаются:

- социально-экономический эффект, который заключается в снижении расхода тепловой энергии, экономии энергетических ресурсов, замене изношенных элементов системы распределения тепловой энергии, повышении надежности и качества теплоснабжения, улучшении благосостояния и здоровья граждан;
- коммерческий эффект, который характеризует результат вложения инвестиций, соотношение затрат и результатов модернизации, уменьшении платежей жителей и отчислений из бюджета;
- технологический эффект – повышение надёжности теплоснабжения, уменьшение аварийности, жалоб со стороны населения;
- экологический эффект, заключающийся в снижении выброса в атмосферу CO₂ в результате уменьшения количества сжигаемых энергоресурсов, расходуемых на выработку тепловой энергии.

Суммарная экономия воды и сокращение потребляемой мощности на перекачку теплоносителя, за пятилетний период представлены на Рисунке 4.2.

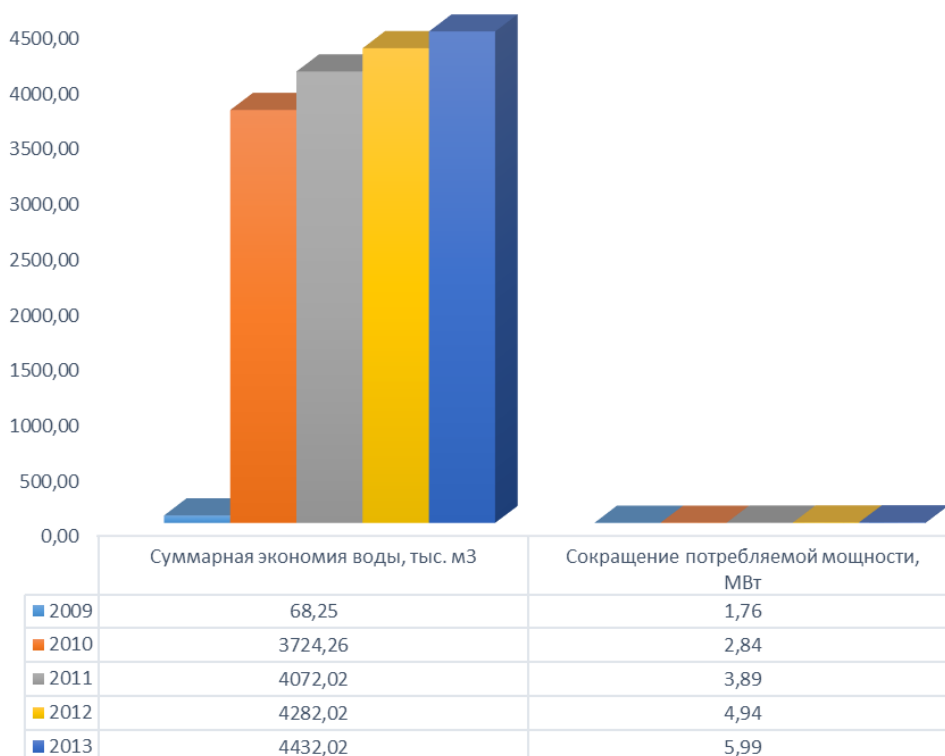


Рисунок 4.2 Динамика изменения объемов потребления воды и мощности и за пятилетний период, с учетом реализации программы энергосбережения систем теплоснабжения в г. Уфа, Республика Башкортостан

Динамика изменения объемов сокращения выбросов с учетом реализации программы энергосбережения систем теплоснабжения в г. Уфа, Республика Башкортостан представлена на Рисунке 4.3.

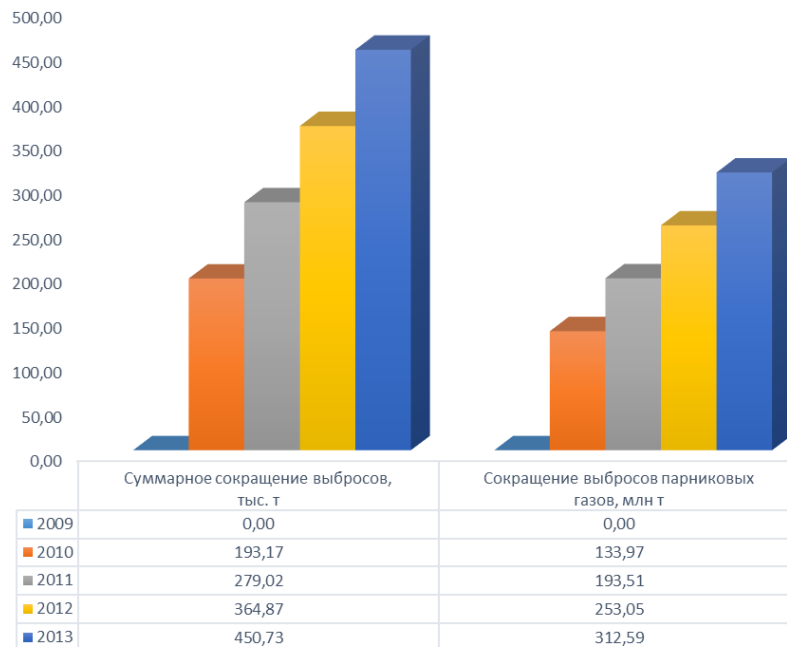


Рисунок 4.3. Динамика изменения объемов сокращения выбросов с учетом реализации программы энергосбережения систем теплоснабжения в г. Уфа, Республика Башкортостан

Как видно по диаграммам, ежегодно происходит увеличение объемов экономии по всем обозначенным пунктам. Наиболее выражено это демонстрируется графиком изменения потребления воды и тепловой энергии.

В рамках выполняемой работы был проведен анализ целесообразности реализации мероприятий по повышению эффективности систем теплоснабжения, путем внедрения автоматизированных тепловых пунктов по следующим критериям: техническая целесообразность; экономическая и социальная целесообразность.

4.1.1 Техническая целесообразность внедрения АИТП

Внедрение автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов как в небольших масштабах (квартал, микрорайон), так и в масштабе крупных муниципальных образований (город) рекомендуется реализовывать поэтапно.

Целесообразно начать с внутриквартальных сетей, где срок эксплуатации близок к завершению, а техническое состояние ЦТП требует принятия срочных решений. На таких объектах эффект будет максимально очевиден.

Российский и зарубежный опыт внедрения показывает, что в целом, отсутствуют технические сложности в реализации мероприятий по внедрению АИТП, т.к. перечень требуемого оборудования доступен и схемные решения хорошо изучены. Главное – это четкое планирование на этапе разработки и обратная связь в процессе реализации [129-132].

Практический опыт в г. Елабуга, показывает, что в процессе внедрения АИТП в 95% случаев не требуется увеличения диаметров трубопровода до ИТП. Фактический расход теплоносителя на нужды ГВС по трубопроводу снижается до 4 раз. Однако требуется перекладка внутриквартальных сетей на параметры магистральных тепловых сетей и детальный анализ уже имеющихся трубопроводов в части пригодности (рабочие параметры, материал, состояние) [133-135].

Реализация мероприятий по переходу с открытой на закрытую схему с независимым присоединением, с технической точки зрения, позволит:

1. Уменьшить объем тепловых сетей.

За счет исключения сетей горячего водоснабжения (ГВС) достигается существенное уменьшение объема (протяженности) внутриквартальных тепловых сетей. Соответственно, потери тепловой энергии через слой тепловой изоляции и теплоносителя с утечками также значительно уменьшаются.

2. Исключить ЦТП из схемы теплоснабжения.

За счет исключения теплообменного оборудования в ЦТП отсутствуют потери, связанные с передачей тепловой энергии от контура магистральных тепловых сетей в контур внутриквартальных тепловых сетей. На практике в подавляющем большинстве ЦТП установлены устаревшие кожухотрубные

теплообменные аппараты, выработавшие свой ресурс с большим количеством отложений на поверхностях нагрева. Как следствие, из-за низкого коэффициента теплопередачи от греющего контура к нагреваемому большой объем теплоносителя в системе циркулирует «впустую» и требует поддержания повышенных значений температуры теплоносителя. Учитывая протяженность магистральных тепловых сетей и повышенные параметры теплоносителя имеют место значительные потери тепловой энергии с утечками теплоносителя и через слой тепловой изоляции.

Исключение ЦТП позволит снизить нагрузки на:

- теплотрассу и уменьшить диаметры для вновь строящихся и реконструируемых магистральных тепловодов;
- оптимально распределить нагрузку для существующих тепловодов, учитывая новых потребителей;
- снизить мощность насосных установок на источниках либо обеспечить нормальный гидравлический режим (требуется детальный анализ);
- более оперативно и эффективно поддерживать, и регулировать теплогидравлический режим теплотрассы.

Многие ЦТП частично или полностью выработали свой ресурс. Система деаэрации либо не работает, либо не обеспечивает нормативных показателей. Как следствие, нормативный срок службы для магистральных (30 лет) и квартальных (20 лет) сетей на практике сокращается до 2-4 лет, что провоцирует постоянные работы по замене сетей, а затраты ложатся, в конечном итоге, в тариф для конечного потребителя.

В связи с тем, что не требуется оборудование для поддержания циркуляции теплоносителя в контуре квартальных сетей, а также уменьшается количество одновременно работающего оборудования на источниках, повышается надежность системы и снижается время подготовки к отопительному сезону.

Дополнительно, зачастую, происходит спрямление магистральных трубопроводов минуя ЦТП, что положительно сказывается как на объеме, так и на гидравлическом режиме теплотрассы.

Возможности современных автоматических индивидуальных тепловых пунктов позволяют автоматически поддерживать требуемые параметры у потребителей по нагрузке/температуре наружного воздуха вплоть до регулирования по фасадам, когда стояки на разные части дома (солнечная/теневая сторона) регулируются отдельно.

Возможно индивидуальное регулирование теплопотребления в детских садах, общеобразовательных учреждениях, учреждениях здравоохранения независимо от других потребителей.

Как существенное преимущество АИТП можно отметить быстрый монтаж на основе блоков высокой заводской готовности там, где это возможно.

При внедрении системы диспетчеризации и архивации данных формируются следующие положительные качества системы:

- прозрачность различной информации по теплоснабжению для различных субъектов системы (от администрации муниципального образования до конечного потребителя) при соблюдении политики доступа;
- оперативное получение и анализ данных о тепло-гидравлическом режиме сети и потребителей;
- возможность прогнозирования на основании реальных, а не нормативных данных;
- возможность оценки реального эффекта от внедрения прочих мероприятий по энергосбережению (утепление фасадов, замена остекления и т.п.).

Переход полностью на закрытую схему теплоснабжения при установке АИТП решает ряд ключевых проблем:

- ликвидируются суточные скачки (повышение/понижение) давления в теплосети у потребителей;
- исключается проблема высокого коррозионного износа трубопроводов теплосети из-за наличия в теплоносителе растворенных агрессивных газов (кислорода и углекислого газа);
- снижается расход подготовленной подпиточной воды на источнике, снижаются затраты на химводоочистку (ХВО);

- уменьшается образование отложений в трубопроводной системе и поверхностях нагрева;
- возможно внесение в магистральные сети ингибиторов коррозии и защиты от отложений, т.к. исключается контакт конечного потребителя с сетевой водой [136].

4.1.2 Экономическая целесообразность внедрения АИТП

При рассмотрении аспектов экономической целесообразности были произведены два расчета, основанные на фактических показателях, полученных при реализации мероприятий по переводу с открытой на закрытую схему присоединения с независимым подключением (АИТП) в городах Набережные Челны (РТ), г. Елабуга (РТ), г. Салават (РБ) и г. Сибай (РБ) [137-138].

1. Оценка экономической эффективности при переводе с открытой на закрытую схему присоединения и внедрении АИТП по укрупненным показателям.

Основные показатели, формирующие экономическую целесообразность связаны с уменьшением объема теплосети, снижением объемов циркуляции теплоносителя, уменьшением количества оборудования в работе и повышением надежности системы в целом:

- отсутствие перерасхода тепловой энергии (перетопов), составляющего до 60-70% от расчетного теплопотребления, и, как следствие, отсутствие перерасхода топлива, снижение негативного воздействия на окружающую среду, связанного с выбросами загрязняющих веществ;
- снижение потерь тепловой энергии в магистральных и квартальных сетях, по опыту внедрения эффект достигает 20-25%;
- отсутствие затрат на прокладку/модернизацию/обслуживание/ремонт сетей ГВС;
- отсутствие затрат на строительство/модернизацию/ремонт/обслуживание ЦТП;
- уменьшение количества персонала предприятий тепловых сетей, более эффективное использование человеческого ресурса и техники;

- высвобождение земельных участков вследствие демонтажа существующих ЦТП, и отсутствии необходимости в строительстве новых.

Суммарный совокупный платеж за коммунальные услуги, включая отопления и ГВС для населения может:

1. Измениться в меньшую сторону, т.к. даже при сохранении объема потребления, в целом по системе потери должны уменьшиться и это должно найти отражение в тарифе. В таком случае средства на реализацию программы следует искать централизованно из сторонних источников

2. Остаться неизменным. Теплоснабжающая организация (по согласованию с ТСЖ) включает в инвестиционную программу мероприятия по отдельным объектам и микрорайонам, одновременно показывая экономию от снижения потерь, отсутствия необходимости обслуживать ЦТП и т.п. Таким образом реализация программы не окажет влияния на тариф для населения.

3. Увеличиться при необходимости каждому отдельному ТСЖ закупать АИТП самостоятельно и самостоятельно искать обслуживающую организацию.

Затраты на водоподготовку на ЦТП уйдут, для АИТП отдельная водоподготовка не требуется.

Заполнение и работа контура отопления обеспечивается сетевой водой, а для ГВС используется водопроводная вода питьевого качества.

Обслуживание АИТП – это дополнительные затраты, однако экономия на горячей воде и отоплении, в целом, должна перекрывать данные затраты.

Практический опыт проведенных работ по переводу на закрытую схему присоединения и внедрению АИТП в таких городах как Набережные Челны и Елабуга, показывает, что с внедрением погодного регулирования и повсеместного учета ТСЖ сами иницируют мероприятия по снижению общедомовых потерь тепла: утепление подвалов, подъездов, замена остекления. Что, в конечном итоге, также положительно сказывается на платежах в части ОДН.

На Рисунке 4.4 и Рисунке 4.5 представлены фактические показатели эксплуатационных и единовременных капитальных затрат 70 абонентских узлов, расположенных в г. Набережные Челны при работе от ЦТП и при установке АИТП.

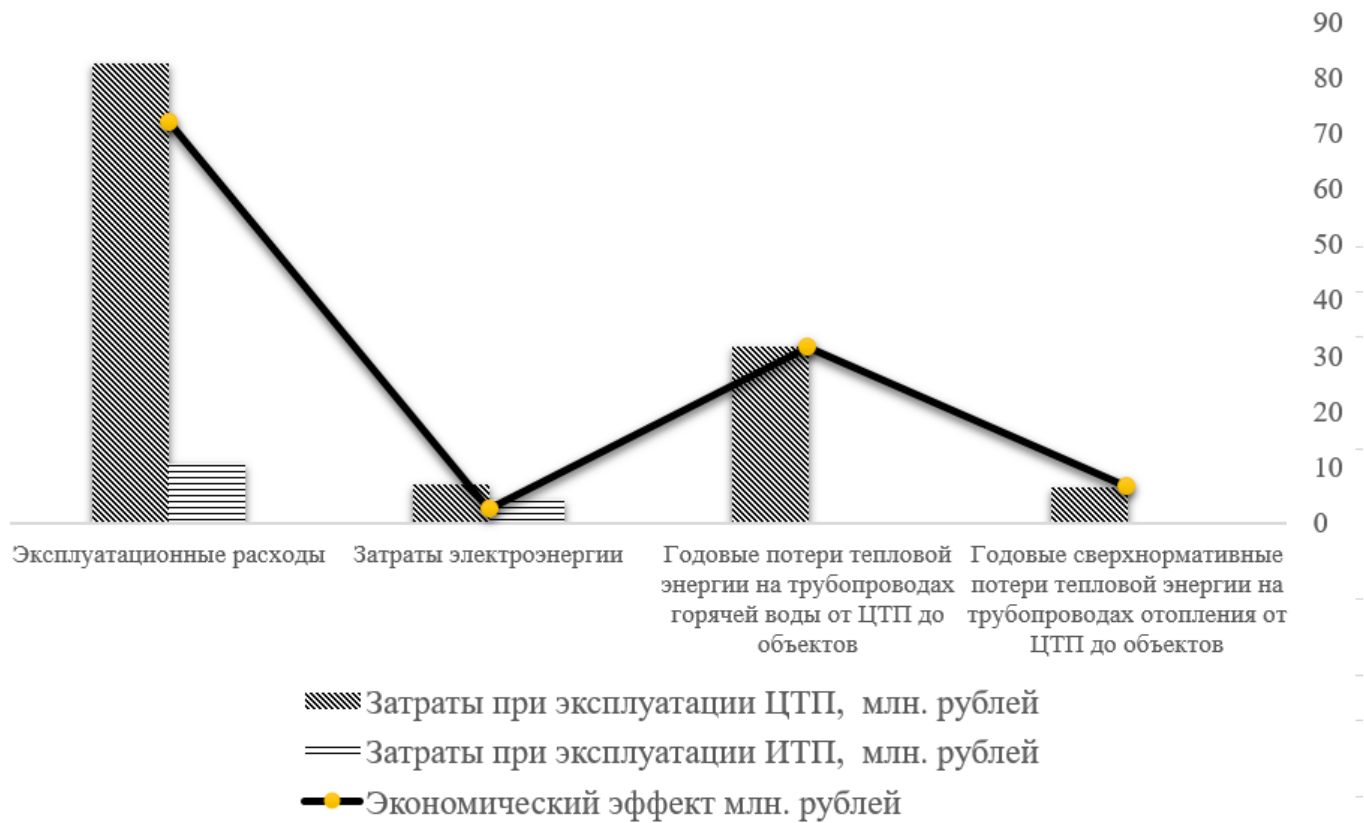


Рисунок 4.4. Достигнутый экономический эффект при реализации программы по установке 70 АИТП в г. Набережные Челны, млн. рублей в год

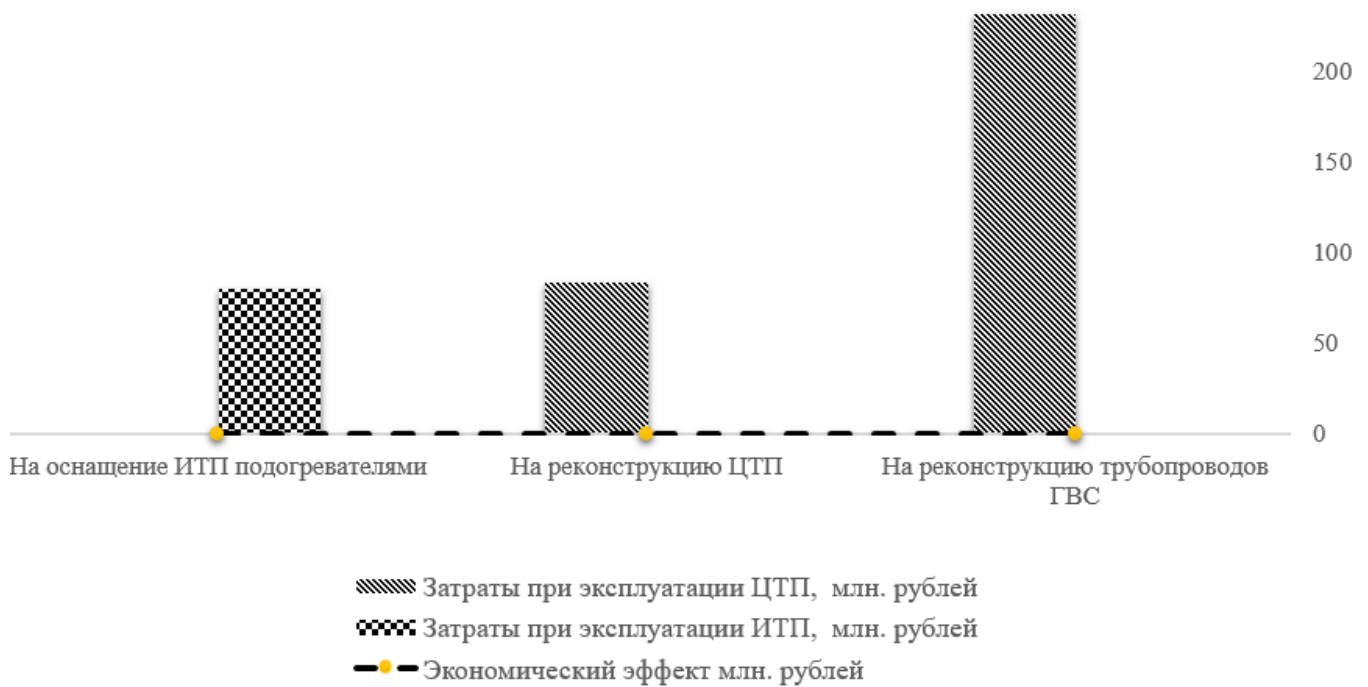


Рисунок 4.5. Единовременные капитальные затраты при эксплуатации ЦТП и АИТП, млн. рублей в год

Среднегодовые эксплуатационные показатели до и после внедрения 70 АИТП в г. Набережные Челны показал, что от реализации мероприятий за год достигнут экономический эффект в размере 348 млн. рублей, в относительных величинах это показатель составляет порядка 75% от эксплуатационных и капитальных затрат при эксплуатации и обслуживании ЦТП.

Результаты проведенного анализа представлены в Таблице 4.1.

Таблица 4.1. Среднегодовые эксплуатационные показатели до и после внедрения 70 АИТП в г. Набережные Челны

Статьи затрат	Достигнутый экономический эффект, млн. рублей
Итого по эксплуатационным затратам	112,7
Итого по капитальным затратам	235
Суммарный эффект	347,7

2. Расчет экономического эффекта от внедрения мероприятий по переводу с открытой на закрытую схему присоединения и внедрении АИТП на примере многоквартирного жилого дома.

Расчет экономической эффективности реализуемых мероприятий по установке АИТП при различных источниках финансирования:

- Расчет экономической эффективности при установке АИТП за счет теплоснабжающей организации.
- Расчет экономической эффективности при установке АИТП за счет собственников ТСЖ.

2.1 Расчет экономического эффекта для теплоснабжающей организации

В качестве исходной информации были приняты данные по городам, в которых уже реализованная программа перевода

В результате расчетов составлены сводные таблицы сравнения затрат, связанных с получением тепловой энергии на центральном тепловом пункте и

получением тепловой энергии с помощью установленного в подвале жилого многоквартирного дома АИТП (см. Таблицу 2 Приложения Г).

Анализ сводных затрат по переводу на закрытую независимую схему показал, что при установке АИТП снижаются капитальные и эксплуатационные расходы на обслуживание внутриквартальных сетей от ЦТП. При этом наиболее экономически целесообразно проводить установку приборов учета и автоматического регулирования (АИТП) за счет средств теплоснабжающей организации (потенциал экономии относительно установки АИТП за счет средств собственников составляет порядка 30-35% от суммарных затрат).

2.2 Расчет экономического эффекта для населения

Для проведения расчета принят условно 4-подъездный 9-этажный 144-х квартирный дом и усредненная квартира площадью 60 м² с тремя проживающими.

Расчет тепловой энергии на нужды отопления принят из условий равномерного потребления в течении года с учетом потребления в отопительный период 1,2 Гкал и составляет:

$$Q_{\text{ср.год.}} = Q \cdot \frac{N_{\text{отоп.}}}{N} = 1,2 \cdot \frac{7}{12} = 0,7 \text{ Гкал,} \quad (4.1)$$

где $Q_{\text{ср.год.}}$ - усреднённый среднемесячный показатель теплового потребления, Гкал; $Q = 1,2$ - расчетная тепловая нагрузка жилого дома, Гкал; $\frac{N_{\text{отоп.}}}{N}$ - отношение месяцев отопительного периода к году в целом, для расчета среднегодового показателя.

Для расчета принимаем: после установки АИТП достигается снижение потребления тепловой энергии на отопление в среднем на 30% за счет исключения «перетопов»; после установки приборов учета достигается снижение потребления холодной и горячей воды в 3 раза (по фактическим данным).

Стоимость одного АИТП принята 2,0 млн. рублей исходя из возможных рисков, связанных с колебаниями курса валют, инфляционных показателей и создание эксплуатационных запасов запасных частей.

Затраты на установку поквартирных приборов учета на 1 квартиру приняты усреднено для 3 счетчиков в размере 3000 рублей со сроком службы 6 лет.

Для принятия наиболее рационального решения с точки зрения экономической эффективности так же были рассмотрены два варианта возможных источников финансирования реализуемых мероприятий по установке АИТП и поквартирных приборах учета (см. Таблицу 3 Приложения Г):

1. Расчет экономической эффективности при установке АИТП и приборов учета за счет собственников ТСЖ;
2. Расчет экономической эффективности при установке АИТП за счет теплоснабжающей организации. а приборов учета за счет собственников ТСЖ.

Ниже в табличной форме приведены результаты сравнения затрат, связанных с получением тепловой энергии на центральном тепловом пункте (соотнесенных к одному многоквартирному жилому дому) и получением тепловой энергии с помощью установленного в подвале жилого многоквартирного дома АИТП.

Перечень исходных данных, принятый для расчета экономического эффекта (по счет-фактуре):

1. Для расчета принята условно усредненная квартира площадью 60 м² с тремя проживающими.
2. Для расчета принят 4-подъездный 9-этажный 144-х квартирный дом.
3. Расчет тепловой энергии для нужд отопления принят условно для равномерного потребления в течении года (1,2 Гкал*7 мес./12 мес.=0,7 Гкал).
4. После установки АИТП достигается снижение потребления тепловой энергии на отопление в среднем на 30% за счет исключения “перетопов”.
5. После установки приборов учета достигается снижение потребления холодной и горячей воды в 3 раза (по фактическим данным).
6. Затраты на установку АИТП рассчитаны из стоимости АИТП на 1 дом в 2,0 млн. рублей со сроком службы 10 лет.
7. Затраты на установку поквартирных приборов учета на 1 квартиру приняты для 3 счетчиков (усреднено) в размере 3000 рублей со сроком службы 6 лет.

Анализ сводных затрат по переводу на закрытую независимую схему показал, что при установке приборов учета и регулирования, как внутридомовых, так и поквартирных, для конечного потребителя (населения) снижение коммунальных платежей за услуги водоснабжения и отопления в среднем составляет 45% от суммарных затрат на оплату по нормативным показателям.

При этом наиболее экономически целесообразно затраты на реализацию энергосберегающих мероприятий разделить. Расходы на установку приборов поквартирного учета реализовать за счет средств собственников ТСЖ, а установку общедомовых приборов индивидуального автоматического регулирования за счет средств теплоснабжающих организаций [139-141].

В данном случае, снижение статей затрат на оплату коммунальных услуг может составить порядка 49% от общей суммы затрат за тепловое потребление (см. Таблицу 3 Приложение Г).

4.1.3 Социальная целесообразность

Основной статьей затрат при оплате коммунальных платежей является плата за тепловую энергию, достигающая до 50-60% от суммы платежей по счет-фактуре, особенно в отопительный период.

Ежегодно растущие счета на оплату коммунальных услуг за потребленную тепловую энергию и ежегодное увеличение тарифа на тепло происходит за счет так называемых «перетоков» (температура воздуха внутри жилых помещений достигает 27-30 °С, при нормативном значении 20-23 °С); за счет постоянной работы пиковых источников тепловой энергии в течение отопительного сезона; высоких потерь тепловой энергии и теплоносителя при транспортировке и высоких затратах на ненормативные ремонты и постоянную перекладку сетей из-за крайне низкого срока службы.

При этом «наценка» теплосетевой организации в конечном тарифе достигает 50% относительно тарифа с коллекторов ТЭЦ или котельных. В связи с этим для конечного потребителя экономически целесообразным становится уход от централизованного отопления на индивидуальное.

Установка АИТП позволяет создать более комфортные условия для жизни населения и работы коммерческих потребителей.

По опыту внедрения: платежи за отопление снижаются в среднем на 20%-30%; снижается вероятность «недотопов» наиболее удаленных потребителей, которые в среднем составляют 18-20% от общего числа абонентов.

Для конечных потребителей (население) мероприятия по переводу с открытой системы теплоснабжения на закрытую с независимой схемой присоединения являются социально целесообразными. Появляется ощущение «справедливости», когда потребитель уверен, что он оплачивает только то, что ему необходимо и что он реально потребил [142-145].

4.1.4 Источники финансирования программ реализации энергосберегающих мероприятий, направленных на повышение эффективности систем теплоснабжения

Программа может реализовываться за счет включения мероприятий в тариф (инвестиционная составляющая) за минусом экономического эффекта от экономии (повышение надежности, снижение объема циркуляции и как следствие, снижение затрат электрическую энергию и тепловые потери). Таким образом возможна поэтапная реализация программы без увеличения конечного тарифа.

Возможно привлечение федеральных средств, для чего требуется детальная обоснованная Программа с реальными показателями. Действующие Схемы теплоснабжения городов для этих целей не годятся - очень низкое качество, нужен аудит, сбор и анализ исходных данных. Зачастую показатели теплопотребления завышены (до 30-40%) за счет применения нормативных, а не реальных значений. Министерство энергетики РФ обратило на это внимание при защите Схемы теплоснабжения г. Набережные Челны, и эти значения были скорректированы.

Возможна реализация Программы по программе капремонта при поддержке Администрации города.

Как вариант, средства, планируемые на модернизацию или строительство новых ЦТП возможно направить на реализацию Программы при соответствующем обосновании.

Возможно привлечение частного инвестора, имеющего опыт реализации подобных программ. В целом, проект может быть весьма рентабельным. По опыту внедрения срок окупаемости составляет от 1 до 3 лет.

Дополнительно возможна организация муниципального либо частного предприятия по производству линейки АИТП.

Положительные эффекты: налоги, рабочие места, экономия на закупке АИТП для городских нужд.

Важно контролировать, чтобы конечная продукция оказалась не дороже, чем у сторонних продавцов. Возможна экономия за счет заключения долгосрочных контрактов с поставщиками отдельных компонентов.

4.2. Расчет экономического эффекта на примере многоквартирного жилого дома

4.2.1 Оценка потенциала возможной экономии тепловой энергии при внедрении АИТП

Для проведения расчетов выбрал типичный многоквартирный жилой дом из перечня потребителей рассматриваемой системы теплоснабжения по адресу г. Казань ул. Амирхана д.2а.

Тариф на тепловую энергию на 2015г. для населения г. Казани составлял: 1380,43 руб./Гкал с НДС.

Фактическое потребление тепловой энергии на нужды отопления за отопительный период 2014 г. составило 1144,3 Гкал или в стоимостном выражении в ценах 2014г. 1579,6 тыс. руб. с НДС.

Стоимость монтажных работ принята равной в соответствии с расчетами компании-партнера. Стоимость проектирования в расчет не принималась.

Оценка экономии тепловой энергии производилась на основании 2-х подходов: экспертном (по сложившемуся опыту использования энергосберегающих технологий) и расчетном (по предоставленным данным с учетом методик определения потребности в тепловой энергии).

1. Экспертная оценка экономии тепловой энергии в результате проведения энергосберегающих мероприятий (см. Таблицу 4.3).

Регулирование потребления тепловой энергии на отопление с помощью АИТП исходя из потребности и в зависимости от температуры наружного воздуха даёт экономию тепла до 20% [146-147].

Таблица 4.3. Экспертная оценка экономии тепловой энергии в результате проведения энергосберегающих мероприятий

Этапы мероприятий	Экономия в результате проведения мероприятий в здании, Гкал	Экономия тепловой энергии в %
Фактическое потребление тепловой энергии (до модернизации), Гкал	1144,3	
Установка АИТП с погодным регулированием	228,9	20%
Итого по всем мероприятиям:	228,9	20%

2. Расчетный подход основан на сопоставлении фактического и проектного (нормативного) теплоснабжения.

Нормативное потребление тепловой энергии зданием определяется с учётом существующих методик [148-149].

Нормативное количество тепловой энергии, Гкал, необходимой для отопления здания в отопительный период:

$$Q_{\text{о проект}}^{\text{год}} = Q_{\text{о max пр}} \cdot T_{\text{отоп}} \frac{(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}^{\text{ср}})}{(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}^{\text{п}})} = 869,7 \text{ Гкал}, \quad (4.2)$$

где $Q_{\text{о max пр}}$ - проектная нагрузка системы отопления (по предоставленным данным - 0,3478 Гкал/ч; $T_{\text{отоп}}$ - продолжительность отопительного периода; $t_{\text{вн}}$ - расчетная температура воздуха в отапливаемом здании (по предоставленным данным - 20°C); $t_{\text{нар}}^{\text{ср}}$ - средняя температура наружного воздуха за отопительный

период; $t_{\text{нар}}^p$ - расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления в местности, где расположено здание.

Расчетная оценка потенциала экономии тепловой энергии на нужды отопления в результате проведения энергосберегающих мероприятий:

$$\Delta = Q_{o \text{ факт}} - Q_{o \text{ норм}} = 1144,3 - 869,7 = 274,6 \text{ Гкал} \quad (4.3)$$

где $Q_{o \text{ факт}}$ - фактическое теплотребление на нужды отопления за отопительный период; $Q_{o \text{ норм}}$ - расчетное (нормативное) теплотребление на нужды отопления за отопительный период.

Определение вероятного потенциала энергосбережения тепловой энергии на нужды отопления основано на расчете средневзвешенной величины полученных значений экономии тепловой энергии в двух вышеописанных подходах

Расчет потенциала экономии произведен с учетом Методики определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения МДК 4-05.2004, утвержденной Заместителем председателя Госстроя России 12.08.2003.

Данные экспертной оценки предполагаемой экономии тепловой энергии по результатам реализации программы повышения энергоэффективности системы отопления здания в Таблице 4.3.

Расчет экономии опирается на экспертную оценку. Достижение экономии тепловой энергии возможно только при правильной эксплуатации оборудования, периодическом контроле за его работой и при условии, что модернизируемые здания имеют достаточный уровень теплозащиты.

Здесь следует напомнить, что результаты наших ранее проведенных [150-153] исследований, показали, что фактическое снижение тепловой нагрузки составляет 33,5 %, что достаточно близко с полученными расчетными данным, представленными в Таблице 4.4.

Оценка эффективности реализации программы повышения энергоэффективности связана с определением результатов вложения инвестиций и определяется соотношением затрат и результатов рассматриваемых мероприятий.

Предоставление инвесторам полной информации позволит принимать взвешенные решения о целесообразности участия в реализации мероприятий по оснащению жилых домов АИТП.

Таблица. 4.4. Оценка совокупной экономии тепловой энергии в СО

Показатель	Ед. изм.	Экспертная оценка	Расчетный метод
Фактическое потребление тепловой энергии	Гкал	1144,3	
Экономия тепловой энергии		228,9	274,6
Средневзвешенная экономия тепловой энергии	Гкал	251,8	
	тыс. руб.	347,5	
	%	30,4 %	

Основными показателями являются финансовая состоятельность, показатели коммерческой эффективности инвестиций и объемы общих инвестиционных и производственных издержек.

Оценка коммерческой эффективности проводилась с учётом следующих требований:

- капитальные вложения, заложенные в расчетах, индексируются в соответствии с индексами цен по капитальным вложениям и элементам их технологической структуры;
- все расчеты произведены в рублях РФ с учетом НДС;
- стоимость монтажных работ принята по среднерыночному показателю профильных компании;
- стоимость проектирования в расчет не принималась.

Оценка показателей эффективности инвестиций производилась в соответствии с Методическими рекомендациями, по оценке эффективности инвестиционных проектов.

В основу оценки эффективности положены следующие основные принципы:

- рассмотрение предлагаемых к реализации мероприятий на протяжении всего «жизненного периода», т.е. от подготовительных работ по сооружению до истечения срока эксплуатации;
- моделирование денежных потоков (денежные поступления и расходы по различным статьям за рассматриваемый период);
- этапы реализации предлагаемых мероприятий;
- учет предстоящих затрат связанных с осуществлением мероприятий;
- учет влияния инфляции.

В качестве основного критерия коммерческой эффективности принят дисконтированный срок окупаемости (возврата капитала) и следующие интегральные показатели:

- внутренняя норма рентабельности;
- индекс прибыльности (доходности);
- чистый дисконтированный доход.

Финансово-экономические расчеты выполнены с использованием сертифицированной компьютерной программы «Project Expert», разработанной фирмой «Эксперт Системс» (г. Москва), предназначенной для создания и анализа финансовой модели нового, еще не созданного или уже действующего предприятия независимо от его отраслевой принадлежности и масштаба, что позволяет на основе укрупненных показателей и прогнозных экономических оценок определить основные показатели экономической эффективности [144].

В качестве капитальных вложений приняты инвестиции в объеме необходимом для реализации мероприятий.

Все виды интегральных результатов и затрат выражаются и сопоставляются в дисконтированной форме.

Для расчёта ставки дисконтирования применена **модель кумулятивного построения (ССМ)**, как наиболее адекватно отражающая показатели дисконтирования для объектов энергетической отрасли.

В этом методе ставка дисконтирования является суммой безрисковой ставки доходности и совокупности премий за отдельные, относящиеся именно к данной работе риски, оцениваемые экспертным путем (см. Таблицу 4 Приложения Г.).

Общая ставка дисконтирования рассчитывается как сумма всех составляющих и по результатам расчета принята равной 13,75 %.

В расчетах были учтены налоги на добавленную стоимость, налог на прибыль, социальный налог, налог на имущество. Переплаченный НДС переносится в будущие периоды. Убытки предыдущих периодов списываются сразу.

Ставки налогообложения по каждому из пунктов приняты согласно налогового кодекса РФ в ценах 2017 года приведены в Таблице 5 Приложения Г.

Поскольку инфляция действует неравномерно на различные группы товаров, услуг, трудовые ресурсы, недвижимость, следует стремиться оценить тенденции ценообразования по каждой из этих составляющих.

Программа «Project Expert» дает возможность построить обобщенное описание инфляционной среды, в котором выделены наиболее крупные объекты инфляции или, в случае необходимости, детализировать описание условий инфляции для каждого элемента хозяйственной деятельности предприятия.

В ходе выполнения работы сформированы показатели по группам объектов инфляции, которые характеризуют изменения стоимости поступлений и выплат по основным статьям проекта в соответствии с прогнозными макроэкономическими показателями (см. Таблица 6 Приложение Г).

В работе была проведена укрупненная экономическая оценка мероприятий, направленных на повышение эффективности системы отопления многоквартирного жилого дома.

Объемы необходимых капитальных вложений для реализации мероприятий определены исходя из укрупненной оценки стоимости основного и вспомогательного оборудования, стоимости строительно-монтажных работ (СМР), а также прочих расходов.

За основу приняты данные, предоставляемые производителями и поставщиками оборудования, подрядными организациями, показатели стоимости аналогичных объектов на территории РФ, а также информационно-аналитические материалы по энергетической отрасли.

Итоговая стоимость предлагаемых к реализации мероприятий составляет 430,476 тыс. рублей.

Данная сумма может варьироваться в зависимости от типа и марки устанавливаемого регулирующего и учетного оборудования. В расчетах приняты затраты по установке среднестатистического узла учета и регулирования.

Длительность проекта принята 240 месяцев (20 лет), что соответствует заявленному производителем сроку службы АИТП.

Для оценки экономической эффективности рассматриваемых мероприятий согласно представленным выше расчетам (см. Таблицу 4.5) за планируемый объем поставок было принято расчетное значение экономии тепловой энергии после установки ИТП.

Таблица 4.5. Планируемый объем поставок

Продукт	Ед. изм.	4кв. 2015г.	2016год	2017 год и далее
Тепловая энергия	Гкал	123	251,8	251,8

4.2.2 Оценка коммерческой эффективности реализации программы

В результате расчета имитационной модели, сформированной на основе исходных данных и инвестиционного плана на реализацию мероприятий, были получены основные результаты определения экономической эффективности.

Расчет экономических показателей производился с применением общепринятых методик, содержащие основные показатели:

Дисконтируемый период окупаемости (DPB) - это время, требуемое для покрытия всех дисконтированных капитальных затрат за счет получаемого дохода.

$$Inv = \sum_{t=1}^{DPB} \frac{CF_t}{(1+r)^{t-1}}, \quad (4.4)$$

где, Inv - начальные инвестиции; CF_t - чистый денежный поток месяца t ; r - месячная ставка дисконтирования.

Чистый дисконтируемый доход (NPV) учитывает динамику изменения прибыли в течение расчетного периода.

$$NPV = \sum_{t=1}^{Tr} \frac{CF_t}{(1+r)^{t-1}} - Inv, \quad (4.5)$$

где Tr – расчетный период.

Индекс прибыльности (PI) – отношение приведенных эффектов к величине дисконтированных капиталовложений:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^{Tr} \frac{CF_t}{(1+r)^{t-1}}}{Inv}, \quad (4.5)$$

Внутренняя норма рентабельности (IRR) – характеризует интенсивность возврата затраченных средств,

Таблица 4.6. Основные финансовые показатели

Показатель	Значение
Простой период окупаемости первоначальных затрат (PB), мес.	31
Дисконтированный период окупаемости Первоначальных затрат (DPB), мес.	35
Средняя норма рентабельности (ARR) по проекту, %	51,55
Чистый приведенный доход (NRV), руб.	1 055 747,4
Индекс прибыльности (PI)	3,45
Внутренняя норма рентабельности (IRR),%	66,6

По результатам расчета составлена сводная таблица основных финансовых показателей реализации мероприятий по повышению эффективности системы

теплоснабжения (Таблица 4.6) и построен график, отображающий соотношение дисконтированного и простого периода окупаемости первоначальных затрат (Рисунок 4.6).

Исходя из анализа показателей экономической эффективности, мероприятия по оснащению потребителей автоматизированными узлами учета и регулирования являются экономически целесообразными.

Для анализа и повышения надежности расчетной оценки эффективности реализуемых мероприятий выполнены расчеты при разных вариантах набора исходных данных. Варьированию подвергались следующие исходные данные:

- цена реализации готовой продукции (теплоноситель);
- издержки производства (прямые издержки);
- общие инвестиционные затраты;
- объем сбыта продукции (тепловая нагрузка, потребляемая рассматриваемым потребителем).

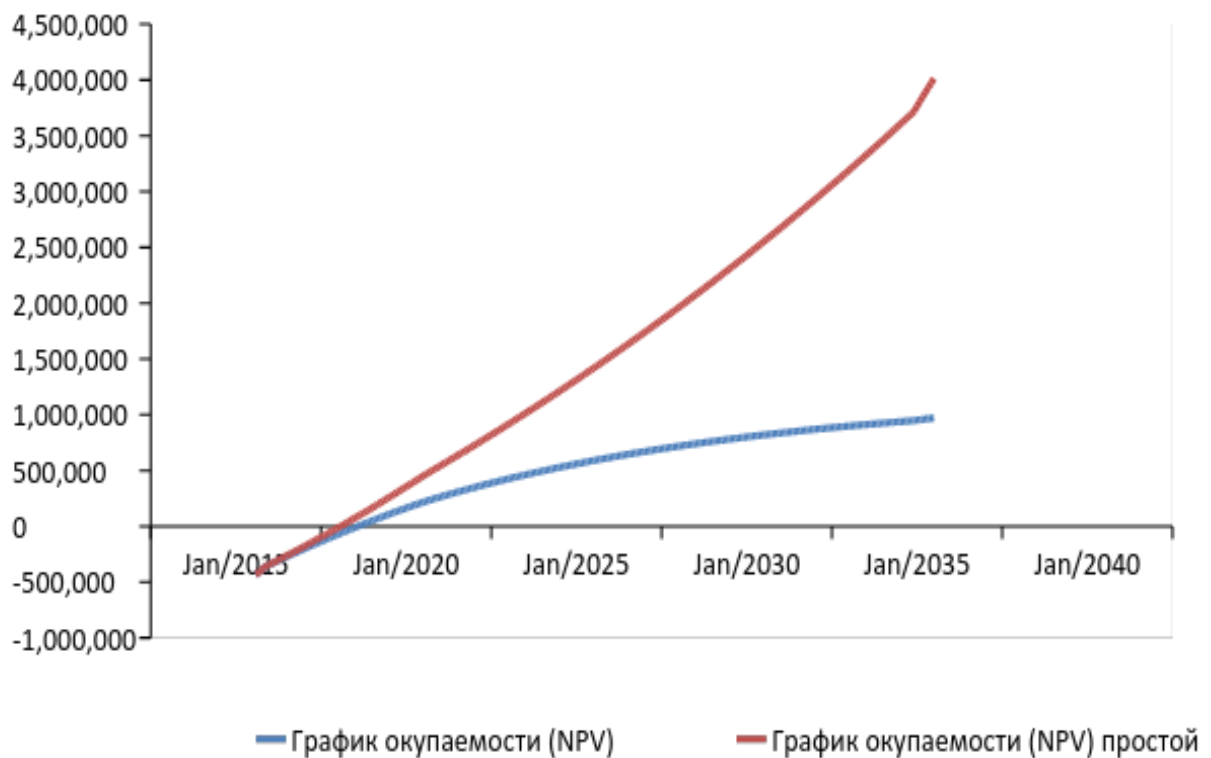


Рисунок 4.6. График окупаемости (NPV)

Диапазон изменения вышеперечисленных факторов задавался от -50 % до + 50% с шагом 10 %.

Результаты расчетов для каждого из рассматриваемых вариантов представлены в виде графиков на Рисунках 4.7-4.9.

Анализ полученных результатов показал:

1. При изменении тарифов происходит совпадающее по направлению изменение NPV и обратное изменение срока окупаемости.
2. Изменение цены топлива приводит к однонаправленному изменению срока окупаемости и обратно влияет на чистый дисконтированный доход и имеет меньшее воздействие на показатели окупаемости проекта по реализации энергосберегающих мероприятий, нежели изменение тарифов.
3. Увеличение стоимости оборудования приводит к снижению экономических показателей.

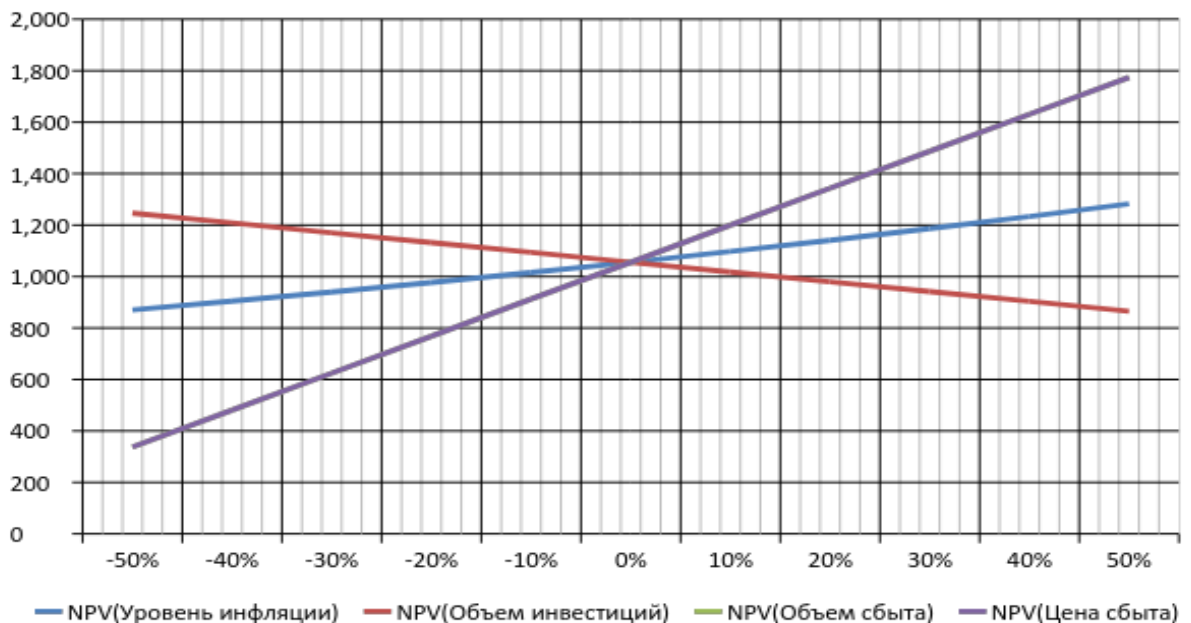


Рисунок 4.7. Анализ чувствительности (NPV)

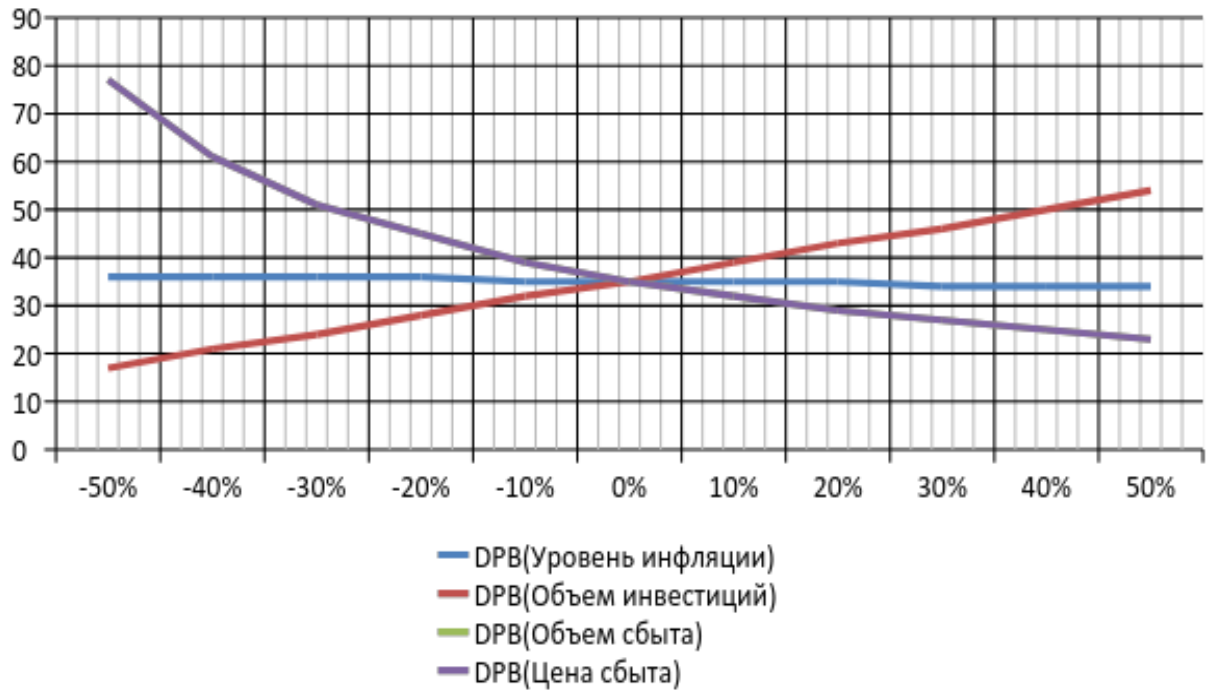


Рисунок 4.8. Анализ чувствительности (DPB), мес.

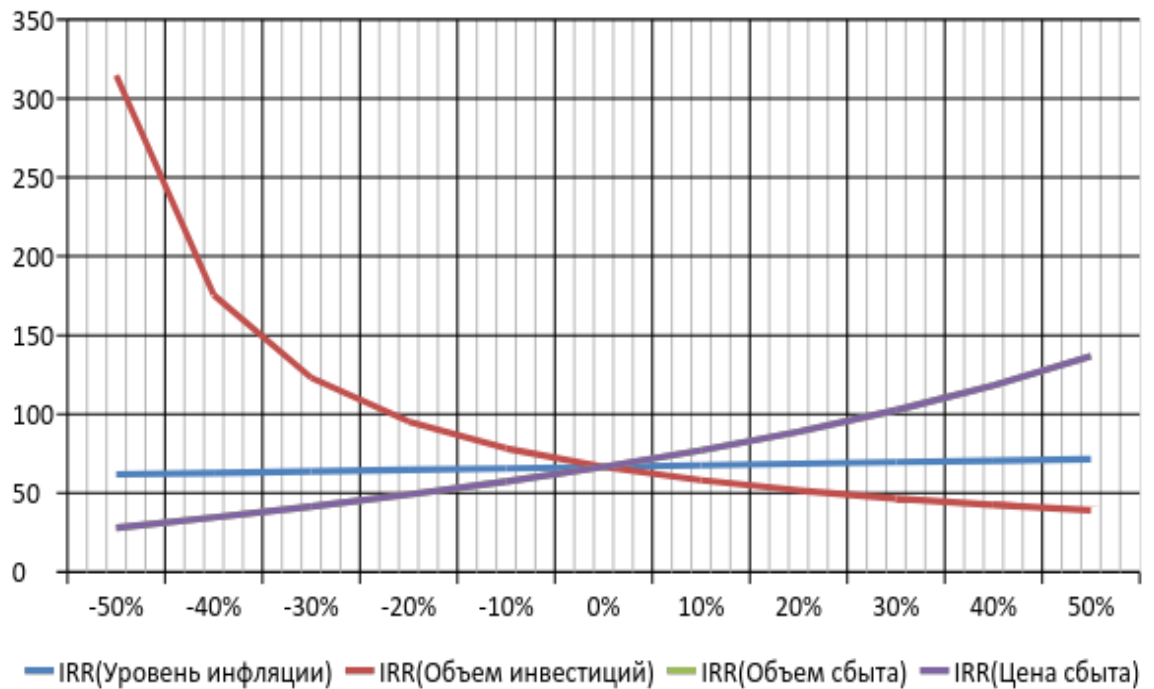


Рисунок 4.9. Анализ чувствительности (IRR), %

Необходимо отметить, что при всех изменениях рассматриваемый проекта по реализации энергосберегающих мероприятий остался устойчивым.

Реализация мероприятий, по оснащению потребителей АИТП с учетом сохранения гидравлической устойчивости систем теплоснабжения, остается рентабельной при следующих факторах в рассматриваемом диапазоне отклонений +/-50% (независимо):

- при увеличении стоимости сырья и материалов (прямых издержек) от запланированного по каждому году;
- при увеличении объема инвестиций.

Приведенные исследования факторов экономического риска позволяют отметить высокую устойчивость основных показателей, характеризующих эффективность мероприятий: чистого дисконтированного дохода, внутренней нормы доходности, индекса прибыльности и срока окупаемости.

Наиболее «чувствительными» рассматриваемые мероприятия оказались к изменению тарифа на тепловую энергию.

Устойчивость мероприятий обусловлена наличием стабильного рынка сбыта тепловой энергии.

Вероятные риски: увеличение объема инвестиций в связи с нестабильностью экономической ситуации и значительное увеличение тарифа на отпуск тепловой энергии.

Результаты проведенных расчетов показали, что для реализации мероприятий по повышению энергоэффективности системы отопления путем внедрения АИТП, для типичного многоквартирного жилого 9-ти этажного дома необходимы капитальные затраты от 430,746 тыс. руб..

Ежегодный ожидаемый эффект от реализации предлагаемых мероприятий может сэкономить до 30,4% потребляемой и что не менее важно, оплачиваемой тепловой энергии.

В денежном выражении, согласно тарифа на тепловую энергию на 2015 год снижение теплопотребления позволит собственникам жилья снизить стоимость предоставляемых услуг на сумму порядка 347,52 тыс. руб. с НДС в год. При этом следует отметить, что за счет ежегодного роста тарифов на тепловую энергию, экономия будет увеличиваться.

Проведённые расчеты показали, что внутренняя норма доходности больше выбранной ставки дисконтирования, а это говорит о высокой степени надёжности и малой зависимости от изменения инвестиционного климата предлагаемых мероприятий.

В целом, эффективность реализации рассматриваемых энергосберегающих мероприятий можно характеризовать значительным снижением теплопотребления, соответственно, уменьшением платы за потребленные энергоресурсы.

По оценке экспертов, капитальные затраты при среднем сроке полезного использования основного оборудования 20 лет, окупаются за период от 3 до 3,5 лет.

В нашем случае, простой срок окупаемости (с учетом роста тарифа) составил 2 года 7 месяцев, а с учетом дисконтирования - 2 года 11 месяцев. Что является показателем более эффективного использования предлагаемых мероприятий.

Результаты проведенных исследований, замеров и расчетов, результаты математического и экспериментального моделирования, а также опыт компаний, занимающихся оптимизацией систем теплоснабжения и повышением их энергоэффективности, позволили создать методику расчета, направленную на повышение энергосбережения с учетом поэтапного внедрения автоматизированных узлов учета и регулирования тепловой энергии в системах коммунального теплоснабжения с учетом сохранения гидравлической устойчивости системы [154, 155].

4.3 Методика расчета энергетической эффективности при оптимизации работы систем коммунального теплоснабжения

Для повышения энергосбережения с учетом поэтапного внедрения в системах коммунального теплоснабжения автоматизированных узлов учета и регулирования тепловой энергии, а также для поддержания оптимального, с точки зрения сбережения энергетических ресурсов, теплогидравлического режима предлагается методика расчета технико-экономических показателей работы системы теплоснабжения.

Объектом расчета является: закрытая система теплоснабжения городского квартала, работающая от центрального теплового пункта с заданным тепло-гидравлическим режимом работы тепловой сети с абонентами, подключёнными по элеваторной схеме присоединения. Алгоритм расчета приведен на Рисунке 4.10.

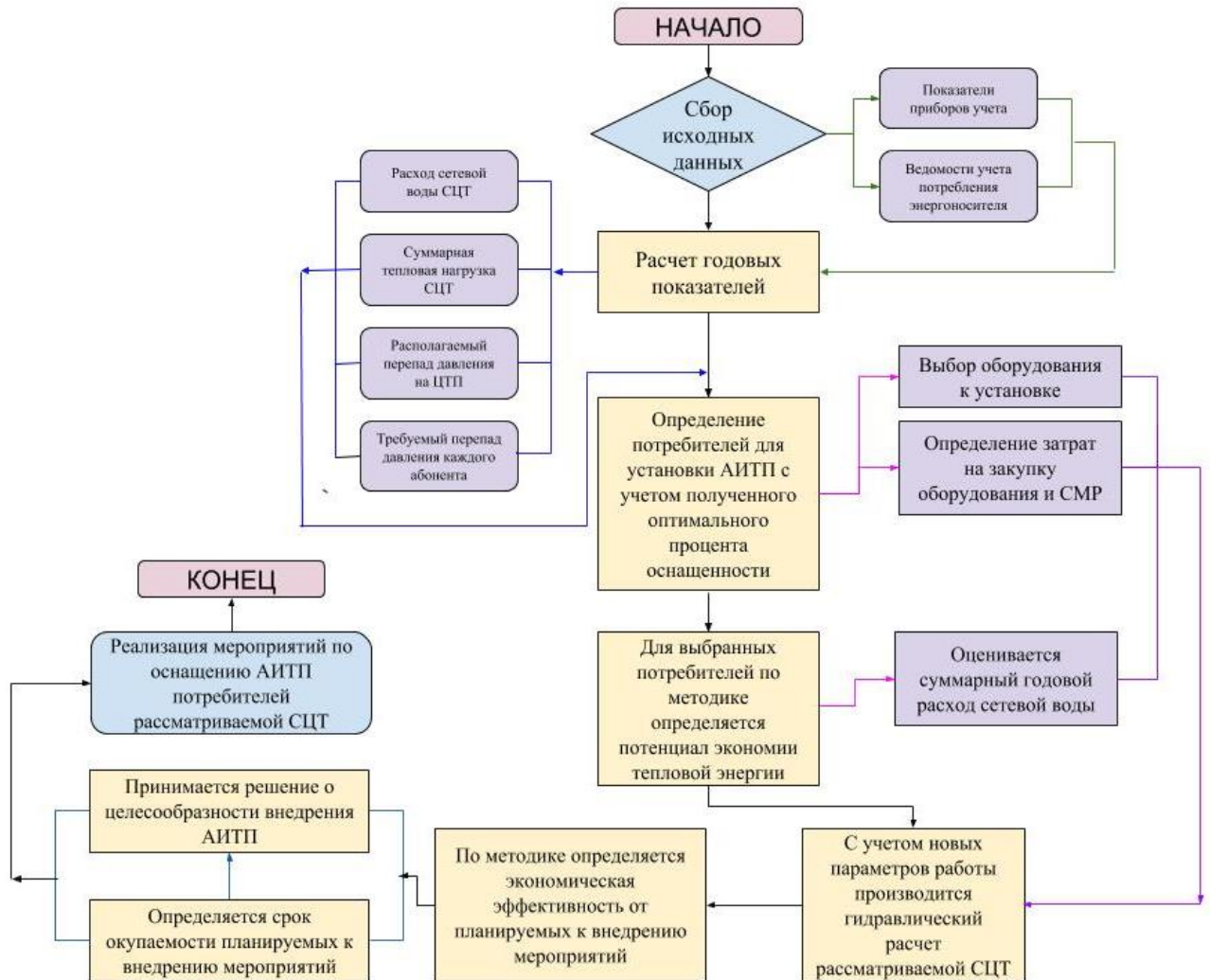


Рисунок 4.10. Алгоритм методики расчета энергетической эффективности при оптимизации работы систем коммунального теплоснабжения

Методика расчета

1. По показателям приборов учета определяются фактические показатели работы системы теплоснабжения городского квартала от ЦТП (Таблица 4.7)

Таблица 4.7. Сведения о фактических параметрах работы системы теплоснабжения

Наименование ЦТП	Среднегодовая температура сетевой воды в подающем трубопроводе, $t_{п}$, °С	Среднегодовая температура сетевой воды в обратном трубопроводе, $t_{о}$, °С	Суммарный годовой расход теплоносителя, G , м ³ /год	Тепловая нагрузка теплоносителя, Q , Гкал/год	Располагаемый напор на выходе из ЦТП, ΔH , МПа	Количество подключенных потребителей (зданий)
1	2	3	4	5	6	7

2. По показателям приборов учета определяются фактические показатели работы каждого здания, рассматриваемого квартала (Таблица 4.8)

Таблица 4.8. Сведения о фактических параметрах работы системы отопления потребителей

Наименование потребителя	Адрес узла абонентского ввода	Суммарный годовой расход теплоносителя, м ³ /год	Тепловая нагрузка теплоносителя, Q , Гкал/год	Располагаемый напор на вводе, ΔH , МПа
1	2	3	4	5

3. Для исключения «перетоков» либо «недоотпуска тепла» в узлах абонентских вводов, подключенных по элеваторной схеме присоединения, с учетом полученных ранее данных об оптимальном проценте оснащенности АИТП от общего количества зданий в рамках рассматриваемого квартала определяется перечень потребителей для внедрения энергосберегающих технологий (установка АИТП).

Данный перечень определяется в диапазонах:

1.1.Количество зданий, оснащенных АИТП с тепловой нагрузкой, не превышающей 30% от общей.

1.2.Количество зданий, оснащенных АИТП с тепловой нагрузкой более 75% от общей.

4. По каталогам производителей и поставщиков индивидуальных тепловых пунктов определяется состав, стоимость оборудования и затраты на проектно-монтажные работы. Данные для каждого потребителя заносятся в Таблицу 4.9.

Таблица 4.9. Оценка капитальных затрат на установку АИТП

Наименование потребителя	Адрес узла абонентского ввода	Стоимость основного оборудования, тыс. руб.	Стоимость проектно-монтажных работ, тыс. руб.	Итоговая стоимость внедрения энергосберегающего мероприятия, тыс. руб.
1	2	3	4	5
Суммарная стоимость				

5. Для каждого из выбранных потребителей определяется потенциал экономии тепловой энергии с учетом внедрения АИТП.

Оценка экономии тепловой энергии производится на основании 2-х подходов: экспертном (по сложившемуся опыту использования энергосберегающих технологий) и расчетном (по предоставленным данным с учетом методик определения потребности в тепловой энергии).

Экспертная оценка экономии тепловой энергии в результате проведения энергосберегающих мероприятий.

Регулирование потребления тепловой энергии на отопление с помощью АИТП исходя из потребности и в зависимости от температуры наружного воздуха даёт экономию тепла до 20% (Таблица 4.10).

Таблица 4.10. Экспертная оценка экономии тепловой энергии в результате проведения энергосберегающих мероприятий

Наименование потребителя	Адрес узла абонентского ввода	Фактическое потребление тепловой энергии (до внедрения АИТП), Гкал/ год	Экономия в результате проведения мероприятий в здании, Гкал/год	Экономия тепловой энергии в %
				20%
				20%

Расчетный подход основан на сопоставлении фактического и проектного (нормативного) теплопотребления.

Нормативное потребление тепловой энергии зданием определяется с учётом существующих методик:

Нормативное количество тепловой энергии, Гкал, необходимой для отопления здания в отопительный период:

$$Q_{\text{о проект}}^{\text{год}} = Q_{\text{о max пр}} \cdot T_{\text{отоп}} \frac{(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}^{\text{cp}})}{(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}^{\text{p}})} \quad (4.6)$$

где $Q_{\text{о max пр}}$ - проектная нагрузка системы отопления, Гкал/ч;
 $T_{\text{отоп}}$ - продолжительность отопительного периода, час; $t_{\text{вн}}$ - расчетная температура воздуха в отапливаемом здании, °С; $t_{\text{нар}}^{\text{cp}}$ - средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С и $t_{\text{нар}}^{\text{p}}$ - расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления в местности, где расположено здание, °С.

Расчетная оценка потенциала экономии тепловой энергии на нужды отопления (Гкал/год) в результате проведения энергосберегающих мероприятий определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = Q_{\text{о факт}} - Q_{\text{о норм}} \quad (4.7)$$

$Q_{o \text{ факт}}$ - фактическое теплопотребление на нужды отопления за отопительный период, Гкал/год; $Q_{o \text{ норм}}$ - расчетное (нормативное) теплопотребление на нужды отопления за отопительный период, Гкал/год.

Таблица 4.11. Оценка совокупной экономии тепловой энергии в системе отопления

Наименование потребителя	Адрес узла абонентского ввода	Фактическое потребление тепловой энергии Q , Гкал/год	Экономия тепловой энергии, Гкал/год		Средневзвешенная экономия тепловой энергии $Q_{\text{эк}}$, Гкал/год
			Экспертная оценка	Расчетный метод	
Итого суммарная экономия					

Определение вероятного потенциала энергосбережения тепловой энергии на нужды отопления основано на расчете средневзвешенной величины полученных значений экономии тепловой энергии в двух вышеописанных подходах. Результаты расчета заносятся в Таблицу 4.11.

6. С учетом изменения тепловой нагрузки на потребителях, после внедрения АИТП оценивается годовая тепловая нагрузка (Гкал/год) и суммарный годовой расход теплоносителя ($\text{м}^3/\text{год}$) на ЦТП.

Годовая тепловая нагрузка ЦТП, Гкал/год:

$$\sum Q_{\text{цтп}} = \sum Q_{\text{факт}} - \sum Q_{\text{экон}} \quad (4.8)$$

где $\sum Q_{\text{факт}}$ - фактическая годовая тепловая нагрузка ЦТП, по показаниям приборов учета; $\sum Q_{\text{экон}}$ - суммарная средневзвешенная экономия тепловой энергии, при внедрении АИТП (по результатам расчетов, занесенных в Таблицу 4.12)

Усредненный годовой показатель расхода теплоносителя, $\text{м}^3/\text{год}$:

$$\sum G_{\text{цтп}} = \frac{\sum Q_{\text{цтп}}}{\Delta T}, \quad (4.9)$$

где $\sum Q_{\text{цтп}}$ - годовая тепловая нагрузка ЦТП, Гкал/год; ΔT - разница среднегодовых подателей температуры сетевой воды в прямом и обратном трубопроводе.

7. Гидравлический расчет тепловой сети и определение требуемого располагаемого напора на выходе из ЦТП с учетом этапов внедрения АИТП.

При разработке расчетных гидравлических режимов следует исходить из условия обеспечения надежного теплоснабжения потребителей, экономичной и безопасной работы оборудования и минимальных затратах электрической энергии на перекачку теплоносителя.

Основные требования:

- напор в любой точке системы централизованного теплоснабжения при динамическом и статическом режимах должен быть не менее 5 м вод. ст. и не более величины, допускаемой по условиям прочности оборудования источника тепла, тепловой сети, ИТП и систем теплоснабжения с запасом 0,1 МПа (5 кгс/см²);

- напор при динамическом режиме в любой точке сети и системы теплоснабжения должен обеспечивать «невскипание» воды при ее максимальной температуре (при статическом режиме или аварийной остановке системы гидравлический режим допускает вскипание теплоносителя);

- располагаемые напоры (разность напоров в подающем и обратном трубопроводах) на ИТП при безэлеваторном присоединении теплоснабжающих систем должны в 2-3 раза превышать гидравлическое сопротивление местных систем теплоснабжения.

Для учета взаимного влияния факторов, определяющих гидравлический режим системы централизованного теплоснабжения (гидравлические потери напора по сети, профиль местности, высота систем теплоснабжения и пр.) должен быть построен график напоров воды в сети при динамическом и статическом режимах (пьезометрический график).

По результатам гидравлического расчета разрабатывается гидравлический режим с необходимыми параметрами теплоносителя по ЦТП (давление в подающем и обратном трубопроводе). При этом учитывается степень разрегулированности системы теплоснабжения при различной оснащенности АИТП потребителей (Таблица 4.12).

Таблица 4.12. Влияние поэтапного внедрения АИТП на коэффициент гидравлической устойчивости СЦТ

Процент оснащенности потребителей АИТП, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Степень разрегулированности СТС, X	1	1,03	1,09	1,16	1,32	1,39	1,32	1,16	1,12	1,04	1

Падение давления на каждом участке определяется формулой

$$\Delta P = XSG^2 \quad (4.10)$$

где G – суммарный массовый расход воды на расчетных участках, кг/ч;
 S - коэффициент гидравлического сопротивления участка, Па/(кг/ч)², определяемая по формуле:

$$S = A\left(\frac{\lambda}{d}l + \sum \xi\right), \quad (4.11)$$

где λ - коэффициент гидравлического трения; l и d - соответственно длина и внутренний диаметр трубопровода участка системы отопления, м; A - удельное динамическое давление на участке, Па/(кг/ч)².

Удельное динамическое давление на участке, Па/(кг/ч)², рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{6,25}{10^8 \rho d^4}. \quad (4.12)$$

где ρ - плотность теплоносителя, кг/м³; d - внутренний диаметр трубопровода участка системы отопления, м;

Коэффициент гидравлического трения зависит от состояния стенки трубы (гладкая или шероховатая) и режима движения жидкости (ламинарное или турбулентное).

При $Re < 568 \cdot d/k_s$, где (k_s -коэффициент эквивалентной шероховатости, принимающийся исходя из срока эксплуатации трубопроводов), коэффициент гидравлического трения λ определяется по формуле:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{k_s}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (4.13)$$

При $Re \geq 568 \cdot d/k_s$, коэффициент гидравлического трения λ определяется по формуле:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{k_s}{d} \right)^{0,25} \quad (4.15)$$

Для упрощения расчетов, при проектировании тепловых сетей с прямыми участками гладких стальных трубопроводов коэффициент гидравлического сопротивления участка можно принять по Таблице 4.14.

Результаты гидравлического расчета сводятся в Таблицу 4.13.

Таблица 4.13. Результаты гидравлического расчета

Начало уч-ка	Конец уч-ка	Длина участка, м	Внутренний диаметр труб-да, м	Расход воды в труб-де, т/ч	Гидравлическое сопротивление уч-ка	Потери напора на уч-ке ΔP , м
1	2	3	4	5	6	7

Требуемый располагаемый напор на выходе из ЦТП определяется формулой:

$$\Delta H = \sum \Delta P_i, \text{ м} \quad (4.16)$$

где $\sum \Delta P_i$ – падение давления на каждом участке тепловой сети, м.

По результатам гидравлического расчета, с учетом внесенных изменений в СЦТ, техническими специалистами или службами, эксплуатирующими модернизируемые системы теплоснабжения, проводится анализ технической возможности принять внесенные «возмущения» (оценивается пропускная способность трубопроводов, характеристики насосного оборудования и т.д.).

При положительном заключении технических служб, проводится оценка экономической целесообразности внедрения мероприятий по оснащению потребителей АИТП, где учитываются финансово-экономические и инвестиционные показатели, такие как стоимость устанавливаемого оборудования, требуемые затраты на строительные-монтажные работы, возможные риски (инфляция, рост тарифов) и оценивается срок окупаемости от общего эффекта энергосбережения.

Таблица 4.14. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от диаметра трубопровода и длины участка для прямого участка тепловой сети

Условный диаметр трубопровода Ду, мм	Коэффициент гидравлического сопротивления участка														
	Длина участка теплотрассы, м														
	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1150	1300	1500	2000
50	0,110580	0,221160	0,442320	0,663480	0,884640	1,105800	1,326960	1,548120	1,769280	1,990440	2,211600	2,543340	2,875080	3,317400	4,423200
60	0,103140	0,206280	0,412560	0,618840	0,825120	1,031400	1,237680	1,443960	1,650240	1,856520	2,062800	2,372220	2,681640	3,094200	4,125600
75	0,047167	0,094334	0,188668	0,283002	0,377336	0,471671	0,566005	0,660339	0,754673	0,849007	0,943341	1,084842	1,226343	1,415012	1,886682
80	0,018172	0,036344	0,072688	0,109032	0,145376	0,181720	0,218064	0,254408	0,290752	0,327096	0,363440	0,417956	0,472472	0,545160	0,726880
100	0,007781	0,015561	0,031122	0,046683	0,062244	0,077805	0,093366	0,108927	0,124488	0,140049	0,155610	0,178952	0,202293	0,233415	0,311220
125	0,003818	0,007636	0,015272	0,022908	0,030544	0,038180	0,045816	0,053452	0,061088	0,068724	0,076360	0,087814	0,099268	0,114540	0,152720
150	0,001555	0,003111	0,006222	0,009333	0,012444	0,015555	0,018666	0,021777	0,024888	0,027999	0,031110	0,035776	0,040443	0,046665	0,062220
175	0,001055	0,002110	0,004220	0,006331	0,008441	0,010551	0,012661	0,014771	0,016881	0,018992	0,021102	0,024267	0,027432	0,031653	0,042204
200	0,000348	0,000696	0,001392	0,002088	0,002784	0,003480	0,004175	0,004871	0,005567	0,006263	0,006959	0,008003	0,009047	0,010439	0,013918
250	0,000109	0,000219	0,000437	0,000656	0,000875	0,001094	0,001312	0,001531	0,001750	0,001968	0,002187	0,002515	0,002843	0,003281	0,004374
300	0,000042	0,000085	0,000169	0,000254	0,000339	0,000423	0,000508	0,000593	0,000677	0,000762	0,000847	0,000974	0,001101	0,001270	0,001693
350	0,000017	0,000034	0,000067	0,000101	0,000134	0,000168	0,000201	0,000235	0,000269	0,000302	0,000336	0,000386	0,000437	0,000504	0,000672
400	0,000008	0,000017	0,000033	0,000050	0,000067	0,000084	0,000100	0,000117	0,000134	0,000151	0,000167	0,000192	0,000218	0,000251	0,000335
450	0,000004	0,000009	0,000018	0,000027	0,000036	0,000045	0,000054	0,000063	0,000071	0,000080	0,000089	0,000103	0,000116	0,000134	0,000179
500	0,000002	0,000005	0,000009	0,000014	0,000019	0,000023	0,000028	0,000032	0,000037	0,000042	0,000046	0,000053	0,000060	0,000069	0,000093
600	0,000001	0,000002	0,000004	0,000006	0,000008	0,000010	0,000012	0,000014	0,000016	0,000018	0,000020	0,000023	0,000026	0,000031	0,000041
700	-	0,000001	0,000002	0,000003	0,000004	0,000005	0,000006	0,000007	0,000008	0,000009	0,000010	0,000011	0,000013	0,000015	0,000020
800	-	-	0,000001	0,000001	0,000002	0,000002	0,000003	0,000003	0,000004	0,000004	0,000004	0,000005	0,000006	0,000007	0,000009
900	-	-	-	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000002	0,000002	0,000002	0,000002	0,000003	0,000003	0,000004	0,000005
1000	-	-	-	-	-	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000002	0,000002	0,000002

8. Оценка экономической эффективности внедрения энергосберегающих мероприятий.

Эффективность любых внедряемых мероприятий при оптимизации систем теплоснабжения определяется соотношением затрат и результатов рассматриваемых мероприятий.

Для принятия решения инвесторами (управляющим, теплогенерирующим и транспортирующим теплоноситель компаниям) о целесообразности участия в реализации проекта по оснащению АИТП потребителей тепловой энергии, и их влияния на гидравлическую устойчивость всей системы в целом кроме технической эффективности, для детальной оценки, так же необходимо производить расчет коммерческой эффективности предлагаемых мероприятий.

Оценка коммерческой эффективности проводится с учётом следующих требований:

- капитальные вложения, заложенные в расчетах, индексируются в соответствии с индексами цен по капитальным вложениям и элементам их технологической структуры;
- все расчеты проводятся в рублях РФ;
- стоимость проектно-монтажных работ принимается в соответствии с расчетными прайсами компаний-партнеров (производителей и поставщиков оборудования);

Оценка показателей эффективности инвестиций производится в соответствии с [27].

В качестве основного критерия коммерческой эффективности принимается дисконтированный срок окупаемости (возврата капитала) и следующие интегральные показатели: внутренняя норма рентабельности, индекс прибыльности (доходности), чистый дисконтированный доход.

В качестве капитальных вложений принимаются инвестиции в объеме необходимом для реализации мероприятий.

Объемы необходимых капитальных вложений для реализации мероприятий определяются по Таблице 4.9 настоящей методики.

Определяется паспортный срок службы заложенного оборудования и установок.

Для оценки экономической эффективности рассматриваемого проекта по реализации рассматриваемых мероприятий согласно представленным выше расчетам за планируемый объем поставок принимается расчетное значение экономии тепловой энергии после установки АИТП (см. Таблицу 4.12)

Расчет экономических показателей производится с применением общепринятых методик.

Срок окупаемости - срок со дня начала финансирования до дня, когда разность между накопленной суммой чистой прибыли с амортизационными отчислениями и объемом инвестиционных затрат приобретает положительное значение

Иными словами, срок окупаемости проекта (PP) это минимальный период реализации инвестиционного проекта, в течение которого произойдет полное возмещение инвестиционных расходов.

Срок окупаемости инвестиционного проекта рассчитывается по формуле:

$$PP = \sum_{t=1}^n CF_t \geq I_0 \quad (4.17)$$

где, n - число периодов; CF_t - чистый денежный поток месяца t ; I_0 - величина исходных инвестиций в нулевой период.

Дисконтируемый период окупаемости (DPB) - это время, требуемое для покрытия всех дисконтированных капитальных затрат за счет получаемого дохода, определяется по формуле:

$$DPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^{t-1}} \geq I_0, \quad (4.18)$$

где CF_t - чистый денежный поток месяца t ; r - месячная ставка дисконтирования.

Чистый дисконтируемый доход (NPV) учитывает динамику изменения прибыли в течение расчетного периода, и определяется по формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^{Tp} \frac{CF_t}{(1+r)^{t-1}} - I_0, \quad (4.19)$$

Tp – расчетный период.

Индекс прибыльности (PI) – отношение приведенных эффектов к величине дисконтированных капиталовложений:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^{Tp} \frac{CF_t}{(1+r)^{t-1}}}{I_0}, \quad (4.20)$$

IRR или внутренняя норма доходности - это ставка процента, при которой приведенная стоимость всех денежных потоков инвестиционного проекта (т.е. NPV) равна нулю. Это означает, что при такой ставке процента инвестор сможет возместить свою первоначальную инвестицию, но не более того.

По результатам расчета составляется сводная Таблица 4.15 основных финансовых показателей проекта по реализации энергосберегающих мероприятий по установке автоматических узлов учета и регулирования.

Таблица 4.15. Основные финансовые показатели

Показатель	Значение
Простой период окупаемости первоначальных затрат (PB), мес.	
Дисконтированный период окупаемости первоначальных затрат (DPB), мес.	
Чистый приведенный доход (NRV), руб.	
Индекс прибыльности (PI)	
Внутренняя норма рентабельности (IRR),%	

На основании полученных технических и экономических показателей при оценке проекта по внедрению энергосберегающих мероприятий делается вывод об эффективности и целесообразности внедрения проекта по внедрению

энергосберегающих мероприятий, направленных на повышение эффективности систем теплоснабжения с учетом надёжности и безотказности работы системы теплоснабжения.

Выводе по главе 4

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

Проведены расчеты экономической эффективности предлагаемых мероприятий и дана оценка потенциала энергосбережения.

Опыт реализации программы по оснащению потребителей АИТП проведенный в крупных городах Республики Татарстан и Республики Башкортостан подтверждает возможность достижения экономии и эффективность предлагаемых мероприятий по оснащению АИТП у потребителей.

Однако, при разработке и внедрении данных мероприятий, из виду полностью упускается жесткая гидравлическая взаимосвязь всех элементов систем теплоснабжения. Данный факт позволяет говорить об отсутствии целостной методологии, позволяющей комплексно исследовать эффективность применяемых мероприятий и оценивать общий экономический эффект от их внедрения.

Результаты проведенных исследований, замеров и расчетов, результаты математического и экспериментального моделирования, а также опыт компаний, занимающихся оптимизацией систем теплоснабжения и повышением их энергоэффективности, позволили создать методику расчета, направленную на повышение энергосбережения при поэтапном внедрении автоматизированных узлов учета и регулирования тепловой энергии в системах коммунального теплоснабжения с учетом сохранения гидравлической устойчивости системы.

Разработанный в результате диссертационного исследования подход включает в себя не только анализ технической эффективности работы систем

теплоснабжения после внедрения энергосберегающих мероприятий по установке АИТП, но и оценивает экономическую эффективность от принятия технических решений, что позволяет управляющим, теплогенерирующим и транспортирующим теплоноситель компаниям принимать взвешенные технические решения о целесообразности участия в реализации проектов по оснащению АИТП потребителей тепловой энергии.

Создана программа расчета для ЭВМ реализующая методику и получено Свидетельство о государственной регистрации №2018618174 «TEI.Re.Te».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении диссертационной работы было изучено влияние поэтапного внедрения АИТП на гидравлическую устойчивость всей системы теплоснабжения и фактах, позволяющих говорить о повышении ее эффективности.

Система теплоснабжения является эффективной, если: отсутствует перерасход теплоносителя, а следовательно, и перерасход электрической энергии на его перекачку; в тепловых сетях создается стабильный гидравлический режим работы; сокращаются эксплуатационные и капитальные затраты, вызванные, как правило последствиями неэффективной работы СЦТ (большое число аварий и повреждений на тепловых сетях, обусловленные нарушением гидравлического режима работы, завышенный расход теплоносителя в системе и т.д.); выдерживаются нормативные значения температуры внутри отапливаемых помещений в зависимости от назначения здания.

Анализ результатов разработки схем теплоснабжения поселений показал повсеместное планирование увеличения мощности источников тепловой энергии и диаметров тепловых сетей. В тоже время программы энергосбережения предусматривают снижение теплопотребления подключенных зданий и потерь в сетях. Кроме того, законодательством с 01.01. 2022 г. (ФЗ №417 от 07.12.2011) предусмотрен перевод всех систем теплоснабжения РФ на закрытую схему, что влечет за собою необходимость внедрения мероприятий, направленных на модернизацию открытых систем теплоснабжения.

Одним из основных мероприятий, предлагаемых при реализации программ повышения энергетической эффективности городов является установка АИТП на абонентских узлах.

Однако во внимание принимается лишь экономический и энергетический эффект, получаемый конечным потребителем (населением), оснащенным АИТП и отсутствует полный анализ влияния реализуемых мероприятий на систему теплоснабжения в целом, не учитывается влияние на потребителей, остающихся

без системы автоматического регулирования, на режим работы тепловых сетей и режим отпуска тепловой энергии от источников теплоснабжения.

Из-за гидравлической связи всех элементов системы бессистемное оснащение потребителей АИТП приводит к разрегулировке гидравлического режима ее работы. Это оказывает отрицательное влияние на надежность теплоснабжения и снижает эффективность работы теплоисточников и системы в целом.

Результаты проведенных исследований, расчетов, анализ опыта работы компаний, занимающихся повышением эффективности систем теплоснабжения городов, а также анализ результатов оптимизации работы систем теплоснабжения, находящихся на балансе и обслуживании ряда управляющих компаний Республики Татарстан, проведенной с учетом полученных в диссертационной работе результатов показал, что для каждого из основных элементов системы теплоснабжения (источник - тепловая сеть - потребитель) при реализации мероприятий по оснащению потребителей АИТП, с учетом гидравлической устойчивости, достигается эффект:

1. Для источника тепловой энергии эффект от внедрения мероприятий по оснащению АИТП достигается за счет снижения расходов топлива на его выработку. На примере г. Казань и на основании разработанного и утвержденного президентом республики документа «Схема и программа развития электро- и теплоэнергетики Республики Татарстан» за 2017 год, при переводе всех потребителей жилищно-коммунального и общественно -делового фонда города, запитанных от системы централизованного теплоснабжения, на автоматическое индивидуальное погодозависимое теплорегулирование экономия на расход условного топлива в структуре выработки тепла города составит 23,6 %, что в итоге повлияет на тарифообразование для конечного потребителя.

2. Для транспортирующих теплоноситель компаний (тепловые сети) эффект от мероприятий по оснащению АИТП с учетом гидравлической устойчивости системы теплоснабжения, заключается в снижении фактического объема теплоносителя в тепловых сетях, и как следствие, снижение затрат электрической

энергии на его перекачку. Полученные в результате исследований данные, прогнозируют снижение расхода электрической энергии на привод электродвигателя насосов, требуемой для перекачки циркулирующего в системе теплоснабжения теплоносителя в среднем на 20 %, при полном переводе всех потребителей на АИТП. Данные значения основываются на снижении расхода сетевой воды, требуемой для обеспечения потребителей нормативной тепловой нагрузкой. Показатели изменения требуемой электрической энергии, для перекачки теплоносителя, могут корректироваться с учетом особенностей каждой системы и установленного на тепловых сетях насосного оборудования (тип, марка насосного оборудования и их КПД). Так же не маловажным является снижение эксплуатационных и капитальных затрат на обслуживание, строительство и реконструкцию внутриквартальных сетей горячего водоснабжения и ЦТП. По опыту проведенной модернизации систем теплоснабжения за последние пять лет в г. Елабуга (РТ) и г. Набережные Челны (РТ), снижение капитальных затрат, с учетом внедрения АИТП составило в районе 43 %, а снижение эксплуатационных затрат в среднем составило 85 %. Столь большие показатели объясняются исключением затрат на ежегодную перекладку ветхих и аварийных участков сетей ГВС и перевод с открытой на закрытую систему теплоснабжения.

3. Для конечного потребителя (населения и общественно-делового фонда) полученный эффект от предлагаемых мероприятий по оснащению АИТП заключается в достижении нормативных показателей температур внутри отапливаемых помещений и соответственно оплаты только за потребленное тепло. С учетом того, что регулирование температуры внутри помещения осуществляется в соответствии с температурным графиком и в зависимости от изменений температуры наружного воздуха непосредственно у потребителя, исключаются так называемые «перетопы» и «недотопы». Годовые показатели теплопотребления снижаются в среднем на 28 %. Данное снижение теплопотребления для конечного пользователя, отражается в уменьшении платы за коммунальные услуги. Так как оплата за теплопотребление является наибольшей составляющей при формировании счет-фактуры и в зависимости от того за чей счет было установлено

АИТП (за счет собственников жилья, либо ТСЖ) изменение платы по счет фактуре может быть снижено в среднем на 45 %.

Исходя из возможной экономии в каждом из элементов системы централизованного теплоснабжения (источник - тепловая сеть – потребитель), предлагаемые в диссертационной работе результаты, при системном и комплексном внедрении мероприятий по оснащению потребителей АИТП, позволят повысить эффективности работы всей системы централизованного теплоснабжения в границах городов и муниципальных образований.

При выполнении диссертационной работы получены зависимости, позволяющие оценить требуемый перепад давления на выходе из источника теплоснабжения (ТЭЦ или котельной) в зависимости от расчетного перепада давления в узловых точках системы (ЦТП), при внедрении АИТП на потребителях.

Полученные при выполнении диссертационной работы результаты по влиянию поэтапного внедрения АИТП на изменения показателей работы СЦТ (а именно требуемого количества электрической энергии на перекачку теплоносителя и показатель изменения расхода условного топлива на выработку тепловой энергии) представлены на Рисунке 4.

В результате работы определен оптимальный процент оснащённости абонентских узлов АИТП от общего числа потребителей.

Установлено, что процент оснащённости потребителей АИТП, тепловая нагрузка которых составляет менее 30 % и/или более 75 % от общей, не вносит значимых изменений в нарушение режима работы систем теплоснабжения (см. Рисунок 4).

Оснащение АИТП потребителей, имеющих тепловую нагрузку в диапазоне 30-75 % от общей, приводит к гидравлической разрегулировки всей системы, что влечет за собою ряд проблем в тепловых сетях города: увеличение давления в подающем трубопроводе, и как следствие, увеличение показателей расхода электрической энергии, требуемых на перекачку теплоносителя; повышенные значения температуры воды в обратном трубопроводе; недостаточный теплосъем у потребителя.

При этом на источнике тепловой энергии все же достигается экономия топлива за счет снижения тепловой нагрузки на потребителях, оснащенных приборами учета и регулирования (АИТП).

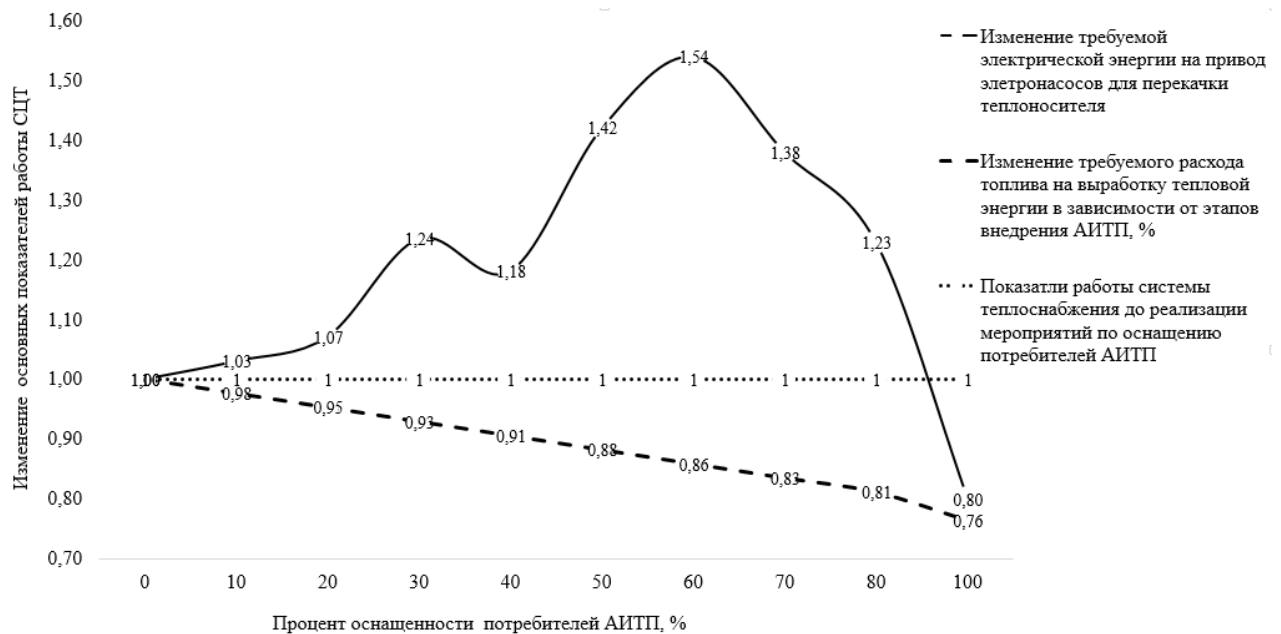


Рисунок 4. Зависимость показателей эффективности работы СЦТ от процента оснащённости потребителей АИТП

При рассмотрении системы теплоснабжения в целом, установлено, что наибольшая эффективность от внедрения предлагаемых мероприятий достигается при проценте оснащённости потребителей АИТП более 90%. Здесь происходит снижение расхода электрической энергии относительно показателей работы системы до модернизации и снижение расхода условного топлива на выработку требуемого количества тепла на источнике. За счет наличия у большинства потребителей АИТП стабилизируется гидравлический режим работы тепловых сетей и тепловой режим внутри отапливаемых помещений.

Исходя из полученных зависимостей, организация, занимающаяся разработкой предпроектной документации, для принятия решения о реализации мероприятий по оснащению потребителей АИТП, может заранее оценить средневзвешенную величину прогнозной экономии при различном проценте оснащённости потребителей АИТП.

Для оценки влияния принимаемых технических решений на финансово - экономические показатели работы систем теплоснабжения предложена методика расчета, позволяющая оценивать не только анализ технической эффективности работы систем теплоснабжения после внедрения энергосберегающих мероприятий по установке АИТП, но и экономическую эффективность от принятия технических решений.

Разработанная методика позволяет управляющим, теплогенерирующим и транспортирующим теплоноситель компаниям принимать взвешенные технические решения о целесообразности участия в реализации проектов по оснащению АИТП потребителей тепловой энергии с учетом всех возможных рисков, как с технической точки зрения, так и с точки зрения экономического эффекта от реализации данных мероприятий, при ограниченных источниках финансирования.

Полученные результаты направлены на увеличение эффекта от энергосберегающих мероприятий и могут быть использованы для оптимизации работы закрытой системы теплоснабжения, запитанной одновременно от нескольких источников тепловой энергии, действующих в границе крупного города.

Методические подходы, предложенные в 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.

Достигнутый эффект, полученный при использовании результатов исследования, подтверждается актами использования и внедрения результатов диссертационной работы. Поставленная цель диссертационной работы достигнута.

Направления исследований диссертационной работы будут продолжены. Для расширения данной темы необходимо дать оценку влияния полученного процента оснащённости потребителей АИТП на гидравлическую устойчивость системы теплоснабжения при различных вариантах внедрения: от наиболее удаленного потребителя к ЦТП и в хаотичном порядке.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ

ТЭЦ - теплоэлектроцентраль

ТГК - территориальных генерирующих компаний

ЦТП - центральный тепловой пункт

ИТП - индивидуальный тепловой пункт

ГВС - горячее водоснабжение

ИВВП - индивидуальный водо-водяной подогреватель

ТП - тепловой пункт

«Zulu Thermo» - информационно-графическая системы «Zulu Thermo»

ΔP_i - потеря давления на участке, Па

$\Delta P_{pm,i}$ - перепад давлений, создаваемый насосом, Па, (при отсутствии насоса на i -м участке $\Delta P_{pm,i} = 0$)

S_i - характеристика гидравлического сопротивления i -го участка, Па/(кг/с)²;

G_i - неизвестный расход теплоносителя, кг/с.

$\vec{\Delta P}$ - вектор искомых потерь на участках ТП

$\vec{\Delta P}_{pm}$, - вектор известных перепадов давлений, создаваемых насосами (циркуляционными, смесительными или повысительными) на отдельных участках

$\Delta P_{л}$ - линейные потери давления, Па, вызванные силами трения в трубах

$\sum \Delta P_{м}$ - сумма местных потерь давления, Па, обусловленных изменением структуры потока (скорости, направления, слияния) в фитингах, запорно-регулирующих устройствах и оборудовании

λ - коэффициент гидравлического трения

l и d - соответственно длина и внутренний диаметр трубопровода участка системы отопления, м

$P_{д}$ - динамическое давление в трубопроводе, Па

$\Delta P_{аб}$ – давление на абонентском вводе при расчетном расходе воды G_p

$P_{н}$ – - давление сетевого насоса

ΔP_c - потери давления в сети при расчетном режиме

АИТП - автоматизированные индивидуальные тепловые пункты

LabVIEW - это пакет эффективного отображения и представления данных

$\Delta H_{\text{пот}}$ - потери напора в системе теплоснабжения

$\Delta H_{\text{сети}}$ - потери напора в тепловой сети от теплоисточника до потребителя

$\Delta H_{\text{расп}}$ - располагаемый напор в тепловой сети на выходе из источника

X - степень регулирования системы теплоснабжения в зависимости от процентного оснащения потребителей АИТП

$Q_{\text{отax пр}}$ - проектная нагрузка системы отопления

$T_{\text{отоп}}$ - продолжительность отопительного периода

$t_{\text{вн}}$ - расчетная температура воздуха в отапливаемом здании

$t_{\text{нар}}^{\text{ср}}$ - средняя температура наружного воздуха за отопительный период

$t_{\text{нар}}^{\text{р}}$ - расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления в местности, где расположено здание

$Q_{\text{о факт}}$ - фактическое теплотребление на нужды отопления за отопительный период

$Q_{\text{о норм}}$ - расчетное (нормативное) теплотребление на нужды отопления за отопительный период

ССМ - модель кумулятивного построения

НДС - налог на добавленную стоимость

DPB - дисконтируемый период окупаемости

Inv - начальные инвестиции

CF_t - чистый денежный поток месяца t

r - месячная ставка дисконтирования

NPV - чистый дисконтируемый доход

Индекс прибыльности (PI) - отношение приведенных эффектов к величине дисконтированных капиталовложений

Внутренняя норма рентабельности (IRR) - характеризует интенсивность возврата затраченных средств

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетической стратегии России на период до 2020 года утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 августа 2003 г М. 1234-р.
2. Чистович С.А. Технологические схемы систем теплофикации, теплоснабжения и отопления / С.А. Чистович // АВОК. 2007. №7, С. 10-18.
3. Шеин И.С. Некоторые вопросы совместной работы двух источников теплоснабжения / И.С. Шеин, А.В. Извеков // Надежность и безопасность энергетики. 2012. № 2 (17). С. 43-48.
4. Звонарева Ю.Н. Анализ эффективности перераспределения тепловых нагрузок между несколькими источниками теплоснабжения при различных режимах отпуска тепла / Ю.Н. Звонарева // Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика: Труды XVIII Ежегодной Международной научно-технической конференции. 2012г. г. Москва. С. 63-65.
5. Звонарева Ю.Н. Оптимизация режимов совместной работы двух источников тепла для улучшения экономических показателей / Ю.Н. Звонарева // Техника и технология: Материалы XII Международной научно-практической конференции (25.02.2014). М.: Издательство «Спутник+». 2014. С 112.
6. Звонарева Ю.Н. Энергосбережение в системах теплоснабжения крупных муниципальных объединений, запитанных от нескольких источников тепла / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 11. С.75-82.
7. Семенов В. Г. Планирование развития систем теплоснабжения / В. Г. Семенов, В. В. Ковальчук // Журнал “Энергосбережение”. 2005. №10.
8. Шеин И.С. Некоторые вопросы оптимизации функционирования городского теплового узла / И.С. Шеин, А.В. Извеков // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тез. докл. Шестнадцатой Международной

научн.-техн. конференции студентов и аспирантов: В 3-х т. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. С. 51-54.

9. Постановление Правительства РФ от 22.02.2012 N 154 (ред. от 03.04.2018) "О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения".

10. Документ «Схема теплоснабжения муниципального образовательного города Казани по 2033 год». Разработчик: ФГБОУ ВО КГЭУ. Казань. 2017г.

11. Документ «Схема теплоснабжения муниципального образования г. Набережные Челны. актуализация на 2019 год». Разработчик: Общество с ограниченной ответственностью Инжиниринговая компания «ВИД-Энерго». г.Москва. 2018 г.

12. Документ «Схема теплоснабжения г. Нижнекамск по 2028 год». Разработчик: ООО «КЭР-Инжиниринг». г. Казань. 2018 г.

13. Федеральный закон "О водоснабжении и водоотведении" от 07.12.2011 N 417.

14. Tian Y. Connection Method between Urban Heat-supply Systems Based on Requirement of Limited-heating / Y. Tian, Z. Zhou, Z. Wang // Procedia Engineering. 2016. Vol. 146. pp 386-393.

15. Gabrielaitiaene I. Evaluation of approaches for modeling temperature wave propagation in district heating pipelines / I. Gabrielaitiaene, B. Sunden, B. Bøhm // Heat transfer engineering. 2008. No.1. pp. 45-46.

16. Morvaj B. Optimising urban energy systems: Simultaneous system sizing, operation and district heating network layout / B. Morvaj, R. Evins, J. Carmeliet // Energy. 2016. Vol. 116. Part 1. pp 619-636.

17. Моисеев Б.В. Оптимизация работы тепловых сетей в условиях западной Сибири / Б.В. Моисеев, В.П. Богомолов, А.Ф. Шаповал // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 1997. №4. С. 58-62.

18. Сикерин И.Е. Влияние гидравлического режима сети теплоснабжения на тепловую устойчивость абонентов / И.Е. Сикерин, С.А. Голяк // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2010. № 2. С. 20-22.

19. Громов Н.К. Городские теплофикационные системы / Н.К. Громов. М.: Энергия, 1974. 253 с.

20. Karlsson K.B. Heat supply planning for the ecological housing community Munksøgård / K.B. Karlsson, S.N. Petrović, R. Næraa // Energy. 2016. Vol. 115. Part 3. pp 1733-1747.

21. Lake A. Review of district heating and cooling systems for a sustainable future / A. Lake, B. Rezaie, S. Beyerlein // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 67. pp 417-425.

22. Byun S. Study on the optimal heat supply control algorithm for district heating distribution network in response to outdoor air temperature / S. Byun, H. Park, S. Yi, C. Song, Y. Choi, S. Lee, J. Shin // Energy. 2015. Vol. 86. pp 247-256.

23. Зайцев О.Н. Теоретические исследования тепловых и гидравлических процессов при количественно-качественном регулировании теплоносителя в нагревательных приборах / О.Н. Зайцев, Д.М. Лукьянченко, И.А. Перминов, Л.А. Петрекевич // Строительство и техногенная безопасность. 2013. № 48. С. 73-79.

24. Зайцев О.Н. Совершенствование систем низкотемпературного водяного отопления при количественно-качественном регулировании теплоносителя / О.Н. Зайцев, Л.А. Петрекевич, Д.М. Лукьянченко // Строительство и техногенная безопасность. 2014. № 51. С. 109-112.

25. Dobersek D. Optimization of tree path pipe network with nonlinear optimization method / D. Dobersek, D. Goricanec // Applied thermal engineering. 2009. Vol. 29. No.8-9. pp. 1584-1591.

26. Колесников С.В. Исследование гидравлических режимов работы циркуляционных систем ТЭЦ на компьютерных моделях / С.В. Колесников, И.В. Кудинов, А.В. Еремин, А.С. Колесникова, А.Н. Бранфилева // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. №7-9. С. 112-122.

27. Колесников С.В. Исследование тепловых сетей централизованного теплоснабжения на компьютерной модели / С.В. Колесников, И.В. Кудинов

// Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: технические науки. 2014. №4. С.149-159.

28. Кассина Н.В. Математическое моделирование разветвленных гидравлических систем / Н.В. Кассина, Л.В. Смирнов // Компьютерное исследование и моделирование. 2009. Том 1. № 2. С. 173-179.

29. Кассина Н.В., Математическое моделирование динамики гидравлических сетей / Н.В. Кассина, Л.В. Смирнов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Математическое моделирование и оптимальное управление. 2004. № 1. С. 132-138.

30. Батухтин А.Г. Моделирование современных систем централизованного теплоснабжения / А.Г. Батухтин, А.В. Калугин // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 8(55). С. 84-91.

31. Кудинов В.А. Разработка компьютерной модели и исследование режимов работы циркуляционной системы Новокуйбышевской ТЭЦ -2 / В.А. Кудинов, А.Г. Коваленко, С.В. Колесников, Ю.С. Панамарев // Изв. АН. Энергетика. 2001. № 6. С. 118-124.

32. Wernstedt F. An agent-based approach to monitoring and control of district heating systems / F. Wernstedt, P. Davidsson // Lecture notes in computer science. 2002. Vol. 2358. pp. 801.

33. Putz S. Smart Heat Supply in Austria within the PITAGORAS Project / S. Putz, P. Reiter, R. Söll // Energy Procedia. 2016. Vol. 91. pp 573-577.

34. Fu D.Z. Development of optimization model for fuel supply in district heating system based on environment and heat demand joint constraints / D.Z. Fu, G.H. Huang // Applied mechanics and materials. 2014. Vol. 535. pp. 309-314.

35. Центральные тепловые пункты // http://www.imsholding.ru/teplovie_punktiu/.

36. ТеплоСтройМонтаж. ЦТП - центральный тепловой пункт // <http://www.tsm-company.ru/promka/ctp-centralnyi-teplovoy-punkt.html>.

37. Гершкович В.Ф. Пора избавляться от ЦТП / В.Ф. Гершкович //С.О.К. 2006. №3. С. 43-48.

38. Ионин А.А. Теплоснабжение / А.А. Ионин, Б.М. Хлыбов, В.Н. Братенков // Учеб. для вузов.-М.: Стройиздат. 1982. 336 с.
39. Элеваторный узел системы отопления - принцип работы // <http://kotel.guru/truby/elevatornyy-uzel-sistemy-otopleniya-princip-raboty.html>.
40. Схема элеваторного узла отопления // <http://jsnip.ru/vodosnabzheniya/shema-teplovogo-uzla-otoplenija.html>.
41. Белинский С. Я. Теплофикация и теплоэлектроцентрали / С. Я. Белинский // М.: Энергия. 1976. 176 с.
42. Ливчак В.И. Установка ИТП в зданиях вместо замены изношенного оборудования в ЦТП и перекладки сетей горячего водоснабжения / В.И. Ливчак // Энергосбережение. 2008. № 1 с.36-39.
43. Дейнеко С. Индивидуальный тепловой пункт: схемы и решения // <https://aw-therm.com.ua/individualnyj-teplovoy-punkt-shemy-i-resheniya/>.
44. Состав и принцип работы ИТП // <http://www.itp.plus/chto-takoe-itp/sostav-i-princip-raboty/>.
45. Грановский В.Л. Система отопления жилых зданий массового строительства и реконструкции с комплексным автоматизированием теплопотребления / В.Л. Грановский, С.И. Прижижецкий // АВОК. 2002. №5. С. 66-69.
46. Гришин А.П. Резервы экономии электроэнергии на ЦТП / А.П. Гришин // Энергосбережение. 2007. №8. С.32.
47. Зингер Н.М. Повышение эффективности работы тепловых пунктов / Н.М. Зингер, В.Г. Бестолченко, А.А. Жидков // М.: Стройиздат. 1990. 185 с.
48. Ильин В.К. Пути модернизации городских тепловых пунктов / В.К. Ильин // Энергосбережение. 2005. №6. С.71-73.
49. Звонарева Ю.Н. Переход от ЦТП к ИТП / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков // Энергия - 2015: Труды X Ежегодной Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2015г. г. Иваново.

50. Пырков В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование / В.В. Пырков // К.: И ДП «Такісправи». 2008. 252 с.
51. Дюскин В.К. Количественно-качественное регулирование тепловых сетей / В.К. Дюскин // М.: Госэнергоиздат, 1959. 144 с.
52. Коренков Б.Е. Теплоснабжение крупного города от загородной ТЭС / Б.Е. Коренков, И. А. Смирнов, Л.П. Иголка, Н.И. Мамонтов // Теплоэнергетика. 1992. №11. С. 28-31.
53. Филиппов М.Ф. Схемы присоединения систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения к двухтрубным тепловым сетям / М.Ф. Филиппов // Водоснабжение и сан. техника. 1960. № 12. С. 1-7.
54. Аше Б.М. Способы и схемы присоединения систем отопления зданий абонентов к теплопроводам / Б.М. Аше //Сб. науч. тр. I Всесоюз. съезда по теплофикации. М.. 1931.С. 238-247.
55. Ротов П.В. Способы регулирования тепловой нагрузки систем теплоснабжения. Перспективы развития / П.В. Ротов // «Новости теплоснабжения». №2 (78). 2007. С.160-164.
56. Трудоношин В.А. Система автоматизированного проектирования / В.А. Трудоношин, Н.В. Пивоварова // Учеб. пособие для вузов. В 9 кн. Кн.4. Математические модели технических объектов. Под ред. И.П. Норенкова, Мн.: Выш. шк.. 1988. 159 с..
57. Применение средств автоматизации Danfoss в тепловых пунктах систем центрального теплоснабжения зданий. Пособие. RB.00.H8.50. М.:ООО «Данфосс». 2014. 63 с.
58. Р НП «АВОК» 3.3.1-2009 Рекомендации АВОК. Автоматизированные индивидуальные тепловые пункты в зданиях взамен центральных тепловых пунктов. Нормы проектирования.
59. Мадорский Б. М. Эксплуатация центральных тепловых пунктов, систем отопления и горячего водоснабжения / Б. М. Мадорский, В. А. Шмидт // М.: Стройиздат. 1971. 168 с.

60. Меренков А.П. Теория гидравлических цепей / А.П. Меренков, В.Я. Хасилев // Москва.: «Наука». 1985. 279 с.

61. Панфилов В.И. Повышение эффективности тепловых пунктов технологических систем здания / В.И. Панфилов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. г. Красноярск. 2009г. 153 с.

62. Хасилев В.Я. Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей / В.Я. Хасилев, А.П. Меренков, Б.М. Каганович // Под общ. ред. Хасилева В.Я. и Меренкова А.П.-М.: Энергия. 1978. 176 с.

63. Епифанов С. П. Приложение теории двойственности к моделям потокораспределения / С. П. Епифанов , В. И. Зоркальцев // Вычислительные технологии. 2009. Т.14. С. 67-79.

64. Вишневский К.П. Механизация расчета кольцевых водопроводных сетей / К.П. Вишневский // Водоснабжение и санитарная техника. 1961. №4. С. 20-24.

65. Евдокимов А.Г. Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях / А.Г. Евдокимов, А.Д. Тевяшев, В. В. Дубровский // 2-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат. 1990. 364 с.

66. Квасов И.С. Моделирование потокораспределения при реконструкции инженерных систем / И.С. Квасов, М.Я. Панов // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1993. № 7-8, С. 81-84.

67. Черненко В.П. Управление гидравлическим режимом тепловых сетей / В.П. Черненко, Д.В. Попов // Труды Дальневосточного государственного технического университета. 2003. № 134. С. 126-128.

68. Guelpa E. Optimal operation of large district heating networks through fast fluid-dynamic simulation / E. Guelpa, C. Toro, A. Sciacovelli, R. Melli, E. Sciubba, V. Verda // Energy. 2016. Vol. 102. pp.586-595.

69. Самарин О.Д. Расчет потерь давления в трубопроводах тепловых сетей / О.Д. Самарин // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2014. №4 (132). С. 56-59.

70. Громов Н.К. Городские теплофикационные системы / О.Д. Самарин // М.: Энергия. 1972. 253с.
71. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем / Н.М. Зингер // М.: Энергия. 1976. 336 с.
72. Липовка Ю.Л. Тепловые и гидравлические режимы теплофикационных вводов с неоднородной нагрузкой / Ю.Л. Липовка // г. Красноярск. Изд-во КГУ, 1991. 217 с.
73. Липовка Ю.Л. Экспериментальное изучение потокораспределения на автоматизированных тепловых пунктах / Ю.Л. Липовка, В.И. Панфилов // Энергосбережение и водоподготовка, 2008. № 2. С. 52-54.
74. Кузник И.В. Методы повышения эффективности централизованных систем теплоснабжения. Часть 2 / И.В. Кузник // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2015. № 7 (163). С. 34-39.
75. Чугаев Р.Р. Гидравлика / Р.Р. Чугаев // Учебник для вузов. 4-е изд., доп. и перераб. Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние. 1982. 672 с.
76. Манюк В.И. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей / В.И. Манюк, Я.И. Каплинский // Справочник. М.: Стройиздат. 1988. 432 с.
77. Меренков А. П. Математическое моделирование и оптимизация систем тепло-, водо-, нефте-и газоснабжения / А.П. Меренков, Е.В. Сеннова, С.В. Сумароков, В.Г. https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=716967 Сидлер, Н.Н. Новицкий, В.А. Стенников, В.Р. Чупин, Б.М. Каганович, З.И. Шалагинова, В.А. Ефремов, Т.Б. Ощепкова, В.В. Шлафман, Н.И. Илькевич // Новосибирск: Наука, 1992. 407 с.
78. Каримов Р.Х. Программное обеспечение гидравлических и оптимизационных расчетов / Р.Х. Каримов // Водоснабжение и санитарная техника. 1998. №1. С. 16-18.
79. Липовка Ю.Л. Математическое моделирование систем теплоснабжения с обеспечением устойчивого энергосбережения / Ю.Л. Липовка // Энергосбережение и водоподготовка. 2002. № 1. С. 89-92.

80. Липовка Ю.Л. Математическое моделирование потокораспределения на тепловых пунктах / Ю.Л. Липовка, В.И. Панфилов и др. // Энергосбережение и водоподготовка. 2008. № 3. С. 50-53.

81. Тарасевич В.В. Моделирование работы системы автоматического регулирования давления в обратной магистрали сети теплоснабжения / В.В. Тарасевич //Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1999. № 8. С. 70-74.

82. Пеньковский А.В. Математическое моделирование рынка тепловой энергии в формате единой теплоснабжающей организации / А.В. Пеньковский В.А. Стенников // Теплоэнергетика. 2018. № 7. С. 42-53.

83. Helm D. The return of the Regulated Asset Base (RAB) // <http://www.dieterhelm.co.uk/node/477>.

84. Смирнов Д.К. Программный комплекс визуального моделирования схем теплоэнергетических установок / Д.К. Смирнов, Н.Н. Галашов // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 320. № 4.

85. Классификация схем подогрева воды для систем горячего водоснабжения зданий // http://tpunkt.ru/information/shemy_gvs/.

86. Абдулаев Д.А. Гидравлическая устойчивость тепловой сети / Д.А. Абдулаев, Е.А. Маркелова, А.Р. Сабирзянов, Н.Ю. Миронов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 1 (52). 2017. С. 67-85

87. Пашенцева Л. В. Влияние нарушения гидравлической устойчивости на надежность теплоснабжения / Л. В. Пашенцева // Строительство и техногенная безопасность. 2012. №44. С. 85-88.

88. Сикерин И.Е. Влияние гидравлического режима сети теплоснабжения на тепловую устойчивость абонентов / И.Е. Сикерин, С.А. Голяк // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2010. № 2. С. 20-22.

89. Тартыкова Е.В. Повышение тепловой и гидравлической устойчивости систем отопления / Е.В. Тартыкова // Труды Братского

государственного университета Серия: Естественные и инженерные науки. 2008. Том 2. С. 73-76.

90. Жуков Д.В. О гидравлической устойчивости систем теплоснабжения и работе систем теплопотребления при изменении режимов / Д.В. Жуков // Межвузовский тематический сборник научных трудов. Повышение эффективности объектов теплоэнергетики и систем теплоснабжения. Омск: ОГУПС 2008. С. 23-27.

91. Ананьина Л.И. Гидравлическая устойчивость абонентских установок / Л.И. Ананьина, Г.И. Первак // Сборник материалов Всероссийской научной студенческой конференции. Москва: МГУДТ 2015. С. 12-14.

92. Шинкаренко О.М. Динамическая устойчивость дроссельных регулирующих клапанов систем управления / О.М. Шинкаренко, Е.С. Корчак // Кузнечно-штамповое производство. Обработка материалов давлением. 2013. № 2. С. 30-35.

93. Звонарева Ю.Н. Оценка эффективности внедрения энергосберегающих мероприятий в городском хозяйстве / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков // VII Международная научно-техническая конференция «Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике и промышленности». на базе кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Ульяновского государственного технического университета. 2017. С.14.

94. Балувев Е.Д. О показателе гидравлической устойчивости поточной теплоснабжающей системы / Е.Д. Балувев // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1999. № 1. С. 85-87.

95. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов // Учеб. для вузов. 6-е изд., перераб. М.: Энергоиздат. 2006. 360 с.

96. Мелентьев Л. А. Научные основы теплофикации и энергоснабжения городов и промышленных предприятий: Избранные труды / Л. А. Мелентьев // Отделение физико-технических проблем энергетики Рос. акад. наук . М. : Наука. 1993. 363 с.

97. ИТП против ЦТП. Зачем Казань меняет схему горячего водоснабжения. Еженедельник «Аргументы и Факты» № 13 29/03/2017.

98. Мельников В.М. Методы проектирования современного теплового пункта / В.М. Мельников, М.В. Пурим, Д.С. Карев // Главный энергетик. 2014. № 7. С. 30-38.

99. Гершкович В.Ф. Энергосберегающие системы жилых зданий / В.Ф. Гершкович // С.О.К. 2006. №9. С.46.

100. Zvonareva Y.N. Modeling of operational mode of thermal network directed to increase its power efficiency / Y.N. Zvonareva, Y.V. Vankov, E.M. Onuchin // Цифровая библиотека IEEE Xplore: по итогам Научно-технической международной конференции «Пром Инжиниринг-2017» [DOI:10.1109/ICIEAM.2017.8076462](https://doi.org/10.1109/ICIEAM.2017.8076462).

101. Жила В.А. Обоснование основных показателей при выборе оптимальной схемы теплоснабжения / В.А. Жила, Ю.Г. Маркевич //С.О.К. 2006. №8. С.62-64.

102. Звонарева Ю.Н. Энергетическая эффективность системы теплоснабжения при поэтапном внедрении автоматических узлов учета и регулирования тепловой энергии у потребителей / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков // XVII Международный симпозиум Энергоресурсо-эффективность и энергосбережение в Республике Татарстан. г. Казань. 2017. С.154-157.

103. Ливчак В.И. Совершенствование систем централизованного теплоснабжения крупных городов России / В.И. Ливчак //АВОК. 2004. №5. С. 42-49.

104. Звонарева Ю.Н. Влияние поэтапного внедрения АИТП на гидравлическую устойчивость системы в целом / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков, Л.А. Поленов, Л.А. Павлов // Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в Республике Татарстан. Труды XV Международного симпозиума. Казань: Издательство: ИП Шайхутдинов А.И. 2015. С. 77-79.

105. Звонарева Ю.Н. Оценка снижения теплопотребления у абонентов, оснащенных автоматическими узлами учета и погодного регулирования в зависимости от колебаний температуры наружного воздуха

/ Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков // Актуальные проблемы технических наук в России и зарубежом: Труды Международной научно-практической конференции. г. Челябинск. 2015 С. 30-32г.

106. Звонарева Ю.Н. О разработке методики расчета энергетической эффективности систем теплоснабжения / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков // Энергия -2018: Труды XII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. г. Иваново. 2018. С. 56-60.

107. Иоффе Л.С. Реформа ЖКХ или система централизованного теплоснабжения / Л.С. Иоффе // Инженерные системы. 2004. №4. С. 23-26.

108. СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003.

109. Звонарева Ю.Н. Теоретические модели систем теплоснабжения / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков // Энергия -2017: Труды XII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. г. Иваново. 2017. С. 76-77.

110. Звонарева Ю.Н. Оценка энергетической эффективности и изменения показателей работы системы теплоснабжения с учетом поэтапного внедрения автоматических узлов учета и регулирования тепловой энергии на потребителях / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков // VII международная научно-практической конференции «21 век: фундаментальная наука и технологии». NorthCharleston, SC, USA: CreateSpace. 2015. Т. 2. С.131-133.

111. Звонарева Ю.Н. Экономия тепловой энергии в системах теплоснабжения за счет автоматического регулирования теплопотребления / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков // IX Семинар ВУЗов по теплофизике и энергетике. Казань: КГЭУ. 2015. Т.IV. С.223-226.

112. Описание программного комплекса LabView // <http://www.ni.com/ru-ru/shop/labview/labview-details.html>.

113. Звонарева Ю.Н. Лабораторные стенды для освоения компетенций по дисциплине «Потребители теплоты предприятий и объектов ЖКХ / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков, Ш.Г. Зиганшин, Е.В. Измайлова // Труды VII

межвузовской научно-методической конференции, посвященной 70-летию Ю.Г. Назмеева. г. Казань. 2016. Т.1. С.123-129.

114. Звонарева Ю.Н. Лабораторные стенды для моделирования систем теплоснабжения / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков, Л.А. Павлов, С.А. Назарычев // Труды Международной научно-практической конференции «Стратегия развития инвестиционно-строительного и жилищно-коммунального комплексов в условиях саморегулирования». г.Казань: КГСАУ. 2015. С.195-198 Ч.2.

115. Звонарева Ю.Н. Управление системами теплоснабжения / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков // Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика: Труды XIII Международной научно-технической конференции. г. Москва. 2017. С. 205.

116. Пекелис Г. Б. Влияние условий теплоснабжающей системы на параметры схем горячего водоснабжения / Г. Б. Пекелис, И. Г. Рогачев // Изв. вузов. Энергетика. 1971. № 7. С. 54-59.

117. Терлецкая А.С. О выборе проектных решений присоединения систем теплоснабжения современных высотных жилых зданий повышенной этажности / А.С. Терлецкая // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. №3. С.40-41.

118. Федеральный закон РФ №261-ФЗ Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, 2009г.

119. 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.

120. Мелентьев Л.А. Основные вопросы промышленной теплоэнергетики. / Л.А. Мелентьев // -М.: Государственное энергетическое издательство. 1954. 427 с.

121. Соколов Е.Я. Методика расчета центрального регулирования закрытых независимых систем теплоснабжения / Е.Я. Соколов, В.П. Вертинский // Теплоэнергетика. 1968. № 9. С. 83-85.

122. Звонарева Ю.Н. Моделирование режимов работы тепловых сетей с целью эффективного использования тепловой энергии / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков, С.А. Назарычев // Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в Республике Татарстан: Труды XVI Международного симпозиума. г. Казань. 2016. С. 209-211.

123. Федеральный закон «О теплоснабжении» от 27.07.2010 N 190-ФЗ.

124. Жилищный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 28 ноября 2018 года) Кодекс РФ от 29.12.2004 N 188-ФЗ.

125. Yu.N. Zvonareva Commercial effectiveness assessment of implementation the energy efficiency raising of the building project due to introduction of automatic heat consumption control / Yu.N. Zvonareva, Yu.V. Vankov, V.V. Shlychkov // Публикация по итогам Научно-технической международной конференции «ПромИнжиниринг-2017» SHS Web of Conferences 35, 01124 (2017). DOI: [10.1051/shsconf/20173501124](https://doi.org/10.1051/shsconf/20173501124).

126. Башмаков И.А. Анализ основных тенденций развития систем теплоснабжения в России и за рубежом / И.А. Башмаков // Журнал «Энергетическая политика» 2009. №2. С.10-25.

127. Звонарева Ю.Н. О разработке методики расчета энергетической эффективности энергосберегающих мероприятий / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков // Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в Республике Татарстан: Труды XVIII Международного симпозиума. г. Казань. 2018. С. 209-211.

128. Андрющенко А.И. Эффективность теплофикации в современных условиях и факторы, ее определяющие / А.И. Андрющенко, Ю.Е. Николаев // Вестник СГТУ. 2008. № 1. С. 39-44.

129. Волосатова Т.А. Некоторые вопросы энергоэффективности тепловых сетей в разрезе текущего состояния комплекса ЖКХ России / Т.А. Волосатова // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2054.

130. Государственный Комитет Республики Татарстан по тарифам. <http://kt.tatarstan.ru/>.

131. Zvonareva Julia N. Energy Efficiency of Heating System Phased Introduction of Automatic Control Unit / Sergey A. Nazarychev, Yuriy V. Vankov, Julia N. Zvonareva, Yevgeniya V. Izmailova // HELIX. 2018. Vol.8, Is.1. P.2473-2480.

132. Чистович А. Как согреть города? / А. Чистович // Российское Экспертное обозрение №2. 2006.
<http://www.protown.ru/information/articles/3325.html>.

133. Ольховский Г.Г. Совершенствование технологий комбинированной выработки электроэнергии и тепла на ТЭЦ России / Г.Г. Ольховский // Журнал «Новости теплоснабжения» №10. 2003. С.31-33.

134. Советы по экономии тепловой энергии.
http://www.meshta.ru/teplo_idea4.html.

135. Ширипов А.Я. Энергосберегающие и энергоэффективные технологии - основа энергетической безопасности / А.Я. Ширипов // АВОК. 2006. №4. С. 4-6.

136. Митюшин В.С. Развитие электроэнергетики России на долгосрочную перспективу и новые задачи энергетического машиностроения / В.С. Митюшин, Л.Н. Моисеева, Ю.К. Петреня // Теплоэнергетика. 2008. №1. С.6-7.

137. Marecki Jacek. The optimization of development and cooperation between combined heat and power stations and heating plants in covering the heat demand in towns / Jacek Marecki // Доклад на VII мировой энергетической конференции, М. 1968.

138. Жуков В. К. Экономическая эффективность массового внедрения индивидуальных тепловых пунктов в городе Елабуге / В. К. Жуков, И.И. Камалетдинов, А.А. Минаков // Энергосовет. № 5 (36). 2014 г. С. 36-37.

139. Шилкии М.В. Экономические аспекты внедрения индивидуальных тепловых пунктов / М.В. Шилкии // Энергосбережение. 2007. №3. С. 12-15.

140. Аналитическая записка “Анализ целесообразности внедрения автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов (АИТП) в г. Казань”. ООО “КЭР-Инжиниринг”. Казань. 2016. 136 с.

141. Ольховский Г.Г. Теплоэнергетические технологии в период до 2030 г. / Г.Г. Ольховский, А.Г. Тумановский // Известия РАН. Энергетика. 2008. №6. С. 79-94.

142. Разработка технико-экономического обоснования перевода на закрытую схему ГВС потребителей г. Салават // ООО «Невская Энергетика». г. Санкт-Петербург. 2017 г. 187с.

143. Zvonareva Yu.N. Method of calculation of power efficiency by optimization of work of heat supply systems / Yu.N. Zvonareva, Yu.V. Vankov, A.A. Medyakov // Международная научно-практическая конференция «Водно-энергетический форум-2018». г. Казань. 2018.

144. Разработка технико-экономического обоснования перевода на закрытую схему ГВС потребителей г. Сибай // ООО «Невская Энергетика». г. Санкт-Петербург. 2017 г. 153 с.

145. Макареня Т.А. Система тарифообразования на услуги жилищно-коммунального хозяйства / Т.А. Макареня, С.В. Сташ // Инженерный вестник Дона. 2013. №3. [URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1839/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1839/).

146. Методические указания по расчету регулируемых тарифов и цен на электрическую (тепловую) энергию на розничном (потребительском) рынке Утвержденные Приказом ФСТ России от 21 октября 2008 г. N 209-э/1.

147. Сиваев С.Б. «Институциональные проблемы повышения энергоэффективности жилищного и бюджетного секторов» / С.Б. Сиваев, Д.П. Гордеев, Т.Б. Лыкова, А.Ю. // М. Фонд «Институт экономики города». 2010. 121 с.

148. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов // Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г.- М.: ОАО «НПО «Изд-во «Экономика». 2000. 421 с.

149. Руководство пользователя «Project Expert».

150. Звонарева Ю.Н. Влияние поэтапного внедрения ИТП на гидравлическую устойчивость и эффективность систем теплоснабжения / Ю.Н.

Звонарева, Ю.В. Ваньков // Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса. материалы XIV Международной научно-технической конференции. Издательство: СГТУ имени Гагарина Ю.А. г.Саратов. 2018. С.92-97

151. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования // М.: Экономика. 2000. 421 с.

152. Об утверждении Требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 17.11.2017 N 1550/пр.

153. 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. С.98. [URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3315](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3315).

154. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения (МДК 4-05.2004).

155. Дмитриев А.Н. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / А.Н. Дмитриев, И.Н. Ковалев, Ю.А. Табунщиков, Н.В. Шилкин // М.: АВОК-ПРЕСС. 2005. 120 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Акты использования и реализации трудов



ООО фирма «Термокам»
Society limited liability firm "Termokam"

Россия, Республика Татарстан, Нижнекамский р-н, 423564
п.г.т. Камские Поляны, а/я – 34
тел. факс: (8555) 33-88-50
(8555) 33-60-38
ИНН. № 1651029121 КПП 165101001
Рег.номер в ПФР 013-301 -000955
E-mail: snab@termokam.ru
sbit@termokam.ru
Web: www.termokam.ru



Russia, Republic Tatarstan,
Nizhnekamsk area, 423564
s.c.t. Kamskie Polyani, u/b – 34
tel. fax: +7 (8555) 33-88-50
+7 (8555) 33-60-38
E-mail: snab@termokam.ru
sbit@termokam.ru
Web: www.termokam.ru



АКТ

об использовании результатов научных исследований

Комиссия в составе: председатель - Скулин Н.В., члены комиссии: Скрыбин С.М., Бородина Л.Р. составили настоящий акт о том, что результаты научных исследований Звонаревой Ю.Н., Ванькова Ю.В. по рационализации внедрения автоматизированных тепловых пунктов использованы в производственной деятельности ООО фирма «Термокам».

В 2015 году была проведена оптимизация системы теплоснабжения предприятия, внедрены энергосберегающие мероприятия, производственные цеха с целью контроля и регулирования теплотребления оснащены автоматизированными тепловыми пунктами.

При проведении оптимизации были приняты во внимание и использованы результаты научных исследований Звонаревой Ю.Н., Ванькова Ю.В. о необходимом и наиболее оптимальном проценте оснащённости АИТП цехов от общего числа зданий, находящихся на балансе предприятия.

Использование указанных результатов позволило повысить качество предоставляемых услуг и за отопительный период 2015-2016 гг. снизить затраты на приобретаемую тепловую энергию в размере 24% относительно показателей предыдущих годов.

Члены комиссии:

Главный специалист ПТО

Ведущий экономист

Скрыбин С.М.

Бородина Л. Р.

Общество с ограниченной ответственностью «ЖЭУ «ТАСМА»
ИНН 1658187511, 420033, Татарстан Респ., Казань г., Сабан ул., дом №7, пом.12
р/с 40702810800010005291, в банке ООО КБЭР «БАНК КАЗАНИ»,
БИК 049205844, АК/С 301018101000000044

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор ООО «ЖЭУ «ТАСМА»

Мухамадиев Л.Х.

2017 г.

АКТ

об использовании результатов научных исследований

Комиссия в составе: председатель - Мухамадиев Л.Х., члены комиссии: Аббазов И.И., Куропаткина Н.А. составили настоящий акт о том, что результаты научных исследований Звонаревой Ю.Н., Ванькова Ю.В. по рационализации внедрения автоматизированных тепловых пунктов использованы в работе систем теплоснабжения жилых и общественных зданий относящиеся к управляющей компании Московского района ООО ЖЭУ «ТАСМА».

В рамках реализации городской программы по ликвидации центральных тепловых пунктов и перевода потребителей на автоматизированные индивидуальные тепловые пункты (г.Казань) в 2017 году запланирована ликвидация ЦТП № 47-1. Часть подключенных к нему домов, обслуживаемых УК Московского района ООО ЖЭУ «ТАСМА», порядка 65 %, в 2016 году была переведена на индивидуальные тепловые пункты

При определении первоочередных потребителей для перевода на ИТП и их оптимального количества, были приняты во внимание и использованы результаты научных исследований Звонаревой Ю.Н., Ванькова Ю.В. о необходимом и наиболее оптимальном проценте оснащённости АИТП.

Установка автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов обходится дешевле, чем реконструкция ЦТП и замена сетей горячего водоснабжения. При этом происходит переход от 4-трубной на 2- трубную систему, то есть отсутствует необходимость в эксплуатации и ремонте трубопроводов ГВС, а также исключаются потери теплоснабжающей организации по сетям горячего водоснабжения.

Использование указанных выше результатов научных исследований позволило снизить фактическое теплотребление, при этом продолжать обеспечивать потребителей теплоносителем требуемых параметров, для обеспечения комфортных условий труда и быта.

По фактическим показателям приборов учета за отопительный период 2016-2017 гг. произошло снижение теплотребления на 18% от предыдущего отопительного сезона. Это объясняется возможностью самостоятельной регулировки подачи тепла потребителями, при качественном и бесперебойном теплоснабжении в автоматическом режиме.

Помимо экономии теплотребления, снизилась плановая статья расхода на ремонт труб и оборудования.

Члены комиссии:

Начальник участка

Аббазов И.И.

Бухгалтер

Куропаткина Н.А.

**Общество с ограниченной
ответственностью
«Савиново 54»**

420126, г. Казань, ул. Чистопольская, 63 тел. 520-15-54
Р/с 40702810900000000070, ИНН 1657046532, КПП 165701001
в КБЭР «Банк Казани»,
К/с 301018100000000844, БИК 049205844

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор ООО «Савиново 54»

Сал Ф.Ф.Салихов.

« 11 » мая 2017 г.

АКТ

об использовании результатов научных исследований

Комиссия в составе: председатель - Ф. Ф. Салихов., члены комиссии: Лысова Н.Б., Газизов А.А., составили настоящий акт о том, что результаты научных исследований Звонаревой Ю.Н., Ванькова Ю.В., Политовой Т.О. по рационализации внедрения автоматизированных тепловых пунктов и методам повышения надежности тепловых сетей использованы в работе систем теплоснабжения жилых и общественных зданий относящиеся к ООО «Савиново-54».

В рамках реализации городской программы по ликвидации центральных тепловых пунктов и перевода потребителей на автоматизированные индивидуальные тепловые пункты (г.Казань) в 2017 году запланирована ликвидация ЦТП № 58/1. Часть подключенных к нему домов, обслуживаемых ООО «Савиново-54», порядка 48 %, в 2016 году была переведена на индивидуальные тепловые пункты

При определении первоочередных потребителей для перевода на ИТП и их оптимального количества, были приняты во внимание и использованы результаты научных исследований Звонаревой Ю.Н., Ванькова Ю.В. о необходимом и наиболее оптимальном проценте оснащённости АИТП. Так же при этом были использованы результаты исследований Звонаревой Ю.Н., Политовой Т.О., связанные с повышением надежности и качества теплоснабжения.

Использование полученных авторами результатов позволило: снизить фактическое теплотребление, обеспечить надежность теплоснабжения, повысить эффективность работы системы теплоснабжения, повысить гидравлическую устойчивость тепловых сетей

Члены комиссии:

Главный инженер

Лысова

Лысова Н.Б.

Мастер

Газизов

Газизов А.А.



Данная методика была применена для расчета городского квартала закрытой системы теплоснабжения, работавшей до 2017 года от центрального теплового пункта с заданным теплогидравлическим режимом работы тепловой сети и абонентами, подключенными по элеваторной схеме присоединения.

По методике, предложенной авторами, была определена экономическая эффективность от внедрения планируемых энергосберегающих технологий и определен срок окупаемости предлагаемых мероприятий.

По фактическим показателям приборов учета за отопительный период 2017 года произошло снижение теплотребления при сравнении с предыдущими периодами.

Помимо экономии теплотребления, так же снизилась плановая статья расхода на ремонт труб и оборудования на нужды горячего водоснабжения.

Члены комиссии:

Главный инженер ЮЭР

Зам. гл. инженера ЮЭР

Председатель ЖСК «Водга 29»

Мастер ЮЭР



Закиров В.Н.

Шигапов Ф.Т.

Зиганшина Е.И.

Гимадиев Л.Т.

лист 2 из 2

КАЗАНСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ

ФИЛИАЛ АО «ТАТЭНЕРГО» ул. Лушниковая, д. 13, г. Казань, Республика Татарстан, индекс 420034
 «ТАТЭНЕРГО» АЖ ФИЛИАЛЫ Лушников ур., 13 нче йорт, Казан шәһәре, Татарстан Республикасы, индекс 420034
 +7 843 291-87-79, +7 843 567-74-60 (факс), E-mail: office@kts.tatenergo.ru, www.kazanteplo.ru
 ИНН 1657036630, КПП 165643001, р/с 4070281050000003202 в Филиале ПАО «АКБАНК» г. Казань, к/с 3010181030000000916, БИК 049205916, ОГРН 1021600000839



ТАТНИПИЭНЕРГОПРОМ

Филиал ООО «КЭР-Инжиниринг» «ТатНИПИЭнергопром»

Юр. адрес: 420124, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, Проспект Ямашева, д.37Б
 Почтовый адрес: 420066, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кривошарова, 3 д/а 117
 Фактический адрес: 420124, г.Казань, Проспект Ямашева, д.37Б
 тел.: +7 (843) 557-62-05; факс: +7 (843) 557-62-07; tatnipieng@mail.ru; www.ker-eng.com
 ИНН 1658099230; КПП 165743001
 Банковские реквизиты: р/с № 40702810800470000847 в филиале «Газпромбанк» (Открытое акционерное общество) в г. Казань, к/с 30101810100000000734, БИК 049205734.



«10» августа 2018 года

«УТВЕРЖДАЮ»
 Технический директор
 ООО «КЭР-Инжиниринг»
 С.М.Пасеко



АКТ

о внедрении результатов диссертационных исследований и их апробации

Настоящим актом удостоверяем, что *результаты диссертационных исследований Звонаревой Ю.Н. направленные на совершенствование систем централизованного теплоснабжения* (повышение эффективности, экономичности и надежности систем централизованного теплоснабжения поселений путем внедрения автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов с сохранением гидравлической устойчивости системы), а также *«Методика оценки потенциала энергосбережения и коммерческой эффективности внедрения мероприятий по установке АИТП»*, предложенная **Звонаревой Юлией Николаевной и Ваньковым Юрием Витальевичем**, 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*».

Предложенная методология использовалась при рассмотрении вопросов, связанных с переводом потребителей тепловой энергии с открытой на закрытую схему, в соответствии с требованиями пункта 9 статьи 29 главы 7 №190-ФЗ «О теплоснабжении», и при разработке мероприятий по повышению энергетической эффективности рассматриваемых СИЦТ.

Члены комиссии:

Начальник Отдела перспективных разработок

 Д.Н. Загидуллин

Главный специалист Отдела перспективных разработок

 А.Ю. Китаев



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
 высшего образования
 «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 (ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

УТВЕРЖДАЮ
 Проректор по НР

Э.В.Шамсутдинов

« 14 » декабря 2018 г.



Акт
 внедрения результатов диссертационной работы

Настоящий акт составлен о том, что результаты исследований Звонаревой Ю.Н. и Ванькова Ю.В. полученные при подготовки диссертационной работы «Влияние поэтапного внедрения АИТП на гидравлическую устойчивость и эффективность систем теплоснабжения» внедрены в учебный процесс кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» при чтении лекций по дисциплине «Потребители теплоты предприятий и объектов ЖКХ» и дисциплине «Надежность установок и систем теплоснабжения».

Использование полученных результатов позволило повысить качество образовательного процесса.

Заместитель заведующего кафедрой ПТЭ по НР,
 к.т.н., доцент кафедры ПТЭ

Кондратьев А.Е.

Заместитель заведующего кафедрой ПТЭ по УР,
 к.т.н., доцент кафедры ПТЭ

Эганшин Ш.Г.

Приложение Б. Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018618521

«Co.Hy.Res.»

Правообладатель: *Звонарева Юлия Николаевна (RU)*Авторы: *Звонарева Юлия Николаевна (RU), Ваньков Юрий Витальевич (RU), Измайлова Евгения Вячеславовна (RU)*

Заявка № 2018616012

Дата поступления 04 июня 2018 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 13 июля 2018 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственностиHandwritten signature of G.P. Ivliev in blue ink.
Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018618174

«TEI.Re.Te»

Правообладатель: *Звонарева Юлия Николаевна (RU)*Авторы: *Звонарева Юлия Николаевна (RU),
Загретдинов Айрат Рифкатович (RU)*

Заявка № 2018616075

Дата поступления 04 июня 2018 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 10 июля 2018 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности Г.П. Изrael

Приложение В. Справочные таблицы

Таблица 1. Удельные гидравлические сопротивления стальных труб для всех стандартных диаметров

Условный диаметр, D_y , мм	Расчетные значения удельных сопротивлений водопроводных труб s_0 (при измерении q в $\text{м}^3/\text{с}$)	Условный диаметр, D_y , мм	Расчетные значения удельных сопротивлений водопроводных труб s_0 (при измерении q в $\text{м}^3/\text{с}$)
50	3686	400	0,1859
60	2292	450	0,09928
75	929,4	500	0,05784
80	454,3	600	0,02262
100	172,9	700	0,01098
125	76,36	800	0,005514
150	30,65	900	0,002962
175	20,79	1000	0,001699
200	6,959	1200	0,0006543
250	2,187	1400	0,0002916
300	0,8466	1500	0,0002023
350	0,3731	1600	0,0001437

Таблица 2. Значения поправочных коэффициентов δ к расчетным значениям s_0 для стальных труб

w , м/с	δ	w , м/с	δ
0,2	1,41	0,8	1,06
0,25	1,33	0,85	1,05
0,3	1,28	0,9	1,04
0,35	1,24	1	1,03
0,4	1,2	1,1	1,015
0,45	1,175	1,2	1
0,5	1,15	1,3	0,9
0,55	1,13	1,4	0,8
0,6	1,115	1,5	0,7
0,65	1,1	1,6	0,6
0,7	1,085	1,7	0,5
0,75	1,07	1,8	0,4

Таблица 3. Оптимальные расходы сетевой воды в зависимости от диаметра трубопровода

Условный диаметр трубопровода Dy, мм	Оптимальные расходы сетевой воды G, л/с	Условный диаметр трубопровода Dy, мм	Оптимальные расходы сетевой воды G, л/с
50	3,1	400	140–184
60	3,1–4,1	450	184–234
75	4,1–5,8	500	234–315
80	5,8–8,1	600	315–443
100	8,1–11,7	700	443–591
125	11,7–16,6	800	591–776
150	16,6–21,8	900	776–987
175	21,8–29,2	1000	987–1335
200	29,2–46	1200	1335–1919
250	46–71	1400	1919–2455
300	71–103	1500	2455–2838
350	103–140	1600	2838

Приложение Г. Результаты проведенных исследований

Таблица 1. Показатели работы тепловой сети с учетом внедрения автоматических узлов учета

Адрес узла ввода	Показатель	Схема с элеваторными узлами	Схема с учетом внедрения АИТП		Снижение показателей с учетом внедрения АИТП процентное соотношение	
			расчетное значение	фактическое значение	расчетное значение	фактическое значение
ул. Амирхана д.2	Разница температур	27.78	32.82	32.56	-	-
	Расход сетевой воды на дом, т/ч	12.52	8.17	7.623	34.7	39.1
	Тепловая нагрузка на отопление, Гкал/ч	0.3478	0.2682	0.2496	22.9	28.2
ул. Амирхана д.4а	Разница температур	28.51	34.09	35.48	-	-
	Расход сетевой воды на дом, т/ч	7.8	5.05	3.83	35.3	50.9
	Тепловая нагрузка на отопление, Гкал/ч	0.2224	0.1723	0.1367	22.5	38.6
ул. Амирхана д.10 кор.2	Разница температур	28.23	28.21	35.06	-	-
	Расход сетевой воды на дом, т/ч	8.415	6.5	4.31	22.8	48.8
	Тепловая нагрузка на отопление, Гкал/ч	0.2376	0.18315	0.1525	22.9	35.8
ул. Ямашева д.74	Разница температур	28.67	34.24	27.02	-	-
	Расход сетевой воды на дом, т/ч	14.85	9.55	13.67	35.7	7.9
	Тепловая нагрузка на отопление, Гкал/ч	0.4258	0.3271	0.37206	23.2	12.6
ул. Амирхана д.2а	Разница температур	27.94	28.57	34.36	-	-
	Расход сетевой воды на дом, т/ч	10.79	8.29	6.9014	23.2	36.0
	Тепловая нагрузка на отопление, Гкал/ч	0.3069	0.2368	0.2374	22.8	22.6
ул. Ямашева д.76 узел 2	Разница температур	28.81	33.74	34.19	-	-
	Расход сетевой воды на дом, т/ч	12.36	7.86	3.75	36.4	69.7
	Тепловая нагрузка на отопление, Гкал/ч	0.3561	0.26515	0.13117	25.5	63.2

Таблица 2. Расчет экономического эффекта для теплоснабжающей организации

Статьи затрат	Показатели при работе ЦТП	Показатели при работе АИТП	Расчет экономической эффективности при установке АИТП за счет собственников ТСЖ	Расчет экономической эффективности при установке АИТП за счет теплоснабжающей организации
Единовременные капитальные затраты, млн. руб				
Установка АИТП	-	2,0	-	-2,0
Реконструкция ЦТП	1,2	-	1,2	1,2
Реконструкция трубопроводов ГВС	3,3	-	3,3	3,3
Итого по капитальным затратам	4,5	0	4,5	2,5
Эксплуатационные расходы, млн. руб./год				
Обслуживание	1,2	0,2	1,2	1,0
Затраты на электроэнергию	0,1	0,1	0,1	0,0
Годовые потери тепловой энергии на трубопроводах горячей воды от ЦТП до жилого дома	0,5	-	0,5	0,5
Годовые сверхнормативные потери тепловой энергии на трубопроводах отопления от ЦТП до жилого дома	0,1	-	0,1	0,1
Итого по эксплуатационным затратам	1,9	0,2	1,8	1,6
Суммарные показатели	6,4	0,2	6,3	4,1

Таблица 3. Расчет экономического эффекта для населения

Показатели по данным счет-фактуры.		Оплата по нормативу		Экономический эффект после установки АИТП и приборов учета за счет собственников ТСЖ		Экономический эффект после установки АИТП теплоснабжающей организацией и приборов учета за счет собственников ТСЖ	
Наименование услуги	Стоимость за ед., руб	Объем услуг	Стоимость услуги, руб.	Объем услуг	Стоимость услуги, руб.	Объем услуг	Стоимость услуги, руб.
Отопление, Гкал	1663,74	0,7	1164,62	0,49	815,23	0,49	815,23
Холодное водоснабжение, м ³	18,08	18	325,44	6	108,48	6	108,48
Горячее водоснабжение, в т.ч.:	-	-	-	-	-	-	-
холодная вода для нужд ГВС, м ³	18,08	9	162,72	3	54,24	3	54,24
подогрев воды, м ³	112,3	9	1010,7	3	336,9	3	336,90
Затраты на установку АИТП	-	-	-	-	115,44	-	-
Затраты на установку поквартирных приборов учета	-	-	-	-	41,67	-	41,67
Затраты на обслуживание АИТП	-	-	-	-	89,12	-	-
Затраты на электроэнергию на АИТП	-	-	-	-	35,88	-	-
Итого за месяц:			2663,48	-	1596,96	-	1356,52
Снижение платежей за услуги ХВС, ГВС и отопления, %				40%		49%	

Таблица 4. Расчетные составляющие ставки дисконтирования

Параметры расчета	Описание	Процентная составляющая, %
Безрисковая ставка доходности	Номинальная безрисковая ставка доходности как совокупность реальной (без учета компенсации за инфляцию) безрисковой ставки и средних за период расчета проекта инфляционных ожиданий	8,25
Руководящий состав предприятия	Премия, учитывающая эффективность управления и личные качества ключевых фигур предприятия: предсказуемость, подконтрольность, добросовестность, компетентность	0,5
Диверсифицированность источников ресурсов	Премия, учитывающая недостаточную диверсифицированность источников приобретения покупных ресурсов, необходимых для работы предприятия (включая труд)	0,5
Структура и источники капитала	Премия, учитывающая узость набора источников финансирования (неформирование надлежащего амортизационного фонда, недооценки важности привлеченных средств, неиспользования прогрессивных форм финансирования)	1
Финансовая устойчивость предприятия	Премия, учитывающая устойчивость и конкурентоспособность на рынке.	1
Размер предприятия	Премия, учитывающая риски вложения в малое предприятие, связанные с недостаточной кредитоспособностью и финансовой неустойчивостью предприятия с небольшим размером уставного капитала	0,5
Страновой риск	Премия, учитывающая риски утери прав собственности, непредвиденного изменения законодательства, уменьшения национального дохода, смены персонала в органах управления, внешнеполитические риски и пр.	1
Прочие риски	Премия, учитывающая другие специфические для данного предприятия (проекта) риски	1

Таблица 5 Ставки налогообложения

Название налога	База	Период	Ставка
Налог на прибыль	Прибыль	Месяц	20 %
НДС	Добав. стоим.	Месяц	18 %
Налог на имущество	Имущество	Квартал	2.2 %
Страховые взносы	Налог	Месяц	30 %
Взносы на страхование от несчастных случаев	Зарплата	Месяц	0.2 %

Таблица 6. Инфляция (Рубли)

Объект	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	9 год	10 и далее...
Сбыт	5,2	5,1	5,1	4,4	3,6	3,4	3,4	3,4	3,4	3,3
Прямые издержки	15	15	7,1	5	3,2	3,7	3,9	2,9	2,8	2,6
Общие издержки	5	5	5	4	4	3	3	2	2	2
Зарплата	6,3	6,2	6,2	5,8	4,9	4,7	4,5	4,5	4,5	4,5

Представленная таблица 6, отображает, характеризующие прогнозируемые рост или снижение цен в процентах к предшествующему периоду на каждую группу объектов, подверженных воздействию инфляции: сбыт (продукция или услуги), прямые издержки (в величину инфляции по прямым издержкам заложены индексы цен на оборудование), общие издержки (текущий и капитальный ремонты), заработная плата.