

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

На правах рукописи



Лапин Константин Викторович

**МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ СЕТЕЙ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В
ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ФАКТИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

Специальность 2.4.5. – Энергетические системы и комплексы

Диссертация на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, доцент
Ахметова Ирина Гареевна

Казань 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.....	10
1.1 Проблематика расчета фактических тепловых потерь на участках трубопроводов тепловых сетей с изменяющимися параметрами работы в нестационарном режиме.....	10
1.2 Анализ существующих методик расчета нормативных, фактических тепловых потерь и испытаний тепловых сетей на фактические тепловые потери	16
1.3 Обоснование использования современных систем дистанционного сбора показаний средств измерений для исследования фактических тепловых потерь в нестационарном режиме действующих тепловых сетей.....	20
1.4 Выводы по главе.....	25
2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА УЧАСТКАХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ПАРАМЕТРАМИ ВО ВРЕМЕНИ (НЕСТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ)	27
2.1 Построение модели расчетных (нормативных) тепловых потерь на участках теплосети в системе теплоснабжения.	27
2.1.1 Особенности моделирования расчетных тепловых потерь и выбор конкретной системы теплоснабжения для построения модели	27
2.1.2 Состав модели расчетных (нормативных) тепловых потерь	29
2.1.3 Расчет изменения температуры теплоносителя на участке подающих трубопроводов при расчетном (нормативном) значении тепловых потерь	31
2.1.4 Расчет расхода теплоносителя на участке трубопроводов	32
2.2 Построение модели фактического распределения потерь тепловой энергии и температуры теплоносителя по участкам действующей теплосети.....	33
2.2.1 Используемые программные комплексы и средства измерений	33
2.2.1.1 Программный комплекс и средства измерений на тепловых выводах, размещенные в пределах источника теплоты РК «Савиново»	33
2.2.1.2 Программный комплекс и средства измерений в тепловых сетях магистральных тепловодов №17, 18 от РК «Савиново»	34
2.2.1.3 Программный комплекс и средства измерений в индивидуальных тепловых пунктах объектов потребителей тепловой энергии системы теплоснабжения от РК «Савиново»	35
2.2.2 Состав модели фактических потерь тепловой энергии и температуры теплоносителя по участкам теплосети	36
2.2.2.1 Выбор для участков теплосети для построения модели фактических потерь тепловой энергии и температуры теплоносителя.....	36
2.2.2.2 Состав модели фактических тепловых потерь по участкам трубопроводов.....	37

2.3 Сравнительный анализ температур теплоносителя, фактических и нормативных потерь тепловой энергии в исследуемом участке тепловой сети	42
2.3.1. Графический метод сравнения экспериментальных данных о температуре теплоносителя	42
2.3.2 Рассмотрение экспериментальных данных	43
2.3.3. Корреляционный анализ экспериментальных данных (исследование коллинеарности температурной волны и фактических потерь тепловой энергии)	44
2.3.3.1 Графический метод (качественный уровень)	45
2.3.3.2 Математический метод статистического исследования (количественный уровень исследования)	46
2.3.4 Регрессионный анализ	49
2.4 Достаточность применяемых методов исследования для нестационарного процесса теплообмена в тепловых сетях.....	50
2.5 Выводы по главе.....	52
3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА ФАКТИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ, НАХОДЯЩИХСЯ В РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	54
3.1. Описание методики.....	54
3.1.1 Область применения и задача методики.....	54
3.1.2 Цель испытаний.....	54
3.1.3 Выбор участков сети, подвергающихся испытаниям	55
3.1.4 Параметры испытаний	57
3.1.5 Порядок проведения испытаний и обработка параметров испытаний.....	58
3.1.6 Обработка результатов испытаний.....	60
3.1.7 Оценка результатов испытаний, выявление увлажнения, подтопления, затопления участков трубопроводов	61
3.2. Методика обработки результатов	63
3.3 Решение существенных проблем испытаний	64
3.3.1 Проблема не стационарности процесса теплообмена между теплоносителем и окружающей средой в сетях централизованного теплоснабжения.....	64
3.3.2 Проблема проведения испытаний тепловых сетей на фактические потери тепловой энергии без ограничения теплоснабжения потребителей	67
3.4 Преимущества предложенной методики в сравнении с действующей методикой проведения испытаний	68
3.5 Выводы по главе.....	70
4. АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА ФАКТИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ, НАХОДЯЩИХСЯ В РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	72

4.1 Описание и режим работы системы централизованного теплоснабжения, по отношению к которой проведена апробация методики	72
4.1.1 Описание источника тепловой энергии	72
4.1.2 Описание структуры тепловых сетей системы теплоснабжения и исполнение температурного графика.....	73
4.1.3 Описание наиболее распространенных типов присоединений теплопотребляющих установок потребителей к тепловым сетям	77
4.1.4 Используемая система дистанционного сбора показаний средств измерений в системе теплоснабжения.....	78
4.1.5 Достаточность объекта исследования для апробации методики.....	78
4.2 Применение методики и ее результаты	79
4.2.1 Расчет нормативных тепловых потерь на участках теплосети в системе теплоснабжения	79
4.2.2 Расчет фактических потерь тепловой энергии и температуры теплоносителя по участкам действующей теплосети	80
4.2.3 Оценка данных, полученных в результате апробации методики.....	81
4.3 Выводы по главе.....	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	94
Приложение А	108
Приложение Б.....	109
Приложение В.....	134
Приложение Г	162
Приложение Д.....	163
Приложение Е.....	164

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации

Развитие систем централизованного теплоснабжения сопряжено с постоянным поиском резервов сбережения тепловой энергии. Снижение тепловых потерь напрямую влияет на показатели эффективности транспортировки тепловой энергии. В связи с этим для теплоснабжающих организаций остается актуальным вопрос определения фактических потерь тепловой энергии в условиях эксплуатации тепловых сетей. Данный вопрос решается путем разработки методики проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения, находящихся в режиме эксплуатации.

Важным аспектом является отсутствие возможности проведения испытаний теплосети на фактические потери тепловой энергии по действующим методикам в отопительный период по причине необходимости прекращения теплоснабжения потребителей. В летний период проведение испытаний возможно в ограниченное время плановых отключений потребителей, но при этом уменьшается время, располагаемое для ремонтов тепловых сетей и источников тепловой энергии. Проведение испытаний требует значительных подготовительных работ, материальных ресурсов.

Имитируемые при испытаниях стационарные параметры тепловой энергии, распределение температуры теплоносителя в циркуляционном кольце не соответствуют реальным параметрам в условиях эксплуатации тепловых сетей в осенне-зимний период. Исходя из постоянных теплофизических изменений в работе системы теплоснабжения, результаты испытаний должны иметь динамический характер для случая нестационарного режима.

Степень научной разработанности проблемы

Вопросами определения фактических потерь тепловой энергии в тепловых сетях энергетических систем, исследованием процессов теплообмена с окружающей трубопроводы средой занимаются многие ученые и эксперты энергетической отрасли. Ключевыми авторами в этой области являются Соколов Е.Я., Николаев А.А., Зингер Н.М., Аксенов М.А., Манюк В.И., Қанлинский Я.И., Хиж Э.Б., Сапожников С.З., Митяков В.Ю., Гусаков А.А., и др. На оптимизацию систем транспорта и распределения тепловой энергии, моделирования тепловых режимов, анализу потерь тепловой энергии в сетях направлены научные исследования таких ученых, как Половников В.Ю., Кузнецов Г.В., Бадах В.Ф., Цыганкова Е.С., Пузаков В.С. Математическому моделированию тепловых потерь, обусловленных изменением свойств изоляции при эксплуатации трубопроводов, посвящены исследования Муныбина Л.И.,

Арефьева Н.Н., Иванова В.В., Черныша С.В., Букарова Н.В., Шкробко С.В., Чернышевой Л. А., Андрианова Д.Е., Штыкова Р.А., Уткина Ю.В., Слепченка В.С., Ронделя А.Н., Шаповаловой Н.Н., Умеркина Г.Х., Dolla Rosa A., Eriksson D. и др.

Объект исследования – участки тепловых сетей в системах централизованного теплоснабжения населенных пунктов.

Предмет исследования – фактические тепловые потери в сетях централизованного теплоснабжения.

Цель работы заключается в разработке методики проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии тепловых сетей централизованного теплоснабжения, находящихся в режиме эксплуатации.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Получение, систематизация фактических и нормативных данных об изменениях параметров тепловой энергии по участкам сетей централизованного теплоснабжения.

2. Сравнение фактических и нормативных данных о параметрах тепловой энергии по участкам тепловых сетей, выявление факторов, влияющих на потери тепловой энергии в нестационарном режиме.

3. Выявление зависимостей и построение графиков зависимости изменения фактических потерь тепловой энергии от скорости изменения температуры теплоносителя в тепловой сети.

4. Разработка и апробация методики проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии тепловых сетей централизованного теплоснабжения, находящихся в режиме эксплуатации.

Научная новизна

1. Определен критерий для расчета тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции трубопроводов тепловых сетей в нестационарном режиме.

2. Определена математическая зависимость изменения тепловых потерь на участке трубопроводов от скорости изменения температуры теплоносителя в теплосети для нестационарного режима работы.

3. Разработана и апробирована методика проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии тепловых сетей централизованного теплоснабжения, находящихся в нестационарном режиме эксплуатации (в режиме реального времени без ограничения теплоснабжения потребителей).

4. Решена задача цифровизации мониторинга потерь тепловой энергии по участкам действующей теплосети.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что параметры тепловой энергии, полученные с использованием средств измерений и системы дистанционной передачи

показаний приборов, позволили определить критерий для расчета тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции трубопроводов тепловых сетей в нестационарном режиме; позволили разработать методический подход для определения фактических потерь тепловой энергии на участках тепловых сетей с изменяющейся температурой теплоносителя; разработать методику проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии тепловых сетей централизованного теплоснабжения, находящихся в нестационарном режиме эксплуатации (в режиме реального времени без ограничения теплоснабжения потребителей).

Практическая значимость работы

1. Разработана методика проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения, находящихся в режиме эксплуатации, позволяет обеспечить выполнение следующих мероприятий:

- мониторинг сверхнормативных потерь тепловой энергии по участкам действующей теплосети;
- проведение испытаний тепловых сетей на фактические потери тепловой энергии без ограничения теплоснабжения потребителей.

Методика внедрена в теплоснабжающих организациях коммунального комплекса АО «Татэнерго», АО «Казэнерго» (Акты внедрения).

2. Разработан программный продукт на основании предложенных автором алгоритма и методического подхода к определению фактических потерь тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения (Свидетельство о регистрации).

Положения, выносимые на защиту:

1. Критерий для расчета тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции трубопроводов тепловых сетей в нестационарном режиме – скорость изменения температуры теплоносителя в начале участка теплосети.

2. Зависимость изменения тепловых потерь на участке трубопроводов от скорости изменения температуры теплоносителя в теплосети для нестационарного режима работы.

3. Методика проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии тепловых сетей централизованного теплоснабжения, находящихся в нестационарном режиме эксплуатации (в режиме реального времени без ограничения теплоснабжения потребителей).

Методология и методы исследования

В процессе исследования применялись теоретические и экспериментальные методы, в том числе методы эмпирического исследования, математической статистики, экспертных оценок, а также общенаучные методы исследования в рамках сравнительного, логического, статистического анализа. База данных, принятая за основу исследования, состоит из статистических и отчетных информационных данных, материалов, характеризующих

производственно-хозяйственную деятельность теплоснабжающих организаций Республики Татарстан, экспертные заключения, законодательные акты и другие нормативно-правовые документы.

Достоверность и обоснованность результатов работы обусловлены применением стандартных методик расчетов показателей теплоснабжения с применением современных прикладных программных продуктов и справочных данных, использованием аттестованной измерительной техники; обусловлены исследованиями фактических параметров тепловой энергии в тепловых сетях с использованием системы дистанционного сбора показаний приборов учета тепловой энергии на источниках теплоты и у потребителей, а также применением нормативных методик расчетов нормативных потерь тепловой энергии и справочных данных о нормах потерь тепловой энергии.

Личное участие автора

Результаты всех проведенных теоретических и экспериментальных исследований получены лично автором под руководством д.т.н., доцента Ахметовой Ирины Гареевны.

Автором получены, систематизированы фактические и нормативные данные об изменениях параметров тепловой энергии по участкам сетей централизованного теплоснабжения г. Казани. Выполнено сравнение фактических и нормативных данных о параметрах тепловой энергии по участкам тепловых сетей, выявлены факторы, влияющие на потери тепловой энергии в нестационарном режиме теплоснабжения. Выявлена зависимость и построены графики зависимости изменения фактических потерь тепловой энергии от скорости изменения температуры теплоносителя в тепловой сети. Разработана и апробирована методика проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии тепловых сетей централизованного теплоснабжения, находящихся в режиме эксплуатации.

Автор принимал участие в обсуждении результатов, написании статей и представлении докладов на конференциях.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

По тематике и методам исследования диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.4.5. – Энергетические системы и комплексы в части пунктов:

П. 1 – «Разработка научных основ (подходов) исследования общих свойств и принципов функционирования и методов расчета, алгоритмов и программ выбора и оптимизации параметров, показателей качества и режимов работы энергетических систем, комплексов, энергетических установок на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии в целом и их основного и вспомогательного оборудования» (п. 3 научной новизны – методика проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии тепловых

сетей централизованного теплоснабжения, находящихся в нестационарном режиме эксплуатации»

П. 2 – «Математическое моделирование, численные и натурные исследования физико-химических и рабочих процессов, протекающих в энергетических системах и установках на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии, их основном и вспомогательном оборудовании и общем технологическом цикле производства электрической и тепловой энергии» (п.п.1,2 научной новизны – определен критерий для расчета тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции трубопроводов тепловых сетей в нестационарном режиме; – определена математическая зависимость изменения тепловых потерь на участке трубопроводов от скорости изменения температуры теплоносителя в теплосети для нестационарного режима работы).

П. 5 – «Разработки и исследования в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве тепловой и электрической энергии, при транспортировке тепловой, электрической энергии и энергоносителей в энергетических системах и комплексах» (п.4 научной новизны – решена задача цифровизации мониторинга потерь тепловой энергии по участкам действующей теплосети).

Апробация работы

Основные положения работы, результаты теоретических и расчетных исследований обсуждались на 91-м и 92-м заседаниях Международного научного семинара им. Ю.Н. Руденко «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики» (Узбекистан, г. Ташкент, 2019 г., Россия, г. Казань, 2020 г.); 92-м научном заседании «Надежность энергоснабжения потребителей в условиях их цифровизации» (Россия, г. Казань, 2020 г.); на Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения – 2022 «Энергетика и цифровая трансформация» (Россия, г. Казань, 2022 г.) и др.

Публикации

По результатам диссертационного исследования опубликовано 11 работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России, 2 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных цитирования Scopus.

Структура и объем работы

Диссертация изложена на 165 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения. Основной текст диссертации содержит 17 рисунков и 15 таблиц (без учета приложений), список использованных источников содержит 154 наименования.

1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1.1 Проблематика расчета фактических тепловых потерь на участках трубопроводов тепловых сетей с изменяющимися параметрами работы в нестационарном режиме

Согласно [1] уровень централизованного теплоснабжения в России достигает 70%. В системах централизованного теплоснабжения величина годового отпуска тепловой энергии составляет $\approx 1,4$ млрд Гкал, в децентрализованных системах соответственно $\approx 0,6$ млрд. Гкал.

Суммарная протяжённость тепловых сетей по регионам страны – около 183,3 тыс. км (в двухтрубном исчислении). К системам централизованного теплоснабжения подключено порядка 100 млн чел. (72% от численности населения), 82% объектов жилищного фонда.

Преимущественно централизованное теплоснабжение характерно для городов, городских округов и населённых пунктов, где сосредоточено около 88% объёма установленной мощности источников теплоснабжения.

Системы централизованного теплоснабжения характеризуются значительной протяженностью и разветвленностью тепловых сетей.

На рисунке 1 представлена схема магистральных тепловых сетей филиала АО «Татэнерго» - Казанские тепловые сети на осенне-зимний период 2020-2021.

Как видно на рисунке 1, каждая магистральная сеть находится в работе от конкретного источника тепловой энергии и соединена с другими магистралями перемычками. Всего в эксплуатации АО «Татэнерго» в г. Казани находится более 1,3 тыс. км сетей (в однострубно́м исчислении).

Участки тепловых сетей от каждого источника тепловой энергии работают по утвержденным таблицам температур сетевой воды (температурным графикам), представляющим собой зависимость изменения температуры теплоносителя от температуры наружного воздуха. Применяемый АО «Татэнерго» в г. Казани температурный график качественно-количественного регулирования тепловой нагрузки - 135/65°C со срезкой 115/65°C.

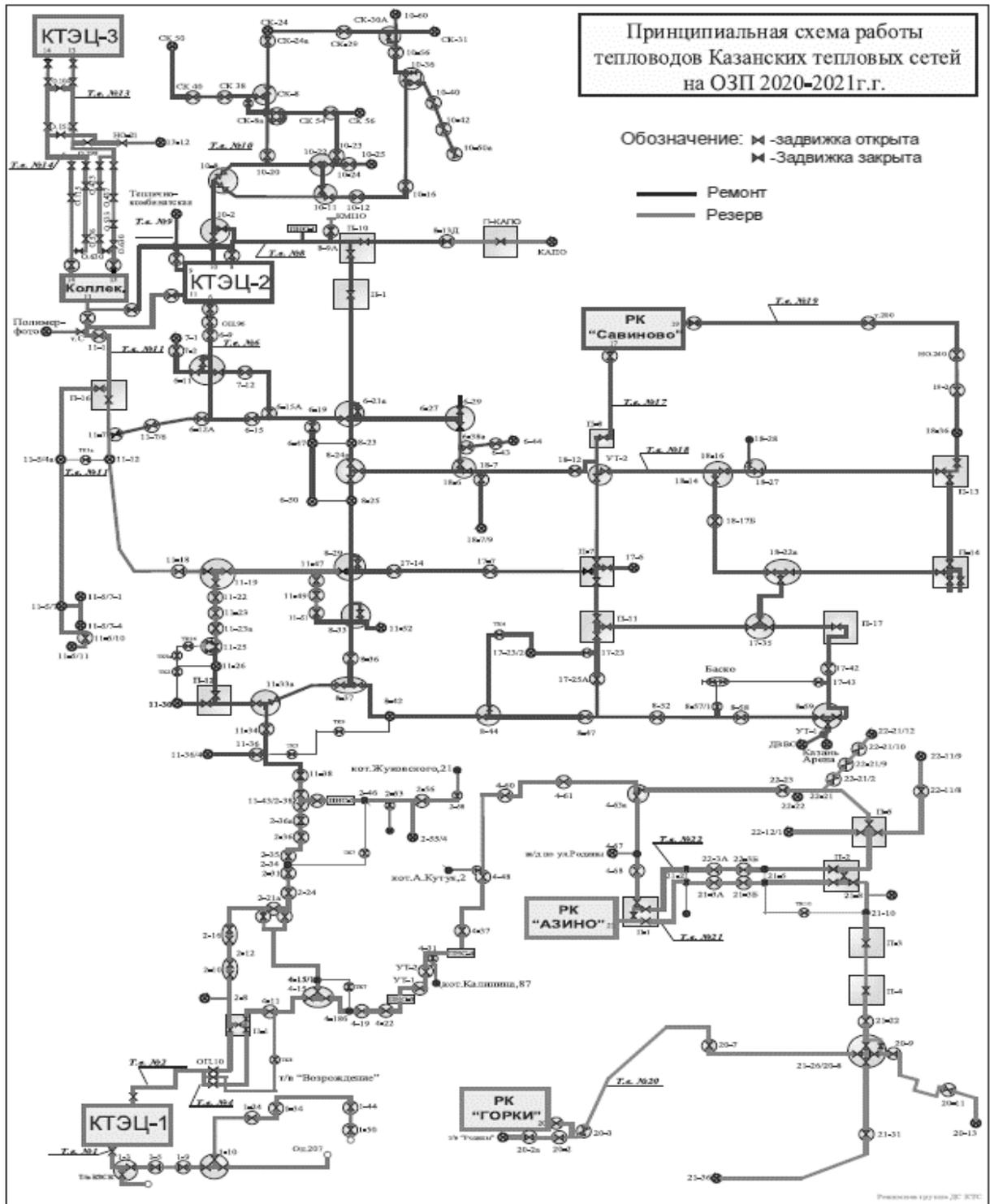


Рисунок 1 - Схема тепловых сетей филиала АО «Татэнерго» - Казанские тепловые сети

Нестационарный режим отпуска тепловой энергии в системах теплоснабжения обусловлен постоянно изменяющейся температурой наружного воздуха в осенне-зимний период, а также большой протяженностью и разветвленностью тепловых сетей. Как отмечено в [12], выполняются мероприятия по переносу функции приготовления горячей воды на объекты потребителей, что влечет за собой изменения режима потребления тепловой энергии. В

соответствии с расчетами в [15] переход объектов теплоснабжения на индивидуальные водоводяные подогреватели горячего водоснабжения влияет на режим работы систем теплоснабжения. Данный режим отпуска тепловой энергии характеризуется постоянным изменением температуры теплоносителя в различных точках системы (источник теплоты, промежуточные тепловые камеры, вводные теплопроводы объектов потребителей). При этом на протяжении времени потери тепловой энергии от теплоносителя в окружающую среду также имеют непостоянное значение.

В настоящей работе под участком тепловой сети понимается участок водяной теплосети в закрытой системе централизованного теплоснабжения, технологически связанный с другими участками указанной теплосети элементами трубопроводной арматуры, установленной в тепловых камерах, павильонах, тепловых колодцах, узловых точках теплосети, а также в индивидуальных тепловых пунктах объектов потребителей.

В соответствии с [2] при составлении температурного графика температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе тепловой сети на источнике теплоты, а также после узла смешения потребителя, в зависимости от температуры наружного воздуха определяются по формулам:

$$t_1 = (1 + u_p) \times t_3 - u_p \times t_2 \quad (1)$$

$$t_3 = t_B + 0,5 \times (t_{3p} - t_{2p}) \times \frac{t_B - t_H}{t_B - t_{HP}} + 0,5 \times (t_{3p} + t_{2p} + 2 \times t_B) \times \left(\frac{t_B - t_H}{t_B - t_{HP}} \right)^{\frac{1}{1+n}} \quad (2)$$

$$t_2 = t_3 - (t_{3p} - t_{2p}) \times \frac{t_B - t_H}{t_B - t_{HP}} \quad (3)$$

где t_1, t_2, t_3 – температуры теплоносителя в подающем, обратном трубопроводе тепловой сети, после узла смешения на вводе потребителя при температуре наружного воздуха соответствующей t_H , °С; u_p – расчетный коэффициент смешения; t_B – расчетная температура воздуха внутри помещений, °С; t_{HP} – расчетная температура наружного воздуха на отопление, °С; индекс «р» относится к параметрам на расчетные условия.

Согласно закону теплопроводности Фурье, при переносе теплоты теплопроводностью удельный тепловой поток q пропорционален градиенту температур, т.е.:

$$q = -\lambda_T \times \frac{\partial T}{\partial n} = -\lambda_T \times grad T, \text{ Вт/м}^2, \quad (4)$$

где λ_T - коэффициент теплопроводности (Вт/(м·К)).

Коэффициент теплопроводности является физическим параметром вещества и характеризует его способность передавать теплоту. В общем случае коэффициент теплопроводности зависит от температуры, давления и состояния вещества. Как отмечено в [47-49], как правило, коэффициент теплопроводности для различных материалов определяется опытным путем. Методы экспериментального определения коэффициента теплопроводности

основаны на измерении теплового потока и градиента температур в заданном веществе.

При наличии нестационарного теплообмена, когда элементы трубопроводов теплосети имеют различную температуру, в многослойной стенке (ядро потока теплоносителя, металл трубопровода, слой тепловой изоляции, слой окружающей трубопровод среды) температура распределена неравномерно, что делает расчет λ_T и соответственно расчет плотности теплового потока (в условиях постоянного изменения градиента температур) затруднительным.

Согласно уравнению Ньютона, скорость переноса теплоты пропорциональна разности температур между ядром потока теплоносителя и температурой на стенке. Уравнение теплоотдачи Ньютона:

$$q = \alpha \times (t - t_{ст}), \text{ Вт/м}^2, \quad (5)$$

где α - коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, t - температура в ядре потока теплоносителя, $t_{ст}$ - температура стенки.

Основной и наиболее трудной проблемой является нахождение коэффициента теплоотдачи α . Современные методы описания процесса коэффициента теплопроводности, основанные на теории пограничного слоя, позволяют получить теоретические (приближённые) решения для некоторых достаточно простых ситуаций.

В [11] авторами проведено исследование применения действующей методики расчета нормативных потерь тепловой энергии. Согласно полученным результатам методика расчета нормативных потерь, изложенная в [13], не может быть использована при расчетах проектирования тепловых сетей из-за того, что результаты расчетов по методике сильно расходятся с данными, получаемыми при натурных испытаниях. Методика также имеет ряд недостатков, связанных с применением коэффициентов теплопроводности теплоизоляционных материалов в абсолютно сухом состоянии (для трубопроводов подземной прокладки), ошибочными поправочными коэффициентами на увлажнение материалов тепловой изоляции в зависимости от влажности грунта, отсутствием реальных сроков допустимой эксплуатации теплоизоляционных и покровных материалов (не приводятся поправочные коэффициенты на срок эксплуатации).

В большинстве же встречающихся на практике случаев, особенно при расчетах теплообмена в действующих сетях теплоснабжения, точное определение значения коэффициента теплоотдачи в каждый момент времени экспериментальным путём невыполнимо.

Вывод: в случае нестационарного режима расчет фактических потерь тепловой энергии в эксплуатируемых тепловых сетях в каждый момент времени по вышеописанным формулам расчета теплопередачи (потерь тепловой энергии) практически неосуществим.

Практическое решение расчета потерь тепловой энергии в системах централизованного

теплоснабжения основано на организации достоверного приборного учета тепловой энергии, организованного на источниках теплоты, в узловых точках теплосети и объектах потребителей.

Учет фактически отпущенного количества тепловой энергии от источников тепловой энергии осуществляется узлами учета, установленными на коллекторах тепловых выводов источников. У потребителей коммерческий учет потребленного количества тепловой энергии также в основном организован с помощью приборов учета.

Узлы учета тепловой энергии во всех случаях их установки в системе централизованного теплоснабжения должны соответствовать требованиям законодательства об учете тепловой энергии, изложенным в [9].

Учитывая то, что в структуре полезного отпуска тепловой энергии превалирует отпуск теплоты в многоквартирные дома (более 70%), то в рамках рассмотрения уровня оснащённости объектов потребителей коммерческими узлами учета теплоты целесообразно рассмотреть многоквартирные дома.

Согласно государственному докладу «О состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2021 году» самый высокий уровень оснащённости МКД общедомовыми приборами учета тепловой энергии среди субъектов Российской Федерации - Республика Алтай (99,8%), г. Москва (98,4%), Республика Татарстан (97,8%), г. Санкт-Петербург (97,4%), Чувашская Республика (94,3%), Республика Мордовия (91%), Ненецкий автономный округ (90,7%) и Липецкая область (90,3%). Значение показателя от 60% до 80% зафиксировано в 25 регионах, свыше 80% — в 16 регионах (рисунок 2).

Оснащённость многоквартирных домов общедомовыми приборами учета тепловой энергии в 2021 г. (количество субъектов Российской Федерации)

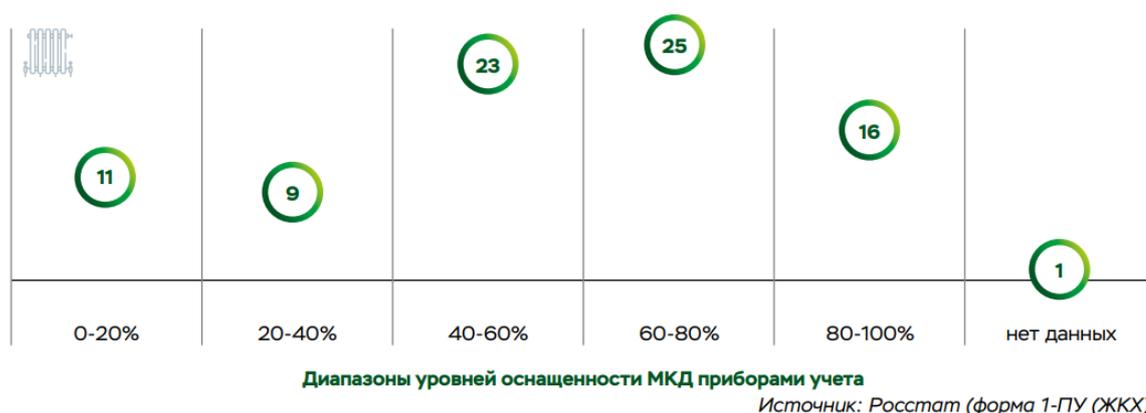


Рисунок 2 - Уровень оснащения многоквартирных домов приборами тепловой энергии

На предприятиях теплоэнергетики расчет величины всего объема фактических потерь тепловой энергии в действующих сетях одной централизованной системы теплоснабжения производится, как правило, за отчетный месячный период (связано с периодом снятия

потребителями показаний) по формуле (балансовый метод):

$$Q_{\text{пот}}^{\text{общ}} = \sum_{k=1}^n Q_{\text{ит}} - \sum_{l=1}^m Q_{\text{потр}} \quad (6)$$

где $Q_{\text{ит}}$ – количество тепловой энергии, отпущенное от k -го источника тепловой энергии, Гкал; n – количество источников тепловой энергии; $Q_{\text{потр}}$ – количество тепловой энергии, потребленной объектом теплоснабжения (потребитель), Гкал; m – количество объектов потребителей.

Полученное балансовым методом значение фактических потерь тепловой энергии в системе централизованного теплоснабжения $Q_{\text{пот}}^{\text{общ}}$ отражает общие тепловые потери на всех участках трубопроводов тепловых сетей от источников тепловой энергии до объектов потребителей за большой промежуток времени (как правило, месяц).

Значение $Q_{\text{пот}}^{\text{общ}}$ является фактическим показателем системы централизованного теплоснабжения в целом. На практике, фактические тепловые потери каждого участка тепловой сети при этом не рассчитываются в силу отсутствия методологической базы определения фактических потерь тепловой энергии по участкам трубопроводов (с учетом того, что приборы учета тепловой энергии, установленные непосредственно в начале и в конце каждого участка, отсутствуют).

В результате продолжительной эксплуатации сетей централизованного теплоснабжения вследствие воздействия на сети ряда сложных физических и химических процессов на отдельных участках трубопроводов происходит частичное или полное разрушение покровного слоя тепловой изоляции, ее деформация, проникновение влаги в теплоизоляционный слой и непосредственно в канал прокладки сети или грунт (для бесканального типа прокладки). Это приводит к значительному изменению коэффициента теплопроводности изоляционного материала. Поэтому в эксплуатационных условиях фактические теплозащитные свойства изоляционных конструкций значительно отличаются от нормативных значений, рассчитанных по справочным данным.

Согласно [50-57] статистически наиболее значимой причиной выхода из строя тепловых сетей является наружная коррозия металла в условиях нахождения трубы в увлажненной среде или попросту в воде при подтоплении, затоплении канала.

Следовательно, в реальных условиях эксплуатации тепловых сетей фактические значения тепловых потерь на отдельных участках существенно отличаются от расчетных (нормативных) значений, что подтверждается сравнением фактических и нормативных потерь.

Учитывая вышеизложенное, величины фактических потерь тепловой энергии и их изменение во времени по каждому участку теплосети в действующих сетях теплоснабжения не могут быть установлены без специально разработанной методики испытаний и алгоритмов

расчета.

Режим работы тепловых сетей разветвленной системы централизованного теплоснабжения также зависит от способа регулирования отпуска тепловой энергии на источниках теплоты (качественное, количественное, качественно-количественное), фактической температуры наружного воздуха, степени энергоэффективности тепловых энергоустановок объектов теплоснабжения, распределения значений давлений и расходов теплоносителя в сети, перепадов давления между подающей и обратной линиями теплосети, и конструктивных характеристик трубопроводов.

Расчет теплового потока (фактических тепловых потерь), вектор которого направлен в сторону уменьшения температуры и его модуль постоянно изменяются во времени, является задачей моделирования и прогнозирования потерь тепловой энергии в сетях.

Значения параметров, влияющих на режим работы теплосети, постоянно изменяются во времени (температура наружного воздуха, расход теплоносителя, температуры теплоносителя).

Подытоживая вышеизложенное, в реальной теплосети теплообмен (теплопередача) между теплоносителем и внешней средой через многослойную цилиндрическую стенку является нестационарным и его расчет должен описываться уравнением, полученным в результате испытаний тепловых сетей на фактические тепловые потери для нестационарного режима работы сетей.

1.2 Анализ существующих методик расчета нормативных, фактических тепловых потерь и испытаний тепловых сетей на фактические тепловые потери

Решение задачи расчета фактических тепловых потоков в сетях централизованного теплоснабжения для стационарных процессов реализовано путем расчета нормативов технологических потерь тепловой энергии при ее передаче в соответствии с нормативным документом [3] с учетом проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии по методическим указаниям [4,5].

Однако расчет тепловых потерь в нестационарных условиях при постоянно изменяющемся градиенте температур $gradT$, а в особенности расчет фактических потерь и их соотношения к нормативным потерям, методическими указаниями не предусмотрен.

Порядок определения и формулы расчета нормативов технологических потерь тепловой энергии при ее передаче по сетям централизованного теплоснабжения Российской Федерации приведены в [3]. Нормативы рассчитываются для каждой организации, эксплуатирующей

тепловые сети. Норматив технологических потерь тепловой энергии — это нормируемое количество потерь тепловой энергии (Гкал), затрачиваемое при транспорте теплоносителя в системе теплоснабжения.

Как следует из п. 11.3.1 [3]:

- для участков тепловой сети, подвергавшимся испытаниям на тепловые потери, в качестве нормативных значений принимаются полученные при испытаниях значения фактических часовых тепловых потерь;

- для участков тепловой сети, аналогичных подвергавшимся тепловым испытаниям по типам прокладки, видам теплоизоляционных конструкций и условиям эксплуатации, в качестве нормативных принимаются значения часовых тепловых потерь, определенные по соответствующим нормам тепловых потерь с введением поправочных коэффициентов, определенных по результатам испытаний.

При этом, в [3] максимальные значения поправочного коэффициента ограничены значениями от 1,2 до 1,7 (в зависимости от типа прокладки теплосети и соотношения подземной и надземной прокладок по материальной характеристике).

Методические указания для определения фактических эксплуатационных тепловых потерь через тепловую изоляцию тепловых сетей и разработки на их основе нормируемых эксплуатационных тепловых потерь приведены в [4,5].

Согласно указанным методическим указаниям для определения фактических тепловых потерь на испытываемых участках двухтрубной водяной тепловой сети и сравнения их с нормативными значениями должно быть организовано циркуляционное кольцо, состоящего из прямого и обратного трубопроводов с перемычкой между ними. Все ответвления и отдельные абоненты должны быть от него отсоединены, а расход на всех участках тепловой сети должен быть одинаков.

При этом минимальный объем испытываемых участков по материальной характеристике должен быть не менее 20% материальной характеристики всей сети. Таким образом, должно образоваться кольцо большой протяженности (несколько километров).

Нельзя не отметить важный аспект отсутствия возможности проведения испытаний теплосети на фактические потери тепловой энергии по действующим методикам [4,5] в отопительный период по причине необходимости прекращения теплоснабжения потребителей, так как процесс прекращения теплоснабжения для проведения испытаний законодательно не урегулирован (будут нарушены договорные обязательства перед потребителями, нормированные отклонения температуры теплоносителя в подающей линии водяной тепловой сети в соответствии с утвержденным для системы теплоснабжения графиком предусмотрены в [6] не более +/- 3%, перебои в теплоснабжении не допускаются).

В летний период проведение испытаний возможно только в ограниченное время плановых отключений потребителей (законодательно установлен срок не более 14 дней), но при этом уменьшается время, располагаемое для ремонтов тепловых сетей и источников тепловой энергии. Профилактические ремонтные работы, гидравлические испытания тепловых сетей в летний период блокируют возможность организации циркуляционного кольца, необходимого для испытаний.

Как указано в [7,63,67], проведение тепловых испытаний по определению количественных значений тепловых потерь через изоляцию трубопроводов требует значительных подготовительных работ, материальных ресурсов и прекращения теплоснабжения потребителей на время проведения испытаний. Испытания возможно провести не на всех трубопроводах тепловых сетей, вследствие чего невозможно установить достоверные величины поправочных коэффициентов, которые, в соответствии с нормативными документами [4,5] с учетом ограничений по значениям коэффициентов в [3], предлагается использовать при определении тепловых потерь.

Необходимо отметить значительный недостаток методик [4,5], заключающийся в том, что потери в теплосети во время испытаний искусственно создаются (наводятся) путем организации температурной волны на протяжении испытываемого кольцевого участка теплосети. Следовательно, оценка испытаний по полученным значениям фактических потерь тепловой энергии никак не соотносится с фактическими потерями тепловой энергии в реальном режиме работы теплосети.

Дополнительная погрешность в результатах испытаний вносится не только фактором наведенного режима работы испытываемого участка теплосети, но и непродолжительным временем испытаний (2-3 дня), в то время как в реальности продолжительность отопительного периода на порядок больше времени испытаний.

Кроме того, полученные по результатам испытаний значения поправочных коэффициентов, определенных экспериментальным путем, имеют достаточно высокую величину дисперсии и, соответственно, вводят не разрешаемую погрешность в расчеты. К данному выводу также пришли авторы работ [96-98,130-137].

Приведенные в [8] результаты исследования возможности измерения (расчета) потерь тепловой энергии через теплоизоляцию трубопроводов согласно [3,4,5] показали следующее:

- нормы тепловых потерь, приведенные в [3], имеют разную структуру (нормы для сетей, спроектированных в 1959-1990 гг. и с 2004 г. по настоящее время содержат суммарные значения потерь в подающем и обратном трубопроводах, нормы 1990-1998 гг., 1998-2003 гг. содержат отдельные значения потерь для подающего и обратного трубопроводов), что чрезвычайно затрудняет их использование. Между тем, для раздельного учета нормативных

потерь в подающем и обратном трубопроводах теплосети суммарные показатели в нормах 1959-1990 гг. и с 2004 г. могут быть разделены между подающим и обратным трубопроводами в тех же пропорциях, что и в нормах 1990-1998 гг. и 1998-2003 гг.;

- испытания тепловых сетей на фактические потери в соответствии с [4] не выполнимо по целому ряду технических причин, к тому же измерение фактических потерь тепла на 20% трубопроводов не может отражать реальные значения потерь по теплосети в целом;

- имитируемые при испытаниях стационарные параметры тепловой энергии, расхода теплоносителя, распределение температуры теплоносителя в циркуляционном кольце не соответствуют реальным параметрам в условиях эксплуатации тепловых сетей в осенне-зимний период.

На законодательном уровне закреплено требование к организациям, эксплуатирующим тепловые сети, о проведении испытаний на тепловые потери не реже одного раза в 5 лет. Однако, на практике, учитывая экономическую целесообразность снижения потерь тепловой энергии в сетях, испытания для выявления фактических тепловых потерь необходимо проводить на действующих тепловых сетях в постоянном (онлайн) режиме и охват испытаниями тепловых сетей должен приближаться к 100% протяженности сетей в системе теплоснабжения.

Учитывая вышеизложенные сложности в организации и проведении испытаний на фактические тепловые потери (их отклонения от нормативных значений) для теплоснабжающих организаций является актуальной задачей проведения испытаний, находящихся в процессе эксплуатации тепловых сетей в постоянном режиме без ограничения теплоснабжения потребителей и с учетом нестационарного режима теплообмена (постоянно изменяющихся во времени значений фактических потерь тепловой энергии).

Существующие нормативные документы по расчетам потерь тепловой энергии от сетей теплоснабжения и методики испытаний тепловых сетей на фактические тепловые потери предполагают расчет и наведение стационарного режима работы теплосети (стационарный режим). Следовательно, результаты нормирования потерь тепловой энергии и отчеты об испытаниях на фактические потери дают статические значения для расчета потерь. В то время, как в реальности исходя из постоянных физических изменений в работе централизованной системы теплоснабжения, значения нормативных потерь и результаты испытаний (поправочные коэффициенты к нормативным значениям потерь) должны иметь динамический характер для случая нестационарного режима.

1.3 Обоснование использования современных систем дистанционного сбора показаний средств измерений для исследования фактических тепловых потерь в нестационарном режиме действующих тепловых сетей

В соответствии с законодательно установленными требованиями, изложенными в [10,60], в 2009-2013 гг. количество приборов учета тепловой энергии у потребителей значительно увеличилось.

К примеру, в зоне действия единой теплоснабжающей организации АО «Татэнерго» (Республика Татарстан) на сегодняшний день свыше 98% потребления тепловой энергии определяется с помощью коммерческих приборов учёта, из которых более 50% оснащены средствами дистанционной передачи данных в автоматизированную систему сбора данных компании.

На сегодняшний день наблюдается высокая степень оснащённости разветвленных централизованных систем теплоснабжения средствами измерения объемов тепловой энергии, расходов и температуры теплоносителя. Как правило, эти средства измерений входят в состав узлов учета параметров тепловой энергии, размещенных на выводах источников теплоты, узловых точках теплосети и в индивидуальных тепловых пунктах объектов теплоснабжения.

В соответствии с [9] теплоснабжающая организация и потребитель имеют право установки на узле учета дополнительных приборов для контроля режима подачи и потребления тепловой энергии, в том числе для дистанционного снятия показаний с тепловычислителя, не препятствующих при этом осуществлению коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя и не влияющих на точность и качество измерений. В случае установки на узле учета оборудования дистанционного снятия показаний доступ к указанной системе вправе получить теплоснабжающая организация и потребитель в порядке и на условиях, которые определяются договором.

Таким образом, законодательное регулирование в России создало предпосылки для развития приборного учета теплоэнергии в сторону обеспечения узлов учета средствами дистанционной передачи данных и соответствующие информационные системы сбора данных.

Установка на узле учета тепловой энергии средства дистанционной передачи данных технически обеспечивает дистанционную (в онлайн режиме) передачу следующих показаний:

- а) время работы приборов учета в штатном и нештатном режимах;
- б) давления в подающем и обратном трубопроводах;
- в) температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах;
- г) расхода теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах.

При этом показания узлов учета с помощью средств дистанционной передачи данных поступают в автоматизированные системы дистанционного сбора данных. Такие автоматизированные системы с соответствующим программным обеспечением (программное обеспечение позволяет реализовать протоколы передачи данных с узлов учета на сервер системы сбора данных) устанавливаются как в теплоснабжающих организациях, так и у потребителей, имеющих на своем балансе большое количество объектов и осуществляющих цифровой мониторинг режима теплоснабжения объектов.

Автоматизированные системы сбора данных с приборов учета позволяют получить следующие технические эффекты:

- диспетчеризация (дистанционный сбор показаний приборов учета в режиме онлайн);
- мониторинг параметров тепловой энергии;
- достоверный сбор данных о фактическом потреблении тепловой энергии, теплоносителя, что позволяет проводить анализ (проверку) предоставляемых потребителями отчетов о теплоснабжении;
- передача накопленных данных с приборов учета для автоматической выгрузки данных в программный комплекс для проведения анализа и последующих расчетов (исключение дублирующих функций персонала);
- автоматизация досчета нештатных ситуаций в работе приборов учета (программный анализ нештатных ситуаций, алгоритм досчета всего времени остановки или некорректного счета тепловой энергии $\approx 1\%$ от объема тепла по показаниям приборов учета).
- невозможность безучетного потребления в случае экономической выгоды от не сдачи показаний (когда норматив потребления ниже факта).

Необходимо отметить то, что в России заинтересованные организации либо создают собственную автоматизированную систему сбора данных с узлов учета, либо используют имеющиеся готовые решения на рынке информационных услуг.

Способы получения данных в автоматизированную систему сбора данных с узлов учета для цифрового мониторинга в режиме реального времени:

- непосредственный дистанционный сбор показаний приборов учета источников тепловой энергии, в тепловых камерах узловых точек теплосети и потребителей;
- опосредованный дистанционный сбор показаний приборов учета с сервера оператора коммерческого учета (в городах присутствия сторонних операторов коммерческого учета).

Среди решений на рынке следует отметить следующие технологии беспроводной передачи данных с узлов учета тепловой энергии в систему сбора данных:

- LoRaWAN - это один из типов LPWAN сетей, расшифровывается как Low-power Wide-area Network — «энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия». LPWAN - беспроводная

технология передачи небольших по объёму данных на дальние расстояния, разработанная для распределённых сетей телеметрии, межмашинного взаимодействия и интернета вещей. В основном устройства с LPWAN подключением - типичные микроконтроллеры с минимальным потреблением энергии и беспроводным сетевым интерфейсом. Такие устройства как правило связываются со своим шлюзом (базовой станцией), который имеет IP адрес для выхода в интернет.



Рисунок 3 - Архитектура дистанционной передачи данных с использованием технологии LoRaWAN (оконечные узлы – микроконтроллеры, подключенные к теплосчетчикам)

- GSM/GPRS/3G/4G - беспроводная технология передачи с использованием ресурсов мобильной (сотовой) сети. На узле учета к теплосчетчику подключается GSM-терминал, использующий сети операторов мобильной связи для передачи и приёма информации (устройство предоставляет мобильный доступ в Интернет).

GSM-терминал (модем) представляет собой беспроводной модем, который работает с GSM-сетями. GSM-терминал обеспечивает передачу данных из любой точки земного шара, охваченной GSM-сетью. Для использования сети сотовой связи требует установку SIM-карты.

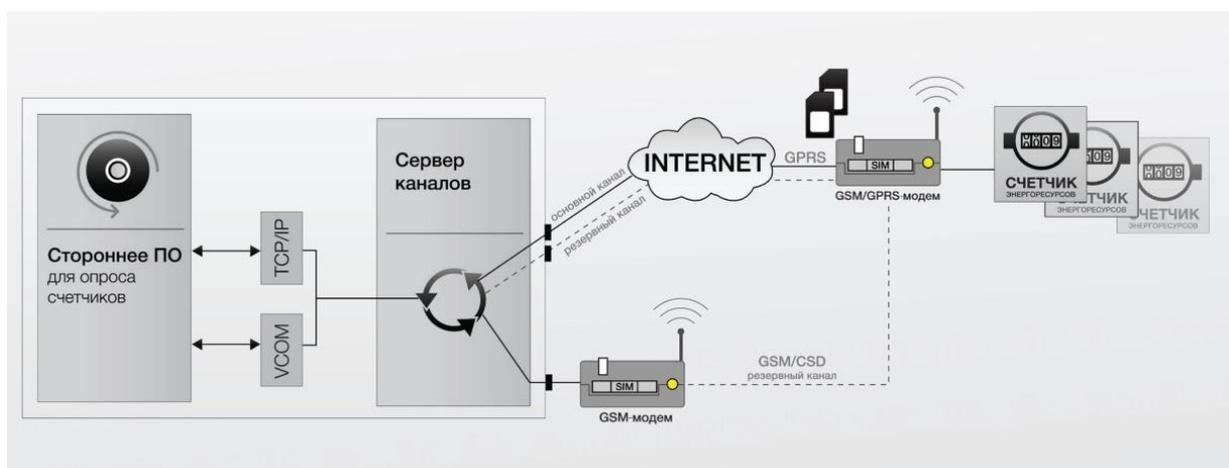


Рисунок 4 - Архитектура дистанционной передачи данных с использованием технологии GSM/GPRS

Нельзя не учитывать классическую технологию проводной передачи данных с узлов учета тепловой энергии в систему сбора данных Ethernet - система (способ) передачи данных через локальное присоединение к сети Интернет. Используется Ethernet-конвертер, подключаемый к теплосчетчику с одной стороны и к проводной сети Интернет с другой.

По существу, система дистанционного сбора показаний средств измерений параметров теплоносителя является инструментом, заменяющим физические многократные измерения параметров. Такая система способна хранить полученные значения измерений в точках теплосети с учетом фиксации точки (места) измерения, времени измерения в цифровом массиве данных, которые могут быть математически обработаны с целью расчета фактических тепловых потерь и их изменения во времени.

Цифровая технология применения системы дистанционного сбора показаний средств измерений параметров теплоносителя для расчета фактических тепловых потерь заключается в следующем.

Каждый объект в системе теплоснабжения, оснащенный приборами учета тепловой энергии и теплоносителя, интегрированными в систему дистанционного сбора показаний средств измерений параметров теплоносителя, является контрольной точкой для расчета потерь на участке трубопроводов. Каждая контрольная точка одновременно является базовой точкой для следующей по ходу движения теплоносителя контрольной точки.

В каждой контрольной точке фиксируются фактические и нормативные параметры качества тепловой энергии, а также время фиксации параметра. Контрольные точки соединяются между собой линиями (участками) тепловых сетей применительно к фактической схеме работы теплосети. Отправной точкой для расчета фактических потерь является время отсчета, которое выбирается пользователем системы. Для исключения влияния тепловых нагрузок систем горячего водоснабжения потребителей на сходимость результатов расчета нормативной температуры теплоносителя рекомендуется использовать часы наименьшего водоразбора горячей воды (с 02:00 до 05:00).

Одним из количественных показателей вышеописанного цифрового мониторинга параметров тепловой энергии является количество расчетов отклонений фактической температуры теплоносителя от нормативного значения на конце участков теплосети по объектам, охваченным системой дистанционного сбора показаний средств измерений.

Например, для города Казань в системе теплоснабжения АО «Татэнерго» сосредоточено 2346 объектов потребителей, узлы учета тепловой энергии которых интегрированы в систему дистанционного сбора показаний средств измерений. В случае расчета отклонений температур один раз в час, в динамике за отопительный период (210 суток) цифровая система выполнит порядка 11,82 млн. расчетов отклонений на участках теплосети до каждого потребителя, что

было бы невозможно выполнить штатному персоналу, в обязанности которого входит контроль качества поставляемой тепловой энергии потребителям.

С точки зрения оптимального количества измерительных устройств для проведения расчетов фактических потерь тепловой энергии необходимо отметить следующее:

1) достаточность измерения только лишь температуры теплоносителя (наиболее значимый показатель качества транспорта тепловой энергии и низкая стоимость внедрения средств измерений, их интеграции в систему дистанционного сбора показаний средств измерений);

2) средства измерения температуры теплоносителя на выводах источников тепловой энергии и у потребителя установлены в рамках исполнения требований законодательства в [10];

3) средства измерения температуры теплоносителя на линиях теплосети устанавливаются в доступных элементах (павильоны, тепловые камеры, узловые точки с врезками трубопроводов в магистральные и квартальные сети). Таким образом, количество средств измерений, необходимых к установке, зависит от количества элементов теплосети, где размещается и обслуживается тепломеханическое оборудование и трубопроводная арматура (в месте, защищенном от негативного воздействия окружающей среды на средство измерения).

Схематично визуализация системы дистанционного сбора показаний средств измерений параметров теплоносителя представлена на рисунке 5.

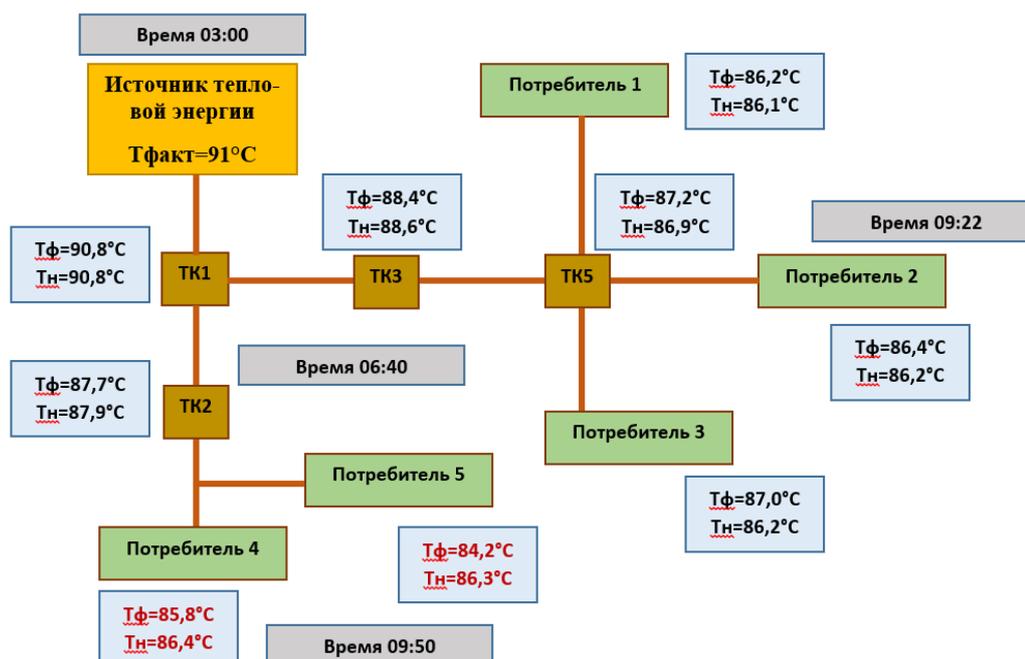


Рисунок 5 - Визуализация системы дистанционного сбора показаний средств измерений параметров теплоносителя. Т_н – температура теплоносителя, рассчитанная исходя из нормативных потерь, Т_ф – фактическая температура теплоносителя, ТК – тепловая камера

Таким образом, в целях использования современных систем дистанционного сбора показаний средств измерений для исследования фактических тепловых потерь в нестационарном режиме действующих тепловых сетей необходимо задать диапазон температур на участках тепловой сети и у потребителей соответствующий норме, с учетом времени прохождения температурной волны от источника тепловой энергии до объекта теплопотребления.

Фактические данные о температуре теплоносителя на источнике теплоты, в тепловых камерах магистральных и распределительных теплопроводов, в тепловых пунктах объектов потребителей, полученные с использованием системы дистанционного сбора показаний средств измерений в совокупности с расчетными нормативными значениями температуры теплоносителя позволяют рассчитать фактические потери тепловой энергии на участке теплопроводов через теплоизоляционные конструкции теплопроводов и их изменение во времени. Согласно [21,23, 32, 34] использование системы дистанционного сбора показаний для исследования теплообмена между теплоносителем и окружающей трубопроводы средой является актуальным.

Исходя из вышеизложенного система дистанционного сбора показаний средств измерений применима для исследования фактических тепловых потерь в тепловых сетях с учетом нестационарного режима теплообмена благодаря набору данных о фактической температуре теплоносителя на выводах источника теплоты и на вводах объектов потребителей.

1.4 Выводы по главе

Значения параметров, влияющих на режим работы теплосети в разветвленной системе централизованного теплоснабжения, постоянно изменяются во времени.

Существующие методики испытаний тепловых сетей на фактические тепловые потери предполагают организацию стационарного режима работы теплосети. В следствие чего, результаты испытаний дают статические значения потерь, не соответствующие реальным условиям эксплуатации трубопроводов теплосети.

В реальности исходя из постоянных физических изменений в работе централизованной системы теплоснабжения, значения нормативных потерь и полученные результаты испытаний (поправочные коэффициенты к нормативным значениям потерь) должны иметь динамический характер для случая нестационарного режима.

Существующие на рынке информационных (цифровых услуг) решения по организации

автоматизированных систем дистанционного сбора показаний средств измерений более чем актуальны для их использования в целях исследования (проведения испытаний) фактических тепловых потерь в нестационарном режиме работы действующих тепловых сетей систем теплоснабжения населенных пунктов.

Для использования систем дистанционного сбора показаний средств измерений для исследования фактических тепловых потерь в нестационарном режиме действующих тепловых сетей необходимо задать диапазон температур на участках тепловой сети и у потребителей соответствующий норме, с учетом времени прохождения температурной волны от источника тепловой энергии до объекта теплопотребления.

Фактические данные о температуре теплоносителя на источнике теплоты, в тепловых камерах магистральных и распределительных теплопроводов, в тепловых пунктах объектов потребителей, полученные с использованием системы дистанционного сбора показаний средств измерений в совокупности с расчетными нормативными значениями температуры теплоносителя позволят рассчитать фактические потери тепловой энергии на участке теплопроводов и изменение их во времени.

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ НА УЧАСТКАХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ПАРАМЕТРАМИ ВО ВРЕМЕНИ (НЕСТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ)

2.1 Построение модели расчетных (нормативных) тепловых потерь на участках теплотрассы в системе теплоснабжения

2.1.1 Особенности моделирования расчетных тепловых потерь и выбор конкретной системы теплоснабжения для построения модели

Как известно, системы централизованного теплоснабжения городов и населенных пунктов имеют следующие свойства:

- каждая система теплоснабжения состоит из источника тепловой энергии (тепловая электрическая станция, районная котельная), тепловых энергоустановок объектов теплопотребления, соединенных с источником тепловой энергии технологическими трубопроводами (тепловыми сетями);

- существенная протяженность и разветвленность тепловых сетей (магистральные, распределительные и квартальные тепловые сети) различных диаметров трубопроводов;

- теплоноситель протекает по трубопроводам от источника до каждого объекта потребителя за различное время;

- процесс теплоснабжения представляет собой подачу теплоносителя (как правило, сетевой воды) к границе балансовой принадлежности трубопроводов потребителя и возврат теплоносителя от потребителя на источник теплоты;

- температура подаваемого теплоносителя изменяется в соответствии с [6] в зависимости от температуры наружного воздуха.

Согласно [60], технологическое подключение объектов потребителей к источнику тепловой энергии посредством тепловых сетей образует систему теплоснабжения, в которой на основании заключенного договора на теплоснабжение зарезервирована тепловая мощность для обеспечения качественного и надежного теплоснабжения конкретного потребителя от конкретного источника тепловой энергии.

В связи с использованием в г. Казани двухтрубной системы тепловых сетей (по системам АО «Татэнерго») для исследования необходимо построение 2-х моделей расчетных тепловых

потерь на участках теплосети:

- модель теплопотерь на подающих участках, где поток теплоносителя направлен от источника теплоты к потребителям;
- модель теплопотерь на обратных участках, где поток теплоносителя возвращается от потребителей к источнику теплоты.

Учитывая то, что в системах теплоснабжения происходит постоянное изменение температуры подаваемого теплоносителя относительно температуры наружного воздуха при практически неизменном расходе теплоносителя (качественный режим) каждая модель должна быть рассчитана с определенной дискретностью значений температуры теплоносителя.

Немаловажным является расчет температуры теплоносителя в конце каждого участка трубопроводов для последующего его сравнения с фактическим значением температуры для оценки и сравнения нормативных и фактических потерь тепловой энергии.

Согласно [14] в г. Казани имеются 194 системы централизованного теплоснабжения, из которых 7 – крупные системы с разветвленной теплосетью.

На рисунке 6 представлена схема тепловых сетей Ново-Савиновского района г. Казани, система теплоснабжения которого образована источником теплоты «Районная котельная «Савиново» (РК Савиново).

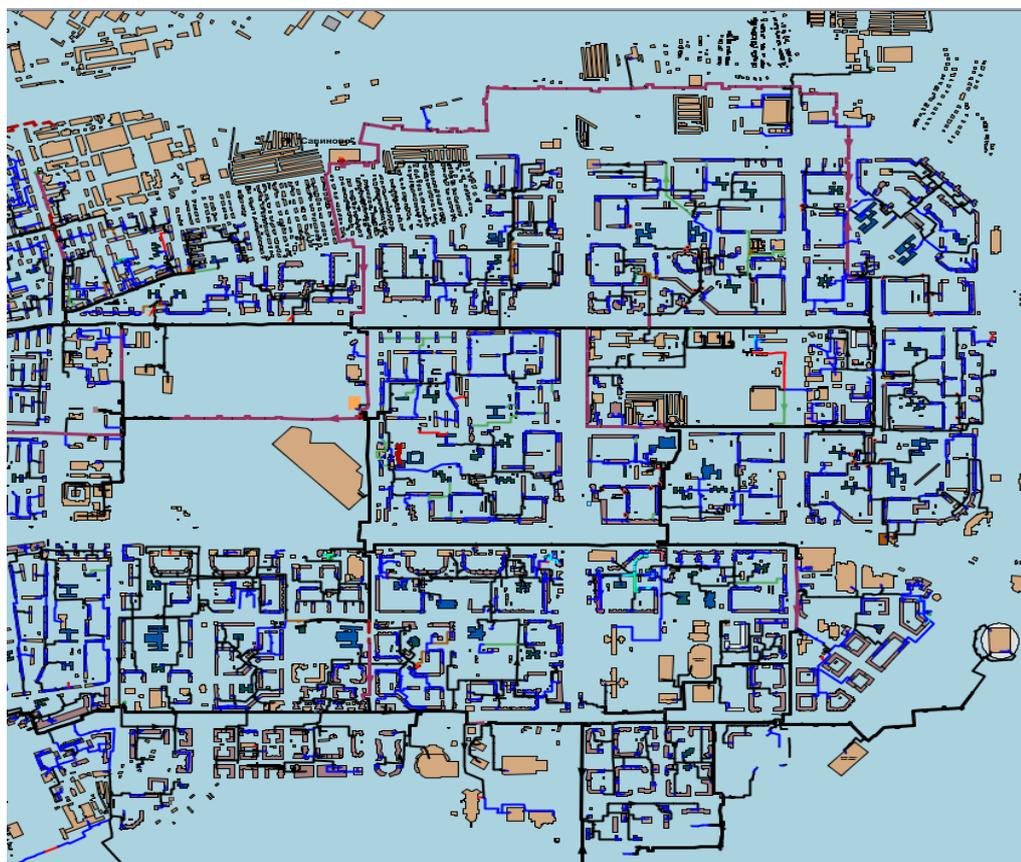


Рисунок 6 - Схема тепловых сетей Ново-Савиновского района г. Казани в системе теплоснабжения от районной котельной «Савиново»

Приняв во внимание то, что проекты систем теплоснабжения в Российской Федерации основаны на использовании сетевой воды, разветвленной сети трубопроводов, а режим теплоснабжения определяется используемым температурным графиком и расчетными расходами сетей воды, в настоящей работе приведены результаты исследования для системы теплоснабжения от районной котельной «Савиново», определенной Схеме теплоснабжения Казани [14].

2.1.2 Состав модели расчетных (нормативных) тепловых потерь

Состав модели расчетных тепловых потерь по участкам подающих трубопроводов:

- А) расчетные схемы участков тепловой сети (пример представлен на рисунке 7);
- Б) характеристики и протяженности участков тепловой сети (пример представлен в таблице 1);

Таблица 1 - Характеристики участка тепловой сети от РК Савиново до Павильона №8

Наименование участка	Протяженность, м	Диаметр, мм	Способ прокладки	Тип изоляции	Год ввода	β	Расход, т/ч
От РК Савиново до П-8	784,5	1000	подземная канальная	Мин.вата	2016-2017	1,15	4968

- В) расчеты параметров теплоносителя на участках теплосети (пример представлен в таблице 2);

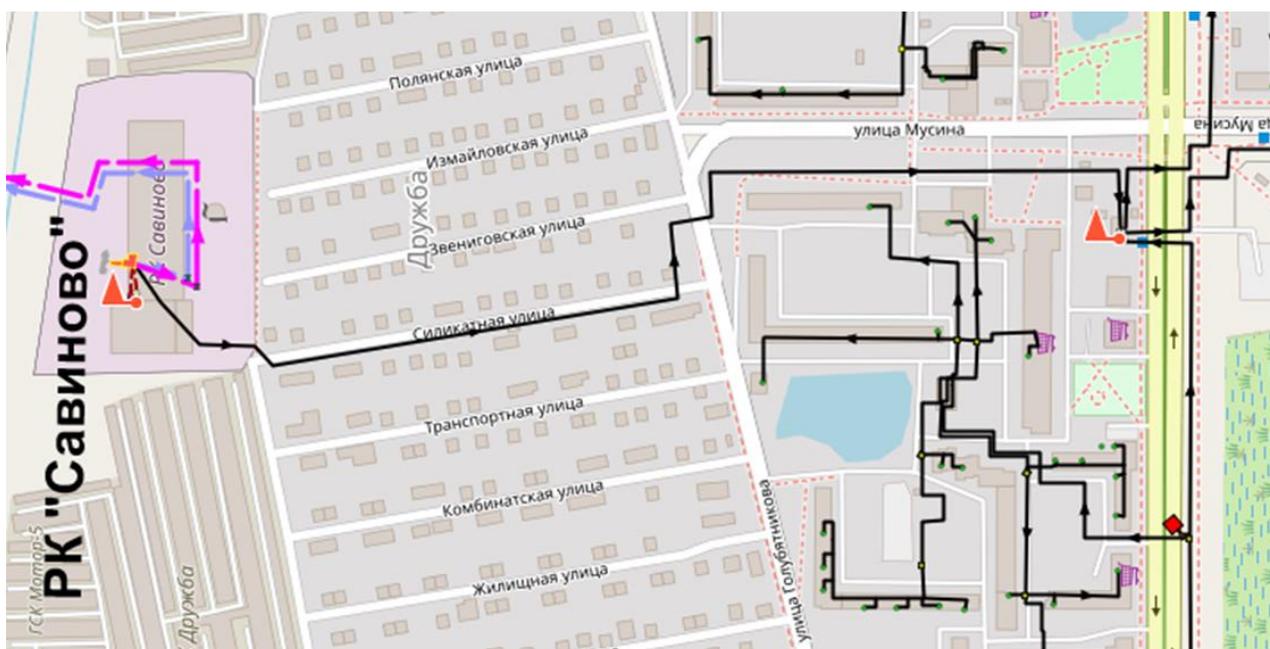


Рисунок 7 - Расчетная схема участка тепловых сетей от РК Савиново до Павильона №8 (флажками обозначены начало и конец участка)

Таблица 2 - Расчет параметров участка от РК Савиново до Павильона №8

t1 источника теплоты	q, ккал/чм	интерполяция	L, м	β	Q, ккал/ч	Расход, т/ч	Падение температуры	Температура в конце участка
65	89,11	1,3856	784,5	1,15	80392,81	4968	0,0162	64,9838
66	90,4956	1,3856	784,5	1,15	81642,87	4968	0,0164	65,9836
67	91,8812	1,3856	784,5	1,15	82892,92	4968	0,0167	66,9833
68	93,2668	1,3856	784,5	1,15	84142,98	4968	0,0169	67,9831
69	94,6524	1,3856	784,5	1,15	85393,03	4968	0,0172	68,9828
70	96,0380	1,3856	784,5	1,15	86643,08	4968	0,0174	69,9826
71	97,4236	1,3856	784,5	1,15	87893,14	4968	0,0177	70,9823
72	98,8092	1,3856	784,5	1,15	89143,19	4968	0,0179	71,9821
73	100,1948	1,3856	784,5	1,15	90393,24	4968	0,0182	72,9818
74	101,5804	1,3856	784,5	1,15	91643,30	4968	0,0184	73,9816
75	102,9660	1,3856	784,5	1,15	92893,35	4968	0,0187	74,9813
76	104,3516	1,3856	784,5	1,15	94143,40	4968	0,0189	75,9811
77	105,7372	1,3856	784,5	1,15	95393,46	4968	0,0192	76,9808
78	107,1228	1,3856	784,5	1,15	96643,51	4968	0,0195	77,9805
79	108,5084	1,3856	784,5	1,15	97893,57	4968	0,0197	78,9803
80	109,8940	1,3856	784,5	1,15	99143,62	4968	0,0200	79,9800
81	111,2796	1,3856	784,5	1,15	100393,67	4968	0,0202	80,9798
82	112,6652	1,3856	784,5	1,15	101643,73	4968	0,0205	81,9795
83	114,0508	1,3856	784,5	1,15	102893,78	4968	0,0207	82,9793
84	115,4364	1,3856	784,5	1,15	104143,83	4968	0,0210	83,9790
85	116,8220	1,3856	784,5	1,15	105393,89	4968	0,0212	84,9788
86	118,2076	1,3856	784,5	1,15	106643,94	4968	0,0215	85,9785
87	119,5932	1,3856	784,5	1,15	107894,00	4968	0,0217	86,9783
88	120,9788	1,3856	784,5	1,15	109144,05	4968	0,0220	87,9780
89	122,3644	1,3856	784,5	1,15	110394,10	4968	0,0222	88,9778
90	123,75	1,134	784,5	1,15	111644,16	4968	0,0225	89,9775
91	124,8840	1,1340	784,5	1,15	112667,22	4968	0,0227	90,9773
92	126,0180	1,1340	784,5	1,15	113690,29	4968	0,0229	91,9771
93	127,1520	1,1340	784,5	1,15	114713,36	4968	0,0231	92,9769
94	128,2860	1,1340	784,5	1,15	115736,42	4968	0,0233	93,9767
95	129,4200	1,1340	784,5	1,15	116759,49	4968	0,0235	94,9765
96	130,5540	1,1340	784,5	1,15	117782,55	4968	0,0237	95,9763
97	131,6880	1,1340	784,5	1,15	118805,62	4968	0,0239	96,9761
98	132,8220	1,1340	784,5	1,15	119828,69	4968	0,0241	97,9759
99	133,9560	1,1340	784,5	1,15	120851,75	4968	0,0243	98,9757
100	135,0900	1,1340	784,5	1,15	121874,82	4968	0,0245	99,9755
101	136,2240	1,1340	784,5	1,15	122897,89	4968	0,0247	100,9753
102	137,3580	1,1340	784,5	1,15	123920,95	4968	0,0249	101,9751
103	138,4920	1,1340	784,5	1,15	124944,02	4968	0,0251	102,9749
104	139,6260	1,1340	784,5	1,15	125967,09	4968	0,0254	103,9746
105	140,7600	1,1340	784,5	1,15	126990,15	4968	0,0256	104,9744
106	141,8940	1,1340	784,5	1,15	128013,22	4968	0,0258	105,9742
107	143,0280	1,1340	784,5	1,15	129036,29	4968	0,0260	106,9740
108	144,1620	1,1340	784,5	1,15	130059,35	4968	0,0262	107,9738
109	145,2960	1,1340	784,5	1,15	131082,42	4968	0,0264	108,9736
110	146,43	1,1340	784,5	1,15	132105,49	4968	0,0266	109,9734
111	147,5640	1,1340	784,5	1,15	133128,55	4968	0,0268	110,9732
112	148,6980	1,1340	784,5	1,15	134151,62	4968	0,0270	111,9730
113	149,8320	1,1340	784,5	1,15	135174,68	4968	0,0272	112,9728
114	150,9660	1,1340	784,5	1,15	136197,75	4968	0,0274	113,9726
115	152,1000	1,1340	784,5	1,15	137220,82	4968	0,0276	114,9724
116	153,2340	1,1340	784,5	1,15	138243,88	4968	0,0278	115,9722
117	154,3680	1,1340	784,5	1,15	139266,95	4968	0,0280	116,9720
118	155,5020	1,1340	784,5	1,15	140290,02	4968	0,0282	117,9718
119	156,6360	1,1340	784,5	1,15	141313,08	4968	0,0284	118,9716
120	157,7700	1,1340	784,5	1,15	142336,15	4968	0,0287	119,9713

В таблице 2 приведены следующие параметры:

- t1 источника теплоты – температура теплоносителя от РК Савиново, °С;
- q, ккал/чм – норма плотности теплового потока через поверхность тепловой изоляции подающих трубопроводов (часовые нормативные потери участка трубопровода), рассчитанные по методике расчета нормативных потерь в [3].

При этом, необходимо отметить то, что в [3] нормы плотности теплового потока указаны

для каждого диаметра трубопровода при предполагаемых среднегодовых температурах теплоносителя. Для нахождения промежуточных значений норм плотности теплового потока использован математический метод интерполяции значений с учетом линейности графика изменения потерь тепловой энергии.

В связи с тем, что требования к норме потерь через изоляцию со временем повышались, таблицы норм плотности теплового потока в [3] разделены на 4 части:

Нормы №1, для трубопроводов, спроектированных в 1959-1990 годах;

Нормы №2, для трубопроводов, спроектированных в 1990-1998 годах;

Нормы №3, для трубопроводов, спроектированных в 1998-2003 годах;

Нормы №4, для трубопроводов, спроектированных с 2004 года.

Табличные значения, приведенные в каждой из Норм, имеют различную структуру данных, что препятствует их использованию для расчета нормы плотности теплового потока отдельно для подающего и обратного участка трубопровода. Так в Нормах №1, 4 приведены суммарные плотности теплового потока для подающего и обратного трубопровода, а в Нормах №2,3 отдельно для подающего и обратного трубопровода.

Согласно детальным исследованиям, приведенных в [8], суммарные показатели в Норме №1 могут быть разделены между подающим и обратным трубопроводами в тех же пропорциях, что и в Норме №2, и соответственно показатели в Норме №4 могут быть разделены между подающим и обратным трубопроводами в тех же пропорциях, что и в Норме №3.

- L , м – протяженность участка трубопроводов, м;
- β – коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери запорной и другой арматурой, компенсаторами и опорами (принимается 1,2 при диаметре трубопроводов до 150 мм и 1,15 - при диаметре 150 мм и более, а также при всех диаметрах трубопроводов бесканальной прокладки, независимо от года проектирования);
- Q , ккал/ч – нормативное значение часовых тепловых потерь на участке, определенное по формуле (14) из [3], ккал/ч;
- падение температуры – изменение температуры теплоносителя на участке трубопроводов при нормативном значении потерь тепловой энергии, °С.

2.1.3 Расчет изменения температуры теплоносителя на участке подающих трубопроводов при расчетном (нормативном) значении тепловых потерь

Анализ формулы (14) расчета нормативных тепловых потерь тепловой энергии в

тепловых сетях, изложенной в [3], показывает то, что величина нормативных потерь тепловой энергии находится в зависимости от температуры теплоносителя.

Изменение величины тепловых потерь для конкретного участка тепловой сети в течение отопительного периода связано с изменением температуры теплоносителя, которая изменяется в связи с изменением температуры наружного воздуха (качественный способ регулирования расхода тепловой энергии).

$$T_i^{\text{тн.нач}} = f(T_{\text{нв}}) \quad (7)$$

где $T_i^{\text{тн.нач}}$ - температура теплоносителя в начале i -го участка теплосети, задаваемая в соответствии с утвержденным температурным графиком, °С; $T_{\text{нв}}$ - температура наружного воздуха, °С.

$$Q_i^{\text{н.п}} = f(T_i^{\text{тн.нач}}, T_i^{\text{тн.кон}}, T_{\text{нв}}) \quad (8)$$

$$Q_i^{\text{н.п}} = c \times G_i \times (T_i^{\text{тн.нач}} - T_i^{\text{тн.кон}}) \times 10^{-3} \quad (9)$$

где $Q_i^{\text{н.п}}$ - нормативные потери тепловой энергии на i -ом участке тепловой сети, рассчитанные в соответствии с [3], Гкал/ч; $T_i^{\text{тн.кон}}$ - температура теплоносителя в конце i -го участка теплосети, °С; c - удельная теплоёмкость теплоносителя, ккал/(кг·°С); G_i - расход теплоносителя на i -ом участке тепловой сети, т/ч.

Преобразуя формулу 9, получим значение температуры теплоносителя в конце участка тепловой сети, °С при нормативной величине тепловых потерь:

$$T_i^{\text{тн.кон}} = T_i^{\text{тн.нач}} - \frac{Q_i^{\text{н.п}}}{c \times G_i} \times 10^3 \quad (10)$$

2.1.4 Расчет расхода теплоносителя на участке трубопроводов

Значение расчетного расхода теплоносителя по каждому участку может быть принято по результатам гидравлического расчета, однако наиболее точно расход следует определять по фактическим показаниям расхода теплоносителя из системы дистанционного снятия показаний. При этом, по ходу движения теплоносителя расход теплоносителя на следующем ($i+1$)-ом участке теплосети корректируется в зависимости от суммы расходов потребителей, присоединенных к концу i -го участка, и нормированных утечек по формуле:

$$G_{i+1} = G_i - \sum_{n=1}^m G_n - G_i^{\text{н.п}} \quad (11)$$

где G_n - расход теплоносителя n -го потребителя по данным системы дистанционного снятия показаний из количества потребителей m , врезки тепловых вводов которых расположены в конце i -го участка, т/ч; $G_i^{\text{н.п}}$ - нормированные затраты (утечка) теплоносителя i -

го участка, определяются исходя из [3], т/ч.

Определив по формуле 10 температуры теплоносителя на участках теплосети от источника тепловой энергии до конечного потребителя для всего диапазона температур наружного воздуха получаем нормативное поле температур теплоносителя в модели расчетных (нормативных) тепловых потерь по участкам подающих трубопроводов.

2.2 Построение модели фактического распределения потерь тепловой энергии и температуры теплоносителя по участкам действующей теплосети

2.2.1 Использованные программные комплексы и средства измерений

2.2.1.1 Программный комплекс и средства измерений на тепловых выводах, размещенные в пределах источника теплоты РК «Савиново»

Данные об измерении температуры и расхода теплоносителя на источнике тепловой энергии по выводам магистральных тепловодов содержатся в показаниях коммерческих узлов учета тепловой энергии и теплоносителя, установленных в соответствии с [9].

Показания узлов учета в теплоснабжающих организациях, как правило, интегрируются в автоматизированные системы коммерческого учета тепловой энергии (АСКУТЭ), являющиеся по сути системами диспетчеризации параметров тепловой энергии. Существующее положение и перспективы внедрения систем информатизации показаний приборов учета тепловой энергии рассмотрены в [138-143].

Технические требования на автоматизированные измерительные системы контроля и учета тепловой энергии, требования к их надежности, комплектности, упаковке и маркировке установлены Национальным стандартом Российской Федерации [144]. В соответствующих разделах стандарта приведены требования к безопасности конструкции измерительных систем, правилам приемки в эксплуатацию, методам испытаний, а также указания по эксплуатации и гарантии изготовителя.

В целях исследования параметры температуры и расхода теплоносителя на РК Савиново взяты из программного комплекса для расчета тепловой энергии и теплоносителя в АСКУТЭ верхнего уровня (свидетельство о метрологической аттестации №194904-08 от 09.10.2008,

выданное ФГУП «ВНИИР», свидетельство об аттестации методики выполнения измерений №171904-08 от 25.08.2008).

Средства измерения в составе коммерческих узлов учета, установленных на тепловых выводах ограждения РК Савиново (Магистральные тепловоды №17(18), 19), приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Средства измерения в составе узлов учета РК Савиново

Тип средства измерения	Марка средства измерения (датчик)	Характеристика среды	Предел допускаемой относительной погрешности измерения, %	
			min	max
Расходомеры теплоносителя (прямая и обратная линии теплосети)	ВЗЛЕТ-МР (первич.УРСВ-522, вторич.АДАМ-4018)	от 500 до 8000 т/ч	min $\pm 1,36$ (500 т/ч)	max $\pm 0,94$ (8000 т/ч)
Датчики температуры теплоносителя (прямая и обратная линии теплосети)	Метран-206 ТСП (класс допуска «А», вторич.АДАМ-4015)	от 0 до 150 °С	min $\pm 0,15$	max $\pm 0,45$
Вычислитель	ВРС-Т (№10923, Госреестр СИ)		min $\pm 1,37$	max $\pm 0,96$

Пределы относительной погрешности измерений параметров тепловой энергии применяемых средств измерений соответствуют требованиям [16], относительная точность измерений температуры теплоносителя не превышает $\pm 1,36\%$.

2.2.1.2 Программный комплекс и средства измерений в тепловых сетях магистральных тепловодов №17, 18 от РК «Савиново»

В павильонах, тепловых камерах, центральных тепловых пунктах, перекачивающих насосных станций, как правило, устанавливаются средства измерений температуры и давления теплоносителя в целях контроля режима работы тепловой сети. Такие средства измерения также интегрированы в систему диспетчеризации тепловых сетей и могут быть использованы для построения модели фактического распределения потерь тепловой энергии и температуры теплоносителя по участкам теплосети от источника тепловой энергии до точки измерения.

В целях исследования показания фактической температуры теплоносителя в промежуточных узловых точках теплосети (П-7, П-8, П-11, П-14, ТК17-42 и др.) системы теплоснабжения от районной котельной «Савиново» (Ново-Савиновского район) взяты по показаниям установленных термопреобразователей сопротивления ТСП-100 (класс допуска «А») из системы диспетчеризации филиала АО «Татэнерго» - Казанские тепловые сети.

2.2.1.3 Программный комплекс и средства измерений в индивидуальных тепловых пунктах объектов потребителей тепловой энергии системы теплоснабжения от РК «Савиново»

Коммерческие узлы учета тепловой энергии и теплоносителя, установленные в соответствии с [9], имеют возможность фиксации во времени часовых параметров теплоносителя. Однако, на практике предоставляемые показания приборов учета потребителями на бумажном носителе содержат суточные параметры теплоносителя. Между тем, параметры теплоносителя за каждый час возможно получить в случае установки на узле учета потребителя средств дистанционной передачи показаний с использованием сквозных цифровых технологий LoRaWAN, GSM/GPRS/3G/4G (5G), Ethernet.

В свою очередь полученные с узлов учета потребителей показания в целях их хранения, обработки и систематизации поступают в системы сбора данных с узлов учета тепловой энергии, где показания структурируются по месту, времени их получения с применением цифровых технологий «Большие данные» (Big Data), «Промышленный интернет вещей» (Industrial Internet of Things – IIoT).

В целях исследования показания фактической температуры, расхода теплоносителя в индивидуальных тепловых пунктах объектов потребителей, являющихся конечными точками теплосети, взяты из системы сбора данных с узлов учета тепловой энергии филиала АО «Татэнерго» - Казанские тепловые сети (далее – ССДПУ КТС), организованной с использованием цифровых технологий дистанционной передачи GSM/GPRS с применением Big Data.

В ССДПУ КТС интегрированы показания средств измерений коммерческих узлов учета тепловой энергии и теплоносителя потребителей. В целях исследования используются показания следующих средств измерения:

- датчики температуры (класс точности «А»), как правило, платиновые ТС-П/ТСП (в т.ч. с коммутационной головкой ТС-005/дТС-хх5, с кабельным выводом ТС-014...224, ДТС-014...324, ТСП 100П моделей 1088, -1288, -1388, -1187-Exd, -0987, ТСП-1287, -0889, -8052, ТС-100: ТС-101, ТС-102, ТС-103), комплекты термопреобразователей ТСПР-0490, ТСПТ-105, 106, 206, 300, ТСП-05-01, 02;

- преобразователи расхода теплоносителя (класс точности 1, измерение массы теплоносителя с относительной погрешностью не более 2%) с ультразвуковым, электромагнитным принципами измерения (основные производители Арзамасский приборостроительный завод, ASWEGA, ПО «Машзавод Молния», ТБН «Энергосервис», АО

НПО «Тепловизор», «Магика», НПФ «ЭКОС», СП «АРВАС», СП «ТЕРМО-К», АО «Взлет», НПО «Теплоком», ООО Кроне – Автоматика, ООО НПО «Вымпел», ООО «Глобус», ООО «Валком», ООО НПП «Куйбышевтелеком – Метрология», ООО НПП «Вега».

2.2.2 Состав модели фактических потерь тепловой энергии и температуры теплоносителя по участкам теплосети

2.2.2.1 Выбор для участков теплосети для построения модели фактических потерь тепловой энергии и температуры теплоносителя

Согласно [4] объем испытываемых (исследуемых) участков сети по материальной характеристике должен выбираться в объеме не менее 20% материальной характеристики всей сети. При этом, для проведения исследований на тепловые потери должны быть использованы те участки сети, у которых тип прокладки и конструкция тепловой изоляции являются характерными для всей сети, что позволит распространить результаты исследований на тепловую сеть в целом по системе теплоснабжения.

Учитывая реальную оснащенность объектов потребителей узлами учета тепловой энергии и то, что, исследовав максимально большее количество участков теплосети точность показателей модели будет улучшаться, построение модели фактических потерь тепловой энергии и температуры теплоносителя целесообразно производить по максимально возможному количеству участков теплосети. В связи с этим, правильно полагать, что с точки зрения высокого исследовательского охвата наиболее выгоден выбор участков теплосети от источника тепловой энергии до конкретного индивидуального теплового пункта объекта потребителя (где располагается узел учета тепловой энергии). Такой выбор участков обеспечит наиболее высокую точность исследования фактических потерь тепловой энергии состава теплосети в целом.

Исследовав схемы расположения и разветвления тепловых сетей системы теплоснабжения от районной котельной «Савиново» от РК Савиново приходим к выводу о том, что, выбрав все имеющиеся 4 крупных магистральных ответвлений теплосети от РК Савиново (далее от П-7, П-11) и проложив путь теплоносителя до наиболее удаленного (хвостового) индивидуального теплового пункта потребителя, исследовательский охват тепловых сетей системы теплоснабжения превышает 60% тепловых сетей из расчета их материально характеристики.

Однако в рамках настоящего исследования для обеспечения высокой степени исследовательского охвата более 80% выбрано 16 участков теплосети.

2.2.2.2 Состав модели фактических тепловых потерь по участкам трубопроводов

Модель фактических тепловых потерь по участкам трубопроводов состоит из:

А) расчетные схемы участков тепловой сети (пример схемы исследуемого участка тепловых сетей представлен на рисунке 8);

Б) характеристики и протяженности участка тепловой сети;

В) расчеты параметров теплоносителя на участках теплосети и их сравнение с расчетными (нормативными) значениями (пример приведен в таблице 4).

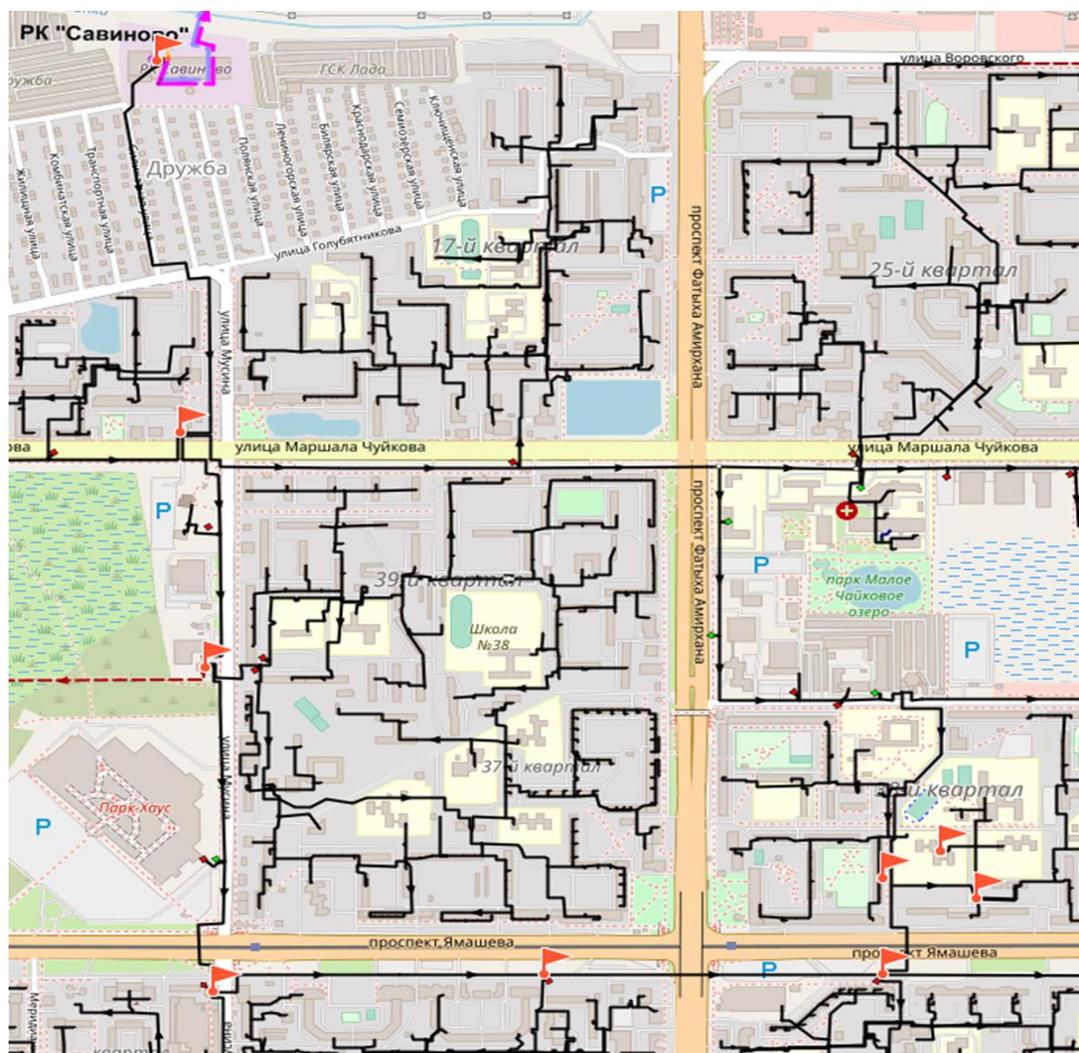


Рисунок 8 - Расчетная схема участка сети от РК Савиново до МАДОУ «Детский сад №380» по ул. Ямашева, 74а (флажками обозначены начало, конец и промежуточные точки участка)

Таблица 4 - Расчет параметров участка тепловых сетей от РК Савиново до МАДОУ «детский сад №380» по ул. Ямашева, 74а

Время измерений	T1 объекта	T1ст (факт)	T1норм объекта	T1ст(факт) - T1объекта	T1ст(факт)- T1норм	Темп изменения T1ст	Соотношение потерь К
19.12.2021 0:00	82,53	83,8	82,30	1,27	1,50	0,00	0,85
19.12.2021 1:00	82,19	83,72	82,20	1,53	1,52	-0,08	1,01
19.12.2021 2:00	82,11	83,9	82,40	1,79	1,50	0,18	1,19
19.12.2021 3:00	82,38	84,32	82,80	1,94	1,52	0,42	1,28
19.12.2021 4:00	82,69	84,45	83,00	1,76	1,45	0,13	1,21
19.12.2021 5:00	82,85	84,49	83,00	1,64	1,49	0,04	1,10
19.12.2021 6:00	82,86	84,17	82,70	1,31	1,47	-0,32	0,89
19.12.2021 7:00	82,48	84,04	82,50	1,56	1,54	-0,13	1,01
19.12.2021 8:00	82,57	83,86	82,40	1,29	1,46	-0,18	0,88
19.12.2021 9:00	82,37	83,52	82,00	1,15	1,52	-0,34	0,76
19.12.2021 10:00	82,02	83,72	82,20	1,7	1,52	0,20	1,12
19.12.2021 11:00	82,22	83,59	82,10	1,37	1,49	-0,13	0,92
19.12.2021 12:00	82,2	83,94	82,40	1,74	1,54	0,35	1,13
19.12.2021 13:00	82,54	84,19	82,70	1,65	1,49	0,25	1,11
19.12.2021 14:00	82,74	84,48	83,00	1,74	1,48	0,29	1,18
19.12.2021 15:00	82,98	84,61	83,10	1,63	1,51	0,13	1,08
19.12.2021 16:00	83,09	84,47	83,00	1,38	1,47	-0,14	0,94
19.12.2021 17:00	82,89	84,04	82,50	1,15	1,54	-0,43	0,75
19.12.2021 18:00	82,47	83,89	82,40	1,42	1,49	-0,15	0,95
19.12.2021 19:00	82,46	83,73	82,20	1,27	1,53	-0,16	0,83
19.12.2021 20:00	82,27	83,69	82,20	1,42	1,49	-0,04	0,95
19.12.2021 21:00	82,32	83,87	82,40	1,55	1,47	0,18	1,05
19.12.2021 22:00	82,47	84,21	82,70	1,74	1,51	0,34	1,15
19.12.2021 23:00	82,86	84,1	82,60	1,24	1,50	-0,11	0,83
20.12.2021 0:00	82,44	84,08	82,60	1,64	1,48	-0,02	1,11
20.12.2021 1:00	82,73	84,22	82,70	1,49	1,52	0,14	0,98
20.12.2021 2:00	82,82	84,05	82,60	1,23	1,45	-0,17	0,85
20.12.2021 3:00	82,62	84,41	82,90	1,79	1,51	0,36	1,19
20.12.2021 4:00	82,93	84,03	82,50	1,1	1,53	-0,38	0,72
20.12.2021 5:00	82,54	83,89	82,40	1,35	1,49	-0,14	0,91
20.12.2021 6:00	82,43	83,79	82,30	1,36	1,49	-0,10	0,91
20.12.2021 7:00	82,17	83,57	82,10	1,4	1,47	-0,22	0,95
20.12.2021 8:00	82,34	83,72	82,20	1,38	1,52	0,15	0,91
20.12.2021 9:00	82,24	83,99	82,50	1,75	1,49	0,27	1,17
20.12.2021 10:00	82,68	84,27	82,80	1,59	1,47	0,28	1,08
20.12.2021 11:00	82,7	84,68	83,20	1,98	1,48	0,41	1,34
20.12.2021 12:00	83,16	84,66	83,20	1,5	1,46	-0,02	1,03
20.12.2021 13:00	82,99	84,42	82,90	1,43	1,52	-0,24	0,94
20.12.2021 14:00	82,93	84,9	83,40	1,97	1,50	0,48	1,31
20.12.2021 15:00	83,35	85,19	83,70	1,84	1,49	0,29	1,23
20.12.2021 16:00	83,56	85,2	83,70	1,64	1,50	0,01	1,09
20.12.2021 17:00	83,58	85,1	83,60	1,52	1,50	-0,10	1,01
20.12.2021 18:00	83,46	84,84	83,30	1,38	1,54	-0,26	0,90
20.12.2021 19:00	83,16	84,3	82,80	1,14	1,50	-0,54	0,76
20.12.2021 20:00	82,58	83,89	82,40	1,31	1,49	-0,41	0,88
20.12.2021 21:00	82,43	84,04	82,50	1,61	1,54	0,15	1,05
20.12.2021 22:00	82,42	84,01	82,50	1,59	1,51	-0,03	1,05

В таблице 4 приведены следующие параметры:

- Время измерений – время τ_0 (дата, часы суток), взятое по данным системы АСКУТЭ РК Савиново;

- T_1 ист(факт) – фактическая температура теплоносителя $T_{\tau_0}^{ТН.нач}$ в начале исследуемого участка в подающей магистрали во время измерений (момент времени) τ_0 по данным системы дистанционного снятия показаний АСКУТЭ от РК Савиново, °С;

- T_1 объекта – фактическая температура подаваемого теплоносителя $T_{\tau_k}^{ТН.кон}$ по данным системы дистанционного снятия показаний исходя из показаний датчика температуры в индивидуальном тепловом пункте объекта потребителя (конечная точка исследуемого участка теплосети) в момент времени τ_k , °С;

Изменение фактической температуры теплоносителя в конце участка происходит с запаздыванием по отношению к изменению температуры в начале участка на время прохождения температурной волны. Поэтому время прохождения температурной волны в период эксплуатации трубопроводов тепловых сетей необходимо обязательно учитывать в расчетах.

Учитывая то, что система дистанционного снятия показаний фиксирует время каждого измерения, полученные значения фактической температуры теплоносителя в конце участка в момент времени τ_k необходимо соотносить со значениями температуры теплоносителя в начале участка тепловой сети в момент времени τ_0 , то есть с опозданием на величину времени прохождения теплоносителя по участку тепловой сети (время прохождения температурной волны от РК Савиново до объекта потребителя).

Определение времени τ_k производится по формуле:

$$\tau_k = \tau_0 + W \quad (12)$$

где W – время прохождения температурной волны от начала участка теплосети до его конца, ч.

Время прохождения температурной волны возможно достоверно определить несколькими способами:

1. По статистическим данным теплоснабжающей (теплосетевой) организации в разных точках исследуемой тепловой сети, которые могут быть получены в результате перехода участка теплосети из летнего режима при постоянной температуре теплоносителя (72-74°С) в отопительный период с повышением температуры теплоносителя при понижении температуры наружного воздуха ниже 8°С.

2. По данным гидравлического расчета специалистами службы наладки и испытаний теплоснабжающей (теплосетевой) организации согласно «классическим» методикам расчета, представленным в [145-147];

3. По данным электронной модели системы теплоснабжения, которая в соответствии с [17] разрабатывается и ежегодно актуализируется в рамках Схемы теплоснабжения населенного пункта.

Электронная модель системы теплоснабжения поселения, городского округа - документ в электронной форме, в котором представлена информация о характеристиках систем теплоснабжения. Согласно [18] в состав электронной модели системы теплоснабжения входит следующее: данные о тепловых сетях и сооружениях на них, включая технические паспорта объектов системы теплоснабжения и графическое представление объектов системы теплоснабжения с привязкой к топографической основе поселения, городского округа, с полным топологическим описанием связности объектов; гидравлические и тепловые расчеты тепловых сетей любой степени закольцованности и, в том числе гидравлические расчеты при моделировании всех видов переключений, осуществляемых в тепловых сетях; результаты автоматизированного формирования пути движения теплоносителя до произвольно выбранного элемента теплосети, потребителя; расчеты пьезометрических графиков тепловых сетей.

Необходимо отметить то, что получение данных о времени прохождения теплоносителя по исследуемому участку теплосети W из гидравлических расчетов электронной модели системы теплоснабжения [14] наиболее точно обеспечивает достоверность построения модели фактических потерь тепловой энергии и температуры теплоносителя по участкам теплосети. Согласно проведенным исследованиям, результаты которых представлены в [61-68], точность гидравлических расчетов тепловых сетей в электронной модели системы теплоснабжения составляет 2-5%, что является приемлемым условием для исследования.

- $T_{\text{норм}}$ объекта – нормативная температура подаваемого теплоносителя $T_{\text{норм}}^{\text{тн.кон}}$ в конце исследуемого участка тепловой сети, вычисленная по формуле 10, °С;

- $T_{\text{ист(факт)}}$ - $T_{\text{объекта}}$ – фактическое падение температуры теплоносителя на исследуемом участке теплосети за время W , °С;

- $T_{\text{ист(факт)}}$ - $T_{\text{норм}}$ – нормативное падение температуры теплоносителя на исследуемом участке теплосети за время W , °С;

- Темп изменения $T_{\text{ист(факт)}}$ – скорость изменения фактической температуры теплоносителя $\Delta T_i^{\text{тн.нач}}$ в начале исследуемого участка в подающей магистрали по данным системы дистанционного снятия показаний АСКУТЭ от РК Савиново, °С/час, рассчитывается по формуле:

$$\Delta T_i^{\text{тн.нач}} = T_{\tau_{0i}}^{\text{тн.нач}} - T_{\tau_{0i+1}}^{\text{тн.нач}} \quad (13)$$

где время измерения температуры теплоносителя τ_{0i+1} , час:

$$\tau_{0i+1} = \tau_{0i} + 1 \quad (14)$$

Часовая периодичность измерения температуры теплоносителя обусловлена нормативными требованиями учета параметров тепловой энергии, установленными в [9].

Физический смысл показателя $\Delta T_i^{\text{тн.нач}}$ заключается в расчете временной определенности

нестационарного процесса теплообмена, обусловленного изменениями температуры теплоносителя в трубопроводе исследуемого участка теплосети. С изменением температуры теплоносителя, что приводит в свою очередь к изменению температурного напора между ядром потока теплоносителя в трубопроводе и окружающей средой, изменяется величина теплового потока (потери тепловой энергии) на линии теплосети.

Особенностью исследуемого нестационарного процесса теплообмена является непрерывное изменение теплосодержания теплоносителя и связанное с этим непрерывное изменение величины переноса тепловой энергии от теплоносителя в окружающую среду.

Учитывая постоянность направления вектора теплового потока, который перпендикулярен плоскости стенки трубопровода, в случае изменения температуры теплоносителя изменяется исключительно абсолютная величина (модуль) вектора.

Таким образом, часовое изменение фактической температуры теплоносителя $T_{\tau_0}^{\text{ТН.нач}}$ является физической первопричиной нестационарного процесса теплообмена, протекающего в изменяющемся во времени температурном поле, которое перпендикулярно оси трубопровода.

Сравнение нормативных и фактических потерь тепловой энергии участка тепловой сети производится с учетом неизменности расхода теплоносителя за время прохождения теплоносителя W во всех точках исследуемого участка и равенстве значений расхода теплоносителя при расчете нормативного падения температуры теплоносителя и при дистанционном съеме фактических температур теплоносителя.

▪ Соотношение потерь K – расчетная величина соотношения (коэффициента K) фактических и определенных по нормам [3] тепловых потерь для исследуемого участка тепловой сети, вычисление соотношения производится по формуле:

$$K = \frac{T_{\tau_0}^{\text{ТН.нач}} - T_{\tau_k}^{\text{ТН.кон}}}{T_{\tau_0}^{\text{ТН.нач}} - T_{\text{норм}}^{\text{ТН.кон}}} \quad (15)$$

где $T_{\tau_0}^{\text{ТН.нач}}$ - фактическая температура теплоносителя в начале исследуемого участка в подающей магистрали во время измерений (в момент времени τ_0) по данным системы дистанционного сбора показаний, °С; $T_{\tau_k}^{\text{ТН.кон}}$ - фактическая температура теплоносителя в конце исследуемого участка в подающей магистрали во время измерений (в момент времени τ_k) по данным системы дистанционного сбора показаний, °С; $T_{\text{норм}}^{\text{ТН.кон}}$ - нормативная температура теплоносителя в конце исследуемого участка в подающей магистрали, °С.

2.3 Сравнительный анализ температур теплоносителя, фактических и нормативных потерь тепловой энергии в исследуемом участке тепловой сети

2.3.1. Графический метод сравнения экспериментальных данных о температуре теплоносителя

Используя фактические данные о температурах теплоносителя в начале и в конце исследуемого участка тепловой сети из системы дистанционного снятия показаний получаем сравнительный анализ нормативных и фактических температур теплоносителя за промежуток времени наблюдения.

Для сравнения значений фактических и нормативных температур теплоносителя в исследуемом участке тепловой сети целесообразно осуществить их графическое построение.

На рисунке 9 представлен график изменения температур теплоносителя во времени на примере конкретного участка теплосети.

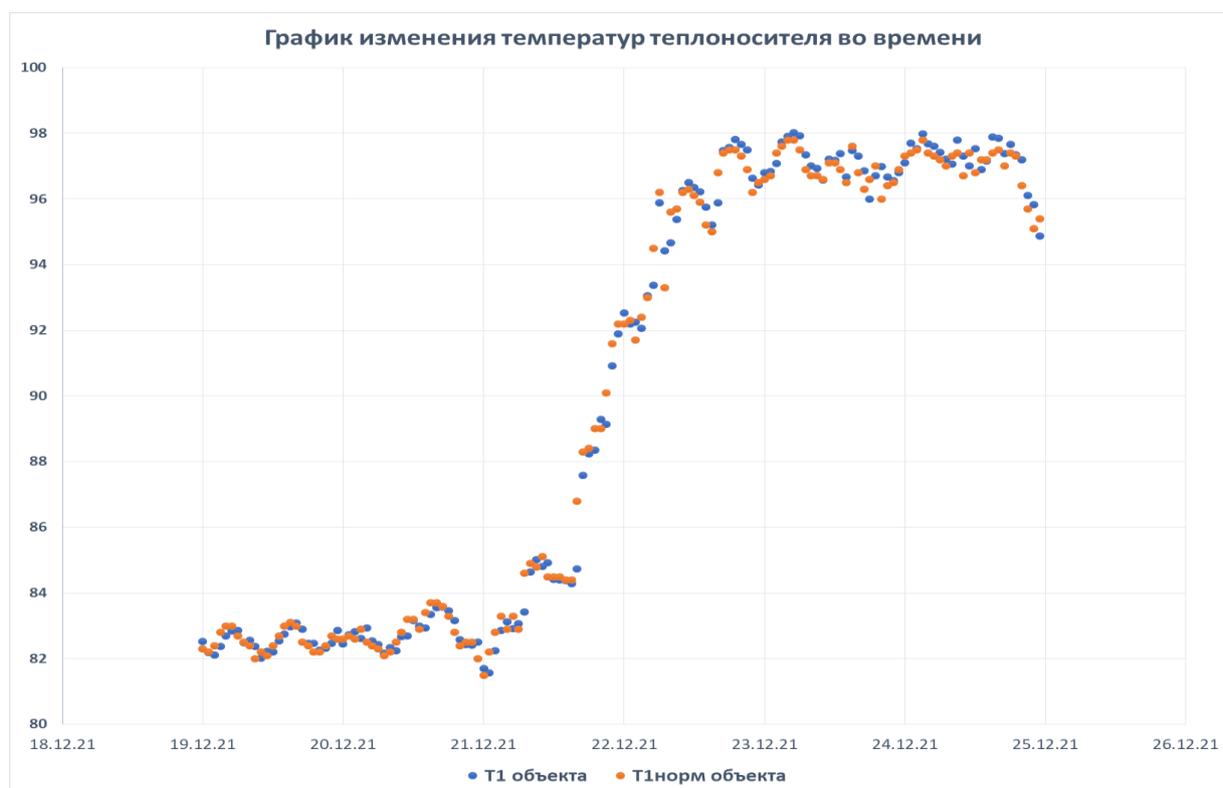


Рисунок 9 - График изменения температур теплоносителя во времени на участке подающего трубопровода от РК Савиново до МАДОУ «Детский сад №380» по ул. Ямашева, 74а

На рисунке 9 представлено графическое изображение данных о фактической температуре теплоносителя в конце исследуемого участка тепловой сети из системы дистанционного снятия показаний и нормативное значение температуры теплоносителя, рассчитанное исходя из нормативных потерь тепловой энергии по нормам из [3], за промежутки времени с 19.12.2021 по 25.12.2021 (144 часа).

2.3.2 Рассмотрение экспериментальных данных

Как видно из графика на рисунке 9, фактическая температура теплоносителя изменялась во времени (ввиду изменения температуры теплоносителя по заданию диспетчера теплосети из-за колебаний температуры наружного воздуха) и была ниже/выше нормативного значения температуры теплоносителя в конкретный промежуток времени. Это свидетельствует о том, что фактические потери тепловой энергии на исследуемом участке теплосети изменялись во времени с разным знаком (уменьшались или увеличивались), а именно были ниже/выше нормативного значения потерь тепловой энергии.

Во время исследования, в течение 144 часов, наблюдаются следующие показатели:

- разница значений фактической температуры теплоносителя в начале исследуемого участка $T_{\tau_0}^{\text{фн.нач}}$ в момент времени τ_0 и в конце участка $T_{\tau_k}^{\text{фн.кон}}$ в момент времени τ_k составила от $0,62^\circ\text{C}$ до $3,65^\circ\text{C}$;
- фактическая температура теплоносителя в конце участка теплосети превышает соответствующее нормативное значение температуры теплоносителя в течение 81 часа. В это время согласно построенной модели фактических потерь соотношение фактических и нормативных потерь тепловой энергии, рассчитанных по формуле 15, составило $K < 1$ (тепловые потери ниже их нормативного значения);
- фактическая температура теплоносителя в конце участка теплосети ниже соответствующего нормативного значения температуры теплоносителя в течение 63 часов. В это время согласно построенной модели фактических потерь соотношение фактических и нормативных потерь тепловой энергии было $K > 1$ (тепловые потери выше их нормативного значения);
- переходный момент, когда фактическая температура теплоносителя в конце участка теплосети переходила из состояния «ниже нормативного значения» в состояние «выше нормативного значения» (и наоборот), наблюдается в 61 случае. В каждом случае переходного момента согласно построенной модели фактических потерь соотношение фактических и

нормативных потерь тепловой энергии было $K = 1$ (тепловые потери соответствуют нормативным значениям);

- доля времени переходных моментов температуры теплоносителя в конце участка теплосети в часах (61 час, в котором наблюдался переходный момент) составила 42%, что сопоставимо с временем переходных моментов соотношений фактических и нормативных потерь $K = 1$ (переходы с $K > 1$ на $K < 1$ и с $K < 1$ на $K > 1$);

- количество переходных моментов как температуры теплоносителя в конце участка теплосети, так и соотношения $K = 1$ соответствует количеству случаев изменения знака (с минуса на плюс и наоборот) скорости изменения температуры в начале участка теплосети;

- промежуток времени между переходным моментом температуры теплоносителя в конце участка теплосети и случаем изменения знака (с минуса на плюс и наоборот) скорости изменения температуры в начале участка теплосети составляет время прохождения теплоносителя по исследуемому участку теплосети W ;

- переходный момент изменения температуры теплоносителя в конце участка теплосети на «ниже нормативного значения» наблюдается через время W в случае изменения знака скорости изменения температуры в начале участка теплосети с минуса на плюс (и наоборот).

Проведенный анализ сравнительных данных о фактической и нормативной температуре теплоносителя в конце исследуемого участка тепловой сети указывает на то, что необходимо математическим путем выявить фактор и оценить характер фактора, влияющего на изменение потерь тепловой энергии в нестационарном режиме.

2.3.3. Корреляционный анализ экспериментальных данных (исследование коллинеарности температурной волны и фактических потерь тепловой энергии)

Рассмотрение и оценка результатов наблюдений показывают достаточно высокую частоту перехода значений фактической температуры теплоносителя в конце исследуемого участка теплосети в состояние ниже/выше соответствующего нормативного значения. За время исследования 144 часов переход наблюдался 61 раз, что соответствует значению интенсивности $0,423 \text{ час}^{-1}$.

Изменение фактической температуры теплоносителя в конце участка происходит с запаздыванием по отношению к изменению температуры в начале участка на время прохождения температурной волны.

Изменение температуры теплоносителя в конце исследуемого участка теплосети $T_{\tau_k}^{\text{ТН.КОН}}$,

величины соотношения фактических и нормативных потерь тепловой энергии K , рассчитанных по формуле 15, соответствует изменению скорости теплоносителя в начале участка теплосети $\Delta T_i^{\text{тн.нач}}$.

Для оценки наличия количественной взаимосвязи моделируемого показателя соотношения фактических и нормативных потерь тепловой энергии K со скоростью изменения температуры теплоносителя в начале участка теплосети $\Delta T_i^{\text{тн.нач}}$ графически и математически исследуем пару указанных параметров (далее - исследуемая пара коэффициентов корреляции) и их корреляцию между собой.

2.3.3.1 Графический метод (качественный уровень)

Графическое исследование выполним с использованием полученной матрицы парных коэффициентов корреляции, изменяющихся во времени, для участка трубопроводов от РК Савиново до МАДОУ «детский сад №380 комбинированного вида» по ул. Ямашева, 74а:

- значений скорости изменения температуры теплоносителя в подающем трубопроводе теплосети $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}}$, где $\Delta T_i^{\text{тн.нач}} = f(\tau_0)$;

- соотношения фактических и нормативных потерь тепловой энергии K , где $K = f(\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}}, \tau_0 + W)$.

На рисунке 10 представлены графики, выполненные для исследуемой пары коэффициентов корреляции.

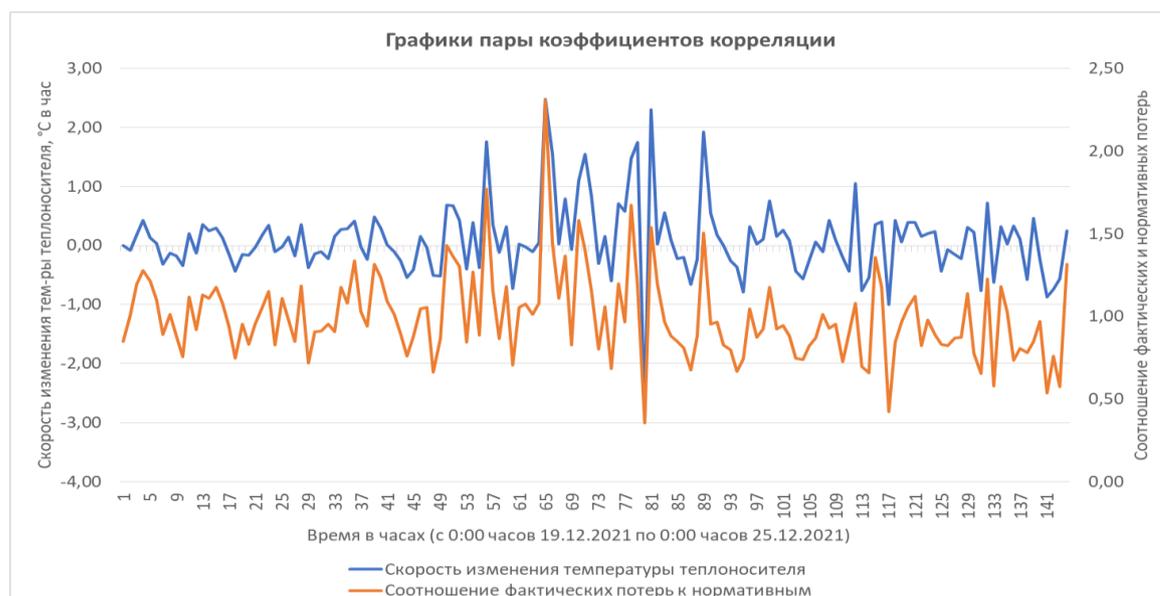


Рисунок 10 - График парных коэффициентов корреляции, изменяющихся во времени, для участка от РК Савиново до МАДОУ «Детский сад №380»

Взаимное расположение графиков парных коэффициентов корреляции, изменяющихся во времени, позволяет сделать следующие выводы:

- исследуемая коллинеарность относится к линейным отношениям между двумя переменными (коэффициенты корреляции) во времени, объясняющих процесс изменения фактических потерь тепловой энергии;
- исследуемая пара коэффициентов корреляции совершенно коллинеарная на протяжении всего времени и по всем наблюдениям переходных моментов, когда фактическая температура теплоносителя в конце участка теплосети переходила из состояния «ниже нормативного значения» в состояние «выше нормативного значения» (и наоборот);
- исследуемая пара коэффициентов корреляции совершенно коллинеарная на протяжении всего времени и по всем наблюдениям переходных моментов соотношений фактических и нормативных потерь $K = 1$ (переходы с $K > 1$ на $K < 1$ и с $K < 1$ на $K > 1$);
- между значением скорости изменения температуры теплоносителя в подающем трубопроводе теплосети $T_{t_0}^{тн.нач}$ и соотношением фактических и нормативных потерь тепловой энергии K существует точная (сильная) линейная зависимость (функция).
- выполненный корреляционный анализ позволяет однозначно установить количественную взаимосвязь рассматриваемой пары коэффициентов корреляции и целесообразность включения фактора изменения скорости изменения температуры теплоносителя в начале исследуемого участка теплосети $T_{t_0}^{тн.нач}$ в модель функции изменения соотношения фактических и нормативных потерь тепловой энергии.

Полученная с использованием вышеуказанного графического метода модель изменения во времени соотношения фактических и нормативных потерь тепловой энергии на участке трубопроводов в зависимости от скорости изменения температуры теплоносителя в начале участка теплосети $T_{t_0}^{тн.нач}$ является регрессионной качественной моделью (качественный уровень).

2.3.3.2 Математический метод статистического исследования (количественный уровень исследования)

Математическое исследование выполним также с использованием полученной матрицы вышеуказанной пары коэффициентов корреляции, изменяющихся во времени:

- значений скорости изменения температуры теплоносителя в начале участка теплосети

$T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}}$, где $\Delta T_i^{\text{тн.нач}} = f(\tau_0)$;

- соотношения фактических и нормативных потерь тепловой энергии K , где $K = f(\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}}, \tau_0 + W)$.

Учитывая то, что в результате использованного качественного (графического) метода исследования установлена зависимость изменения во времени соотношения фактических и нормативных потерь тепловой энергии от значения скорости изменения температуры теплоносителя в начале участка теплосети (пара коэффициентов корреляции), количественный метод исследования указанной зависимости необходимо применить путем получения математической функции зависимости коэффициентов корреляции.

Используя полученную матрицу коэффициентов корреляции при дискретных значениях времени исследования и в результате проведенной оценки линейности функции их изменения, для подтверждения физического эксперимента требуется установить математическую функцию путем аппроксимации данных одной переменной.

В целях аппроксимации наиболее правильно использовать метод наименьших квадратов, являющийся методом регрессионного анализа для оценки неизвестных величин, в силу следующего:

- результаты измерений температуры теплоносителя в начале исследуемых участков трубопроводов из-за технически неизбежного влияния погрешности измерения используемыми средствами могут содержать случайные ошибки (компенсация влияния только случайных погрешностей наблюдений);
- лёгкость вычислительной процедуры и «хорошие» по статистическим свойствам оценки неизвестных величин (состоятельные, несмещенные оценки с минимальными дисперсиями, когда функциональная модель – линейная);
- при построении линейной регрессионной функции возможно ограничиваться только оценками ее параметров k и b , самим уравнением регрессии $y = k \cdot x + b$ и дисперсионным анализом функции на адекватность и значимость коэффициентов;
- согласно [69-77] функционал метода наименьших квадратов является ограничением на уровне числовых характеристик, и не связан ни с каким конкретным законом распределения вероятностей случайных ошибок наблюдений.

В этом методе в качестве критерия близости приближающей функции к совокупности точек используется сумма квадратов разностей значений табличных значений K и теоретических, рассчитанных по уравнению регрессии.

Согласно результатам исследований, приведенных в [26,27,28,29,78] использование аппроксимации данных методом наименьших квадратов для восстановления математической

функции целесообразно и применимо с достаточной степенью достоверности.

В целях установления математической функции аппроксимация данных методом наименьших квадратов произведена с использованием программного продукта MS Excel.

Использование MS Excel в научных целях для математического описания зависимостей и создание на их базе алгоритмов (математических функций) подтверждено исследованиями в [30, 79, 81-85].

Путем аппроксимации данных одной переменной (метод наименьших квадратов) в программном комплексе MS Excel для участка трубопроводов от РК Савиново до МАДОУ «детский сад №380 комбинированного вида» по ул. Ямашева, 74а выполнено:

- построение корреляционного поля зависимости изменения соотношения фактических и нормативны тепловых потерь от скорости изменения температуры теплоносителя на РК «Савиново»;

- построение графика математической функции зависимости.

Результаты аппроксимации представлены на рисунке 11.

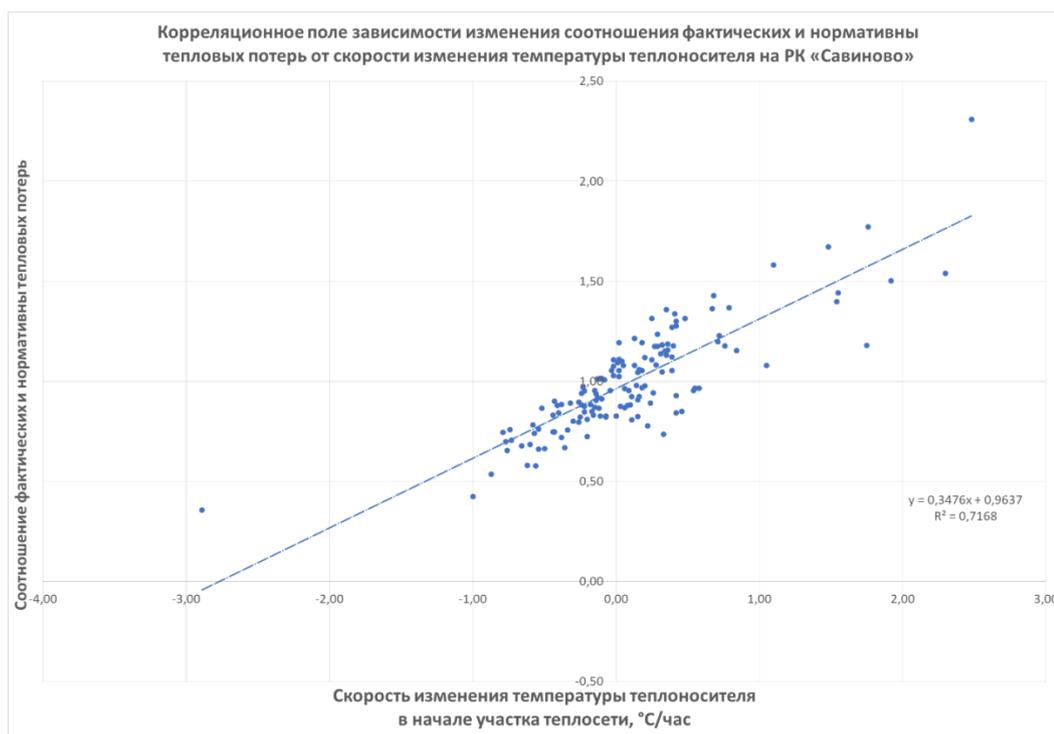


Рисунок 11 - Корреляционное поле и график зависимости изменения соотношения фактических и нормативны тепловых потерь от скорости изменения температуры теплоносителя

В результате аппроксимации данных матрицы коэффициентов корреляции получена математическая функция линейной регрессии:

$$K = 0,3476 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 0,9637 \quad (16)$$

где K - коэффициент (соотношение) фактических и определенных по нормам в [3]

тепловых потерь для участка тепловой сети; $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}}$ - скорость изменения температуры теплоносителя в начале исследуемого участка, °С/час.

Коэффициент детерминации (доля дисперсии зависимой переменной) полученной функции составил $R^2 = 0,7168$, что превышает пороговое значение 0,7 (оценка интеркорреляции данных для построения функции) и, с учетом исследований авторов [86-88], подтверждает соответствие полученной математической функции экспериментальным данным, исследуемые две переменные явно коллинеарны, то есть находятся между собой в линейной зависимости.

2.3.4 Регрессионный анализ

Регрессионный анализ заключается в определении аналитического выражения связи, в котором изменение одной величины (называемой зависимой или результативным признаком), обусловлено влиянием другой величины (факторного признака).

Полученная на основе метода наименьших квадратов математическая функция линейной зависимости (парной регрессии) позволяет получить аналитическое выражение связи между двумя признаками: результативным и факторным.

Полученная в результате проведенного исследования линейная зависимость соотношения фактических и нормативных тепловых потерь от скорости изменения температуры теплоносителя в начале исследуемого участка теплосети, имеет следующий вид:

$$K = f(\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}}) = A \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + B \quad (17)$$

где A - коэффициент, характеризующий степень влияния скорости изменения температуры теплоносителя в начале участка теплосети, ч/°С на соотношение фактических и нормативных тепловых потерь тепловой энергии на участке теплосети (для нестационарного процесса); B - соотношение фактических и нормативных тепловых потерь при отсутствии изменения температуры теплоносителя в начале участка тепловой сети (при $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} = 0$) для стационарного процесса.

Учитывая то, что:

$$K = \frac{Q_i^{\text{ф.п}}}{Q_i^{\text{н.п}}}, \quad (18)$$

где $Q_i^{\text{ф.п}}$ - фактические потери тепловой энергии i -го участка трубопроводов, Гкал/ч; $Q_i^{\text{н.п}}$ - нормативные потери тепловой энергии i -го участка трубопроводов, Гкал/ч, формула (17) может быть преобразована к следующему виду:

$$\frac{Q_i^{\text{ф.п.}}}{Q_i^{\text{н.п.}}} = A \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + B \quad (19)$$

Рассматривая формулу (19) приходим к выводу о том, что при нестационарном режиме работы теплосети в случае увеличения температуры теплоносителя в трубопроводах теплосети (при $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} > 0$) фактические потери тепловой энергии увеличиваются за счет влияния реального теплового состояния многослойной стенки (металл трубопровода, тепловая изоляция, грунт - для сетей подземной прокладки, воздушное пространство канала), так как выполняется неизменное физическое условие $A > 0$.

А в случае снижения температуры теплоносителя (при $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} < 0$) фактические потери тепловой энергии уменьшаются за счет отдачи тепловой энергии теплоносителю от материала теплоизоляции и окружающей среды.

При этом, согласно результатов исследований в [36,94] в организационном плане ключевую роль играет скорость изменения температуры теплоносителя, которая фактически находится под управлением (влиянием) персонала источника тепловой энергии при выполнении задания диспетчера теплосети.

Таким образом, результат исследования показывает то, что при нестационарном режиме работы теплосети, когда $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} \neq 0$ во времени, происходит усвоение либо отдача тепловой энергии материала теплоизоляции, металла и оболочки трубопровода, а также от окружающей теплосеть среды теплоносителю.

2.4 Достаточность применяемых методов исследования для нестационарного процесса теплообмена в тепловых сетях

Помимо описанного выше эксплуатационного фактора, влияющего на изменение потерь тепловой энергии в сетях централизованного теплоснабжения (изменение температуры теплоносителя в трубопроводах теплосети) на количество потерь тепловой энергии влияют иные факторы, влияние которых на применяемые методы исследования необходимо оценить.

Принимая во внимание то, что частота изменения фактических потерь тепловой энергии согласно полученным экспериментальным данным на тепловых сетях, находящихся в эксплуатации, является достаточно высокой (целесообразно судить по частоте изменения вектора теплового потока $0,423 \text{ час}^{-1}$ за время эксперимента), то влияющие на изменение фактических потерь факторы безусловно должны быть соразмерны с указанной интенсивностью.

Согласно результатам исследований, приведенных в [2,7,20,22,24,25,31,45,89-92], изменение фактических потерь теплоты сопровождается влиянием следующих факторов:

- конструктивные факторы, которые включают в себя диаметр трубопровода, его протяженность, исполнение способа прокладки, использованный вид теплоизоляционного материала и его толщина;
- климатические факторы, которые включают в себя температуру наружного воздуха, среднюю температуру грунта, продолжительность отопительного периода, затопление грунта;
- эксплуатационные факторы, к которым относят температуру теплоносителя, давление и расход сетевой воды, тепловую нагрузку потребителей.

Ввиду отсутствия изменений группа конструктивных факторов, которые влияют на изменение потерь тепловой энергии через параметр термического сопротивления слоя теплоноситель-стенка трубопровода-тепловая изоляция-среда, учтена коэффициентом B в формуле (19), который является неизменным на протяжении времени исследования, характеризует стационарную составляющую процесса теплопереноса формулы.

Группа климатических факторов имеет причинно-следственную связь с изменением температуры теплоносителя в трубопроводах и отражена коэффициентом A в формуле (17), который характеризует нестационарную составляющую процесса теплообмена.

Увлажнение грунта, как правило, происходит эпизодически и характеризуется сезонностью возникновения паводков в осенне-весенний период года (в период выпадения большого количества дождевых осадков). Это накладывает дополнительное условие о необходимости проведения исследования в зимнее время, позволяющее исключить данный фактор.

Для участков теплосети, в месте прокладки которых имеется долговременное подтопление, затопление грунта на протяжении всего осенне-зимнего периода теплоснабжения, рассчитываемое по формуле 17 соотношение фактических и нормативных потерь несомненно будет отражать этот фактор.

Давление и расход теплоносителя главным образом влияют на время движения теплоносителя (температурной волны) W на участке трубопровода и являются расчетными параметрами, учтенными в построении моделей нормативных и фактических потерь тепловой энергии и температуры теплоносителя по участкам теплосети. В связи с чем, принимается допущение о достаточной учитываемости данных параметров для целей исследования в силу следующих принципиальных условий:

1. В действующей теплосети до точки излома температурного графика, реализован качественный способ регулирования расхода тепловой энергии при постоянном расчетном расходе (установленный гидравлический режим);

2. Изменение факторов давления, расхода теплоносителя при переходе в количественный режим регулирования расхода тепловой энергии, а также изменение тепловых нагрузок потребителей повлияет на изменение параметра времени прохождения температурной волны W (ч) и, фактически, приведет к калибровке (уточнению) данного параметра, в следствие чего уточняется время запоздания измерения температуры теплоносителя в конце участка по данным ССДПУ КТС. Данный фактор может быть выявлен перед испытаниями трубопроводов и скорректирован путем сравнения фактических расходов теплоносителя, тепловых нагрузок в начале участка трубопроводов на источнике теплоты и у потребителей с электронной моделью системы теплоснабжения (корректировка параметра W в электронной модели). Отметим то, что электронная модель ежегодно актуализируется и калибруется в соответствии с требованиями [17,18];

3. Случайные ошибки расчета соотношения фактических и нормативных потерь тепловой энергии, которые могут вноситься «случайным» изменением расхода теплоносителя, компенсированы применением метода наименьших квадратов, функционал которого не связан ни с каким конкретным законом распределения вероятностей случайных ошибок наблюдений.

2.5 Выводы по главе

Примененная методика моделирования и построение математической модели расчетных (нормативных) тепловых потерь на участках теплосети в системе теплоснабжения имеет достаточную степень разработанности, позволяет сформировать исчерпывающую расчетную (нормативную) базу параметров теплоносителя по участкам трубопроводов, ранжированную относительно температуры теплоносителя во всем диапазоне применяемого температурного графика регулирования расхода тепловой энергии в системе теплоснабжения.

Использованные методы исследования фактических потерь тепловой энергии на участках тепловых сетей с изменяющимися параметрами во времени (нестационарный режим) позволяют достаточно точно вычислить уравнение изменения количественных значений потерь тепловой энергии на исследуемом участке трубопроводов с учетом всех имеющихся факторов, влияющих на величину теплового потока от трубопровода к окружающей среде.

Выполнен анализ экспериментальных данных, исследован график температурной волны и фактических потерь тепловой энергии, подтверждено соответствие полученной математической функции экспериментальным данным, исследуемые две переменные функции коллинеарны и находятся между собой в линейной зависимости.

В исследовании использованы качественный и количественный методы исследования, установлена зависимость изменения во времени соотношения фактических и нормативных потерь тепловой энергии от значения скорости изменения температуры теплоносителя в начале участка теплосети (пара коэффициентов корреляции), интерпретация зависимости выражается формулой 17.

Выполнен регрессионный анализ полученной линейной зависимости, определены аналитическое выражения связи:

$$K = f(\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}}) = A \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + B \quad (20)$$

или

$$\frac{Q_i^{\text{ф.п}}}{Q_i^{\text{н.п}}} = A \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + B \quad (21)$$

Указанные формулы получены экспериментальным путем и учитывают физические изменения в работе централизованной системы теплоснабжения, результаты исследований (формулы) имеют динамический характер для случая нестационарного режима реальной работы теплосети населенного пункта.

3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА ФАКТИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ, НАХОДЯЩИХСЯ В РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

3.1. Описание методики

3.1.1 Область применения и задача методики

Методика может быть применена в водяных системах централизованного теплоснабжения, где коммерческие узлы учета тепловой энергии потребителей интегрированы в систему дистанционного сбора показаний средств измерений.

Методика предназначена для проведения испытаний водяных тепловых сетей централизованного теплоснабжения, находящихся в режиме эксплуатации в осенне-зимний период, с целью определения фактических тепловых потерь через тепловую изоляцию с использованием системы дистанционного сбора показаний средств измерений и сопоставление их с нормативными значениями тепловых потерь для тех же участков тепловой сети.

Непосредственной задачей проведения испытаний водяных тепловых сетей является определение соотношений (поправочных коэффициентов) величин фактических и нормативных тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции теплопроводов. Фактические тепловые потери устанавливаются экспериментально путем проведения испытаний.

3.1.2 Цель испытаний

Целью испытаний является экспериментальное нахождение значений фактических тепловых потерь в сетях централизованного теплоснабжения с различными типами устройства тепловых сетей (способ прокладки, конструкция изоляции трубопроводов) и материальными характеристиками (диаметр, протяженность трубопроводов), сопоставление фактического значения потерь с нормативными значениями.

По результатам испытаний оценивается состояние тепловой изоляции испытываемых трубопроводов и влияние теплового состояния окружающей трубопровод среды (грунт,

конструкция канала прокладки) в конкретных эксплуатационных условиях.

При этом выявляются изменения теплотехнических свойств изоляционных конструкций теплосети вследствие старения в процессе эксплуатации, ввода новых и реконструкции действующих тепловых сетей.

Полученные результаты испытаний по определению фактических тепловых потерь через тепловую изоляцию могут быть использованы для следующих процессов:

- планирование мероприятий по замене, реконструкции и ремонтам трубопроводов тепловых сетей (в том числе по восстановлению и замене конструкции тепловой изоляции), где выявлены высокие сверхнормативные тепловые потери;
- оперативное выявление и устранение ненормативных условий эксплуатации трубопроводов теплосети (увлажнение, подтопление, затопление трубопроводов) для исключения интенсивной наружной коррозии;
- нормирование потерь тепловой энергии.

Ввиду того, что проведение испытаний выполняется на действующей тепловой сети в режиме реальной эксплуатации, ограничения по периодичности применения методики отсутствуют. Рекомендуется проведение испытаний ежегодно в осенне-зимний период.

3.1.3 Выбор участков сети, подвергающихся испытаниям

Для проведения испытаний необходимо владеть данными организации, эксплуатирующей тепловые сети, о тепловых сетях и сооружениях на них, графическим представлением объектов системы теплоснабжения с привязкой к топографической основе поселения с топологическим описанием связности объектов.

В целях обеспечения значительного охвата испытаниями выбор участков теплосети следует выполнять по следующим принципам:

- протяженность участка: от источника тепловой энергии до наиболее удаленного индивидуального теплового пункта объекта потребителя, где располагается узел учета тепловой энергии, интегрированный в систему дистанционного сбора показаний средств измерений;
- тип участка: подающий и обратный трубопроводы;
- количество участков: по каждому ответвлению трубопроводов от магистрального теплопровода.

Такой выбор участков обеспечивает минимальные трудозатраты на обработку параметров и результатов испытаний, а также наиболее полное представление о фактических тепловых

потерях в целом по системе теплоснабжения.

Подготовка участков теплосети, тепломеханического оборудования к испытаниям не требуется, наведение режима работы теплосети и оборудования также не требуется (режим действующей эксплуатации). Ответвления теплосети и индивидуальные тепловые пункты потребителей, присоединенные к участку во время испытаний, не отсоединяются от него (осуществляется режим реального теплопотребления).

Разработка мероприятий по подготовке измерительной аппаратуры не требуется, так как измерительная аппаратура на источнике тепловой энергии и в индивидуальных тепловых пунктах потребителей находится в режиме коммерческой эксплуатации, показания средств измерений наличествуют (фиксируются с заданной периодичностью во времени) в системе дистанционного сбора показаний средств измерений.

Характерный выбор участков для испытаний приведен для системы теплоснабжения №1.3 г. Казани (теплоснабжение объектов потребителей ЖК «Родина») на рисунке 12.

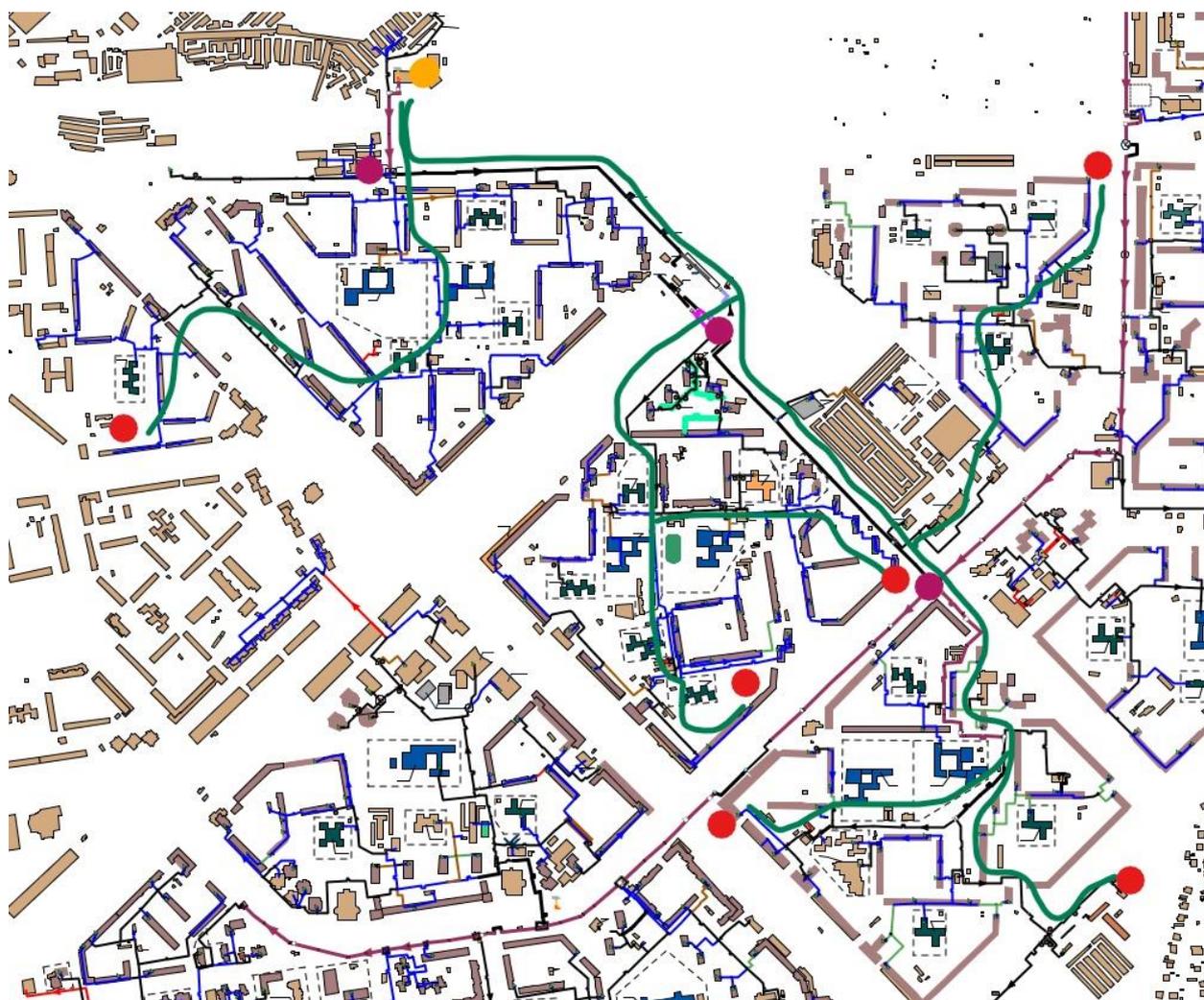


Рисунок 12 - Схема выбора для испытаний участков теплосети от РК «Горки» до индивидуальных тепловых пунктов объектов ЖК «Родина»

На рисунке 12 кружком желтого цвета обозначен источник тепловой энергии (РК «Горки»), кружком пурпурного цвета обозначены магистральные тепловые камеры тепловода №20 (ТК 20-3, ТК 20-7, ТК 20-8), от которых замечаются крупные ответвления трубопроводов, кружком красного цвета отмечены индивидуальные тепловые пункты потребителей, наиболее удаленных исходя из протяженности теплосети.

В целях определения реальной технической возможности проведения испытаний, а также необходимостью получения наиболее достоверных результатов испытаний, которые будут распространены на остальные не испытываемые участки тепловой сети, выбранные участки тепловых сетей анализируются на предмет достижения максимального соотношения их объема к общему объему теплосети системы теплоснабжения по показателю их материальной характеристики. Проведение испытаний свойственных участков в меньшем объеме допускается в исключительных случаях, когда коммерческие узлы учета тепловой энергии в индивидуальных тепловых пунктах потребителей на таких участках не наличествуют в системе дистанционного сбора показаний средств измерений.

По результатам анализа составляется таблица испытываемой теплосети с указанием характеристик тепловой сети по участкам с приведением информации их наружного диаметра, протяженности трубопроводов, конструкций тепловой изоляции, типов прокладки, а также сроков эксплуатации.

3.1.4 Параметры испытаний

Основными параметрами испытаний являются измеренные фактические значения температуры теплоносителя на выходе из теплофикационных установок источника тепловой энергии и в тепловых пунктах потребителей, фиксируемые на всем протяжении времени испытаний.

Время (продолжительность) испытаний определяется с точки зрения минимизации трудозатрат на обработку полученных данных при испытании, уровне автоматизации обработки результатов испытаний с помощью программно-технических средств, длительность которой должна быть не менее 120 часов (5 суток) подряд. На протяжении данного времени фиксируются параметры испытаний в сплошном порядке с дискретностью фиксации каждый час.

Расход теплоносителя на протяжении испытываемого участка теплосети и время прохождения температурной волны от начала участка теплосети до его конца определяется по

данным электронной модели системы теплоснабжения согласно Схемы теплоснабжения населенного пункта, разработанной и актуализируемой в соответствии с [17].

В случае отсутствия Схемы теплоснабжения населенного пункта указанные параметры расхода теплоносителя определяются по данным гидравлического расчета специалистами службы наладки и испытаний организации, эксплуатирующей тепловые сети.

3.1.5 Порядок проведения испытаний и обработка параметров испытаний

Перед началом испытаний составляется рабочая программа проведения испытаний, которая должна содержать следующую информацию:

- схема тепловых сетей;
- время начала и конца испытаний;
- перечень испытываемых участков теплосети, разбитых на малые участки количеством n в зависимости от различных способов их прокладки, конструктивных и режимных характеристик с указанием времени прохождения температурной волны, диаметра, протяженности, способа прокладки, материала тепловой изоляции, года ввода в эксплуатацию, материальной характеристики, расхода теплоносителя;
- используемая для получения данных о температуре теплоносителя система дистанционного снятия показаний;
- перечень коммерческих узлов учета тепловой энергии на источнике теплоты и у потребителя, расположенного в конце испытываемого участка;
- реквизиты электронной модели Схемы теплоснабжения населенного пункта;
- реквизиты электронного носителя с параметрами испытаний и результатами измерений;
- лицо, ответственное за обработку результатов и подготовку отчета о проведении испытаний.

Перед проведением испытаний производится проверка условий проведения испытаний по параметру расхода теплоносителя. Фактические значения расхода теплоносителя на источнике теплоты и у потребителя, расположенного в конце испытываемого участка, полученные по данным системы дистанционного снятия показаний сверяются с данными электронной модели Схемы теплоснабжения населенного пункта.

В результате испытаний по каждому выбранному участку трубопроводов составляется таблица параметров испытаний, включающая в себя следующую информацию за каждый час

испытаний:

- время τ_{0i} записи измерений по международному стандарту ISO 8601 в формате YYYY-MM-DD (дата, пример 2023-08-09) hh: mm (часы суток, пример 18:00), ч;

- фактическая температура теплоносителя $T_{\tau_{0i}}^{\text{ТН.нач}}$ в начале испытываемого участка (на источнике тепловой энергии) в момент времени τ_{0i} по данным системы дистанционного снятия показаний, °С;

- фактическая температура теплоносителя $T_{\tau_{ki}}^{\text{ТН.кон}}$ в конце испытываемого участка (показание средства измерения температуры в индивидуальном тепловом пункте объекта потребителя) в момент времени τ_{ki} (запоздание на величину времени прохождения теплоносителя по участку сети) по данным системы дистанционного снятия показаний, °С;

- скорость изменения фактической температуры теплоносителя $\Delta T_i^{\text{ТН.нач}}$ в начале исследуемого участка, рассчитанное по данным системы дистанционного снятия показаний, °С/час, рассчитывается по формуле:

$$\Delta T_i^{\text{ТН.нач}} = T_{\tau_{0i}}^{\text{ТН.нач}} - T_{\tau_{0i+1}}^{\text{ТН.нач}} \quad (22)$$

где время измерения температуры теплоносителя $\tau_{0i+1} = \tau_{0i} + 1$, час.

- значение нормативной температуры теплоносителя в конце участка тепловой сети в момент времени τ_{ki} , °С при нормативной величине тепловых потерь:

$$T_{\text{норм}i}^{\text{ТН.кон}} = T_{\tau_{0i}}^{\text{ТН.нач}} - \sum_{n=1}^n \Delta T_n \quad (23)$$

где $\sum_{n=1}^n \Delta T_n$ – сумма падений температуры теплоносителя на малых участках количеством n , рассчитанных последовательно по каждому малому участку (по ходу движения теплоносителя) исходя из формулы:

$$\Delta T_n = \frac{Q_n^{\text{н.п}}}{c \times G_n} \times 10^3 \quad (24)$$

где $Q_n^{\text{н.п}}$ – нормативные потери тепловой энергии на каждом малом n участке тепловой сети, рассчитанные в соответствии с [3] последовательно по каждому малому участку (по ходу движения теплоносителя) исходя из расчетной модели нормативных потерь тепловой энергии при различных температурах теплоносителя в начале малого участка, Гкал/ч; c – удельная теплоёмкость теплоносителя, ккал/(кг·°С); G_n – расход теплоносителя на n -ом участке тепловой сети, т/ч;

- соотношение фактических и определенных по нормам [3] тепловых потерь для испытываемого участка тепловой сети (поправочный коэффициент K), определяемое по формуле:

$$K = \frac{T_{\tau_{0i}}^{\text{ТН.нач}} - T_{\tau_{ki}}^{\text{ТН.кон}}}{T_{\tau_{0i}}^{\text{ТН.нач}} - T_{\text{норм}i}^{\text{ТН.кон}}} \quad (25)$$

Пример таблицы параметров испытаний для выбранного участка теплосети (подающий трубопровод) представлен в таблице 5.

Таблица 5 - Параметры испытаний участка теплосети

τ_{0i}	$T_{\tau_{0i}}^{\text{тн.нач}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\tau_{ki}}^{\text{тн.кон}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta T_i^{\text{тн.нач}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{норм}i}^{\text{тн.кон}}, ^\circ\text{C}$	K
20.12.2021 14:00	84,9	82,74	0,48	83,40	1,44
20.12.2021 15:00	85,19	83,1	0,29	83,70	1,40
20.12.2021 16:00	85,2	83,46	0,01	83,70	1,16
20.12.2021 17:00	85,1	83,56	-0,10	83,60	1,03
20.12.2021 18:00	84,84	83,5	-0,26	83,40	0,93
20.12.2021 19:00	84,3	83,31	-0,54	82,90	0,71
20.12.2021 20:00	83,89	82,87	-0,41	82,50	0,73
20.12.2021 21:00	84,04	82,26	0,15	82,60	1,24
20.12.2021 22:00	84,01	82,52	-0,03	82,60	1,06
20.12.2021 23:00	83,51	82,35	-0,50	82,10	0,82
21.12.2021 0:00	82,99	82,2	-0,52	81,60	0,57
21.12.2021 1:00	83,67	81,41	0,68	82,30	1,65
21.12.2021 2:00	84,34	81,89	0,67	82,90	1,70
21.12.2021 3:00	84,76	82,55	0,42	83,40	1,63
21.12.2021 4:00	84,36	83,02	-0,40	83,00	0,99
21.12.2021 5:00	84,75	82,79	0,39	83,40	1,45
21.12.2021 6:00	84,37	83,18	-0,38	83,00	0,87
21.12.2021 7:00	86,13	82,71	1,76	84,60	2,24
21.12.2021 8:00	86,49	84,31	0,36	85,00	1,46
21.12.2021 9:00	86,37	84,79	-0,12	84,90	1,07
21.12.2021 10:00	86,69	84,81	0,32	85,20	1,26
21.12.2021 11:00	85,96	84,93	-0,73	84,50	0,71
21.12.2021 12:00	85,98	84,48	0,02	84,50	1,01

3.1.6 Обработка результатов испытаний

Обработка результатов испытаний производится для каждого из участков теплосети отдельно по подающей и обратной линиям.

Ввиду того, что параметры испытаний участка теплосети характеризуют показатели нестационарного процесса теплообмена (потерь) тепловой энергии составляется функциональное уравнение, описывающее линейную зависимость соотношения величины фактических и нормативных тепловых потерь (показатель, характеризующий величину фактических потерь тепловой энергии) от скорости изменения температуры теплоносителя в начале участка тепловой сети путем аппроксимации данных одной переменной методом наименьших квадратов.

Аппроксимация данных ($K, \Delta T_i^{\text{тн.нач}}$) выполняется с использованием программных продуктов MS Excel по функции линейной регрессии.

По итогам аппроксимации данных функция линейной регрессии по испытываемому

участку теплосети имеет вид:

$$K = f(\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}}) = A * \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + B \quad (26)$$

где A - коэффициент, характеризующий влияние теплового состояния многослойной стенки (металл трубопровода, тепловая изоляция) при изменениях температуры теплоносителя, $^{\circ}\text{C}$; B - соотношение фактических и нормативных тепловых потерь при отсутствии изменения температуры теплоносителя для стационарного процесса (при $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} = 0$).

Пример таблицы результатов испытаний по участкам теплосети представлен в таблице 6.

Таблица 6 - Результаты испытаний 4-х участков теплосети

№ участка теплосети	Время испытаний, ч	Тип трубопровода	Полученная функция $K = f(\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}})$
1	144	подающий	$0,3466 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,2097$
		обратный	$0,3055 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,1540$
2	152	подающий	$0,7710 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 0,9713$
		обратный	$0,6743 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,0721$
3	168	подающий	$0,4636 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,4272$
		обратный	$0,4455 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,4089$
4	156	подающий	$0,6331 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,3873$
		обратный	$0,5843 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,1987$

Данные о фактических потерях тепловой энергии на испытываемом участке тепловых сетей в стационарном режиме работы теплосети, Гкал/ч, определяются по формуле:

$$Q_{\text{участка}}^{\text{ф.п}} = Q_{\text{участка}}^{\text{н.п}} \times K_B \quad (27)$$

где $Q_{\text{участка}}^{\text{н.п}}$ - нормативные потери тепловой энергии испытываемого участка теплосети определяемые математическим суммированием потерь $\Sigma Q_n^{\text{н.п}}$ на малых участках, Гкал/ч; K_B – соотношение фактических и нормативных потерь в условиях стационарного теплообмена ($K = B$, при $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} = 0$).

3.1.7 Оценка результатов испытаний, выявление увлажнения, подтопления, затопления участков трубопроводов

Оценка полученных экспериментальным путем данных испытаний участков теплосети производится в зависимости от целеполагания проводимых испытаний. В силу того, что

испытания проводятся на действующих тепловых сетях, то обработка и оценка результатов испытаний может производиться периодически на протяжении осенне-зимнего периода. Таким образом, испытания не ограничены во времени (испытания могут проводиться продолжительное время), вследствие чего достигается высокая точность испытаний, благодаря большему охвату времени испытаний.

Основными причинами отклонения от проектных режимов работы теплосетей и возникновения высоких значений сверхнормативных потерь тепловой энергии являются увлажнение изоляции и грунта из-за нарушения целостности строительной и изоляционной конструкций теплопроводов, быстрое старение и разрушение практически всех применяемых видов теплоизоляционных материалов. Увлажнение, подтопление и затопление трубопроводов теплосети вызывает внешний коррозионный процесс, снижающий долговечность систем теплоснабжения.

Согласно результатов исследований, приведенных в [2,33,35,37,92,93,95-106], влияние объемной влажности грунта и изоляции на тепловые потоки в зоне подземных канальных и бесканальных теплопроводов, характеризуется следующими показателями соотношения фактических и нормативных потерь тепловой энергии:

- при канальной прокладке показатели приведены в таблице 7;

Таблица 7 - Показатели тепловых потерь при увлажнении, подтоплении и затопления трубопроводов теплосети в канале

Процесс	Объемное увлажнение, %		Величина $K_{\text{кан}}$
	грунта	тепловой изоляции	
Увлажнение грунта отсутствует	0...5	0	<1,35
<i>для полимерных и ППУ-трубопроводов</i>			
Увлажнение грунта	6...30	0	1,36...1,87
Высокое насыщение грунта влагой (полимерные и ППУ-трубопроводы)	> 30	0	> 1,87
<i>для материала тепловой изоляции - минеральная вата</i>			
Увлажнение	6...12	0...30	1,35...1,87
Подтопление	12...50	10...30	1,88...2,61
Частичное затопление канала	> 50	10...30	2,62...5,29
Затопление канала (полное)	50...100	10...30	5,30...5,86
	50...100	31...49	5,87...6,93
	50...100	50...90	6,94...11,23

- при бесканальной прокладке показатели приведены в таблице 8;

Таблица 8 - Показатели тепловых потерь при увлажнении, подтоплении и затопления трубопроводов теплосети, проложенных бесканальным способом

Процесс	Объемное увлажнение, %		Величина $K_{\text{бескан}}$
	грунта	тепловой изоляции	
Увлажнение грунта отсутствует	0...5	0	<1,34
<i>для полимерных и ППУ-трубопроводов</i>			
Увлажнение грунта	6...30	0	1,35...1,99
Высокое насыщение грунта влагой (полимерные и ППУ-трубопроводы)	> 30	0	> 2,00
<i>для материала тепловой изоляции - минеральная вата</i>			
Увлажнение	6...12	0...30	1,35...3,09
Подтопление, затопление канала	> 12	> 30	> 3,10

3.2. Методика обработки результатов

Основную сложность в ручной обработке результатов испытаний составляют математические вычисления нормативных потерь тепловой энергии и аппроксимация данных для составления уравнения функции линейной регрессии по показаниям температуры теплоносителя на участке теплосети с учетом времени движения теплоносителя.

Массив исходных данных о фактических значениях температуры теплоносителя во время проведения испытаний водяных тепловых сетей в цифровом виде может быть импортирован из системы дистанционного сбора показаний средств измерений.

В части расчета нормативных потерь тепловой энергии на рынке представлены программные продукты «PaTeH-325», «Норматив-теплосеть», «ZuluThermo».

Согласно исследованиям, приведенным в [38,39, 107-109], среди программных продуктов для электронного моделирования Схем теплоснабжения населенных пунктов, содержащих в себе параметры расхода, времени движения теплоносителя по испытываемому участку трубопроводов, распространение получили ZuluTermo (ООО «Политерм», г. Санкт-Петербург) и CityCom (ООО ИВЦ «Поток», г. Москва).

Для разработки программного продукта по обработке результатов испытаний по предлагаемой в настоящей работе методике проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения, находящихся в режиме эксплуатации, необходимо объединение и описание алгоритмов взаимодействия следующих программных комплексов:

- дистанционного сбора показаний средств измерений;
- расчета нормативных потерь тепловой энергии;
- расчета параметров расхода и времени движения теплоносителя;
- аппроксимации данных и получения функции линейной регрессии.

Программная обработка результатов испытаний позволяет снизить временные и трудовые ресурсы, дает возможность существенно увеличить количество испытаний и учет показателей потерь тепловой энергии в динамике продолжительного периода.

3.3 Решение существенных проблем испытаний

Предложенная методика испытаний на фактические потери тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения с использованием систем дистанционного сбора показаний средств измерений и электронной модели Схемы теплоснабжения населенного пункта решает следующие существенные проблемы испытаний.

3.3.1 Проблема не стационарности процесса теплообмена между теплоносителем и окружающей средой в сетях централизованного теплоснабжения

В соответствии с [6,40,41,42,110-112] регулирование температуры теплофикационной воды на выходе из сетевых подогревателей, на выводах тепловой сети, а также на станциях подмешивания, расположенных в тепловой сети, должно быть равномерным со скоростью, не превышающей 30°C в час. Такое ограничение по режиму работы теплофикационной установки источника обусловлено тем, чтобы исключить возможность значительных тепловых деформаций трубопроводов и поверхностей теплообменных аппаратов.

Существующие нормативные документы [4,5] по проведению испытаний теплосети на фактические тепловые потери предполагают наведение стационарного режима теплоснабжения – результаты испытаний представляются в виде конкретных статичных значений (коэффициентов) соотношения фактических и нормативных потерь (то есть исключительно для летнего периода). Это в корне не соответствует реальности нестационарного режима теплоснабжения в осенне-зимний период в условиях постоянно изменяющихся значений температуры теплоносителя из-за периодических (суточных) колебаний фактической

температуры наружного воздуха.

Согласно [43] средняя суточная амплитуда температуры наружного воздуха в городах России колеблется в пределах 3,8...16,9°C.

Разброс средних значений суточной амплитуды характеризуется следующими факторами:

- территориальный (условия различных климатических зон);
- временной, когда суточная амплитуда зависит от времени года.

На протяжении года максимальная суточная амплитуда температуры наружного воздуха выше средней в 2-4 раза.

Согласно исследованиям, приведенным в [113-116], график суточного хода температуры наружного воздуха имеет вид синусоиды, так как связан с суточным ходом освещенности (нагревом воздуха и поверхностей солнечной радиацией). В течении суток достигаются значения максимальной (однократно), минимальной (однократно) и средней (двукратно) температуры наружного воздуха.

Значения суточной амплитуды температуры воздуха согласно [43] для г. Казани в Республике Татарстан приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Суточная амплитуда температуры наружного воздуха для г. Казани

январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Средняя амплитуда температуры наружного воздуха, °С											
6,5	7,6	8	8,1	10,7	11,9	11,1	10,8	9,2	6,1	5,2	6,2
Максимальная амплитуда температуры наружного воздуха, °С											
20,4	19,7	19,5	18,7	20,7	21,9	19,1	19,8	21,3	17,3	22,3	26,7
Средняя месячная температура воздуха, °С											
-11,6	-10,9	-4,3	5,3	13,2	17,6	19,7	17,4	11,5	4,2	-3,2	-8,9

Используя действующий на текущий момент температурный график качественно-количественного регулирования для системы централизованного теплоснабжения для Казанских ТЭЦ-1,2,3 (115/70°C), расчетная амплитуда (диапазон) суточного изменения температуры подаваемого теплоносителя в подающем трубопроводе от источника теплоты в отопительный период должна составлять значения, приведенные в таблице 10.

Таблица 10 - Амплитуда суточного изменения температуры подаваемого теплоносителя

январь	февраль	март	апрель	октябрь	ноябрь	декабрь
при средней амплитуде температуры наружного воздуха, °С						
12,2	14,4	17,8	2,8	2,8	12,1	12,4
при максимальной амплитуде температуры наружного воздуха, °С						
34,8	35,6	34,1	14,1	15,2	34,7	42,8

Скорость изменения температуры теплоносителя в период осенне-зимнего периода (ноябрь-март) составит порядка $0,50...0,74^{\circ}\text{C}/\text{час}$ для условия соблюдения средней амплитуды и $1,42...1,78^{\circ}\text{C}/\text{час}$ для максимальной амплитуды (при расчете скорости исключены переходные месяцы апрель, октябрь, где амплитуда минимальна). Указанные значения много меньше установленного нормативными требованиями предела $30^{\circ}\text{C}/\text{час}$.

Необходимо отметить то, что тепловая сеть обладает инерционностью - величина времени прохождения теплоносителя по участку тепловой сети от источника до объекта потребителя (время прохождения температурной волны), которая для разветвленных систем централизованного теплоснабжения достигает от часа до полусуток (в зависимости от характеристик трубопроводов конкретного участка теплосети, точки присоединения теплопотребляющих установок к теплосети).

Заданное диспетчером теплосети значение температуры подаваемого теплоносителя по прогнозной среднесуточной температуре наружного воздуха согласно [6,40,117] не охватывает возможные максимальные колебания температуры воздуха в течение суток. В связи с чем, на протяжении суток температура подаваемого теплоносителя может не соответствовать температурному графику, данное обстоятельство неоднократно отмечалось в исследованиях [68,118-122].

В осенне-зимний период при эксплуатации тепловых сетей соотношение фактических и нормативных тепловых потерь для участка тепловой сети изменяется во времени и линейно зависит от скорости изменения температуры теплоносителя (детерминированный фактор).

Вывод: режим действующего теплоснабжения является нестационарным. Наведение же стационарного режима для проведения испытаний на фактические потери теплоты не отражает реальную картину распределения значений фактических потерь тепловой энергии в трубопроводах в эксплуатируемой теплосети. Режим потерь тепловой энергии следует определить, как нестационарный, носящий динамический характер.

Для исключения вышеописанного эффекта от не стационарности режима

теплоснабжения результаты испытаний трубопроводов теплосети должны несомненно носить динамический характер в форме математической зависимости от реальных изменений температуры теплоносителя в сети, что отмечено в работах [91,123-125].

Согласно предложенной методики испытаний решена проблема расчета тепловых потерь в осенне-зимний период в нестационарных условиях при постоянно изменяющемся градиенте температур теплоносителя (в режиме реального времени), в результате которых получена математическая функция зависимости изменения тепловых потерь для участка теплосети, находящего в процессе эксплуатации.

3.3.2 Проблема проведения испытаний тепловых сетей на фактические потери тепловой энергии без ограничения теплоснабжения потребителей

Согласно исследованиям, приведенным в [44,126], при отключении потребителей тепловой энергии от тепловых сетей, возникают условия прямого экономического ущерба как для теплоснабжающей организации, так и для потребителей:

- для теплоснабжающей организации – прямой ущерб от уменьшения выручки от продажи тепловой энергии на время отключения, повышения доли условно-постоянных и эксплуатационных затрат на производимую теплоту и уменьшения деловой репутации (в бухгалтерском учете - репутационный капитал);
- для потребителей – снижение комфортности использования помещений в условиях отсутствия горячего водоснабжения. Особенно важным данный эффект наблюдается для социально-значимой категории объектов теплоснабжения (образовательные, медицинские учреждения), где социальные услуги могут предоставляться исключительно при наличии горячего водоснабжения.

Кроме того, проведение испытаний возможно только в ограниченное время (как правило, в летний период) плановых отключений потребителей (законодательно установлен срок не более 14 дней), но при этом уменьшается время, располагаемое для ремонтов тепловых сетей и источников тепловой энергии. Важным является то, что в случае необходимости отсутствует возможность проведения испытаний тепловых сетей на более длительный срок (более 3 суток), так как основания для прекращения подачи тепловой энергии абоненту установлены законодательством и не могут быть расширены или изменены по усмотрению сторон.

Также немаловажный момент - профилактические ремонтные работы, гидравлические

испытания тепловых сетей в летний период блокируют возможность организации циркуляционного кольца, необходимого для испытаний.

Предложенная методика проведения испытаний с использованием систем дистанционной передачи показаний средств измерений не предусматривает отключение теплоснабжения объектов потребителей тепловой энергии. А, следовательно, не приводит к экономическому ущербу, что является решением экономико-эксплуатационной проблемы.

3.4 Преимущества предложенной методики в сравнении с действующей методикой проведения испытаний

В таблицах 11, 12 представлены преимущества/недостатки предложенной методики проведения испытаний тепловых сетей на фактические тепловые потери в результате сравнения условий проведения испытаний с действующей методикой в [4,5].

Таблица 11 - Преимущества методики

Преимущество	Влияние преимущества	Условие (возможность) испытаний по действующей методике
Математическое описание нестационарного режима теплообмена между теплоносителем и окружающей теплотрассу средой	Результаты испытаний по определению потерь тепловой энергии отражены динамической зависимостью от изменения температуры теплоносителя	Результаты испытаний выражены в виде конечного статического значения потерь тепловой энергии в результате наведенного стационарного режима теплообмена
Испытания проводятся без прекращения теплоснабжения потребителей	Отсутствие экономического ущерба для потребителя и теплоснабжающей организации	Все ответвления и абоненты, присоединенные к циркуляционному кольцу, на время испытаний отсоединяются от него
Отсутствие необходимости подготовки тепловых сетей к испытаниям	Испытания возможно проводить более чаще	Испытания проводятся, как правило, 1 раз в 5 лет ввиду необходимости организации подготовки циркуляционного кольца с установкой циркуляционной перемычки, отключения потребителей
Испытания проводятся во время эксплуатации сетей в осенне-зимний период (в любое время)	Результаты испытаний отражают действительные значения потерь в осенне-зимний период	Результаты испытаний отражают полученные значения потерь в летний период, а не фактические значения для осенне-зимнего периода

Продолжение таблицы 11- Преимущества методики

Преимущество	Влияние преимущества	Условие (возможность) испытаний по действующей методике
Испытаниями охватываются практически все участки сетей	Результаты испытаний более достоверны ввиду большего охвата участков для испытаний	Допускается охват сетей 20% в материальной характеристике и даже в меньшем объеме
Отсутствие требований по наведению постоянного расхода теплоносителя	Результаты испытаний более достоверны ввиду проведения испытаний в условиях действительных расходов воды	Расход воды на всех участках циркуляционного кольца во время испытаний должен быть одинаковым с точностью +/-2% (используется летний сетевой насос) и выбирается исходя из ориентировочного (заранее неизвестного) значения потерь в летний период
Отсутствие требований по наведению постоянной температуры теплоносителя	Результаты испытаний более достоверны ввиду проведения испытаний в условиях действительных температур воды	Температура воды поддерживается одинаковой в процессе испытаний с точностью +/- 0,5°C, понижение температуры в кольце ограничено пределом 8...20°C
Большая продолжительность испытаний	Результаты испытаний более достоверны ввиду большего количества данных для обработки и меньшей величиной дисперсии (отклонение случайных выбегов показаний средств измерений из-за их погрешности)	Испытания считаются законченными после того, как температурная волна достигнет источника теплоты по обратной линии теплосети (8...10 часов)
Обработка результатов испытаний путем аппроксимации данных	Повышении достоверности результатов испытаний	Обработка результатов производится по усредненным значениям расхода и температуры теплоносителя путем построения графиков, когда режим испытаний был наиболее близок к установившемуся
Результаты испытаний получены в осенне-зимний период	Возможность принятия (планирования) мер по реконструкции, перекладке тепловых сетей, где выявлены наибольшие отклонения от нормы, в предстоящем летнем периоде (текущий ремонт)	Фактически результаты испытаний могут быть использованы для планирования мероприятий по замене трубопроводов в последующий летний период (через 1 год, не ранее), так как график ремонтов и перекладки утверждается заблаговременно

Таблица 12 - Недостатки методики

Недостаток	Влияние недостатка	Существенность недостатка
Необходимость использования систем дистанционной передачи показаний средств измерений	Теплоснабжающая организация вынуждена организовывать дистанционную передачу данных от потребителей и по тепловым камерам (павильонам, ПНС) при ее отсутствии	У большей части потребителей установлены на теплосчетчиках средства дистанционной передачи данных (требуется подключение к ним). В отсутствие дистанционной передачи данных требуется установка недорого модема связи
Необходимость более высокой компетенции специалиста для обработки результатов путем аппроксимации	Отсутствие экономического ущерба для потребителя и теплоснабжающей организации	Для повышения уровня компетентности в области аппроксимации данных требуется дополнительная обучающая подготовка с низкими финансовыми затратами

Рассмотрев перечень преимуществ и недостатков предложенной методики проведения испытаний приходим к выводу о целесообразности внедрения в теплоснабжающих (теплосетевых) организациях коммунального комплекса систем дистанционной передачи показаний средств измерений и переход к испытаниям тепловых сетей на фактические потери по предложенной методике.

3.5 Выводы по главе

Разработана и обоснована к применению методика проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения, находящихся в режиме эксплуатации.

Непосредственной задачей проведения испытаний водяных тепловых сетей является по предложенной методике является определение соотношений (поправочных коэффициентов) величин фактических и нормативных тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции теплопроводов. Фактические тепловые потери устанавливаются экспериментально путем проведения испытаний.

Методика предназначена для проведения испытаний в реальном режиме эксплуатации в осенне-зимний период, с использованием системы дистанционного сбора показаний средств измерений.

В силу того, что испытания проводятся на действующих тепловых сетях, то обработка и оценка результатов испытаний может производиться периодически на протяжении осенне-зимнего периода. Таким образом, испытания не ограничены во времени (испытания могут проводиться продолжительное время), вследствие чего достигается высокая точность испытаний, благодаря большому охвату времени испытаний.

В результате обработки параметров испытаний составляется функциональное уравнение, описывающее линейную зависимость соотношения величины фактических и нормативных тепловых потерь (показатель, характеризующий величину фактических потерь тепловой энергии) от скорости изменения температуры теплоносителя в начале участка тепловой сети путем аппроксимация данных одной переменной методом наименьших квадратов.

Представлено описание методики, порядок проведения испытаний, обработка параметров и результатов испытаний, их оценка, а также преимущества и недостатки методики.

Описана возможность программного решения для проведения испытаний и обработки их результатов для снижения затрат времени и труда, которая позволяет существенно увеличить количество испытаний и учет показателей потерь тепловой энергии в динамике продолжительного периода, что повысит уровень точности предсказаний в части значений прогнозируемых потерь теплоты.

Решена проблема расчета тепловых потерь в осенне-зимний период в нестационарных условиях при постоянно изменяющемся градиенте температур теплоносителя на источнике теплоты и в конце исследуемого участка теплосети (в режиме реального времени).

Предложенная методика проведения испытаний с использованием систем дистанционной передачи показаний средств измерений не предусматривает отключение теплоснабжения объектов потребителей тепловой энергии.

4. АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА ФАКТИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ, НАХОДЯЩИХСЯ В РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

4.1 Описание и режим работы системы централизованного теплоснабжения, по отношению к которой проведена апробация методики

В целях апробации методики проведения испытаний выбрана крупная система централизованного теплоснабжения города Казань с источником тепловой энергии РК «Савиново» и тепловыми сетями единой теплоснабжающей организации АО «Татэнерго».

4.1.1 Описание источника тепловой энергии

В целях обеспечения производства тепловой энергии для нужд системы теплоснабжения основное оборудование источника РК «Савиново» (РТ, г. Казань, ул. Силикатная) составляют 2 котла КВГМ-180-150-2 и 1 котел КВГМ-180-150-2М установленной тепловой мощностью 540 Гкал/ч, из которых 538,2 Гкал/ч непосредственно могут быть выданы в систему централизованного теплоснабжения по 2-м магистральным теплопроводам №17(18),19.

Каждый вывод теплоты оборудован узлом учета тепловой энергии, показания которого интегрированы в систему дистанционного сбора показаний средств измерений.

Годовая выработка тепловой энергии для системы теплоснабжения составляет 760-850 тыс. Гкал, основной вид используемого горючего – природный газ. Производительной водоподготовительной установки составляет 200 т/ч.

Рабочие параметры теплоносителя от РК «Савиново»:

- давление в подающем трубопроводе $P_1=8,5$ кгс/см².
- давление в обратном трубопроводе $P_2=2,5$ кгс/см².
- максимальный расход 8350 т/ч (при работе 3-х насосов).

4.1.2 Описание структуры тепловых сетей системы теплоснабжения и исполнение температурного графика

РК «Савиново» отпускает тепловую энергию по двум магистральным теплопроводам №17 (с учетом ответвления в П-8 на магистральный тепловод №18), №19.

Общая протяженность тепловых сетей (в однострубно́м исчислении) в системе теплоснабжения составляет 196,8 км. Границы зоны действия тепловых сетей системы теплоснабжения от РК «Савиново» представлены на рисунке 13 и образованы кадастровыми кварталами: 16:50:110102, 16:50:110103, 16:50:110104, 16:50:110108, 16:50:110107, 16:50:110501, 16:50:110503, 16:50:110504, 16:50:110511, 16:50:110508, 16:50:110507, 16:50:110603, 16:50:110604, 16:50:110605, 16:50:110801, 16:50:110802, 16:50:110807.

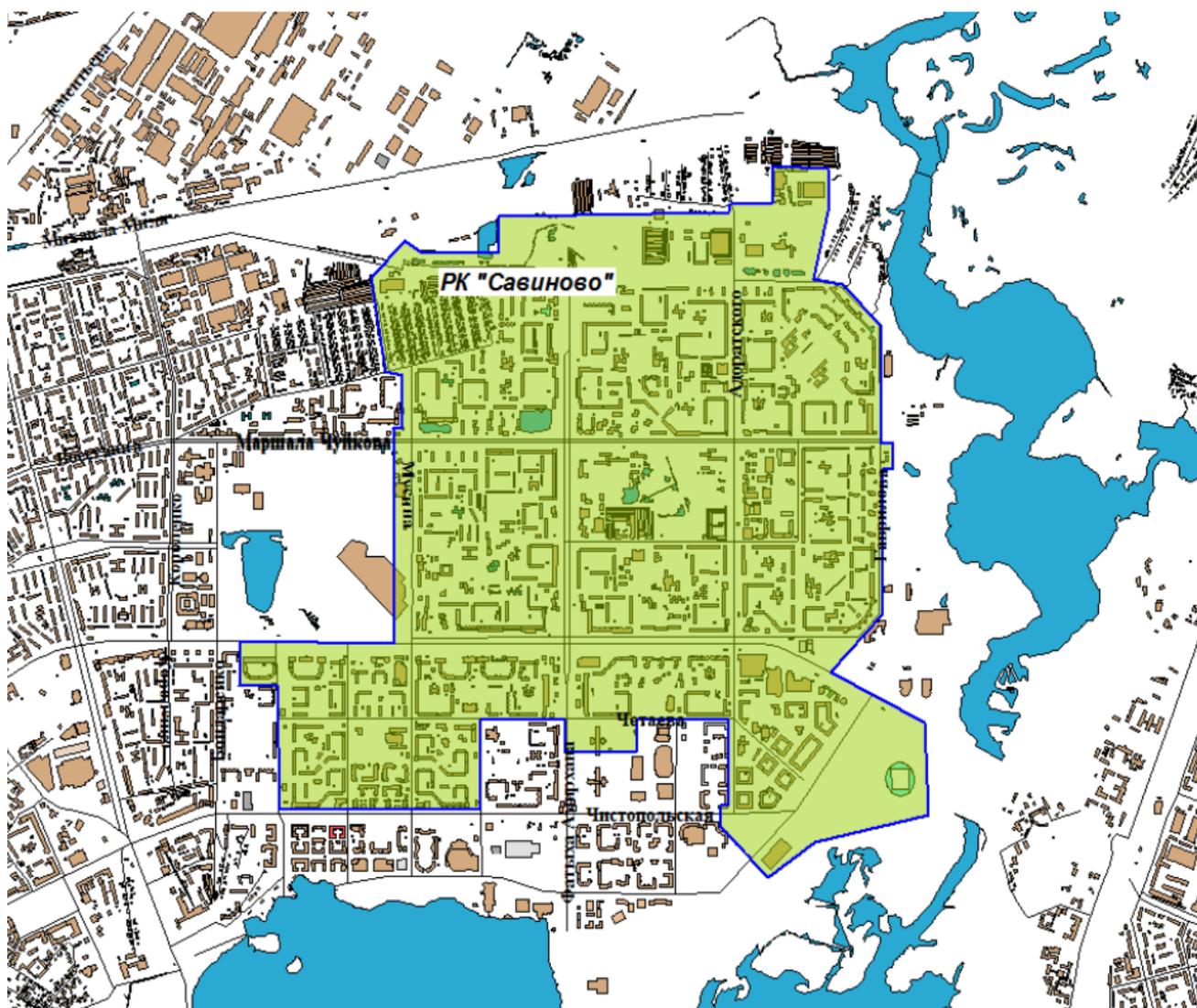


Рисунок13 - Зона действия РК «Савиново»

Сети тепलोвода №17 представлены на рисунке 14, имеют внутренние диаметры трубопроводов от 80 мм до 1000 мм с основным способом прокладки – подземная канальная, тип тепловой изоляции – минеральная вата.

Сети тепलोвода №18 представлены на рисунке 15, имеют внутренние диаметры трубопроводов от 80 мм до 800 мм с основным способом прокладки – подземная канальная и без канала, тип тепловой изоляции – минеральная вата, пенополиуретан. Сети тепलोвода №19 имеют внутренние диаметры трубопроводов от 80 мм до 1000 мм с основным способом прокладки – подземная канальная, тип тепловой изоляции – минеральная вата.

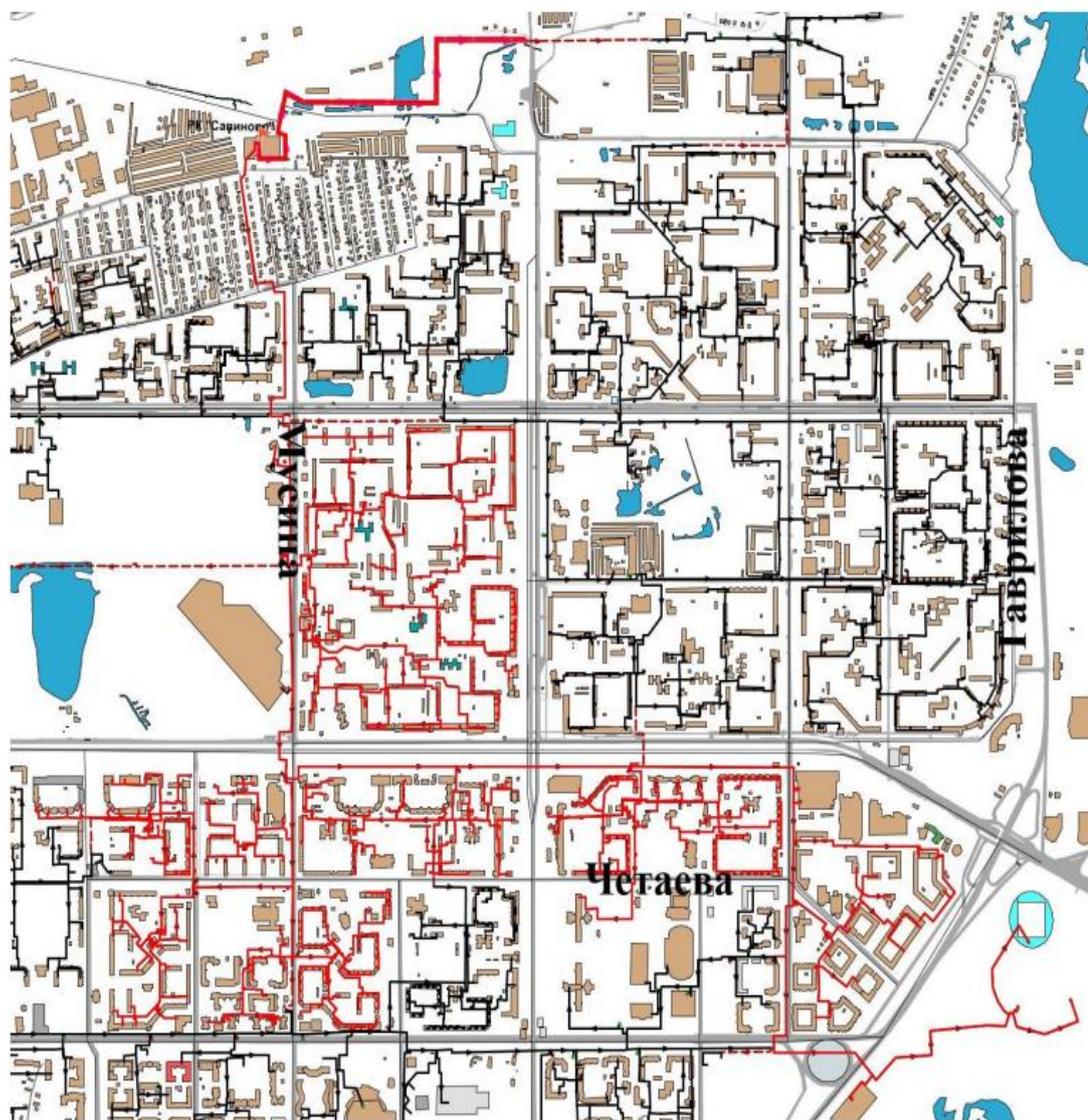


Рисунок 14 - Тепловые сети тепलोвода №17

Применяемые типы теплоизоляционных конструкций могут не являться оптимальными с современной позиции обеспечения надежности работы тепловых сетей (наблюдаются случаи увлажнения, подтопления грунта в зоне залегания теплосети). На территории большей части Казани высокий уровень грунтовых вод. Питание грунтовых вод осуществляется за счет

инфильтрации атмосферных осадков. Подземные воды получают питание при эпизодической подпорной фильтрации в период искусственного подъема уровней в Куйбышевском водохранилище и оз. Средний Кабан. Также причиной изменения гидрогеологической обстановки являются дополнительная инфильтрация в верхнюю часть гидросферы атмосферных осадков и утечек вод из-за нарушения условий поверхностного стока в связи с промышленным и жилищным строительством. Как показывают результаты исследований в работах [46,80], для определения потенциала мероприятий по повышению надежности систем теплоснабжения необходимо проводить оценку оптимальных характеристик тепловой сети, анализ параметров теплофикации.

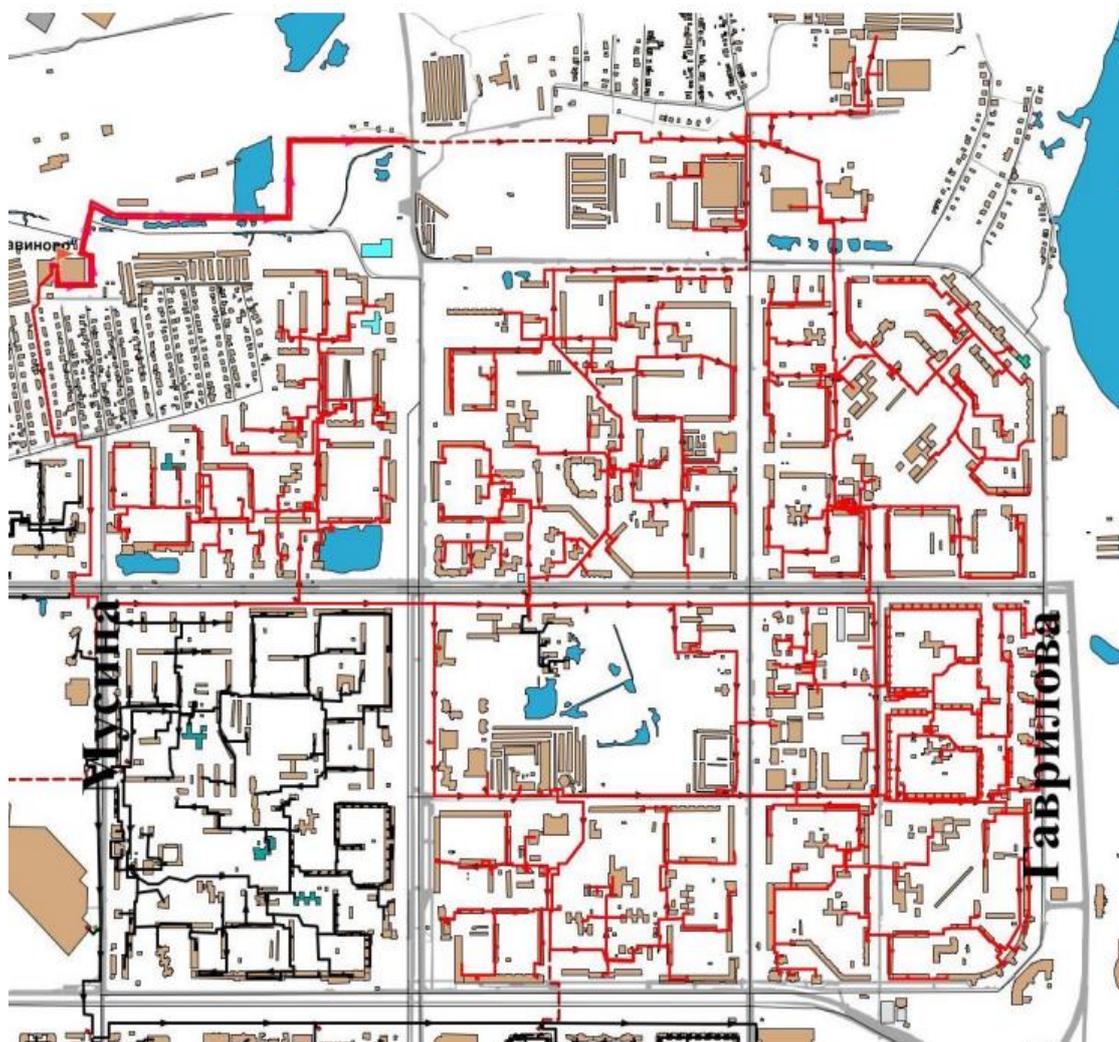


Рисунок 15 - Тепловые сети тепловода №18

Температурный график регулирования отпуска тепловой энергии от РК «Савиново» представлен на рисунке 16. Температурный график выполнен со спрямлением на горячее водоснабжение на $75,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температуре наружного воздуха $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, имеет срезку на $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температуре наружного воздуха при $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$.

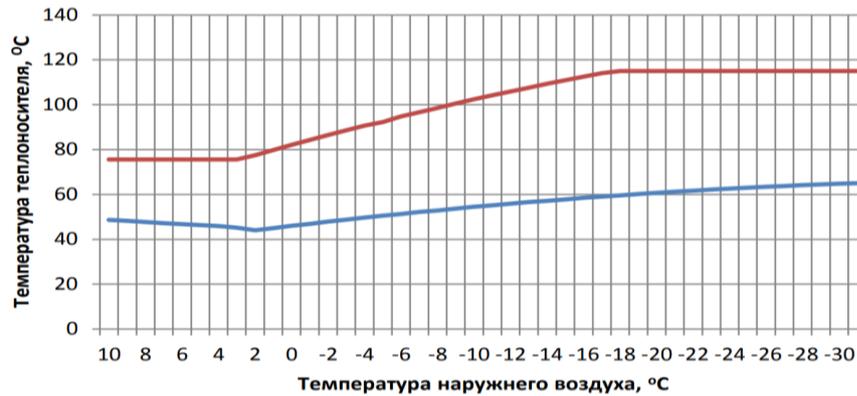


Рисунок 16 - Температурный график от РК «Савиново»

Фактические температуры теплоносителя в тепловых сетях и на входе в отапливаемый объект при центральном качественном методе регулирования отпуска тепловой энергии от РК «Савиново» в тепловые сети по отопительной нагрузке представлены в приложении А.

Сравнение утвержденного и фактического температурных графиков отпуска тепловой энергии от РК «Савиново», представленное на рисунке 17, показывает то, что по заданию диспетчера теплосети значения температур теплоносителя по усредненной за сутки температуре наружного воздуха не учитывают фактическую суточную амплитуду колебаний температуры воздуха.

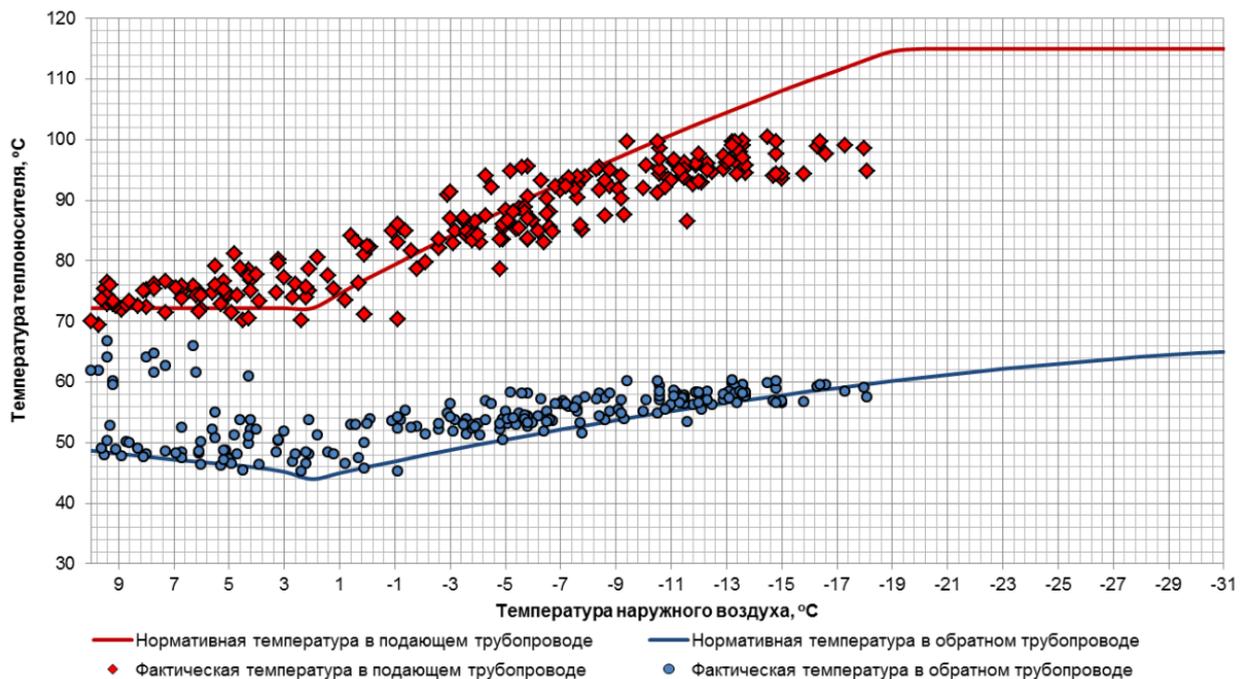


Рисунок 17 - Сравнение утвержденного и фактического температурных графиков отпуска тепловой энергии от РК «Савиново» с сетевой водой

Данное обстоятельство указывает на то, что реальные условия эксплуатации тепловых сетей отличаются от условия изменения температуры теплоносителя по температурному графику. Ввиду высокой степени оснащения объектов потребителей узлами погодного регулирования (более 65%) в системе теплоснабжения отмечается:

- в диапазоне температур наружного воздуха $+7\dots-9^{\circ}\text{C}$ наличие перетопов (ситуация, когда при относительно тёплой погоде поставляемое количество теплоты избыточно, и отапливаемое помещение перегревается);

- в диапазоне температур наружного воздуха $-11\dots-19^{\circ}\text{C}$ теплоснабжение объектов потребителей недостаточно по отношению к расчетной тепловой нагрузке.

4.1.3 Описание наиболее распространенных типов присоединений теплопотребляющих установок потребителей к тепловым сетям

Основное оборудование индивидуальных тепловых пунктов объектов потребителей: элеватор, центробежные насосы, теплообменники горячего водоснабжения, приборы контроля и учета тепловой энергии, теплоносителя.

Присоединение теплопотребляющих установок потребителей выполняется с учетом гидравлического режима работы тепловых сетей (пьезометрического графика) и графика изменения температуры теплоносителя в зависимости от изменения температуры наружного воздуха.

Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, горячего водоснабжения потребителей присоединены к двухтрубным водяным тепловым сетям, как правило, по зависимой схеме. Независимая схема, предусматривающая установку водо-водяных подогревателей, не распространена.

Горячее водоснабжение предусмотрено по закрытой схеме подключения через индивидуальный водо-водяной подогреватель, где греющей средой является теплоноситель от источника тепловой энергии, нагреваемой средой является холодная вода из централизованных сетей водоснабжения питьевого качества. Водо-водяные подогреватели горячего водоснабжения подключены, в основном, по двухступенчатой смешанной схеме.

Тепловые нагрузки потребителей в системе теплоснабжения образованы тепловыми энергоустановками 472 зданий (373 жилых многоквартирных домов, 99 нежилых административных зданий).

4.1.4 Используемая система дистанционного сбора показаний средств измерений в системе теплоснабжения

Обеспеченность объектов теплоснабжения потребителей коммерческими узлами учета тепловой энергии составляет 469 зданий или 99,3%, из которых 238 объектов или 50,7% от общего количества узлов учета оснащены средствами дистанционной передачи показаний средств измерения в систему сбора показаний средств измерений.

Система сбора показаний средств измерений организована на базе программного продукта «Программный комплекс «Система сбора данных ПУ TATAISENERGO energySSDPU» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018611844 от 08.02.2018).

В целях апробации методики проведения испытаний из системы сбора показаний средств измерений взяты следующие показания:

- а) время работы приборов учета в штатном режиме;
- в) температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах.

4.1.5 Достаточность объекта исследования для апробации методики

Выбранная для апробации методики проведения испытаний система теплоснабжения г. Казани от РК «Савиново» является энергетическим комплексом. Она включает комплекс теплоэнергетических установок и сетей, обеспечивающих потребителей тепловой энергией, удовлетворяет требованиям паспорта научной специальности.

Изученные процессы тепловых потерь при нестационарном режиме работы сетей теплоснабжения достаточны для научного исследования, изучаемая автором проблема получения достоверных данных о фактических потерях тепловой энергии, как предмете научного исследования, по результатам испытаний существует и находится в границах системы теплоснабжения.

Необходимость апробации методики в отношении иных систем теплоснабжения избыточна ввиду обеспечения полноты исследовательского процесса в одной из систем теплоснабжения, которая необходима и достаточна для эксперимента. Исследуемая система теплоснабжения качественно не отличается от других систем в отношении наблюдаемого процесса теплопереноса от теплоносителя в трубопроводах теплосети к окружающей среде.

Достаточность исследовательского процесса в одной системе теплоснабжения отчетливо просматривается в научных публикациях [127-129].

4.2 Применение методики и ее результаты

4.2.1 Расчет нормативных тепловых потерь на участках теплосети в системе теплоснабжения

Расчетная модель нормативных тепловых потерь выполнена в отношении выбранных участков теплосети от РК «Савиново». В приложении Б показаны результаты расчетов в отношении 41 участка теплосети.

Нормативные потери тепловой энергии для рабочего диапазона температур теплоносителя вычислены в соответствии с нормами, приведенными в [3].

Табличные значения норм плотности теплового потока (тепловых потерь) по подающим и обратным трубопроводам взяты из [3].

В расчетах использованы фактические данные о протяженности участков трубопроводов, коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери арматурой, компенсаторами и опорами принят 1,2 при диаметре трубопроводов до 150 мм и 1,15 - при диаметре 150 мм и более, а также при всех диаметрах трубопроводов бесканальной прокладки.

Выполнен расчет температуры теплоносителя в конце каждого участка трубопроводов.

Источником данных о расходах теплоносителя по трубопроводам системы теплоснабжения от РК «Савиново» и времени прохождения температурной волны от начала участка испытуемого теплосети до его конца является электронная модель системы теплоснабжения согласно Главе 3 Схемы теплоснабжения муниципального образования г. Казани, разработанной и актуализируемой в соответствии с [17].

4.2.2 Расчет фактических потерь тепловой энергии и температуры теплоносителя по участкам действующей теплосети

Модель фактического распределения потерь тепловой энергии и температуры теплоносителя во времени выполнена в отношении 16 участков теплосети (подающий трубопровод) от РК «Савиново».

Перечень участков теплосети, а также их протяженность и время прохождения температурной волны приведен в таблице 13.

Таблица 13 - Перечень испытываемых участков теплосети

№ уч.	Наименование участка	Время прохождения теплоносителя при -29°С, мин.	Протяженность участка, м	№ маг. тепловода
1	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Гаврилова, 4	96,27	4201,9	18
2	от РК «Савиново» до ИТП по пр. Амирхана, 2	67,86	3645,6	18
3	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Чуйкова, 93	76,56	3878,7	18
4	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Лаврентьева, 26	78,96	4019,9	18
5	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Гаврилова, 54	87,81	4393,4	19
6	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Чистопольская, 43	46,06	2855,6	17
7	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Четаева, 46	47,67	2917,7	17
8	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Ямашева, 65	50,95	3166,7	17
9	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Мусина, 53	46,29	2187,8	17
10	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Ямашева, 74а	74,96	3542,8	18
11	от РК «Савиново» до ИТП по пр. Амирхана, 55	42,06	2436,0	17
12	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Чуйкова, 26	47,49	2182,0	17
13	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Меридианная, 11	68,24	3268,8	17
14	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Четаева, 36	38,42	2351,0	17
15	РК «Савиново» до ИТП по ул. Абсалямова, 14	91,22	3611,6	17
16	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Адоратского, 35а	52,77	3329,6	18

В приложении В показаны результаты расчетов фактических потерь тепловой энергии и температуры теплоносителя по участкам действующей теплосети (корреляционное поле зависимости изменения соотношения фактических и нормативных тепловых потерь от скорости изменения температуры теплоносителя вначале участка, таблица параметров испытаний, математическая функция линейной регрессии и ее график).

По результатам обработки параметров испытаний путем аппроксимации данных получены следующие функции линейной регрессии по каждому испытываемому участку теплосети, данные представлены в таблице 14.

Таблица 14 - Функции линейной регрессии испытываемых участков теплосети

№ участка	Функция линейной регрессии (изменение соотношения фактических и нормативных потерь тепловой энергии в зависимости от изменения скорости изменения температуры теплоносителя в начале исследуемого участка)
1	$K = 0,3466 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,2097$
2	$K = 0,6709 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,2907$
3	$K = 0,7652 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,5020$
4	$K = 0,6540 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,1616$
5	$K = 0,8346 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,1647$
6	$K = 0,8881 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 3,6344$
7	$K = 1,0572 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 3,0621$
8	$K = 0,8661 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,7598$
9	$K = 0,3018 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,2549$
10	$K = 0,3476 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 0,9637$
11	$K = 0,3486 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,4848$
12	$K = 0,2845 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,7055$
13	$K = 1,2826 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 2,1776$
14	$K = 1,5606 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 3,0673$
15	$K = 0,9437 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,9876$
16	$K = 0,655 \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,5815$

4.2.3 Оценка данных, полученных в результате апробации методики

Как видно из таблицы 14, полученные в ходе исследования функции линейной зависимости соотношения фактических и нормативных тепловых потерь от скорости изменения температуры теплоносителя в начале исследуемого участка теплосети имеют предложенный в исследовании вид $K = A \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + B$, описывающий непрерывные изменения потерь тепловой энергии во времени в условиях нестационарного режима теплообмена между теплоносителем и окружающей средой.

Полученные в научном исследовании функции потерь тепловой энергии в нестационарном режиме работы теплосети подтверждают следующее:

1. В случае увеличения температуры теплоносителя ($\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} > 0$) фактические потери тепловой энергии увеличиваются за счет влияния (теплоотдачи) теплового состояния

(теплосодержания) многослойной стенки, окружающей трубопровод среды (металл трубопровода, тепловая изоляция, грунт - для сетей подземной прокладки). В случае уменьшения температуры теплоносителя во времени наблюдается обратная ситуация;

2. Выполняется неизменное физическое условие $A > 0$, что подтверждает то, что A – коэффициент теплового состояния теплотрассы, ч/°С, характеризующий степень влияния скорости изменения температуры теплоносителя в начале участка теплосети во времени на соотношение фактических и нормативных тепловых потерь тепловой энергии на участке теплосети;

3. Множество полученных значений коэффициента теплового состояния теплотрассы A по каждому апробируемому участку теплосети свидетельствуют о разной степени теплового состояния теплотрассы;

4. При $\Delta T_{\tau_0}^{тн.нач} = 0$, функция принимает вид $K = B = const$, где всегда выполняется условие о том, что $B > 0$ для стационарного процесса, в котором выполняется условие постоянства соотношения фактических и нормативных тепловых потерь во времени исследования.

Результаты апробации методики показывают то, что при нестационарном режиме работы теплосети, когда $\Delta T_{\tau_0}^{тн.нач} \neq 0$ во времени, происходит усвоение либо отдача тепловой энергии от материала теплоизоляции, металла и оболочки трубопровода, а также от окружающей теплосеть среды к теплоносителю.

Оценка экспериментально полученных результатов апробации методики на предмет выявления увлажнения, подтопления, затопления теплотрассы в стационарном режиме работы теплосети ($\Delta T_{\tau_0}^{тн.нач} = 0$) с учетом исследований, приведенных в [2,33,35,37], приведена в таблице 15.

На основании оценки результатов апробации методики на предмет выявления увлажнения, подтопления, затопления теплотрассы и тепловой изоляции сотрудниками теплоснабжающей организации в период с ноября 2021 по март 2022 выполнен обход тепловых сетей исследуемых участков с целью обследования тепловых камер (их осмотр и взятие пробы грунта) в зоне залегания трубопроводов теплосети.

Обследование участков теплосети №1, 2, 4, 5, 9, 10, где результаты оценки не прогнозируют увлажнение (подтопление) тепловых сетей, показало отсутствие увлажнения грунта в тепловых камерах и в зоне залегания тепловых сетей.

Таблица 15 - Оценка результатов апробации методики на предмет выявления увлажнения, подтопления, затопления теплотрассы

№ уч.	Наименование участка	Соотношение фактических и нормативных тепловых потерь	Оценка состояния грунта в зоне залегания сети	Оценка увлажнения тепловой изоляции
1	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Гаврилова, 4	1,2097	Увлажнение грунта отсутствует	Увлажнение отсутствует
2	от РК «Савиново» до ИТП по пр. Амирхана, 2	1,2907	Увлажнение грунта отсутствует	Увлажнение отсутствует
3	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Чуйкова, 93	1,502	Увлажнение грунта ≈12%	Увлажнение отсутствует
4	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Лаврентьева, 26	1,1616	Увлажнение грунта отсутствует	Увлажнение отсутствует
5	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Гаврилова, 54	1,1647	Увлажнение грунта отсутствует	Увлажнение отсутствует
6	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Чистопольская, 43	3,6344	Частичное затопление	Увлажнение имеется
7	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Четаева, 46	3,0621	Частичное затопление	Увлажнение имеется
8	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Ямашева, 65	1,7598	Увлажнение грунта ≈20%	Увлажнение отсутствует
9	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Мусина, 53	1,2549	Увлажнение грунта отсутствует	Увлажнение отсутствует
10	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Ямашева, 74а	0,9637	Увлажнение грунта отсутствует	Увлажнение отсутствует
11	от РК «Савиново» до ИТП по пр. Амирхана, 55	1,4848	Увлажнение грунта ≈10%	Увлажнение отсутствует
12	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Чуйкова, 26	1,7055	Увлажнение грунта ≈20%	Увлажнение отсутствует
13	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Меридианная, 11	2,1776	Имеется подтопление	Увлажнение имеется
14	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Четаева, 36	3,0673	Частичное затопление	Увлажнение имеется
15	РК «Савиново» до ИТП по ул. Абсалямова, 14	1,9876	Имеется подтопление	Увлажнение отсутствует
16	от РК «Савиново» до ИТП по ул. Адоратского, 35а	1,5815	Увлажнение грунта ≈15%	Увлажнение отсутствует

Обследование участков теплосети №3, 8, 11, 12, 16, где результаты оценки прогнозируют сверхнормативные потери ввиду незначительного увлажнения тепловых сетей (до 30%), показало наличие увлажнения (подтопления) грунта в тепловых камерах и в зоне залегания тепловых сетей талыми и ливневыми водами:

- по тепловоду №17 увлажнение происходит по квартальным тепловым камерам ТК №2а, 3а, 4 (квартал 57-2), ТК №2, 11 (квартал 58-11а), ТК №16 (квартал 59), ТК №1, 8 (квартал 71);

- по тепловоду №18 увлажнение происходит по магистральной тепловой камере ТК18-12/1, по квартальным тепловым камерам ТК №3 (квартал 18-2), ТК №5 (квартал 17-1), ТК №1а (квартал 25-1), ТК №5, 6, 10 (квартал 27-2), ТК №11 (квартал 27-3), ТК №6 (квартал 38-2), ТК №2 (квартал 38-А).

Обследование участков теплосети №6, 7, 13, 14, 15 с высокими сверхнормативными потерями, где результаты оценки прогнозируют затопление тепловых сетей, подтвердило факт частичного затопления (подтопления) грунта и тепловой изоляции:

- по тепловоду №17 в квартальных тепловых камерах: ТК №2, 3, 5, 6 (квартал 57-2), ТК №3 (квартал 57-1), ТК №9а (квартал 65-1), ТК №1, 2, 3, 16 (квартал 65-2), ТК №1, 3, 8 (квартал 71);

- по тепловоду №18 в квартальных тепловых камерах ТК №1, 5, 12 (квартал 17-1), ТК №2 (квартал 17-2), ТК №1, 3 (квартал 25-1), ТК №10, 11 (квартал 25-3), ТК №3 (квартал 26-3), ТК №5, 6, 10 (квартал 27-2), ТК №6, 10 (квартал 38-2), ТК №2 (квартал 38-А).

Таким образом, результаты апробации методики подтверждены выполнением обхода тепловых камер с натурным исследованием состояния тепловой изоляции, канала и грунта в зоне залегания трубопроводов теплосети.

4.3 Выводы по главе

Выполненная апробация разработанной методики проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения, находящихся в режиме эксплуатации позволяет сделать следующие выводы:

1. Результаты апробации в тепловых сетях централизованного теплоснабжения, находящихся в режиме реальной эксплуатации с нестационарным процессом теплообмена между теплоносителем и окружающей средой, показали применимость для теплоснабжающих организаций предложенной методики в условиях функционирования системы теплоснабжения;

2. Полученные расчетным путем данные испытаний тепловых сетей на фактические тепловые потери и их оценка подтверждаются фактическими обстоятельствами по итогам выполненных теплоснабжающей организацией осмотров состояния тепловых сетей (камер). В результате апробации выявлены участки теплосети, где имеются случаи увлажнения, подтопления, затопления теплотрассы;

3. Методика может применяться в системах централизованного теплоснабжения без ограничения теплоснабжения потребителей на основе фактических данных о температуре теплоносителя, полученных из системы дистанционного сбора показаний средств измерений;

4. По существу, применение методики является решением задачи цифровизации мониторинга потерь тепловой энергии по участкам действующей теплосети с перспективой дальнейшей работы теплоснабжающей организации по снижению технологических потерь тепловой энергии. Цифровое решение мониторинга потерь тепловой энергии по участкам действующей теплосети реализовано в программном продукте [154].

Методика проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения, находящихся в режиме эксплуатации, внедрена в теплоснабжающих организациях коммунального комплекса АО «Татэнерго», АО «Казэнерго», где осуществлен переход к испытаниям тепловых сетей на фактические потери по предложенной методике. Акты внедрения представлены в приложении Е.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационное исследование направлено на изучение возможности разработки методики проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения, находящихся в режиме эксплуатации.

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

В первой главе рассмотрены проблемы расчета фактических тепловых потерь на участках трубопроводов тепловых сетей с изменяющимися параметрами работы в нестационарном режиме. В системах централизованного теплоснабжения, из-за изменяющейся во времени температуры наружного воздуха и в силу значительной протяженности, разветвленности тепловых сетей, существует нестационарный режим теплоснабжения, характеризующийся постоянным изменением температуры теплоносителя во всех точках тепловой системы.

Вследствие чего, на протяжении времени потери тепловой энергии от теплоносителя в окружающую среду имеют переменное значение – в таком случае нестационарного режима расчет фактических потерь тепловой энергии в эксплуатируемых тепловых сетях в каждый момент времени по классическим формулам расчета теплопередачи затруднен.

Существующие нормативные документы по расчетам потерь тепловой энергии от сетей теплоснабжения и методики испытаний тепловых сетей на фактические тепловые потери предполагают расчет и наведение стационарного режима работы теплосети. Следовательно, результаты испытаний тепловых сетей на фактические потери дают статические значения для расчета потерь. В реальности исходя из постоянных теплофизических изменений в работе системы теплоснабжения, значения фактических потерь и результаты испытаний (поправочные коэффициенты к нормативным значениям потерь) должны иметь динамический характер для случая нестационарного режима.

К тому же, отсутствует возможность проведения испытаний теплосети на фактические потери тепловой энергии по действующим методикам в отопительный период по причине необходимости прекращения теплоснабжения потребителей, так как процесс прекращения теплоснабжения для проведения испытаний законодательно не урегулирован (неисполнение договорных обязательств перед потребителями, перебои в теплоснабжении не допускаются).

В летний период проведение испытаний возможно только в ограниченное время плановых отключений потребителей (законодательно установлен срок не более 14 дней), но при

этом уменьшается время, располагаемое для ремонтов тепловых сетей и источников тепловой энергии. Профилактические ремонтные работы, гидравлические испытания тепловых сетей в летний период блокируют возможность организации циркуляционного кольца, необходимого для испытаний.

Для решения вопроса разработки методики проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии, находящихся в режиме непосредственной эксплуатации, обосновано использование систем дистанционного сбора показаний средств измерений для исследования фактических тепловых потерь в нестационарном режиме действующих тепловых сетей.

Вторая глава посвящена предложениям по решению поставленной задачи диссертационного исследования, для чего использованы и рассмотрены методы исследования фактических потерь тепловой энергии на участках тепловых сетей с изменяющимися параметрами во времени (нестационарный режим) на основе сравнения значений потерь тепловой энергии во времени в расчетной и фактической моделях.

В качестве предмета исследования выбрана система теплоснабжения, состоящая из источника тепловой энергии РК «Савиново», тепловых энергоустановок потребителей, технологически связанных тепловыми сетями в Ново-Савиновском районе г. Казани. Данные об измерениях температуры теплоносителя в начале и в конце исследуемых участков тепловой сети фиксировались в системе дистанционного сбора показаний.

Построены модели расчетных (нормативных) и фактических тепловых потерь на участках теплосети в системе теплоснабжения. Сформирована расчетная база параметров теплоносителя по участкам трубопроводов, ранжированная относительно температуры теплоносителя во всем диапазоне применяемого температурного графика регулирования расхода тепловой энергии (на каждый градус Цельсия температуры теплоносителя).

Величина фактических потерь тепловой энергии для исследуемых участков тепловой сети в отопительном периоде 2021/2022 гг. рассчитана путем вычисления соотношения фактических потерь к нормативным (коэффициент K) по формуле:

$$K = \frac{T_{\tau_0}^{\text{ТН.нач}} - T_{\tau_k}^{\text{ТН.кон}}}{T_{\tau_0}^{\text{ТН.нач}} - T_{\text{НОРМ}}^{\text{ТН.кон}}}$$

где $T_{\tau_0}^{\text{ТН.нач}}$ - фактическая температура теплоносителя в начале исследуемого участка в подающей магистрали во время измерений (в момент времени τ_0) по данным системы дистанционного сбора показаний, °С; $T_{\tau_k}^{\text{ТН.кон}}$ - фактическая температура теплоносителя в конце исследуемого участка в подающей магистрали во время измерений (в момент времени τ_k) по данным системы дистанционного сбора показаний, °С; $T_{\text{НОРМ}}^{\text{ТН.кон}}$ - нормативная температура теплоносителя в конце исследуемого участка в подающей магистрали, °С.

Определение времени τ_k производится по формуле:

$$\tau_k = \tau_0 + W \quad (2)$$

где W – время прохождения температурной волны от начала участка теплосети до его конца, ч.

В процессе исследования определен критерий для расчета тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции трубопроводов тепловых сетей в нестационарном режиме – скорость изменения температуры теплоносителя в начале участка теплосети.

Сравнение экспериментальных и нормативных данных о температуре теплоносителя в конце исследуемого участка тепловой сети показал то, что соотношение фактических и нормативных тепловых потерь изменяется во времени (установлено наличие случаев перехода сверхнормативных потерь тепловой энергии в состояние ниже норматива и наоборот). При этом наблюдается ряд переходных моментов, когда соотношение $K = 1$ соответствует количеству случаев изменения математического знака (с минуса на плюс и наоборот) скорости изменения температуры в начале участка теплосети.

Выполнено исследование взаимосвязи температурной волны и фактических потерь тепловой энергии (корреляционный анализ экспериментальных данных) исходя из полученной матрицы парных коэффициентов корреляции: 1) соотношение фактических и нормативных потерь тепловой энергии; 2) скорость изменения температуры теплоносителя в начале участка теплосети.

Согласно данным корреляционного анализа установлено:

- графическим методом то, что изменение во времени соотношения фактических и нормативных потерь тепловой энергии на участке трубопроводов зависит от скорости изменения температуры теплоносителя в теплосети, между коэффициентами корреляции существует сильная линейная зависимость (рисунок 1);

- математическим методом статистического исследования путем аппроксимации данных методом наименьших квадратов получена математическая функция линейной регрессии, выражающая собой зависимость между собой коэффициентов корреляции (зависимость соотношения фактических и нормативных потерь тепловой энергии от скорости изменения температуры теплоносителя в теплосети для нестационарного режима рисунок 2).

Полученная линейная зависимость соотношения фактических и нормативных тепловых потерь от скорости изменения температуры теплоносителя в начале исследуемого участка теплосети от источника до конечного потребителя, полученная с использованием системы дистанционного съема показаний средств измерения температуры теплоносителя, имеет вид:

$$K = f(\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}}) = A \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + B$$

где A - коэффициент, характеризующий степень влияния скорости изменения температуры теплоносителя в начале участка теплосети $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}}$, $^{\circ}\text{C}$, на соотношение фактических и нормативных тепловых потерь тепловой энергии (для нестационарного процесса), $A > 0$; B - соотношение фактических и нормативных тепловых потерь при отсутствии изменения температуры теплоносителя в начале участка тепловой сети (при $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} = 0$) для стационарного процесса, $B > 0$.

Регрессионный анализ показал то, что в нестационарном режиме работы теплосети изменение соотношения фактических и нормативных тепловых потерь тепловой энергии на участке теплосети (зависимая величина) обусловлено влиянием скорости изменения температуры теплоносителя. Когда $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} \neq 0$ во времени, происходит усвоение либо отдача тепловой энергии материала теплоизоляции, металла и оболочки трубопровода, а также от окружающей теплосеть среды теплоносителю.

В третьей главе на основании полученных результатов исследования предложена к применению методика проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения, находящихся в эксплуатации.

В методике представлен следующий порядок проведения испытаний:

1. Выбор участков сети, подвергающихся испытаниям. При этом подготовка участков теплосети к испытаниям не требуется, тепловые пункты потребителей не отсоединяются от сети. Подготовка средств измерений температуры также не требуется, так как приборы учета на источнике тепловой энергии и в тепловых пунктах потребителей находятся в режиме коммерческой эксплуатации.

2. Фиксация измеренных фактических значений температуры теплоносителя в теплосети на выходе из источника тепловой энергии, в тепловых камерах теплосети и в тепловых пунктах потребителей.

3. Выполнение расчетов: скорости изменения фактической температуры теплоносителя в начале испытываемого участка; значения нормативной температуры теплоносителя в конце участка тепловой сети с учетом нормативной величины тепловых потерь; соотношения фактических и нормативных тепловых потерь;

4. Обработка результатов испытаний.

5. Составление уравнения, описывающего зависимость соотношения величины фактических и нормативных тепловых потерь от скорости изменения температуры теплоносителя в тепловой сети путем аппроксимация данных одной переменной методом наименьших квадратов. Согласно методики аппроксимация данных по функции линейной регрессии с использованием программных комплексов MS Excel.

б. Оценка результатов испытаний на предмет выявления увлажнения, подтопления, затопления участков трубопроводов качества тепловой изоляции.

Предложенная методика испытаний на фактические потери тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения с использованием систем дистанционного сбора показаний средств измерений решает следующие проблемы испытаний:

- проблема расчета тепловых потерь в осенне-зимний период в нестационарных условиях при постоянно изменяющейся температуре теплоносителя;
- проблема проведения испытаний тепловых сетей на фактические потери тепловой энергии без ограничения теплоснабжения потребителей.

Разработанная методика имеет ряд преимуществ в сравнении с действующей методикой: математическое описание нестационарного режима теплообмена между теплоносителем и окружающей теплотрассу средой; отсутствие необходимости подготовки тепловых сетей к испытаниям; испытания проводятся во время эксплуатации сетей в осенне-зимний период; высокий охват испытаниями участков сетей; результаты испытаний более достоверны ввиду большего количества данных для обработки.

В четвертой главе представлены данные по апробированию методики проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии тепловых сетей централизованного теплоснабжения, находящихся в эксплуатации.

Апробация методики выполнена в отношении 16 участков теплосети от РК «Савиново». По результатам обработки параметров испытаний путем аппроксимации данных (выполнено в MS Excel) получены функции линейной регрессии по каждому испытываемому участку теплосети.

Полученные в ходе апробации функции линейной зависимости соотношения фактических и нормативных тепловых потерь от скорости изменения температуры теплоносителя в начале исследуемого участка теплосети имеют предложенный в исследовании вид, описывающий изменения значения потерь тепловой энергии в условиях нестационарного режима теплообмена между теплоносителем и окружающей средой.

По результатам обработки параметров получены функции линейной регрессии по каждому участку теплосети, данные представлены в таблице 1.

Оценка полученных результатов апробации методики на предмет выявления увлажнения, подтопления, затопления теплотрассы в стационарном режиме работы теплосети приведена в таблице 2.

На основании оценки результатов апробации методики на предмет выявления увлажнения, подтопления, затопления теплотрассы сотрудниками теплоснабжающей организации выполнены обходы тепловых сетей исследуемых участков с осмотром тепловых

камер и взятием проб грунта в зоне залегания трубопроводов.

Обследование участков №1, 2, 4, 5, 9, 10, где результаты оценки не прогнозируют увлажнение (подтопление) тепловых сетей, показало отсутствие увлажнения грунта в тепловых камерах и в зоне залегания тепловых сетей.

Обследование участков №3, 8, 11, 12, 16, где результаты оценки прогнозируют сверхнормативные потери ввиду увлажнения тепловых сетей (до 30%), показало наличие увлажнения (подтопления) грунта в тепловых камерах и в зоне залегания тепловых сетей талыми и ливневыми водами:

- по тепловоду №17 увлажнение происходит по квартальным тепловым камерам №2а, 3а, 4 (кв. 57-2), №2, 11 (кв. 58-11а), №16 (кв. 59), №1, 8 (кв. 71);

- по тепловоду №18 увлажнение происходит по магистральной тепловой камере №18-12/1, по квартальным камерам №3 (кв. 18-2), №5 (кв. 17-1), №1а (кв. 25-1), №5, 6, 10 (кв. 27-2), №11 (кв. 27-3), №6 (кв. 38-2), №2 (кв. 38-А).

Обследование участков №6, 7, 13, 14, 15 с высокими сверхнормативными потерями, где результаты оценки прогнозируют затопление тепловых сетей, подтвердило частичное затопление (подтопление) грунта и тепловой изоляции:

- по тепловоду №17 в квартальных тепловых камерах №2, 3, 5, 6 (кв. 57-2), №3 (кв. 57-1), №9а (кв. 65-1), №1, 2, 3, 16 (кв. 65-2), №1, 3, 8 (кв. 71);

- по тепловоду №18 в квартальных тепловых камерах №1, 5, 12 (кв. 17-1), №2 (кв. 17-2), №1, 3 (кв. 25-1), №10, 11 (кв. 25-3), №3 (кв. 26-3), №5, 6, 10 (кв. 27-2), №6, 10 (кв. 38-2), №2 (кв. 38-А).

Таким образом, результаты апробации методики подтверждены натурным исследованием состояния тепловой изоляции и грунта в зоне залегания трубопроводов теплосети.

Описываемые вышеуказанными функциями потери тепловой энергии в нестационарном режиме работы теплосети подтверждают ранее выдвинутую гипотезу о следующих, спрогнозированных исследованиями, научных данных:

При увеличении температуры теплоносителя ($\Delta T_{T_0}^{\text{тн.нач}} > 0$) фактические потери тепловой энергии увеличиваются за счет влияния теплового состояния окружающей трубопровод среды. В случае уменьшения температуры теплоносителя наблюдается обратная ситуация;

Выполняется физическое условие $A > 0$, что подтверждает то, что A – коэффициент теплового состояния теплотрассы, ч/°С, характеризующий влияние скорости изменения температуры теплоносителя в начале участка теплосети на соотношение фактических и нормативных тепловых потерь на участке теплосети;

Множество полученных значений коэффициента теплового состояния теплотрассы A по каждому апробируемому участку теплосети свидетельствуют о разной степени теплоусвоения, окружающей трубопровод среды;

При $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} = 0$, функция принимает вид $K = B = \text{const}$, где всегда выполняется условие о том, что $B > 0$ для стационарного процесса, в котором имеется постоянство соотношения фактических и нормативных тепловых потерь при отсутствии изменения температуры теплоносителя.

Основные результаты и выводы:

1. В нестационарном режиме работы теплосети соотношение фактических и нормативных тепловых потерь изменяется во времени. При этом наблюдается ряд переходных моментов, когда достигается равенство фактических и нормативных потерь, соответствующих количеству случаев изменения математического знака скорости изменения температуры теплоносителя.

При положительной скорости изменения температуры теплоносителя в трубопроводах теплосети ($\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} > 0$) фактические потери тепловой энергии увеличиваются за счет влияния теплового состояния окружающей трубопровод среды. При снижении температуры теплоносителя ($\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} < 0$) фактические потери тепловой энергии уменьшаются за счет отдачи тепловой энергии теплоносителю от материала теплоизоляции и окружающей теплосеть среды.

2. Полученная модель изменения соотношения фактических и нормативных потерь тепловой энергии на участке трубопроводов в зависимости от скорости изменения температуры теплоносителя является регрессионной моделью, которая позволяет установить зависимость изменения тепловых потерь от скорости изменения температуры теплоносителя для нестационарного режима работы.

3. Разработана методика проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии тепловых сетей централизованного теплоснабжения, находящихся в эксплуатации. Методика позволяет проводить испытания тепловых сетей в отопительный период без ограничения теплоснабжения потребителей, результаты испытаний обладают достаточной достоверностью. Применимость методики подтверждена натурным исследованием теплосети.

4. Применение методики решает задачу цифровизации мониторинга потерь тепловой энергии по участкам действующей теплосети, повышает точность полученных данных о фактических потерях и позволяет организации планировать работу по снижению потерь тепловой энергии.

Перспективы дальнейшей разработки темы:

- теоретическом аспекте актуально проведение исследований режимной управляемости энергетической системы для разработки критериев оценки надежности системы теплоснабжения, исследования устойчивости энергетической системы в случае отказа источника тепловой энергии, расчет интервала времени сохранения минимально-допустимого режима теплоснабжения, исследования возможностей ограничения теплоснабжения потребителей при дефиците мощности или топлива на источнике тепловой энергии

- в практическом аспекте цифровизация мониторинга потерь тепловой энергии в действующей теплосети для заблаговременной разработки теплоснабжающей организации мероприятий по снижению технологических потерь тепловой энергии в межтопительный период, а также осуществление мониторинга качества теплоснабжения потребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цуверкалова, О.Ф. Анализ текущего состояния в сфере теплоснабжения в РФ / О.Ф. Цуверкалова // НП «Российское теплоснабжение». - 2021. - Режим доступа: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/nt_4228.htm; свободный.
2. Николаенко, Р.А. Влияние увлажнения тепловой изоляции на величину тепловых потерь тепловых сетей / Р.А. Николаенко, М.В. Ермоленко, О.А. Степанова // Молодой ученый. - 2014. - №6. - С. 207-210.
3. Приказ Минэнерго России №325 от 30.12.2008 «Об утверждении порядка определения нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии, теплоносителя» // «Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти». - 2009. - №16. - 67 с.
4. РД 34.09.255-97. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях (утв. РАО "ЕЭС России" 25.04.1997) // М.: СПО ОРГРЭС. - 1998. - 20 с.
5. СО 153-34.20.523(3) - 2003. Методические указания по составлению энергетической характеристики для систем транспорта тепловой энергии по показателю "тепловые потери" // Сборник документов ОАО "НТЦ "Промышленная безопасность". - 2006. - Вып. 22. - 17 с.
6. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок, утвержденные приказом Минэнерго России №115 от 24.03.2003 // «Российская газета». - 2003. - №184. - 165 с.
7. Кузнецов, Г.В. Оценка фактических потерь тепла при транспортировке теплоносителя с учетом технического состояния и реальных условий эксплуатации тепловых сетей / Г.В. Кузнецов, И.П. Озерова, В.Ю. Половников, Ю.С. Цыганкова // Известия Томского политехнического университета. - 2011. - Т.319. - №4. - С. 56-60.
8. Бадах, В.Ф. Расчет нормативных потерь тепла через изоляцию трубопроводов тепловых сетей / В.Ф. Бадах, А.Д. Кузнецова // Журнал «Технико-технологические проблемы сервиса». - 2011. - № 4 (18). - С. 60-72.
9. Постановление Правительства РФ от 18.11.2013 N 1034 (ред. от 25.11.2021) "О коммерческом учете тепловой энергии, теплоносителя" (вместе с "Правилами коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя") // «Собрание законодательства РФ». - 2013. - №47. - ст. 6114. - 23 с.
10. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» №261-ФЗ от 23.11.2009 // "Собрание законодательства РФ". - 2009. - №48. - ст. 5711. - 57 с.

11. Канев, С.Н. Расчет теплотерь в системах теплоснабжения / С.Н. Канев, А.А. Ивашкевич // Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ». – 2013. – Т.4. - №4. - С. 1795-1798.
12. Lapin, K.V. Improving of the heat supply energy efficiency in Russian cities through the individual heat points introduction / N.D. Chichirova, I.G. Akhmetova, A.R Gilmanova, K.V. Lapin, I.O.N. Ion // В сборнике: E3S Web of Conferences. 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019. С. 04009.
13. СНиП 2.04.11-88. «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» // Госстрой России. М.: ГУП ЦПП. - 1998. - 31 с.
14. Схема теплоснабжения МО г. Казань по 2040 г., утв. Приказом Минэнерго России от 30.12.2021 №1543 // Исполнительный комитет г. Казани. - Режим доступа: <https://kzn.ru/>; свободный.
15. Ваньков Ю.В., Запольская И.Н., Лапин К.В., Шаповалов С.К., Измайлова Е.В. Transition2ITP: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Регистрационный номер № 2021680212. 2021.
16. "РД 153-34.0-11.341-00. Методика выполнения измерений количества тепловой энергии, отпускаемой в водяные системы теплоснабжения от источника тепла" (утв. РАО "ЕЭС России" 05.09.2000) // М.: СПО ОРГРЭС. - 2002. - 26 с.
17. Постановление Правительства РФ от 22.02.2012 №154 (ред. от 31.05.2022) "О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения" // "Собрание законодательства РФ". - 2012. - №10. - ст. 1242. - 50 с.
18. Приказ Минэнерго России от 05.03.2019 №212 "Об утверждении Методических указаний по разработке схем теплоснабжения" // Официальный интернет-портал правовой информации. - Режим доступа: <http://www.pravo.gov.ru>; свободный.
19. Половников, В.Ю. Тепловые потери магистральных трубопроводов в условиях полного или частичного затопления / В.Ю. Половников, Г.В. Кузнецов // Томский политехнический университет. Журнал «Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики». - 2006 г. - № 3-4.
20. Немова, Т.Н. Влияние изменения теплопроводности теплоизоляционных материалов на тепловые потери магистральных трубопроводов / Т.Н. Немова, Ю.А. Лежнева, Н.А. Цветков, Е.Г. Алексеева // Вестник ТГАСУ. - 2016. - №5 (58). - С. 151-160.
21. Лапин, К.В. Исследование нестационарных процессов теплообмена в тепловых сетях централизованного теплоснабжения / И.Г. Ахметова, К.В. Лапин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Том 14. № 3. С. 13-26.

22. Рондель, А.Н. Влияние различных эксплуатационных факторов на тепловые потери в бесканальных подземных трубопроводах тепловой сети / Рондель, Н.Н. Шаповалов, В.С. Слепченко // Журнал "Новости теплоснабжения". - 2002. - №6 (22). - С. 18-23.
23. Лапин, К.В. Цифровизация учета тепловой энергии как средство повышения надежности теплоснабжения / И.Г. Ахметова, К.В. Лапин, Т.Р. Ахметов, Е.Ю. Бальзамова // 91-е заседание Международного научного семинара им. Ю.Н. Руденко «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики»: сборник трудов. Ташкент, 2019. С. 125-134.
24. Созинов, В.П. Техничко-экономическое обоснование выбора удельных тепловых потерь трубопроводами / В.П. Созинов, С.М. Кулагин, А.Н. Корягин // «Вестник ИГЭУ». - 2006. - В. 4. - С. 27-29.
25. Половников, В.Ю. Численный анализ влияния промерзания грунта в зоне прокладки на тепловые потери бесканальных теплопроводов / В.Ю. Половников, В.А. Хузеев // Инженерно-строительный журнал. - 2013. - №2 (37). - С. 19-24.
26. Лапач, С.Н. Основные проблемы построения регрессионных моделей / С.Н. Лапач, С.Г. Радченко // Журнал Математические машины и системы. - 2012. - №4. - С. 125-133.
27. Лапач, С.Н. Регрессионный анализ. Процессный подход / С.Н. Лапач // Журнал «Математические машины и системы». - 2016. - №1. - С. 129-138.
28. Мазуров, Б.Т. Метод наименьших квадратов (статика, динамика, модели с уточняемой структурой) / Б.Т. Мазуров, В.А. Падве // Вестник СГУГиТ. - 2017. - №2. - С. 22-35.
29. Губанов, В.С. Обобщенный метод наименьших квадратов. Теория и применение в астрометрии / В.С. Губанов // СПб: Наука. - 1997. - 318с.
30. Горожанкин, С.А. Методики для аппроксимации зависимостей нескольких переменных в программной среде MS Excel и Mathcad / С.А. Горожанкин, А.А. Шитов, Н.В. Савенков // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. - 2016. - № 3 (247). - С. 35–47.
31. Сергеева, А.В. Потери тепловой энергии через изоляцию и меры по их сокращению / А.В. Сергеева // Журнал «Вестник науки». - 2021. - №8. - С. 143-145.
32. Лапин, К.В. Применение современных информационных технологий учета тепловой энергии для оперативного поиска мест увлажнения тепловой изоляции / И.Г. Ахметова, К.В. Лапин, Т.Р. Ахметов, Е.Ю. Бальзамова // Теплоэнергетика. 2021. № 5. С. 89–96.
33. Иванов, В.В. Влияние увлажнения изоляции и грунта на тепловые потери подземных теплотрасс / В.В. Иванов, Н.В. Букаров, В.В. Василенко // Новости теплоснабжения. - 2002. - № 7. - С. 32–33.

34. Лапин, К.В. Использование средств измерений температуры теплоносителя для поиска мест затопления трубопроводов теплосети // Международная молодежная научная конференция «Гинчуринские чтения – 2022 «Энергетика и цифровая трансформация»: сборник статей. Казань, 2022. Том 2. С. 151-155.
35. Половников, В.Ю. Затопление каналов тепловых сетей: причины и последствия / В.Ю. Половников, Г.В. Кузнецов // Томский политехнический университет. Журнал «Новости теплоснабжения». - 2006. - №08 (72). - С. 49-50.
36. Лапин, К.В. Оптимальная периодичность изменения температуры теплоносителя на источнике теплоты и влияние скорости её изменения на потери тепловой энергии / И.Г. Ахметова, К.В. Лапин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2023. 25(3). С. 139-149.
37. Чичерин, С.В. Повышение надежности и сокращение тепловых потерь путем устройства продольного дренажа на магистральных тепловых сетях города Омска / С.В. Чичерин // Известия высших учебных заведений. Технические науки. - 2016. - №4 (192). - С. 61-66.
38. Пузаков, В.С. Сравнение программных продуктов для создания электронных моделей систем теплоснабжения на примере поселений Чукотского АО / В.С. Пузаков, В.В. Сущенко, К.В. Вялых, Н.Г. Петров, Е.Н. Антонов // Журнал «Новости теплоснабжения». - 2018. - №2 (210). - С. 24-34.
39. Крицкий, Г.Г. Программные продукты ООО «Политерм» / Г.Г. Крицкий // Доклад на конференции «Теплоснабжение – 2012: проблемы, новации, перспективы». – М.: НП «Российское теплоснабжение». - 2012. - Режим доступа <https://www.rosteplo.ru/meropriyatiya/teplo2012>; свободный.
40. Приказ Госстроя РФ №285 от 13.12.2000 "Об утверждении Типовой инструкции по технической эксплуатации тепловых сетей систем коммунального теплоснабжения" // «Бюллетень строительной техники». - 2001. - №3. - 129 с.
41. РД 153-34.0-20.507-98. Типовая инструкция по технической эксплуатации систем транспорта и распределения тепловой энергии (утв. РАО "ЕЭС России" 06.07.1998) // М.: СПО ОРГРЭС. - 1999. - 119 с.
42. Приказ Минэнерго России №229 от 19.06.2003 "Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации" // Российская газета". - 2003. - №229. - 214 с.
43. СП 131.13330.2018 «СНИП 23-01-99* Строительная климатология» (утв. приказом Минстроя России №763/пр от 28.11.2018). // М. - 2018. - 169 с. - Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18226/>; свободный.

44. Пашенцев, А.И. Методический подход к оценке прямого экономического ущерба при отключении потребителей от централизованного теплоснабжения / А.И. Пашенцев // Журнал ФГАОУВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» - «Экономика строительства и природопользования». - 2017. - №3 (64). - С. 33-39.

45. Умярова, К.Р. Источники потерь в тепловых системах и способы их минимизирования / К.Р. Умярова, М.А. Кочева // Материалы XIV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» / Технические науки. - 2022. - Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2022/article/2018030347>; свободный.

46. Лапин, К.В. Выбор оптимального типа теплоизоляционной конструкции на основе нейросетевого моделирования / И.Г. Ахметова, Е.Ю. Бальзамова, В.В. Бронская, Д.С. Бальзамов, К.В. Лапин, О.С. Харитонов // 92-е заседание семинара, учрежденного при ИСЭМ СО РАН «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики»: сборник трудов. Казань, 2020. С. 186-190.

47. Чистов, А.Н. Экспериментальное определение теплопроводности композиционных материалов в широком диапазоне значений при комнатной температуре / А.Н. Чистов, М.Ю. Кладов, И.Б. Пронин, А.С. Смирнов // Инженерный журнал: наука и инновации. - 2019. - №9. - С. 8-21.

48. Бродников, А.Ф. Исследования температурной зависимости теплопроводности конструкционных материалов / А.Ф. Бродников, Н.А. Вихарева // Журнал «Компетентность». - 2019. - №9-10. - С. 74-77.

49. Азима, Ю.И. Метод комплексного измерения теплопроводности и теплоемкости на базе интегральной формы уравнения Фурье / Азима Ю.И. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2013. - №10. - С. 261-270.

50. Пантелей, Н.В. Оценка состояния и анализ повреждаемости трубопроводов тепловых сетей / Н.В. Пантелей // Журнал «Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ». - 2018. - Т.61. - №2. - С. 179-188.

51. Чичерин, С.В. Наружная коррозия как основная причина повреждаемости тепловых сетей и способы защиты от нее / С.В. Чичерин // Вестник МЭИ. - 2017. - №4. - С. 50-54.

52. Орловский, С.Я. Коррозия тепловых сетей и прибавка к толщине стенки / С.Я. Орловский, В.Н. Волков, О.П. Тимофеев, Л.В. Ершова, М.С. Самойленко // Журнал «Евразийский Союз Ученых». - 2015. - №10-2 (19). - С. 77-78.

53. Горшков, А.С. Износ и повреждение тепловых сетей. Решение проблемы качества и надежности энергоснабжения / А.С. Горшков, П.П. Рымкевич // Журнал «Энергосбережение». - 2019. - №4 (5). - С. 50-55.

54. Сурис, М.А. ЭХЗ трубопроводов тепловых сетей от наружной коррозии / М.А. Сурис // Журнал «Энергетик». - 1996. - №2. С. 24-26.
55. Старикова, Е.Ю. Пути решения проблем защиты теплопроводов от коррозии / Е.Ю. Старикова, П.Т. Петрик // Вестник Кузбасского Государственного Технического Университета. - 2003. - №6 (37). - С. 65-70.
56. Стрижевский, И.В. Подземная коррозия и методы защиты / И.В. Стрижевский // М.: Металлургия. - 1986. - С. 67-109.
57. Бирюзова, Е.А. Основные факторы, влияющие на возникновение наружной коррозии трубопроводов тепловых сетей / Е.А. Бирюзова // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. - 2017. - С. 455-458.
58. Корягин, А.Н. Повышение эффективности систем теплоснабжения на основе мониторинга тепловых потерь и оптимизации параметров тепловой изоляции: диссертация кандидата технических наук: 05.14.04 / А.Н. Корягин // ИГЭУ. - 2011. - 155 с.
59. Шойхет, Б.М. Обследование технического состояния и реконструкция тепловой изоляции эксплуатируемых магистральных теплопроводов / Б.М. Шойхет, Л.В. Ставрицкая // Журнал «Энергосбережение». - 2002. - №3. - С. 60-62.
60. Федеральный закон №190-ФЗ от 27.07.2010 "О теплоснабжении" // «Собрание законодательства РФ». - 2010. - № 31. - ст. 4159. - 107 с.
61. Колесников, С.В. Исследование тепловых сетей централизованного теплоснабжения на компьютерной модели / С.В. Колесников, И.В. Кудинов // Вестник Самарского Государственного Технического Университета. - 2014. - №4 (44). - С. 149-159.
62. 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.
63. Колесников, С.В. Исследование гидравлических режимов работы циркуляционной системы Тольяттинской ТЭЦ на компьютерной модели / С.В. Колесников, В.В. Дикоп, С.Н. Томкин, В.А. Кудинов // Изв. вузов СНГ. Энергетика. - 2002. - №6. - С. 90-95.
64. Кудинов, И.В. Использование компьютерных моделей для проектирования тепловых сетей / И.В. Кудинов // Вестник Самарского государственного технического университета. - 2010. - №3 (27). - С. 174-181.
65. Кудинов, И.В. Построение компьютерных моделей систем теплоснабжения больших городов / И.В. Кудинов // Вестник Самарского государственного технического университета. - 2011. - №1 (29). - С. 212-219.

66. 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. Бранфилова // Журнал «Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики». - 2013. - №7-8. - С. 112-122.

67. Еремин, А.В. Математическая и компьютерная модель объединенной теплосети централизованного теплоснабжения / А.В. Еремин, С.В. Колесников, И.В. Кудинов, А.Н. Бранфилова, Л.С. Абишева // Журнал «Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики». - 2017. - Т.19. - №1-2. - С. 3-14.

68. 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.

69. Идельсон, Н.И. Способ наименьших квадратов и теория математической обработки наблюдений / Н.И. Идельсон // М.: Геодиздат. - 1947. - 358 с.

70. Шилов, П.И. Способ наименьших квадратов / П.И. Шилов // М.: ГУГК при СМ СССР. - 1941. - 406 с.

71. Линник, Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений / Ю.В. Линник // М.: Физматгиз. - 1962. - 352 с.

72. Чеботарёв, А.С. Способ наименьших квадратов с основами теории вероятностей / А.С. Чеботарёв // М.: Геодиздат. - 1958. - 475 с.

73. Коугия, В.А. Избранные труды. Исследования по теории математической обработки результатов измерений / В.А. Коугия // ПГУПС. - 2012. - 447 с.

74. Падве, В.А. Элементы теории вероятностей и математической статистики / В.А. Падве // СГГА. - 2013. - 209 с.

75. Фишер, Р.А. Статистические методы для исследователей / Р.А. Фишер // М.: Госстатиздат. - 1958. - 267 с.

76. Эльясберг, П.Е. Определение движения по результатам измерений / П.Е. Эльясберг // М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука». - 1976. - 416 с.

77. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит // М.: Финансы и статистика. - 1986. - Кн. 1. – 366 с.

78. Орлов, А.И. Восстановление зависимости методом наименьших квадратов на основе непараметрической модели с периодической составляющей / А.И. Орлов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2013. - №07 (091). - С. 189 - 218.

79. Нуриев, Н.К. Обработка экспериментальных данных в задачах химического профиля методом наименьших квадратов в программных средах Microsoft Office Excel и MathCad / Н.К. Нуриев, Е.В. Пашукова // Журнал «Вестник Марийского государственного университета». - 2011. - №7. - С. 116-118.

80. Lapin, K.V. Digitalization of heat energy accounting as a means of improving the reliability of heat supply / I.G. Akhmetova, E.Y. Balsamova, K.V. Lapin, T.R. Akhmetov // В сборнике: E3S Web of Conferences. Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2019).2019. С. 01011.

81. Тарасевич, Ю.Ю. Численные методы в MathCad / Ю.Ю. Тарасевич // Астраханский гос. пед. ун-т. - 2000. - 70 с.

82. Алиева, Ж.Р. Метод наименьших квадратов на основе "MS Excel" для обработки экспериментальных данных/ Ж.Р. Алиева // Журнал «Наука и мир». - 2016. - №2-3 (30). - С. 43-47.

83. Каграмамян, Т.С. Оценка параметров регрессионной модели методом наименьших квадратов в Excel / Т.С. Каграмамян, Л.О. Бабешко // Журнал «Интерактивная наука», - 2016. - №2. - С. 143-146.

84. Битковский, Д.И. Методы статистической обработки данных в задачах идентификации динамических систем / Д.И. Битковский, А.В. Моторко, А.Р.Д. Алалван // Журнал: Juvenis scientia. - 2018. - №1. - С. 9-12.

85. Жонибекова, С.Д. Метод наименьших квадратов на основе “MS Excel” для обработки экспериментальных данных в физике полупроводников / С.Д. Жонибекова, Ж.Н. Зиеитдинов, М.З. Носиров // Евразийский журнал математической теории и компьютерных наук. - 2022. - №2 (11). - С. 65-71.

86. Орлов, А.И. Вероятностно-статистические модели корреляции и регрессии / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. - 2020. - №160 (06). - С. 130-162.

87. Орлов, А.И. Многообразие моделей регрессионного анализа (обобщающая статья) / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2018. - №84 (5). - С. 63-73.

88. Орлов, А.И. Статистические пакеты - инструменты исследователя / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2008. - Т.74. - №5. - С. 76-78.

89. Половников, В.Ю. Анализ тепловых потерь теплопроводов в условиях взаимодействия с влажным воздухом / В.Ю. Половников, Г.В. Кузнецов // Энергосбережение и водоподготовка. - 2009. - № 2 (58). - С. 37-40.

90. Рахимова, Ю.Н. Анализ тепловых потерь теплопроводов в условиях деформации и нарушения целостности теплоизоляции / Ю.Н. Рахимова // Современная техника и технологии:

Матер. XVII Междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск. - 2011. - Т. 3. - С. 257-258.

91. Половников, В.Ю. Численный анализ потерь тепла магистральными теплопроводами в условиях полного или частичного затопления / В.Ю. Половников, Г.В. Кузнецов // Инженерно-физический журнал. - 2008. - Т. 81. - №2. - С. 303-311.

92. Ахмерова, Г.М. Влияние влажности грунта на тепловые потери теплопроводов в непроходных каналах / Г.М. Ахмерова, А.В. Фёдоров // Известия КГАСУ. - 2016. - № 2 (36). - С. 117-121

93. Пахомов, А.А. Как посчитать тепловые потери в реальных условиях эксплуатации? / А.А. Пахомов // Жилищно-коммунальный комплекс Урала. - 2007. - № 6 (38). - С. 10-17.

94. Лапин, К.В. Цифровые технологии мониторинга качества поставляемой тепловой энергии потребителям / И.Г. Ахметова, К.В. Лапин, Т.Р. Ахметов, Е.Ю. Бальзамова // 92-е заседание Международного научного семинара им. Ю.Н. Руденко «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики»: сборник материалов. Казань, 2020. С. 39-47.

95. Гудзюк, В.Л. Оперативная оценка реальных тепловых потерь при транспорте пара и горячей воды / В.Л. Гудзюк, Е.В. Шомов // Новости теплоснабжения. - 2010. - №11. - С. 30-33.

96. Байбаков, С.А. К вопросу о методах и проблемах определения фактических тепловых потерь в тепловых сетях / С.А. Байбаков // Новости теплоснабжения. - 2010. - №6. - С. 36-39.

97. Семенов, В.Г. Определение фактических тепловых потерь через теплоизоляцию в сетях централизованного теплоснабжения / В.Г. Семенов // Новости теплоснабжения. - 2003. - №4. - С. 30-33.

98. Хромченков, В.Г. Определение потерь тепла в тепловых сетях / В.Г. Хромченков, Г.В. Иванов, Е.В. Хромченкова // Новости теплоснабжения. - 2006. - №6. - С. 39-43.

99. Прокофьев, С.А. Опыт реконструкции и эксплуатации систем теплоснабжения ООО «Нижегородтеплогаз» / С.А. Прокофьев, О.А. Верховодова, О.В. Жданов, А.А. Шахотин // Новости теплоснабжения. - 2010. - №12. - С. 13-27.

100. Половников, В.Ю. Экспериментальное исследование тепловых режимов теплопроводов в условиях увлажнения изоляции / В.Ю. Половников, В.С. Логинов, Д.К. Кравченко, Т.В. Рябичев // Известия ТПУ. - 2009. - №4. - С. 34-37.

101. Шишкин, А.В. Определение потерь тепла в сетях централизованного теплоснабжения / А.В. Шишкин // Теплоэнергетика. - 2003. - №9. - С. 68-74.

102. Яковлев, Б.В. Предотвращение коррозионной повреждаемости теплосетей канальной прокладки / Б.В. Яковлев // Новости теплоснабжения. - 2009. - №3. - С. 39-41.

103. Байбаков, С.А. Основные направления повышения эффективности тепловых сетей / С.А. Байбаков, А.С. Тимошкин // Электрические станции. - 2004. - №7. - С. 19-25.

104. Половников, В.Ю. Численное моделирование теплового состояния трубопровода в условиях затопления с учетом не стационарности процесса насыщения теплоизоляции влагой / В.Ю. Половников, Г.В. Кузнецов // Журнал «Теплоэнергетика». - 2008. - №5. - С. 60-64.

105. Половников, В.Ю. Анализ тепловых потерь теплотрубопроводов в условиях увлажнения изоляции с учетом процесса испарения влаги / В.Ю. Половников, Г.В. Кузнецов // Известия Томского политехнического университета. - 2008. - Т. 313. - №4. - С. 8-11.

106. Витальев, В.П. Исследование режимов высыхания изоляции подземных теплопроводов / В.П. Витальев // Наладочные и экспериментальные работы ОРГРЭС. - 1955. - Вып. XI. - С. 36-49.

107. Смирнов, Д.К. Программный комплекс визуального моделирования схем теплоэнергетических установок / Д.К. Смирнов, Н.Н. Галашов // Известия ТПУ. - 2012. - №4. - С. 36-40.

108. Ексаев, А.Р. Об электронных моделях систем теплоснабжения городов / А.Р. Ексаев // "Энергосовет". - 2010. - №7 (12). - С. 22-25.

109. Газета "Энергетика и промышленность России". Еще один шаг к цифровизации тепловых схем // Тепловая энергетика и ЖКХ. - 2019. - №5 (44). - С. 12-16. - Режим доступа: <https://www.eprussia.ru/teploenergetika/44/624767.htm>; свободный.

110. Шубенко, А.Л. Рациональные режимы эксплуатации теплофикационных турбин с одноступенчатым подогревом сетевой воды / А.Л. Шубенко, О.А. Бабенко // Технические науки - от теории к практике. - 2013. - №27-1. - С. 139-145.

111. Губин, В.Е. Совершенствование схем отпуска тепла от ТЭЦ с учетом влияния внешних факторов / В.Е. Губин, А.С. Матвеев // Известия ТПУ. - 2005. - №5. - С. 148-151.

112. Елизаров, Д.П. О распределении подогрева сетевой воды между нижним и верхним подогревателями теплофикационных турбоустановок / Д.П. Елизаров, Э.И. Тажиев // Электрические станции. - 1994. - №2. - С. 17-20.

113. Бобров, В.Н. Исследование сезонных и суточных изменений температуры воздуха / В.Н. Бобров // Приволжский научный вестник. - 2013. - №1 (17). - С. 4-6.

114. Торопов, П.А. Тенденции изменений климата Черноморско-Каспийского региона за последние 30 лет / П.А. Торопов, М.А. Алешина, В.А. Семенов // Вестник Московского университета. - 2018. - Серия 5. География. - №2. - С. 67-77.

115. Кокорев, В.А. О метеорологических данных для изучения современных и будущих изменений климата на территории России / В.А. Кокорев, А.Б. Шерстюков // Арктика XXI век. Естественные науки. - 2015. - №2 (3). - С. 5-23.

116.Переведенцев, Ю.П. Основные особенности климата последних десятилетий на территории Татарстана / Ю.П. Переведенцев, Б.Г. Шерстюков, Э.П. Наумов, М.А. Верещагин, Ю.Г. Хабутдинов, Н.В. Исмагилов, В.Д. Тудрий // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. - 2008. - №4. - С. 21-33.

117.МДК 4-03.2001. Методика определения нормативных значений показателей функционирования водяных тепловых сетей систем коммунального теплоснабжения // "Нормирование в строительстве и ЖКХ". - 2001. - №6. - 57 с.

118.Матухнова, О.Д. Анализ снижения температурного графика системы отопления / О.Д. Матухнова, Т.А. Матухнов // International scientific review. - 2020. - №LXX. - С. 21-23.

119.Смирнов, В.В. Экспериментальное подтверждение локализации переменных гидравлических режимов в тепловых пунктах с термогидравлическим распределителем / В.В. Смирнов, Ю.В. Яворовский, В.В. Сенников // Вестник ИГЭУ. - 2018. - №6. - С. 5-14.

120.Рафальская, Т.А. Исследование переменных режимов работы систем централизованного теплоснабжения при качественно-количественном регулировании / Т.А. Рафальская, А.Р. Мансуров, И.Р. Мансурова // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. - 2019. - №2. - С. 79-91.

121.Чичерин, С.В. Планирование величины нагрузок систем централизованного теплоснабжения с учетом особенностей современного теплоснабжения / С.В. Чичерин // Вестник ИрГТУ. - 2017. - №6 (125). - С. 103-110.

122.Черненко, В.П. Расчет графиков регулирования тепловой нагрузки в независимых автоматизированных системах теплоснабжения / В.П. Черненко, И.Д. Лихачев, М.С. Барышев, М.Б. Рахматулина // Вестник ИШ ДВФУ. - 2017. - №3 (32). - С. 27-31.

123.Карев, Д.С. Математическое моделирование тепловых сетей закрытых систем централизованного теплоснабжения / Д.С. Карев, В.М. Мельников // Вестник МГСУ. - 2011. - №7. - С. 444-451.

124.Карев, Д.С. Расчет потерь теплоты при ее передаче по теплопроводу с применением САД/САЕ-технологий / Д.С. Карев, В.М. Мельников, А.Б. Иванченко // Вестник КГЭУ. - 2017. - №4 (36). - С. 65-73.

125.Половников, В.Ю. Тепловые режимы и тепловые потери подземных трубопроводов с учетом реальных условий теплообмена на внешнем контуре взаимодействия / В.Ю. Половников // Известия ТПУ. - 2018. - №1. - С. 124-131.

126.Прохоров, Д.В. Повышение надежности децентрализованных энергетических систем северных территорий: дис. кандидата технических наук: 05.14.01 / Д.В. Прохоров // Сиб. федер. ун-т. – Красноярск. - 2018. - 123 с.

127. Манзарханова, Л.М. Исследование систем отопления и горячего водоснабжения с целью выявления оптимальных значений температур в тепловой сети / Л.М. Манзарханова // Вестник ИрГТУ. - 2015. - №6 (101). - С. 93-98.

128. Мельник, И.А. Влияние температурного графика теплоснабжения на эксергетический баланс здания / И.А. Мельник, Л.М. Манзарханова // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. - 2014. - №6 (11). - С. 68-73.

129. Баймачев, Е.Э. Особенности национального российского энергосбережения / Е.Э. Баймачев, В.С. Степанов, Н.П. Коновалов, Л.М. Манзарханова, С.С. Макаров // Вестник ИрГТУ. - 2015. - №10 (105). - С. 186-188.

130. Куриленко, Н.И. Анализ существующих методов проведения испытаний на тепловых сетях / Н.И. Куриленко, К.Е. Кузьменко // Вестник ТГАСУ. - 2021. - №6 (23). - С. 172-178.

131. Куриленко, Н.И. Актуализация методов проведения испытаний на тепловых сетях / Н.И. Куриленко, К.Е. Кузьменко // Вестник ТГАСУ. - 2021. - №1. - С. 116-125.

132. Сафонов, А.П. Определение тепловых потерь в действующих тепловых сетях / А.П. Сафонов, Е.П. Шубин // Теплоэнергетика. - 1954. - № 5. - С. 8-14.

133. Dayan, A. Temperature distributions around buried pipe network in soil with a temperature dependent thermal conductivity / A. Dayan, A.H. Merbaum, I. Segal // International Journal of Heat and Mass Transfer. - 1984. - V.27. - № 3. - P. 409-417.

134. Байбаков С.А. Методики определения и оценки фактических потерь через изоляцию в водяных сетях систем централизованного теплоснабжения без отключения потребителей / С.А. Байбаков, А.С. Тимошкин // Новости теплоснабжения. - 2009. - №5. - С. 38-44.

135. Ахметова, И.Г. К вопросу о методике расчёта тепловых потерь в сетях централизованного теплоснабжения / И.Г. Ахметова, Н.Д. Чичирова // Новости теплоснабжения». - 2017. - №4 (200). - С. 6-15.

136. Шавандрин, А.М. К вопросу определения тепловых потерь в действующих тепловых сетях / А.М. Шавандрин, В.П. Соломатин, Г.И. Гладинова // Известия ВУЗов. Энергетика. - 1989. - №5. - С.70-73.

137. Мунябин, Л.И. К вопросу о методике расчета тепловых потерь при различных вариантах тепловой изоляции / Л.И. Мунябин, Н.Н. Арефьев // Новости теплоснабжения. - 2002. - №4. - С.35-38.

138. Токарев, В.А. Проблемы применения автоматизированных программных комплексов учета тепловой энергии и пути их решения / В.А. Токарев, Р.Р. Тавабилов // Перспективы развития информационных технологий. - 2014. - №19. - С. 50-53.

139.Поляков, И.Ю. Обзор решений, используемых в коммерческих системах учета энергоресурсов для передачи данных в гетерогенных системах связи / И.Ю. Поляков, А.Н. Клименко, Ю.О. Мякочин, Д.Д. Зыков, А.А. Шелупанов // Доклады ТУСУР. - 2017. - №3. - С. 181-185.

140.Семенистая, Е.С. Разработка программного обеспечения автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов и воды / Е.С. Семенистая, И.Г. Анацкий, Ю.А. Бойко // ИВД. - 2016. - №4 (43). - С. 105-120.

141.Подсвиров, В.Н. Аналитическое программное обеспечение прогнозирования потребления ресурсов в системе комплексного учета, регистрации и анализа потребления энергоресурсов и воды промышленными предприятиями и объектами ЖКХ / В.Н. Подсвиров, Е.С. Семенистая, В.Б. Подопригора // ИВД. - 2017. - №4 (47). - С. 127-142.

142.Корецкий, А.А. Тенденции развития информационных технологий в сфере ЖКХ / А.А. Корецкий, В.Б. Подопригора, А.В. Ярцев // ИВД. - 2018. - №4 (51). - С. 136-140.

143.Корецкий, А.А. Особенности разработки и внедрения системы учета энергоресурсов / А.А. Корецкий, В.Б. Подопригора, Е.П. Мирошниченко // ИВД. - 2017. - №3 (46). - С. 69-87.

144.ГОСТ Р 56942-2016. Автоматизированные измерительные системы контроля и учета тепловой энергии // М.: Стандартиформ. - 2016. - 14 с.

145.Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов / Е.Я. Соколов // М.: Изд-во МЭИ. - 2001. - 7 изд., стереотипное. - 472 с.

146.Манюк, В.И. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей / В.И. Манюк, Я.И. Каплинский, Э.Б. Хиж, А.И. Манюк, В.К. Ильин // Справочник. М.: Строиздат. - 1988. - 432 с.

147.Зингер, Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем / Н.М. Зингер // М.: Энергоатомиздат. - 1986. - издание второе, перераб. - 320 с.

148.Сапожников, С.З. Тепломассообмен. Учебное пособие / С.З. Сапожников, В.Ю. Митяков, А.В. Митяков, А.А. Гусаков, Э.Р. Зайнуллина, В.В. Сероштанов, А.Ю. Бабич, А.В. Павлов // Издательство: ФГАОУВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого". - 2022. - 103 с.

149.Сапожников, С.З. Теплотехнические измерения и экспериментальные методы исследования / С.З. Сапожников, В.Ю. Митяков, А.В. Митяков, А.А. Гусаков, А.В. Коршунов, В.В. Сероштанов, Э.Р. Зайнуллина, А.Ю. Бабич, А.В. Павлов // Учебное пособие. Санкт-Петербург. - 2020. - 134 с.

150.Сапожников, С.З. Градиентная теплотметрия: идеи, реализация, результаты / С.З. Сапожников, В.Ю. Митяков, А.В. Митяков, С.А. Можайский, А.А. Гусаков // Труды Академэнерго. - 2014. - №3. - С. 16-35.

151.Сапожников, С.З. Тепловые насосы / С.З. Сапожников, В.Ю. Митяков, А.В. Митяков, А.А. Гусаков, Э.Р. Зайнуллина, В.В. Сероштанов, М.А. Греков // Учебное пособие для студентов Института энергетики Санкт-Петербургского политехнического ун-та Петра Великого. - 2022. - 92 с.

152.Митяков, В.Ю. Комплексный метод в исследовании течения и теплообмена у поверхности одиночного кольцевого ребра / В.Ю. Митяков, В.В. Сероштанов, А.В. Башкатов, А.В. Павлов // Сборник: Неделя науки СПбПУ. Материалы науч. конференции с международным участием. Лучшие доклады. - 2018. - С. 12-15.

153.Башкатов, А.В. Интенсификация теплообмена в промышленных теплообменниках / А.В. Башкатов, В.В. Сероштанов, А.Н. Дымкин, В.Ю. Митяков // Сборник: Неделя науки СПбПУ. Материалы науч. форума с международным участием. Институт энергетики и транспортных систем. - 2015. - С. 110-113.

154.Запольская И.Н., Лапин К.В., Вовченко И.Г. Модуль мониторинга качества теплоснабжения потребителей: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Регистрационный номер № 2023662329. 2023.

Приложение А

Фактические температуры теплоносителя в тепловых сетях и на входе в отапливаемый объект при центральном качественном методе регулирования отпуска тепловой энергии в тепловые сети по отопительной нагрузке

Температура наружного воздуха, °С	Фактическая температура теплоносителя на выходе из ТФУ в подающем теплопроводе, °С										Фактическая температура теплоносителя на входе в ТФУ в обратном теплопроводе, °С							
	дата	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель
8	75,6	75,6						75,6	75,6	47,7	47,7						47,7	47,7
7	75,6	75,6						75,6	75,6	47,2	47,2						47,2	47,2
6	75,6	75,6						75,6	75,6	46,8	46,8						46,8	46,8
5	75,6	75,6	75,6				75,6	75,6	75,6	46,4	46,4	46,4				46,4	46,4	46,4
4	75,6	75,6	75,6				75,6	75,6	75,6	45,9	45,9	45,9				45,9	45,9	45,9
3	75,6	75,6	75,6				75,6	75,6	75,6	45,5	45,5	45,5				45,5	45,5	45,5
2	77,5	77,5	77,5				77,5	77,5	77,5	44,0	44,0	44,0				44,0	44,0	44,0
1	79,8	79,8	79,8				79,8	79,8	79,8	45,0	45,0	45,0				45,0	45,0	45,0
0	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0
-1		84,3	84,3	84,3	84,3	84,3	84,3	84,3			46,9	46,9	46,9	46,9	46,9	46,9	46,9	46,9
-2		86,5	86,5	86,5	86,5	86,5	86,5	86,5			47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9
-3		88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6			48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8
-4		90,7	90,7	90,7	90,7	90,7	90,7	90,7			49,7	49,7	49,7	49,7	49,7	49,7	49,7	49,7
-5		92,7	92,7	92,7	92,7	92,7	92,7	92,7			50,5	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5
-6		94,8	94,8	94,8	94,8	94,8	94,8	94,8			51,3	51,3	51,3	51,3	51,3	51,3	51,3	51,3
-7		96,7	96,7	96,7	96,7	96,7	96,7	96,7			52,2	52,2	52,2	52,2	52,2	52,2	52,2	52,2
-8		98,6	98,6	98,6	98,6	98,6	98,6	98,6			52,9	52,9	52,9	52,9	52,9	52,9	52,9	52,9
-9		100,5	100,5	100,5	100,5	100,5	100,5	100,5			53,7	53,7	53,7	53,7	53,7	53,7	53,7	53,7
-10		102,4	102,4	102,4	102,4	102,4	102,4	102,4			54,5	54,5	54,5	54,5	54,5	54,5	54,5	54,5
-11			104,2	104,2	104,2	104,2	104,2					55,2	55,2	55,2	55,2	55,2		
-12			105,9	105,9	105,9	105,9	105,9					55,9	55,9	55,9	55,9	55,9		
-13			107,6	107,6	107,6	107,6	107,6					56,6	56,6	56,6	56,6	56,6		
-14			109,3	109,3	109,3	109,3	109,3					57,2	57,2	57,2	57,2	57,2		

Температура наружного воздуха, °С	Фактическая температура теплоносителя на выходе из ТФУ в подающем теплопроводе, °С										Фактическая температура теплоносителя на входе в ТФУ в обратном теплопроводе, °С							
	дата	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель
-15			110,9	110,9	110,9	110,9	110,9					57,8	57,8	57,8	57,8	57,8		
-16				112,5	112,5	112,5							58,5	58,5	58,5			
-17				114,1	114,1	114,1							59,0	59,0	59,0			
-18				115,0	115,0	115,0							59,6	59,6	59,6			
-19				115,0	115,0	115,0							60,2	60,2	60,2			
-20				115,0	115,0	115,0							60,7	60,7	60,7			
-21				115,0	115,0	115,0							61,2	61,2	61,2			
-22				115,0	115,0	115,0							61,7	61,7	61,7			
-23				115,0	115,0	115,0							62,2	62,2	62,2			
-24				115,0	115,0	115,0							62,6	62,6	62,6			
-25				115,0	115,0	115,0							63,0	63,0	63,0			
-26				115,0	115,0	115,0							63,4	63,4	63,4			
-27				115,0	115,0	115,0							63,8	63,8	63,8			
-28				115,0	115,0	115,0							64,2	64,2	64,2			
-29				115,0	115,0	115,0							64,5	64,5	64,5			
-30				115,0	115,0	115,0							64,8	64,8	64,8			
-31				115,0	115,0	115,0							65,0	65,0	65,0			

Приложение Б

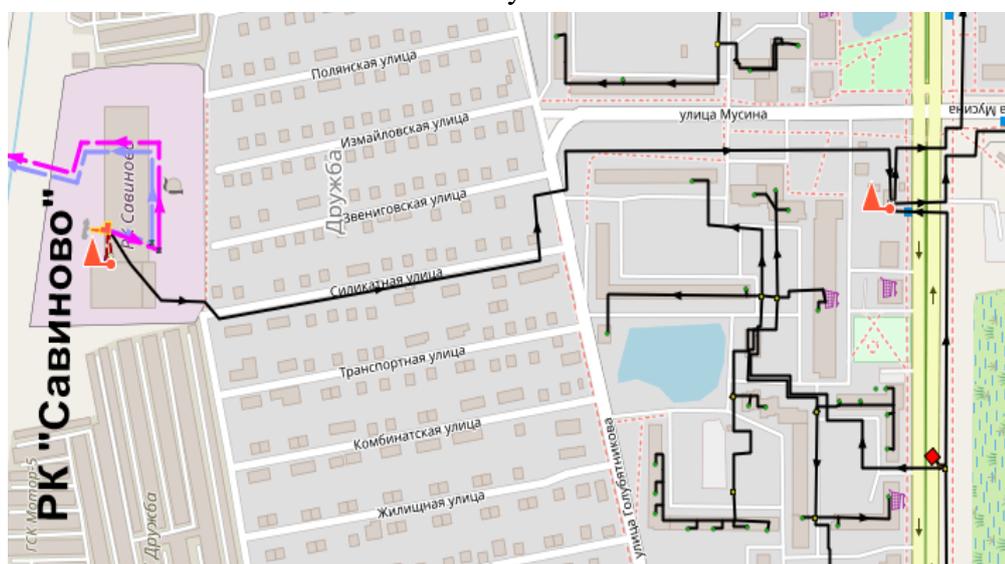
Расчетная модель нормативных тепловых потерь для рабочего диапазона температур теплоносителя

Участок теплосети от РК Савиново до Павильона №8

Характеристики участка:

Протяженность, м	Диаметр, мм	Способ прокладки	Тип изоляции	Год ввода	β	Расход, т/ч
784,5	1000	подземная канальная	Мин.вата	2016-2017	1,15	4968

Схема участка



Нормативные потери тепловой энергии для рабочего диапазона температур теплоносителя

Температура теплоносителя, °С	Норма плотности теплового потока, ккал/чм	Потери тепловой энергии, ккал/ч	Падение температуры, °С	Температура в конце участка, °С
70	96,0380	86643,08	0,0174	69,9826
71	97,4236	87893,14	0,0177	70,9823
72	98,8092	89143,19	0,0179	71,9821
73	100,1948	90393,24	0,0182	72,9818
74	101,5804	91643,30	0,0184	73,9816
75	102,9660	92893,35	0,0187	74,9813
76	104,3516	94143,40	0,0189	75,9811
77	105,7372	95393,46	0,0192	76,9808
78	107,1228	96643,51	0,0195	77,9805

79	108,5084	97893,57	0,0197	78,9803
80	109,8940	99143,62	0,0200	79,9800
81	111,2796	100393,67	0,0202	80,9798
82	112,6652	101643,73	0,0205	81,9795
83	114,0508	102893,78	0,0207	82,9793
84	115,4364	104143,83	0,0210	83,9790
85	116,8220	105393,89	0,0212	84,9788
86	118,2076	106643,94	0,0215	85,9785
87	119,5932	107894,00	0,0217	86,9783
88	120,9788	109144,05	0,0220	87,9780
89	122,3644	110394,10	0,0222	88,9778
90	123,75	111644,16	0,0225	89,9775
91	124,8840	112667,22	0,0227	90,9773
92	126,0180	113690,29	0,0229	91,9771
93	127,1520	114713,36	0,0231	92,9769
94	128,2860	115736,42	0,0233	93,9767
95	129,4200	116759,49	0,0235	94,9765
96	130,5540	117782,55	0,0237	95,9763
97	131,6880	118805,62	0,0239	96,9761
98	132,8220	119828,69	0,0241	97,9759
99	133,9560	120851,75	0,0243	98,9757
100	135,0900	121874,82	0,0245	99,9755
101	136,2240	122897,89	0,0247	100,9753
102	137,3580	123920,95	0,0249	101,9751
103	138,4920	124944,02	0,0251	102,9749
104	139,6260	125967,09	0,0254	103,9746
105	140,7600	126990,15	0,0256	104,9744
106	141,8940	128013,22	0,0258	105,9742
107	143,0280	129036,29	0,0260	106,9740
108	144,1620	130059,35	0,0262	107,9738
109	145,2960	131082,42	0,0264	108,9736
110	146,43	132105,49	0,0266	109,9734
111	147,5640	133128,55	0,0268	110,9732
112	148,6980	134151,62	0,0270	111,9730
113	149,8320	135174,68	0,0272	112,9728
114	150,9660	136197,75	0,0274	113,9726
115	152,1000	137220,82	0,0276	114,9724
116	153,2340	138243,88	0,0278	115,9722
117	154,3680	139266,95	0,0280	116,9720
118	155,5020	140290,02	0,0282	117,9718
119	156,6360	141313,08	0,0284	118,9716
120	157,7700	142336,15	0,0287	119,9713
121	158,9040	143359,22	0,0289	120,9711
122	160,0380	144382,28	0,0291	121,9709
123	161,1720	145405,35	0,0293	122,9707
124	162,3060	146428,42	0,0295	123,9705

125	163,4400	147451,48	0,0297	124,9703
126	164,5740	148474,55	0,0299	125,9701
127	165,7080	149497,61	0,0301	126,9699
128	166,8420	150520,68	0,0303	127,9697
129	167,9760	151543,75	0,0305	128,9695
130	169,1100	152566,81	0,0307	129,9693
131	170,2440	153589,88	0,0309	130,9691

Участок теплосети от Павильона №8 до ТК18-11

Характеристики участка:

Протяженность, м	Диаметр, мм	Способ прокладки	Тип изоляции	Год ввода	β	Расход, т/ч
181	800	подземная канальная	ППУ	2015-2018	1,15	322

Схема участка



Нормативные потери тепловой энергии
для рабочего диапазона температур теплоносителя

Температура теплоносителя, °С	Норма плотности теплового потока, ккал/чм	Потери тепловой энергии, ккал/ч	Расход, т/ч	Температура в начале участка, °С	Падение температуры, °С	Температура в конце участка, °С
70	79,7480	16599,55	322	69,98255977	0,0516	69,9310
71	80,9736	16854,65	322	70,98230814	0,0523	70,9300
72	82,1992	17109,76	322	71,98205652	0,0531	71,9289
73	83,4248	17364,87	322	72,9818049	0,0539	72,9279
74	84,6504	17619,98	322	73,98155328	0,0547	73,9268

75	85,8760	17875,09	322	74,98130166	0,0555	74,9258
76	87,1016	18130,20	322	75,98105004	0,0563	75,9247
77	88,3272	18385,31	322	76,98079842	0,0571	76,9237
78	89,5528	18640,42	322	77,9805468	0,0579	77,9227
79	90,7784	18895,52	322	78,98029518	0,0587	78,9216
80	92,0040	19150,63	322	79,98004355	0,0595	79,9206
81	93,2296	19405,74	322	80,97979193	0,0603	80,9195
82	94,4552	19660,85	322	81,97954031	0,0611	81,9185
83	95,6808	19915,96	322	82,97928869	0,0619	82,9174
84	96,9064	20171,07	322	83,97903707	0,0626	83,9164
85	98,1320	20426,18	322	84,97878545	0,0634	84,9154
86	99,3576	20681,28	322	85,97853383	0,0642	85,9143
87	100,5832	20936,39	322	86,97828221	0,0650	86,9133
88	101,8088	21191,50	322	87,97803059	0,0658	87,9122
89	103,0344	21446,61	322	88,97777896	0,0666	88,9112
90	104,26	21701,72	322	89,97752734	0,0674	89,9101
91	105,1675	21890,62	322	90,97732141	0,0680	90,9093
92	106,0750	22079,51	322	91,97711548	0,0686	91,9085
93	106,9825	22268,41	322	92,97690955	0,0692	92,9078
94	107,8900	22457,30	322	93,97670362	0,0697	93,9070
95	108,7975	22646,20	322	94,97649769	0,0703	94,9062
96	109,7050	22835,10	322	95,97629176	0,0709	95,9054
97	110,6125	23023,99	322	96,97608583	0,0715	96,9046
98	111,5200	23212,89	322	97,97587989	0,0721	97,9038
99	112,4275	23401,78	322	98,97567396	0,0727	98,9030
100	113,3350	23590,68	322	99,97546803	0,0733	99,9022
101	114,2425	23779,58	322	100,9752621	0,0738	100,9014
102	115,1500	23968,47	322	101,9750562	0,0744	101,9006
103	116,0575	24157,37	322	102,9748502	0,0750	102,8998
104	116,9650	24346,26	322	103,9746443	0,0756	103,8990
105	117,8725	24535,16	322	104,9744384	0,0762	104,8982
106	118,7800	24724,06	322	105,9742324	0,0768	105,8974
107	119,6875	24912,95	322	106,9740265	0,0774	106,8967
108	120,5950	25101,85	322	107,9738206	0,0780	107,8959
109	121,5025	25290,75	322	108,9736147	0,0785	108,8951
110	122,41	25479,64	322	109,9734087	0,0791	109,8943
111	123,3175	25668,54	322	110,9732028	0,0797	110,8935
112	124,2250	25857,43	322	111,9729969	0,0803	111,8927
113	125,1325	26046,33	322	112,9727909	0,0809	112,8919
114	126,0400	26235,23	322	113,972585	0,0815	113,8911
115	126,9475	26424,12	322	114,9723791	0,0821	114,8903
116	127,8550	26613,02	322	115,9721731	0,0826	115,8895
117	128,7625	26801,91	322	116,9719672	0,0832	116,8887
118	129,6700	26990,81	322	117,9717613	0,0838	117,8879
119	130,5775	27179,71	322	118,9715553	0,0844	118,8871
120	131,4850	27368,60	322	119,9713494	0,0850	119,8864

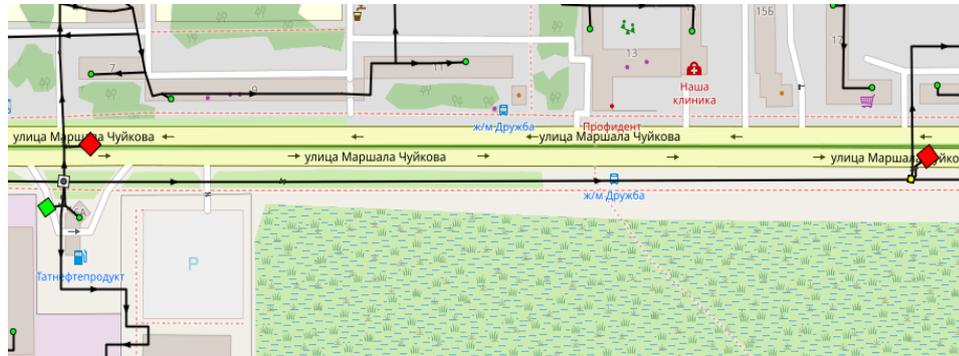
121	132,3925	27557,50	322	120,9711435	0,0856	120,8856
122	133,3000	27746,40	322	121,9709375	0,0862	121,8848
123	134,2075	27935,29	322	122,9707316	0,0868	122,8840
124	135,1150	28124,19	322	123,9705257	0,0873	123,8832
125	136,0225	28313,08	322	124,9703198	0,0879	124,8824
126	136,9300	28501,98	322	125,9701138	0,0885	125,8816
127	137,8375	28690,88	322	126,9699079	0,0891	126,8808
128	138,7450	28879,77	322	127,969702	0,0897	127,8800
129	139,6525	29068,67	322	128,969496	0,0903	128,8792
130	140,5600	29257,56	322	129,9692901	0,0909	129,8784
131	141,4675	29446,46	322	130,9690842	0,0914	130,8776

Участок теплосети от ТК18-11 до ТК18-8

Характеристики участка:

Протяженность, м	Диаметр, мм	Способ прокладки	Тип изоляции	Год ввода	β	Расход, т/ч
572,1	800	подземная канальная	ППУ	2015-2018	1,15	238

Схема участка



Нормативные потери тепловой энергии для рабочего диапазона температур теплоносителя

Температура теплоносителя, °С	Норма плотности теплового потока, ккал/чм	Потери тепловой энергии, ккал/ч	Температура в начале участка, °С	Падение температуры, °С	Температура в конце участка, °С
70	79,7480	52467,41	69,93101	0,2205	69,7106
71	80,9736	53273,75	70,92996	0,2238	70,7061
72	82,1992	54080,09	71,92892	0,2272	71,7017
73	83,4248	54886,43	72,92788	0,2306	72,6973
74	84,6504	55692,77	73,92683	0,2340	73,6928
75	85,8760	56499,11	74,92579	0,2374	74,6884
76	87,1016	57305,45	75,92475	0,2408	75,6840

77	88,3272	58111,79	76,9237	0,2442	76,6795
78	89,5528	58918,13	77,92266	0,2476	77,6751
79	90,7784	59724,47	78,92161	0,2509	78,6707
80	92,0040	60530,81	79,92057	0,2543	79,6662
81	93,2296	61337,15	80,91953	0,2577	80,6618
82	94,4552	62143,49	81,91848	0,2611	81,6574
83	95,6808	62949,83	82,91744	0,2645	82,6529
84	96,9064	63756,17	83,91639	0,2679	83,6485
85	98,1320	64562,51	84,91535	0,2713	84,6441
86	99,3576	65368,86	85,91431	0,2747	85,6396
87	100,5832	66175,20	86,91326	0,2780	86,6352
88	101,8088	66981,54	87,91222	0,2814	87,6308
89	103,0344	67787,88	88,91117	0,2848	88,6264
90	104,26	68594,22	89,91013	0,2882	89,6219
91	105,1675	69191,28	90,90934	0,2907	90,6186
92	106,0750	69788,33	91,90855	0,2932	91,6153
93	106,9825	70385,39	92,90775	0,2957	92,6120
94	107,8900	70982,45	93,90696	0,2982	93,6087
95	108,7975	71579,51	94,90617	0,3008	94,6054
96	109,7050	72176,57	95,90538	0,3033	95,6021
97	110,6125	72773,62	96,90458	0,3058	96,5988
98	111,5200	73370,68	97,90379	0,3083	97,5955
99	112,4275	73967,74	98,903	0,3108	98,5922
100	113,3350	74564,80	99,90221	0,3133	99,5889
101	114,2425	75161,85	100,9014	0,3158	100,5856
102	115,1500	75758,91	101,9006	0,3183	101,5823
103	116,0575	76355,97	102,8998	0,3208	102,5790
104	116,9650	76953,03	103,899	0,3233	103,5757
105	117,8725	77550,09	104,8982	0,3258	104,5724
106	118,7800	78147,14	105,8974	0,3283	105,5691
107	119,6875	78744,20	106,8967	0,3309	106,5658
108	120,5950	79341,26	107,8959	0,3334	107,5625
109	121,5025	79938,32	108,8951	0,3359	108,5592
110	122,41	80535,38	109,8943	0,3384	109,5559
111	123,3175	81132,43	110,8935	0,3409	110,5526
112	124,2250	81729,49	111,8927	0,3434	111,5493
113	125,1325	82326,55	112,8919	0,3459	112,5460
114	126,0400	82923,61	113,8911	0,3484	113,5427
115	126,9475	83520,66	114,8903	0,3509	114,5394
116	127,8550	84117,72	115,8895	0,3534	115,5361
117	128,7625	84714,78	116,8887	0,3559	116,5328
118	129,6700	85311,84	117,8879	0,3585	117,5295
119	130,5775	85908,90	118,8871	0,3610	118,5262
120	131,4850	86505,95	119,8864	0,3635	119,5229
121	132,3925	87103,01	120,8856	0,3660	120,5196
122	133,3000	87700,07	121,8848	0,3685	121,5163

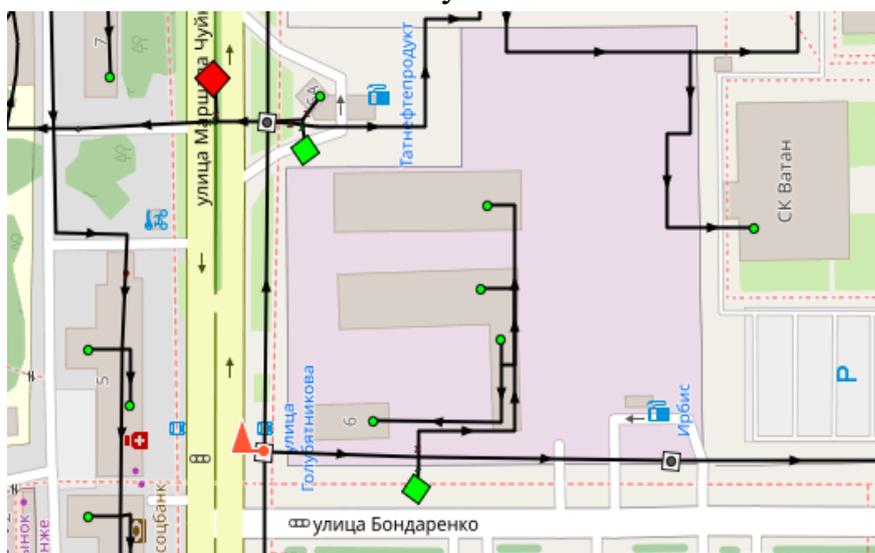
123	134,2075	88297,13	122,884	0,3710	122,5130
124	135,1150	88894,19	123,8832	0,3735	123,5097
125	136,0225	89491,24	124,8824	0,3760	124,5064
126	136,9300	90088,30	125,8816	0,3785	125,5031
127	137,8375	90685,36	126,8808	0,3810	126,4998
128	138,7450	91282,42	127,88	0,3835	127,4965
129	139,6525	91879,47	128,8792	0,3860	128,4932
130	140,5600	92476,53	129,8784	0,3886	129,4899
131	141,4675	93073,59	130,8776	0,3911	130,4866

Участок теплосети от ТК18-8 до ТК18-7

Характеристики участка:

Протяженность, м	Диаметр, мм	Способ прокладки	Тип изоляции	Год ввода	β	Расход, т/ч
127,4	800	подземная канальная	ППУ	2015	1,15	159

Схема участка



Нормативные потери тепловой энергии для рабочего диапазона температур теплоносителя

Температура теплоносителя, °С	Норма плотности теплового потока, ккал/чм	Потери тепловой энергии, ккал/ч	Температура в начале участка, °С	Падение температуры, °С	Температура в конце участка, °С
70	79,7480	11683,88	69,7105571	0,0735	69,6371
71	80,9736	11863,44	70,7061252	0,0746	70,6315
72	82,1992	12043,00	71,7016934	0,0757	71,6260
73	83,4248	12222,57	72,6972615	0,0769	72,6204

74	84,6504	12402,13	73,6928296	0,0780	73,6148
75	85,8760	12581,69	74,6883977	0,0791	74,6093
76	87,1016	12761,26	75,6839659	0,0803	75,6037
77	88,3272	12940,82	76,679534	0,0814	76,5981
78	89,5528	13120,38	77,6751021	0,0825	77,5926
79	90,7784	13299,94	78,6706703	0,0836	78,5870
80	92,0040	13479,51	79,6662384	0,0848	79,5815
81	93,2296	13659,07	80,6618065	0,0859	80,5759
82	94,4552	13838,63	81,6573747	0,0870	81,5703
83	95,6808	14018,19	82,6529428	0,0882	82,5648
84	96,9064	14197,76	83,6485109	0,0893	83,5592
85	98,1320	14377,32	84,6440791	0,0904	84,5537
86	99,3576	14556,88	85,6396472	0,0916	85,5481
87	100,5832	14736,44	86,6352153	0,0927	86,5425
88	101,8088	14916,01	87,6307834	0,0938	87,5370
89	103,0344	15095,57	88,6263516	0,0949	88,5314
90	104,26	15275,13	89,6219197	0,0961	89,5258
91	105,1675	15408,09	90,6186185	0,0969	90,5217
92	106,0750	15541,05	91,6153173	0,0977	91,5176
93	106,9825	15674,01	92,6120161	0,0986	92,5134
94	107,8900	15806,96	93,6087149	0,0994	93,5093
95	108,7975	15939,92	94,6054136	0,1003	94,5052
96	109,7050	16072,88	95,6021124	0,1011	95,5010
97	110,6125	16205,84	96,5988112	0,1019	96,4969
98	111,5200	16338,80	97,59551	0,1028	97,4928
99	112,4275	16471,75	98,5922088	0,1036	98,4886
100	113,3350	16604,71	99,5889076	0,1044	99,4845
101	114,2425	16737,67	100,585606	0,1053	100,4803
102	115,1500	16870,63	101,582305	0,1061	101,4762
103	116,0575	17003,58	102,579004	0,1069	102,4721
104	116,9650	17136,54	103,575703	0,1078	103,4679
105	117,8725	17269,50	104,572402	0,1086	104,4638
106	118,7800	17402,46	105,5691	0,1094	105,4597
107	119,6875	17535,42	106,565799	0,1103	106,4555
108	120,5950	17668,37	107,562498	0,1111	107,4514
109	121,5025	17801,33	108,559197	0,1120	108,4472
110	122,41	17934,29	109,555895	0,1128	109,4431
111	123,3175	18067,25	110,552594	0,1136	110,4390
112	124,2250	18200,20	111,549293	0,1145	111,4348
113	125,1325	18333,16	112,545992	0,1153	112,4307
114	126,0400	18466,12	113,542691	0,1161	113,4266
115	126,9475	18599,08	114,539389	0,1170	114,4224
116	127,8550	18732,04	115,536088	0,1178	115,4183
117	128,7625	18864,99	116,532787	0,1186	116,4141
118	129,6700	18997,95	117,529486	0,1195	117,4100
119	130,5775	19130,91	118,526185	0,1203	118,4059

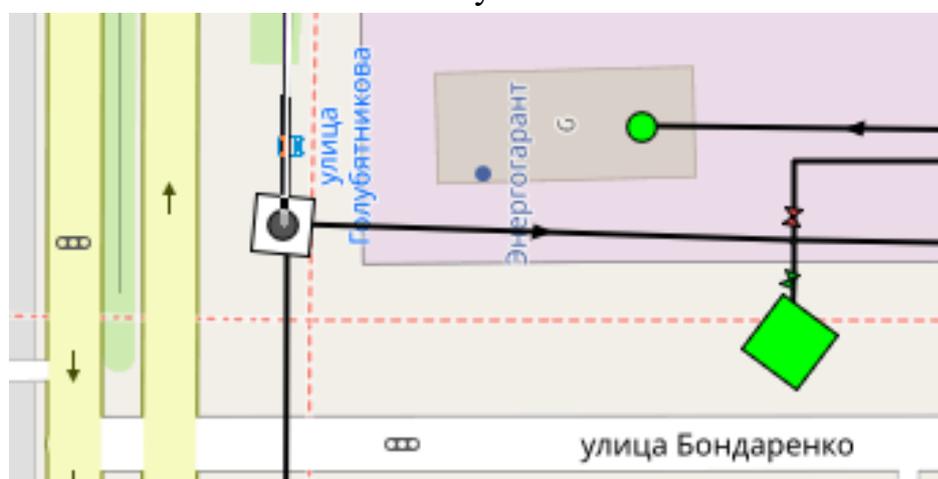
120	131,4850	19263,87	119,522883	0,1212	119,4017
121	132,3925	19396,83	120,519582	0,1220	120,3976
122	133,3000	19529,78	121,516281	0,1228	121,3935
123	134,2075	19662,74	122,51298	0,1237	122,3893
124	135,1150	19795,70	123,509679	0,1245	123,3852
125	136,0225	19928,66	124,506377	0,1253	124,3810
126	136,9300	20061,61	125,503076	0,1262	125,3769
127	137,8375	20194,57	126,499775	0,1270	126,3728
128	138,7450	20327,53	127,496474	0,1278	127,3686
129	139,6525	20460,49	128,493172	0,1287	128,3645
130	140,5600	20593,45	129,489871	0,1295	129,3604
131	141,4675	20726,40	130,48657	0,1304	130,3562

Участок теплосети от ТК18-7 до ТК18-7/1

Характеристики участка:

Протяженность, м	Диаметр, мм	Способ прокладки	Тип изоляции	Год ввода	β	Расход, т/ч
57,9	412	подземная канальная	ППУ	2003	1,15	159

Схема участка



Нормативные потери тепловой энергии для рабочего диапазона температур теплоносителя

Температура теплоносителя, °С	Норма плотности теплового потока, ккал/чм	Потери тепловой энергии, ккал/ч	Температура в начале участка, °С	Падение температуры, °С	Температура в конце участка, °С
70	45,7680	3047,46	69,63707	0,0192	69,6179
71	46,4436	3092,45	70,63151	0,0194	70,6121

72	47,1192	3137,43	71,62595	0,0197	71,6062
73	47,7948	3182,42	72,62039	0,0200	72,6004
74	48,4704	3227,40	73,61483	0,0203	73,5945
75	49,1460	3272,39	74,60927	0,0206	74,5887
76	49,8216	3317,37	75,60371	0,0209	75,5828
77	50,4972	3362,36	76,59815	0,0211	76,5770
78	51,1728	3407,34	77,59258	0,0214	77,5712
79	51,8484	3452,33	78,58702	0,0217	78,5653
80	52,5240	3497,31	79,58146	0,0220	79,5595
81	53,1996	3542,30	80,5759	0,0223	80,5536
82	53,8752	3587,28	81,57034	0,0226	81,5478
83	54,5508	3632,27	82,56478	0,0228	82,5419
84	55,2264	3677,25	83,55922	0,0231	83,5361
85	55,9020	3722,23	84,55366	0,0234	84,5302
86	56,5776	3767,22	85,54809	0,0237	85,5244
87	57,2532	3812,20	86,54253	0,0240	86,5186
88	57,9288	3857,19	87,53697	0,0243	87,5127
89	58,6044	3902,17	88,53141	0,0245	88,5069
90	59,28	3947,16	89,52585	0,0248	89,5010
91	59,9380	3990,97	90,52171	0,0251	90,4966
92	60,5960	4034,78	91,51757	0,0254	91,4922
93	61,2540	4078,60	92,51344	0,0257	92,4878
94	61,9120	4122,41	93,5093	0,0259	93,4834
95	62,5700	4166,22	94,50516	0,0262	94,4790
96	63,2280	4210,04	95,50103	0,0265	95,4745
97	63,8860	4253,85	96,49689	0,0268	96,4701
98	64,5440	4297,66	97,49275	0,0270	97,4657
99	65,2020	4341,48	98,48861	0,0273	98,4613
100	65,8600	4385,29	99,48448	0,0276	99,4569
101	66,5180	4429,10	100,4803	0,0279	100,4525
102	67,1760	4472,91	101,4762	0,0281	101,4481
103	67,8340	4516,73	102,4721	0,0284	102,4437
104	68,4920	4560,54	103,4679	0,0287	103,4392
105	69,1500	4604,35	104,4638	0,0290	104,4348
106	69,8080	4648,17	105,4597	0,0292	105,4304
107	70,4660	4691,98	106,4555	0,0295	106,4260
108	71,1240	4735,79	107,4514	0,0298	107,4216
109	71,7820	4779,60	108,4472	0,0301	108,4172
110	72,44	4823,42	109,4431	0,0303	109,4128
111	73,0980	4867,23	110,439	0,0306	110,4084
112	73,7560	4911,04	111,4348	0,0309	111,4039
113	74,4140	4954,86	112,4307	0,0312	112,3995
114	75,0720	4998,67	113,4266	0,0314	113,3951
115	75,7300	5042,48	114,4224	0,0317	114,3907
116	76,3880	5086,29	115,4183	0,0320	115,3863
117	77,0460	5130,11	116,4141	0,0323	116,3819

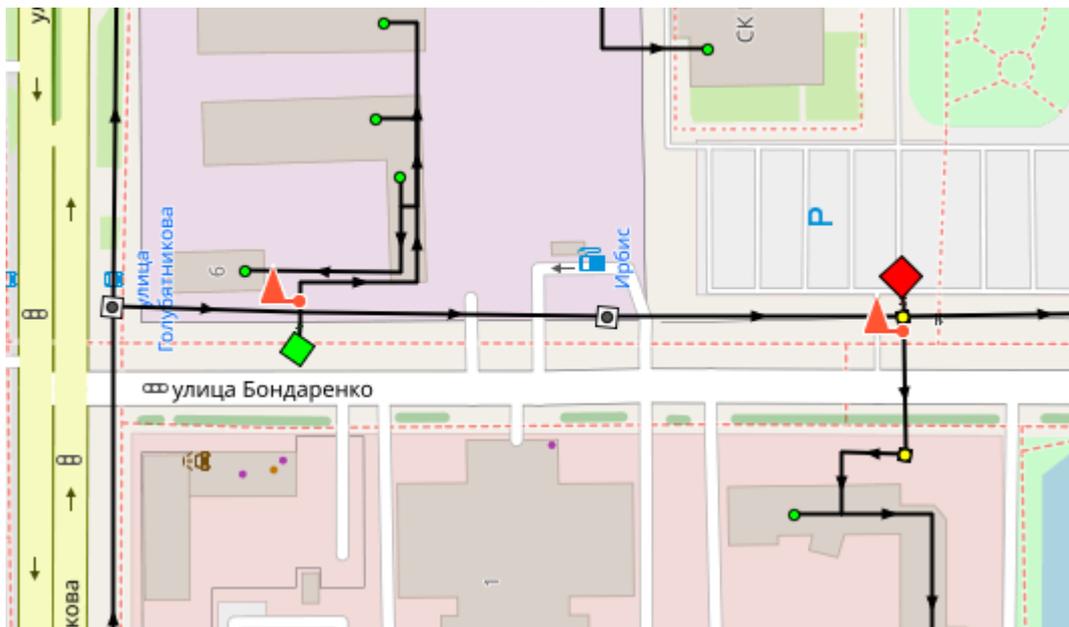
118	77,7040	5173,92	117,41	0,0325	117,3775
119	78,3620	5217,73	118,4059	0,0328	118,3730
120	79,0200	5261,55	119,4017	0,0331	119,3686
121	79,6780	5305,36	120,3976	0,0334	120,3642
122	80,3360	5349,17	121,3935	0,0336	121,3598
123	80,9940	5392,99	122,3893	0,0339	122,3554
124	81,6520	5436,80	123,3852	0,0342	123,3510
125	82,3100	5480,61	124,381	0,0345	124,3466
126	82,9680	5524,42	125,3769	0,0347	125,3422
127	83,6260	5568,24	126,3728	0,0350	126,3377
128	84,2840	5612,05	127,3686	0,0353	127,3333
129	84,9420	5655,86	128,3645	0,0356	128,3289
130	85,6000	5699,68	129,3604	0,0358	129,3245
131	86,2580	5743,49	130,3562	0,0361	130,3201

Участок теплосети от ТК18-7/1 до ТК18-7/3

Характеристики участка:

Протяженность, м	Диаметр, мм	Способ прокладки	Тип изоляции	Год ввода	β	Расход, т/ч
201	311	подземная канальная	ППУ	2003-2004	1,15	135

Схема участка



Нормативные потери тепловой энергии

для рабочего диапазона температур теплоносителя

Температура теплоносителя, °С	Норма плотности теплового потока, ккал/чм	Потери тепловой энергии, ккал/ч	Температура в начале участка, °С	Падение температуры, °С	Температура в конце участка, °С
70	37,8320	8744,87	69,61791	0,0648	69,5531
71	38,3624	8867,47	70,61206	0,0657	70,5464
72	38,8928	8990,07	71,60622	0,0666	71,5396
73	39,4232	9112,67	72,60037	0,0675	72,5329
74	39,9536	9235,27	73,59453	0,0684	73,5261
75	40,4840	9357,88	74,58869	0,0693	74,5194
76	41,0144	9480,48	75,58284	0,0702	75,5126
77	41,5448	9603,08	76,577	0,0711	76,5059
78	42,0752	9725,68	77,57115	0,0720	77,4991
79	42,6056	9848,28	78,56531	0,0730	78,4924
80	43,1360	9970,89	79,55947	0,0739	79,4856
81	43,6664	10093,49	80,55362	0,0748	80,4789
82	44,1968	10216,09	81,54778	0,0757	81,4721
83	44,7272	10338,69	82,54193	0,0766	82,4654
84	45,2576	10461,29	83,53609	0,0775	83,4586
85	45,7880	10583,90	84,53025	0,0784	84,4518
86	46,3184	10706,50	85,5244	0,0793	85,4451
87	46,8488	10829,10	86,51856	0,0802	86,4383
88	47,3792	10951,70	87,51271	0,0811	87,4316
89	47,9096	11074,30	88,50687	0,0820	88,4248
90	48,44	11196,91	89,50102	0,0829	89,4181
91	48,9905	11324,15	90,49661	0,0839	90,4127
92	49,5410	11451,40	91,4922	0,0848	91,4074
93	50,0915	11578,65	92,48779	0,0858	92,4020
94	50,6420	11705,90	93,48337	0,0867	93,3967
95	51,1925	11833,15	94,47896	0,0877	94,3913
96	51,7430	11960,39	95,47455	0,0886	95,3860
97	52,2935	12087,64	96,47013	0,0895	96,3806
98	52,8440	12214,89	97,46572	0,0905	97,3752
99	53,3945	12342,14	98,46131	0,0914	98,3699
100	53,9450	12469,39	99,4569	0,0924	99,3645
101	54,4955	12596,63	100,4525	0,0933	100,3592
102	55,0460	12723,88	101,4481	0,0943	101,3538
103	55,5965	12851,13	102,4437	0,0952	102,3485
104	56,1470	12978,38	103,4392	0,0961	103,3431
105	56,6975	13105,63	104,4348	0,0971	104,3378
106	57,2480	13232,88	105,4304	0,0980	105,3324
107	57,7985	13360,12	106,426	0,0990	106,3270
108	58,3490	13487,37	107,4216	0,0999	107,3217
109	58,8995	13614,62	108,4172	0,1008	108,3163

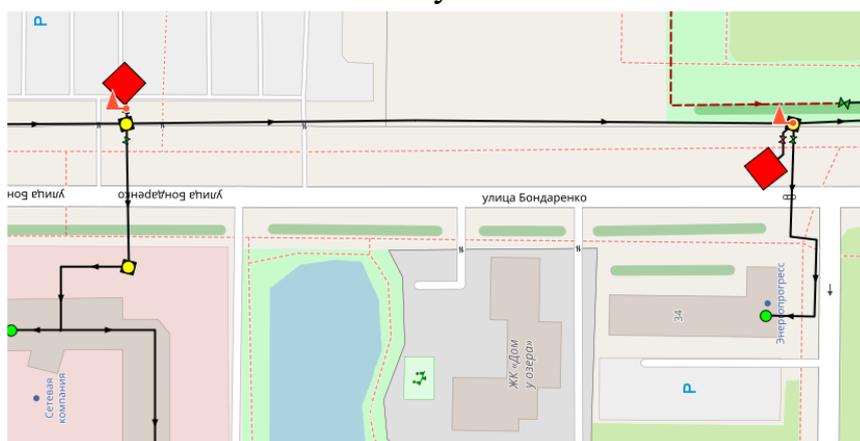
110	59,45	13741,87	109,4128	0,1018	109,3110
111	60,0005	13869,12	110,4084	0,1027	110,3056
112	60,5510	13996,36	111,4039	0,1037	111,3003
113	61,1015	14123,61	112,3995	0,1046	112,2949
114	61,6520	14250,86	113,3951	0,1056	113,2896
115	62,2025	14378,11	114,3907	0,1065	114,2842
116	62,7530	14505,36	115,3863	0,1074	115,2788
117	63,3035	14632,60	116,3819	0,1084	116,2735
118	63,8540	14759,85	117,3775	0,1093	117,2681
119	64,4045	14887,10	118,373	0,1103	118,2628
120	64,9550	15014,35	119,3686	0,1112	119,2574
121	65,5055	15141,60	120,3642	0,1122	120,2521
122	66,0560	15268,84	121,3598	0,1131	121,2467
123	66,6065	15396,09	122,3554	0,1140	122,2414
124	67,1570	15523,34	123,351	0,1150	123,2360
125	67,7075	15650,59	124,3466	0,1159	124,2306
126	68,2580	15777,84	125,3422	0,1169	125,2253
127	68,8085	15905,08	126,3377	0,1178	126,2199
128	69,3590	16032,33	127,3333	0,1188	127,2146
129	69,9095	16159,58	128,3289	0,1197	128,2092
130	70,4600	16286,83	129,3245	0,1206	129,2039
131	71,0105	16414,08	130,3201	0,1216	130,1985

Участок теплосети от ТК18-7/3 до ТК18-7/5

Характеристики участка:

Протяженность, м	Диаметр, мм	Способ прокладки	Тип изоляции	Год ввода	β	Расход, т/ч
225,6	259	подземная канальная	ППУ	2008	1,15	71

Схема участка



Нормативные потери тепловой энергии
для рабочего диапазона температур теплоносителя

Температура теплоносителя, °С	Норма плотности теплового потока, ккал/чм	Потери тепловой энергии, ккал/ч	Температура в начале участка, °С	Падение температуры, °С	Температура в конце участка, °С
70	33,7280	8750,39	69,55313	0,1232	69,4299
71	34,2336	8881,57	70,54638	0,1251	70,4213
72	34,7392	9012,74	71,53963	0,1269	71,4127
73	35,2448	9143,91	72,53287	0,1288	72,4041
74	35,7504	9275,08	73,52612	0,1306	73,3955
75	36,2560	9406,26	74,51937	0,1325	74,3869
76	36,7616	9537,43	75,51262	0,1343	75,3783
77	37,2672	9668,60	76,50586	0,1362	76,3697
78	37,7728	9799,78	77,49911	0,1380	77,3611
79	38,2784	9930,95	78,49236	0,1399	78,3525
80	38,7840	10062,12	79,48561	0,1417	79,3439
81	39,2896	10193,29	80,47886	0,1436	80,3353
82	39,7952	10324,47	81,4721	0,1454	81,3267
83	40,3008	10455,64	82,46535	0,1473	82,3181
84	40,8064	10586,81	83,4586	0,1491	83,3095
85	41,3120	10717,99	84,45185	0,1510	84,3009
86	41,8176	10849,16	85,44509	0,1528	85,2923
87	42,3232	10980,33	86,43834	0,1547	86,2837
88	42,8288	11111,50	87,43159	0,1565	87,2751
89	43,3344	11242,68	88,42484	0,1583	88,2665
90	43,84	11373,85	89,41808	0,1602	89,2579
91	44,3055	11494,62	90,41273	0,1619	90,2508
92	44,7710	11615,39	91,40737	0,1636	91,2438
93	45,2365	11736,16	92,40202	0,1653	92,2367
94	45,7020	11856,93	93,39666	0,1670	93,2297
95	46,1675	11977,70	94,39131	0,1687	94,2226
96	46,6330	12098,47	95,38595	0,1704	95,2156
97	47,0985	12219,23	96,3806	0,1721	96,2085
98	47,5640	12340,00	97,37524	0,1738	97,2014
99	48,0295	12460,77	98,36988	0,1755	98,1944
100	48,4950	12581,54	99,36453	0,1772	99,1873
101	48,9605	12702,31	100,3592	0,1789	100,1803
102	49,4260	12823,08	101,3538	0,1806	101,1732
103	49,8915	12943,85	102,3485	0,1823	102,1662
104	50,3570	13064,62	103,3431	0,1840	103,1591
105	50,8225	13185,39	104,3378	0,1857	104,1520
106	51,2880	13306,16	105,3324	0,1874	105,1450
107	51,7535	13426,93	106,327	0,1891	106,1379
108	52,2190	13547,70	107,3217	0,1908	107,1309
109	52,6845	13668,47	108,3163	0,1925	108,1238
110	53,15	13789,24	109,311	0,1942	109,1168

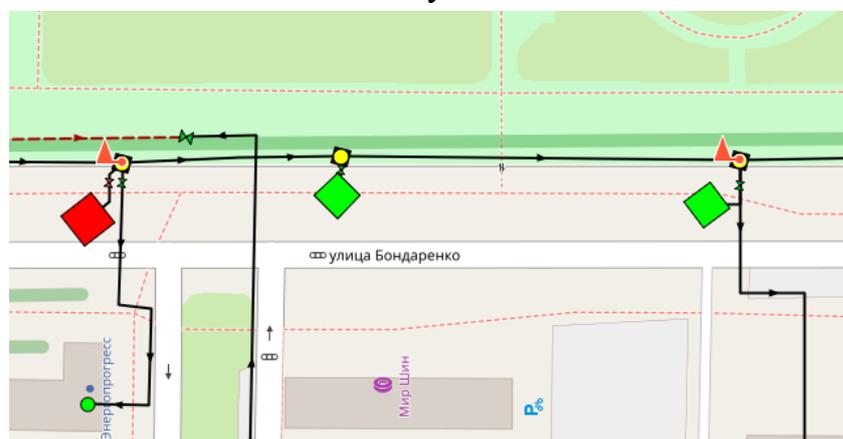
111	53,6155	13910,01	110,3056	0,1959	110,1097
112	54,0810	14030,77	111,3003	0,1976	111,1026
113	54,5465	14151,54	112,2949	0,1993	112,0956
114	55,0120	14272,31	113,2896	0,2010	113,0885
115	55,4775	14393,08	114,2842	0,2027	114,0815
116	55,9430	14513,85	115,2788	0,2044	115,0744
117	56,4085	14634,62	116,2735	0,2061	116,0674
118	56,8740	14755,39	117,2681	0,2078	117,0603
119	57,3395	14876,16	118,2628	0,2095	118,0533
120	57,8050	14996,93	119,2574	0,2112	119,0462
121	58,2705	15117,70	120,2521	0,2129	120,0391
122	58,7360	15238,47	121,2467	0,2146	121,0321
123	59,2015	15359,24	122,2414	0,2163	122,0250
124	59,6670	15480,01	123,236	0,2180	123,0180
125	60,1325	15600,78	124,2306	0,2197	124,0109
126	60,5980	15721,55	125,2253	0,2214	125,0039
127	61,0635	15842,31	126,2199	0,2231	125,9968
128	61,5290	15963,08	127,2146	0,2248	126,9897
129	61,9945	16083,85	128,2092	0,2265	127,9827
130	62,4600	16204,62	129,2039	0,2282	128,9756
131	62,9255	16325,39	130,1985	0,2299	129,9686

Участок теплосети от ТК18-7/5 до ТК18-7/8

Характеристики участка:

Протяженность, м	Диаметр, мм	Способ прокладки	Тип изоляции	Год ввода	β	Расход, т/ч
166,8	150	подземная канальная	ППУ	2008	1,15	63

Схема участка



Нормативные потери тепловой энергии

для рабочего диапазона температур теплоносителя

Температура теплоносителя, °С	Норма плотности теплового потока, ккал/чм	Потери тепловой энергии, ккал/ч	Температура в начале участка, °С	Падение температуры, °С	Температура в конце участка, °С
70	23,0540	4422,22	69,42989	0,0702	69,3597
71	23,4188	4492,19	70,42129	0,0713	70,3500
72	23,7836	4562,17	71,41269	0,0724	71,3403
73	24,1484	4632,15	72,40409	0,0735	72,3306
74	24,5132	4702,12	73,39549	0,0746	73,3208
75	24,8780	4772,10	74,38689	0,0757	74,3111
76	25,2428	4842,07	75,37829	0,0769	75,3014
77	25,6076	4912,05	76,36969	0,0780	76,2917
78	25,9724	4982,03	77,36109	0,0791	77,2820
79	26,3372	5052,00	78,35249	0,0802	78,2723
80	26,7020	5121,98	79,34389	0,0813	79,2626
81	27,0668	5191,95	80,33529	0,0824	80,2529
82	27,4316	5261,93	81,32669	0,0835	81,2432
83	27,7964	5331,91	82,31809	0,0846	82,2335
84	28,1612	5401,88	83,30949	0,0857	83,2237
85	28,5260	5471,86	84,30089	0,0869	84,2140
86	28,8908	5541,83	85,29229	0,0880	85,2043
87	29,2556	5611,81	86,28369	0,0891	86,1946
88	29,6204	5681,79	87,27509	0,0902	87,1849
89	29,9852	5751,76	88,26649	0,0913	88,1752
90	30,35	5821,74	89,25789	0,0924	89,1655
91	30,6470	5878,71	90,25083	0,0933	90,1575
92	30,9440	5935,68	91,24378	0,0942	91,1496
93	31,2410	5992,65	92,23672	0,0951	92,1416
94	31,5380	6049,62	93,22966	0,0960	93,1336
95	31,8350	6106,59	94,22261	0,0969	94,1257
96	32,1320	6163,56	95,21555	0,0978	95,1177
97	32,4290	6220,53	96,20849	0,0987	96,1098
98	32,7260	6277,50	97,20144	0,0996	97,1018
99	33,0230	6334,47	98,19438	0,1005	98,0938
100	33,3200	6391,44	99,18732	0,1015	99,0859
101	33,6170	6448,41	100,1803	0,1024	100,0779
102	33,9140	6505,38	101,1732	0,1033	101,0700
103	34,2110	6562,35	102,1662	0,1042	102,0620
104	34,5080	6619,32	103,1591	0,1051	103,0540
105	34,8050	6676,30	104,152	0,1060	104,0461
106	35,1020	6733,27	105,145	0,1069	105,0381
107	35,3990	6790,24	106,1379	0,1078	106,0301
108	35,6960	6847,21	107,1309	0,1087	107,0222
109	35,9930	6904,18	108,1238	0,1096	108,0142

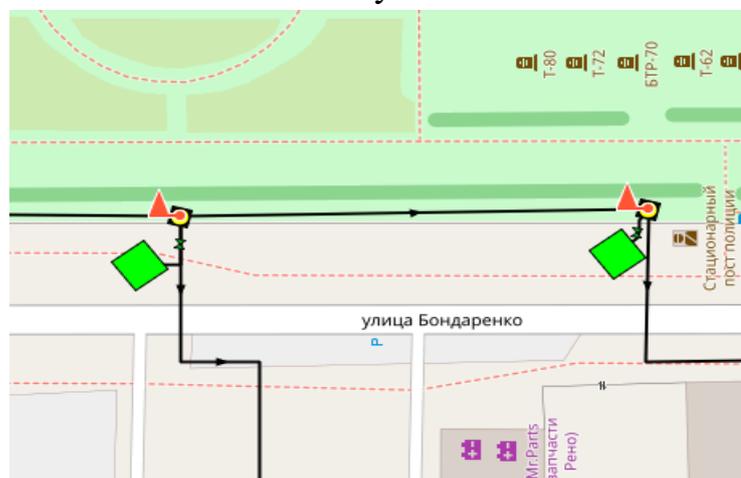
110	36,29	6961,15	109,1168	0,1105	109,0063
111	36,5870	7018,12	110,1097	0,1114	109,9983
112	36,8840	7075,09	111,1026	0,1123	110,9903
113	37,1810	7132,06	112,0956	0,1132	111,9824
114	37,4780	7189,03	113,0885	0,1141	112,9744
115	37,7750	7246,00	114,0815	0,1150	113,9665
116	38,0720	7302,97	115,0744	0,1159	114,9585
117	38,3690	7359,94	116,0674	0,1168	115,9505
118	38,6660	7416,91	117,0603	0,1177	116,9426
119	38,9630	7473,88	118,0533	0,1186	117,9346
120	39,2600	7530,85	119,0462	0,1195	118,9267
121	39,5570	7587,82	120,0391	0,1204	119,9187
122	39,8540	7644,79	121,0321	0,1213	120,9107
123	40,1510	7701,76	122,025	0,1223	121,9028
124	40,4480	7758,74	123,018	0,1232	122,8948
125	40,7450	7815,71	124,0109	0,1241	123,8869
126	41,0420	7872,68	125,0039	0,1250	124,8789
127	41,3390	7929,65	125,9968	0,1259	125,8709
128	41,6360	7986,62	126,9897	0,1268	126,8630
129	41,9330	8043,59	127,9827	0,1277	127,8550
130	42,2300	8100,56	128,9756	0,1286	128,8470
131	42,5270	8157,53	129,9686	0,1295	129,8391

Участок теплосети от ТК18-7/8 до ТК18-7/9

Характеристики участка:

Протяженность, м	Диаметр, мм	Способ прокладки	Тип изоляции	Год ввода	β	Расход, т/ч
51,3	150	подземная канальная	ППУ	2015	1,15	32

Схема участка



Нормативные потери тепловой энергии

для рабочего диапазона температур теплоносителя

Температура теплоносителя, °С	Норма плотности теплового потока, ккал/чм	Потери тепловой энергии, ккал/ч	Температура в начале участка, °С	Падение температуры, °С	Температура в конце участка, °С
70	23,0540	1360,07	69,35969	0,0425	69,3172
71	23,4188	1381,59	70,34998	0,0432	70,3068
72	23,7836	1403,11	71,34027	0,0438	71,2964
73	24,1484	1424,63	72,33056	0,0445	72,2860
74	24,5132	1446,16	73,32085	0,0452	73,2757
75	24,8780	1467,68	74,31114	0,0459	74,2653
76	25,2428	1489,20	75,30143	0,0465	75,2549
77	25,6076	1510,72	76,29172	0,0472	76,2445
78	25,9724	1532,24	77,28201	0,0479	77,2341
79	26,3372	1553,76	78,2723	0,0486	78,2237
80	26,7020	1575,28	79,26259	0,0492	79,2134
81	27,0668	1596,81	80,25288	0,0499	80,2030
82	27,4316	1618,33	81,24317	0,0506	81,1926
83	27,7964	1639,85	82,23345	0,0512	82,1822
84	28,1612	1661,37	83,22374	0,0519	83,1718
85	28,5260	1682,89	84,21403	0,0526	84,1614
86	28,8908	1704,41	85,20432	0,0533	85,1511
87	29,2556	1725,93	86,19461	0,0539	86,1407
88	29,6204	1747,46	87,1849	0,0546	87,1303
89	29,9852	1768,98	88,17519	0,0553	88,1199
90	30,35	1790,50	89,16548	0,0560	89,1095
91	30,6470	1808,02	90,15572	0,0565	90,1010
92	30,9440	1825,54	91,14596	0,0570	91,0925
93	31,2410	1843,06	92,1416	0,0576	92,0840
94	31,5380	1860,58	93,13364	0,0581	93,0755
95	31,8350	1878,11	94,12568	0,0587	94,0670
96	32,1320	1895,63	95,11772	0,0592	95,0585
97	32,4290	1913,15	96,10976	0,0598	96,0500
98	32,7260	1930,67	97,10179	0,0603	97,0415
99	33,0230	1948,19	98,09383	0,0609	98,0330
100	33,3200	1965,71	99,08587	0,0614	99,0244
101	33,6170	1983,23	100,0779	0,0620	100,0159
102	33,9140	2000,76	101,07	0,0625	101,0074
103	34,2110	2018,28	102,062	0,0631	101,9989
104	34,5080	2035,80	103,054	0,0636	102,9904
105	34,8050	2053,32	104,0461	0,0642	103,9819
106	35,1020	2070,84	105,0381	0,0647	104,9734
107	35,3990	2088,36	106,0301	0,0653	105,9649
108	35,6960	2105,89	107,0222	0,0658	106,9564
109	35,9930	2123,41	108,0142	0,0664	107,9479

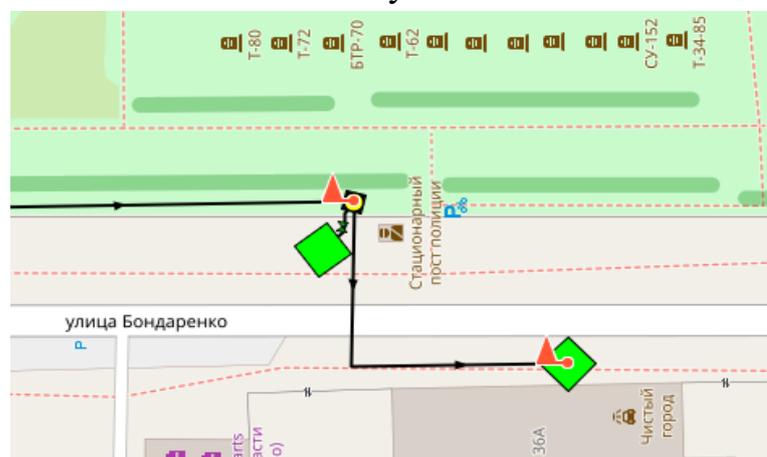
110	36,29	2140,93	109,0063	0,0669	108,9394
111	36,5870	2158,45	109,9983	0,0675	109,9309
112	36,8840	2175,97	110,9903	0,0680	110,9223
113	37,1810	2193,49	111,9824	0,0685	111,9138
114	37,4780	2211,01	112,9744	0,0691	112,9053
115	37,7750	2228,54	113,9665	0,0696	113,8968
116	38,0720	2246,06	114,9585	0,0702	114,8883
117	38,3690	2263,58	115,9505	0,0707	115,8798
118	38,6660	2281,10	116,9426	0,0713	116,8713
119	38,9630	2298,62	117,9346	0,0718	117,8628
120	39,2600	2316,14	118,9267	0,0724	118,8543
121	39,5570	2333,67	119,9187	0,0729	119,8458
122	39,8540	2351,19	120,9107	0,0735	120,8373
123	40,1510	2368,71	121,9028	0,0740	121,8288
124	40,4480	2386,23	122,8948	0,0746	122,8202
125	40,7450	2403,75	123,8869	0,0751	123,8117
126	41,0420	2421,27	124,8789	0,0757	124,8032
127	41,3390	2438,79	125,8709	0,0762	125,7947
128	41,6360	2456,32	126,863	0,0768	126,7862
129	41,9330	2473,84	127,855	0,0773	127,7777
130	42,2300	2491,36	128,847	0,0779	128,7692
131	42,5270	2508,88	129,8391	0,0784	129,7607

Участок теплосети от ТК18-7/9 до КНПО ВТИ

Характеристики участка:

Протяженность, м	Диаметр, мм	Способ прокладки	Тип изоляции	Год ввода	β	Расход, т/ч
43	150	подземная канальная	ППУ	2015	1,15	5,2

Схема участка



Нормативные потери тепловой энергии

для рабочего диапазона температур теплоносителя

Температура теплоносителя, °С	Норма плотности теплового потока, ккал/чм	Потери тепловой энергии, ккал/ч	Температура в начале участка, °С	Падение температуры, °С	Температура в конце участка, °С
70	23,0540	1140,02	69,31719	0,2192	69,0980
71	23,4188	1158,06	70,30681	0,2227	70,0841
72	23,7836	1176,10	71,29642	0,2262	71,0703
73	24,1484	1194,14	72,28604	0,2296	72,0564
74	24,5132	1212,18	73,27566	0,2331	73,0425
75	24,8780	1230,22	74,26527	0,2366	74,0287
76	25,2428	1248,26	75,25489	0,2400	75,0148
77	25,6076	1266,30	76,24451	0,2435	76,0010
78	25,9724	1284,34	77,23412	0,2470	76,9871
79	26,3372	1302,37	78,22374	0,2505	77,9733
80	26,7020	1320,41	79,21336	0,2539	78,9594
81	27,0668	1338,45	80,20298	0,2574	79,9456
82	27,4316	1356,49	81,19259	0,2609	80,9317
83	27,7964	1374,53	82,18221	0,2643	81,9179
84	28,1612	1392,57	83,17183	0,2678	82,9040
85	28,5260	1410,61	84,16144	0,2713	83,8902
86	28,8908	1428,65	85,15106	0,2747	84,8763
87	29,2556	1446,69	86,14068	0,2782	85,8625
88	29,6204	1464,73	87,13029	0,2817	86,8486
89	29,9852	1482,77	88,11991	0,2851	87,8348
90	30,35	1500,81	89,10953	0,2886	88,8209
91	30,6470	1515,49	90,10102	0,2914	89,8096
92	30,9440	1530,18	91,09251	0,2943	90,7982
93	31,2410	1544,87	92,084	0,2971	91,7869
94	31,5380	1559,55	93,07549	0,2999	92,7756
95	31,8350	1574,24	94,06699	0,3027	93,7642
96	32,1320	1588,93	95,05848	0,3056	94,7529
97	32,4290	1603,61	96,04997	0,3084	95,7416
98	32,7260	1618,30	97,04146	0,3112	96,7302
99	33,0230	1632,99	98,03295	0,3140	97,7189
100	33,3200	1647,67	99,02444	0,3169	98,7076
101	33,6170	1662,36	100,0159	0,3197	99,6963
102	33,9140	1677,05	101,0074	0,3225	100,6849
103	34,2110	1691,73	101,9989	0,3253	101,6736
104	34,5080	1706,42	102,9904	0,3282	102,6623
105	34,8050	1721,11	103,9819	0,3310	103,6509
106	35,1020	1735,79	104,9734	0,3338	104,6396
107	35,3990	1750,48	105,9649	0,3366	105,6283
108	35,6960	1765,17	106,9564	0,3395	106,6169
109	35,9930	1779,85	107,9479	0,3423	107,6056
110	36,29	1794,54	108,9394	0,3451	108,5943

111	36,5870	1809,23	109,9309	0,3479	109,5829
112	36,8840	1823,91	110,9223	0,3508	110,5716
113	37,1810	1838,60	111,9138	0,3536	111,5603
114	37,4780	1853,29	112,9053	0,3564	112,5489
115	37,7750	1867,97	113,8968	0,3592	113,5376
116	38,0720	1882,66	114,8883	0,3621	114,5263
117	38,3690	1897,35	115,8798	0,3649	115,5149
118	38,6660	1912,03	116,8713	0,3677	116,5036
119	38,9630	1926,72	117,8628	0,3705	117,4923
120	39,2600	1941,41	118,8543	0,3733	118,4809
121	39,5570	1956,09	119,8458	0,3762	119,4696
122	39,8540	1970,78	120,8373	0,3790	120,4583
123	40,1510	1985,47	121,8288	0,3818	121,4469
124	40,4480	2000,15	122,8202	0,3846	122,4356
125	40,7450	2014,84	123,8117	0,3875	123,4243
126	41,0420	2029,53	124,8032	0,3903	124,4129
127	41,3390	2044,21	125,7947	0,3931	125,4016
128	41,6360	2058,90	126,7862	0,3959	126,3903
129	41,9330	2073,59	127,7777	0,3988	127,3789
130	42,2300	2088,27	128,7692	0,4016	128,3676
131	42,5270	2102,96	129,7607	0,4044	129,3563

Участок теплосети от Павильона №8 до Павильона №7

Характеристики участка:

Протяженность, м	Диаметр, мм	Способ прокладки	Тип изоляции	Год ввода	β	Расход, т/ч
526,35	800	подземная канальная	Минеральная вата	2015	1,15	2491

Схема участка



Нормативные потери тепловой энергии

для рабочего диапазона температур теплоносителя

Температура теплоносителя, °С	Норма плотности теплового потока, ккал/чм	Потери тепловой энергии, ккал/ч	Температура в начале участка, °С	Падение температуры, °С	Температура в конце участка, °С
70	79,7480	48271,66	69,98256	0,0194	69,9632
71	80,9736	49013,52	70,98231	0,0197	70,9626
72	82,1992	49755,38	71,98206	0,0200	71,9621
73	83,4248	50497,24	72,9818	0,0203	72,9615
74	84,6504	51239,10	73,98155	0,0206	73,9610
75	85,8760	51980,96	74,9813	0,0209	74,9604
76	87,1016	52722,82	75,98105	0,0212	75,9599
77	88,3272	53464,67	76,9808	0,0215	76,9593
78	89,5528	54206,53	77,98055	0,0218	77,9588
79	90,7784	54948,39	78,9803	0,0221	78,9582
80	92,0040	55690,25	79,98004	0,0224	79,9577
81	93,2296	56432,11	80,97979	0,0227	80,9571
82	94,4552	57173,97	81,97954	0,0230	81,9566
83	95,6808	57915,83	82,97929	0,0233	82,9560
84	96,9064	58657,69	83,97904	0,0235	83,9555
85	98,1320	59399,54	84,97879	0,0238	84,9549
86	99,3576	60141,40	85,97853	0,0241	85,9544
87	100,5832	60883,26	86,97828	0,0244	86,9538
88	101,8088	61625,12	87,97803	0,0247	87,9533
89	103,0344	62366,98	88,97778	0,0250	88,9527
90	104,26	63108,84	89,97753	0,0253	89,9522
91	105,1675	63658,15	90,97732	0,0256	90,9518
92	106,0750	64207,46	91,97712	0,0258	91,9513
93	106,9825	64756,77	92,97691	0,0260	92,9509
94	107,8900	65306,09	93,9767	0,0262	93,9505
95	108,7975	65855,40	94,9765	0,0264	94,9501
96	109,7050	66404,71	95,97629	0,0267	95,9496
97	110,6125	66954,02	96,97609	0,0269	96,9492
98	111,5200	67503,33	97,97588	0,0271	97,9488
99	112,4275	68052,65	98,97567	0,0273	98,9484
100	113,3350	68601,96	99,97547	0,0275	99,9479
101	114,2425	69151,27	100,9753	0,0278	100,9475
102	115,1500	69700,58	101,9751	0,0280	101,9471
103	116,0575	70249,89	102,9749	0,0282	102,9466
104	116,9650	70799,21	103,9746	0,0284	103,9462
105	117,8725	71348,52	104,9744	0,0286	104,9458
106	118,7800	71897,83	105,9742	0,0289	105,9454
107	119,6875	72447,14	106,974	0,0291	106,9449
108	120,5950	72996,45	107,9738	0,0293	107,9445
109	121,5025	73545,77	108,9736	0,0295	108,9441

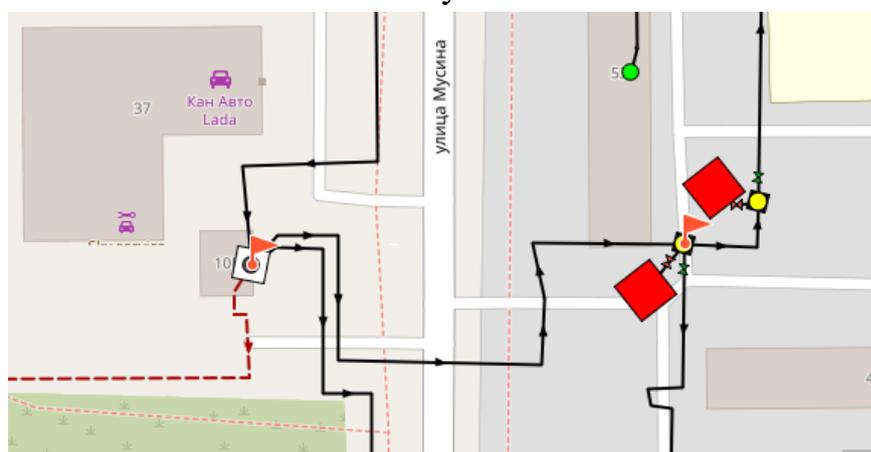
110	122,41	74095,08	109,9734	0,0297	109,9437
111	123,3175	74644,39	110,9732	0,0300	110,9432
112	124,2250	75193,70	111,973	0,0302	111,9428
113	125,1325	75743,02	112,9728	0,0304	112,9424
114	126,0400	76292,33	113,9726	0,0306	113,9420
115	126,9475	76841,64	114,9724	0,0308	114,9415
116	127,8550	77390,95	115,9722	0,0311	115,9411
117	128,7625	77940,26	116,972	0,0313	116,9407
118	129,6700	78489,58	117,9718	0,0315	117,9403
119	130,5775	79038,89	118,9716	0,0317	118,9398
120	131,4850	79588,20	119,9713	0,0320	119,9394
121	132,3925	80137,51	120,9711	0,0322	120,9390
122	133,3000	80686,82	121,9709	0,0324	121,9385
123	134,2075	81236,14	122,9707	0,0326	122,9381
124	135,1150	81785,45	123,9705	0,0328	123,9377
125	136,0225	82334,76	124,9703	0,0331	124,9373
126	136,9300	82884,07	125,9701	0,0333	125,9368
127	137,8375	83433,38	126,9699	0,0335	126,9364
128	138,7450	83982,70	127,9697	0,0337	127,9360
129	139,6525	84532,01	128,9695	0,0339	128,9356
130	140,5600	85081,32	129,9693	0,0342	129,9351
131	141,4675	85630,63	130,9691	0,0344	130,9347

Участок теплосети от Павильона №7 до ТК55381

Характеристики участка:

Протяженность, м	Диаметр, мм	Способ прокладки	Тип изоляции	Год ввода	β	Расход, т/ч
113	514	подземная канальная	ППУ	2012	1,15	502

Схема участка



Нормативные потери тепловой энергии
для рабочего диапазона температур теплоносителя

Температура теплоносителя, °С	Норма плотности теплового потока, ккал/чм	Потери тепловой энергии, ккал/ч	Температура в начале участка, °С	Падение температуры, °С	Температура в конце участка, °С
70	54,4560	7076,56	69,96318	0,0141	69,9491
71	55,2252	7176,51	70,96263	0,0143	70,9483
72	55,9944	7276,47	71,96208	0,0145	71,9476
73	56,7636	7376,43	72,96153	0,0147	72,9468
74	57,5328	7476,39	73,96098	0,0149	73,9461
75	58,3020	7576,34	74,96043	0,0151	74,9453
76	59,0712	7676,30	75,95988	0,0153	75,9446
77	59,8404	7776,26	76,95934	0,0155	76,9438
78	60,6096	7876,22	77,95879	0,0157	77,9431
79	61,3788	7976,18	78,95824	0,0159	78,9423
80	62,1480	8076,13	79,95769	0,0161	79,9416
81	62,9172	8176,09	80,95714	0,0163	80,9409
82	63,6864	8276,05	81,95659	0,0165	81,9401
83	64,4556	8376,01	82,95604	0,0167	82,9394
84	65,2248	8475,96	83,95549	0,0169	83,9386
85	65,9940	8575,92	84,95494	0,0171	84,9379
86	66,7632	8675,88	85,95439	0,0173	85,9371
87	67,5324	8775,84	86,95384	0,0175	86,9364
88	68,3016	8875,79	87,95329	0,0177	87,9356
89	69,0708	8975,75	88,95274	0,0179	88,9349
90	69,84	9075,71	89,95219	0,0181	89,9341
91	70,6480	9180,71	90,95177	0,0183	90,9335
92	71,4560	9285,71	91,95134	0,0185	91,9328
93	72,2640	9390,71	92,95091	0,0187	92,9322
94	73,0720	9495,71	93,95049	0,0189	93,9316
95	73,8800	9600,71	94,95006	0,0191	94,9309
96	74,6880	9705,71	95,94963	0,0193	95,9303
97	75,4960	9810,71	96,94921	0,0195	96,9297
98	76,3040	9915,70	97,94878	0,0198	97,9290
99	77,1120	10020,70	98,94835	0,0200	98,9284
100	77,9200	10125,70	99,94793	0,0202	99,9278
101	78,7280	10230,70	100,9475	0,0204	100,9271
102	79,5360	10335,70	101,9471	0,0206	101,9265
103	80,3440	10440,70	102,9466	0,0208	102,9259
104	81,1520	10545,70	103,9462	0,0210	103,9252
105	81,9600	10650,70	104,9458	0,0212	104,9246
106	82,7680	10755,70	105,9454	0,0214	105,9239
107	83,5760	10860,70	106,9449	0,0216	106,9233
108	84,3840	10965,70	107,9445	0,0218	107,9227

109	85,1920	11070,70	108,9441	0,0221	108,9220
110	86	11175,70	109,9437	0,0223	109,9214
111	86,8080	11280,70	110,9432	0,0225	110,9208
112	87,6160	11385,70	111,9428	0,0227	111,9201
113	88,4240	11490,70	112,9424	0,0229	112,9195
114	89,2320	11595,70	113,942	0,0231	113,9189
115	90,0400	11700,70	114,9415	0,0233	114,9182
116	90,8480	11805,70	115,9411	0,0235	115,9176
117	91,6560	11910,70	116,9407	0,0237	116,9170
118	92,4640	12015,70	117,9403	0,0239	117,9163
119	93,2720	12120,70	118,9398	0,0241	118,9157
120	94,0800	12225,70	119,9394	0,0244	119,9150
121	94,8880	12330,70	120,939	0,0246	120,9144
122	95,6960	12435,70	121,9385	0,0248	121,9138
123	96,5040	12540,69	122,9381	0,0250	122,9131
124	97,3120	12645,69	123,9377	0,0252	123,9125
125	98,1200	12750,69	124,9373	0,0254	124,9119
126	98,9280	12855,69	125,9368	0,0256	125,9112
127	99,7360	12960,69	126,9364	0,0258	126,9106
128	100,5440	13065,69	127,936	0,0260	127,9100
129	101,3520	13170,69	128,9356	0,0262	128,9093
130	102,1600	13275,69	129,9351	0,0264	129,9087
131	102,9680	13380,69	130,9347	0,0267	130,9081

Приложение В

Модель фактического распределения потерь тепловой энергии и температуры теплоносителя по участкам действующей теплосети во времени

Участок теплосети от РК «Савиново» до ИТП многоквартирного дома по ул. Гаврилова, 4



Математическая функция линейной регрессии:

$$K = 0,3466 * \Delta T_{\tau_0}^{\text{ТН.нач}} + 1,2097$$

Параметры испытаний

Время измерений	T1 объекта	T1ист (факт)	T1норм объекта	T1ист(факт) - T1объекта	T1ист(факт)- T1норм	Скорость изменения температуры теплоносителя	Соотношение фактических потерь к нормативным
19.12.2021 1:00	80,81	83,72	81,00	2,91	2,72	-0,08	1,07
19.12.2021 2:00	80,53	83,9	81,20	3,37	2,70	0,18	1,25
19.12.2021 3:00	80,42	84,32	81,60	3,9	2,72	0,42	1,43

19.12.2021 4:00	80,79	84,45	81,80	3,66	2,65	0,13	1,38
19.12.2021 5:00	81,06	84,49	81,80	3,43	2,69	0,04	1,28
19.12.2021 6:00	81,22	84,17	81,50	2,95	2,67	-0,32	1,10
19.12.2021 7:00	81,26	84,04	81,30	2,78	2,74	-0,13	1,01
19.12.2021 8:00	80,87	83,86	81,20	2,99	2,66	-0,18	1,12
19.12.2021 9:00	81,05	83,52	80,90	2,47	2,62	-0,34	0,94
19.12.2021 10:00	80,8	83,72	81,00	2,92	2,72	0,20	1,07
19.12.2021 11:00	80,58	83,59	80,90	3,01	2,69	-0,13	1,12
19.12.2021 12:00	80,7	83,94	81,20	3,24	2,74	0,35	1,18
19.12.2021 13:00	80,75	84,19	81,50	3,44	2,69	0,25	1,28
19.12.2021 14:00	81,06	84,48	81,80	3,42	2,68	0,29	1,28
19.12.2021 15:00	81,35	84,61	81,90	3,26	2,71	0,13	1,20
19.12.2021 16:00	81,53	84,47	81,80	2,94	2,67	-0,14	1,10
19.12.2021 17:00	81,65	84,04	81,30	2,39	2,74	-0,43	0,87
19.12.2021 18:00	81,47	83,89	81,20	2,42	2,69	-0,15	0,90
19.12.2021 19:00	81,03	83,73	81,00	2,7	2,73	-0,16	0,99
19.12.2021 20:00	81,04	83,69	81,00	2,65	2,69	-0,04	0,99
19.12.2021 21:00	80,84	83,87	81,20	3,03	2,67	0,18	1,13
19.12.2021 22:00	80,88	84,21	81,50	3,33	2,71	0,34	1,23
19.12.2021 23:00	81,02	84,1	81,40	3,08	2,70	-0,11	1,14
20.12.2021 0:00	81,39	84,08	81,30	2,69	2,78	-0,02	0,97
20.12.2021 1:00	80,86	84,22	81,40	3,36	2,82	0,14	1,19
20.12.2021 2:00	81,2	84,05	81,30	2,85	2,75	-0,17	1,04
20.12.2021 3:00	81,28	84,41	81,60	3,13	2,81	0,36	1,11
20.12.2021 4:00	81,09	84,03	81,20	2,94	2,83	-0,38	1,04
20.12.2021 5:00	81,31	83,89	81,10	2,58	2,79	-0,14	0,92
20.12.2021 6:00	80,99	83,79	81,00	2,8	2,79	-0,10	1,00
20.12.2021 7:00	80,94	83,57	80,90	2,63	2,67	-0,22	0,99
20.12.2021 8:00	80,56	83,72	81,00	3,16	2,72	0,15	1,16
20.12.2021 9:00	80,83	83,99	81,20	3,16	2,79	0,27	1,13
20.12.2021 10:00	80,65	84,27	81,50	3,62	2,77	0,28	1,31
20.12.2021 11:00	81,14	84,68	81,90	3,54	2,78	0,41	1,27
20.12.2021 12:00	81,06	84,66	81,90	3,6	2,76	-0,02	1,30
20.12.2021 13:00	81,5	84,42	81,60	2,92	2,82	-0,24	1,04
20.12.2021 14:00	81,27	84,9	82,10	3,63	2,80	0,48	1,30
20.12.2021 15:00	81,29	85,19	82,30	3,9	2,89	0,29	1,35
20.12.2021 16:00	81,68	85,2	82,30	3,52	2,90	0,01	1,21
20.12.2021 17:00	81,87	85,1	82,20	3,23	2,90	-0,10	1,11
20.12.2021 18:00	81,93	84,84	82,00	2,91	2,84	-0,26	1,02
20.12.2021 19:00	81,82	84,3	81,50	2,48	2,80	-0,54	0,89
20.12.2021 20:00	81,47	83,89	81,10	2,42	2,79	-0,41	0,87
20.12.2021 21:00	80,94	84,04	81,20	3,1	2,84	0,15	1,09
20.12.2021 22:00	80,96	84,01	81,20	3,05	2,81	-0,03	1,09
20.12.2021 23:00	80,78	83,51	80,80	2,73	2,71	-0,50	1,01
21.12.2021 0:00	80,83	82,99	80,40	2,16	2,59	-0,52	0,83
21.12.2021 1:00	80	83,67	81,10	3,67	2,57	0,68	1,43

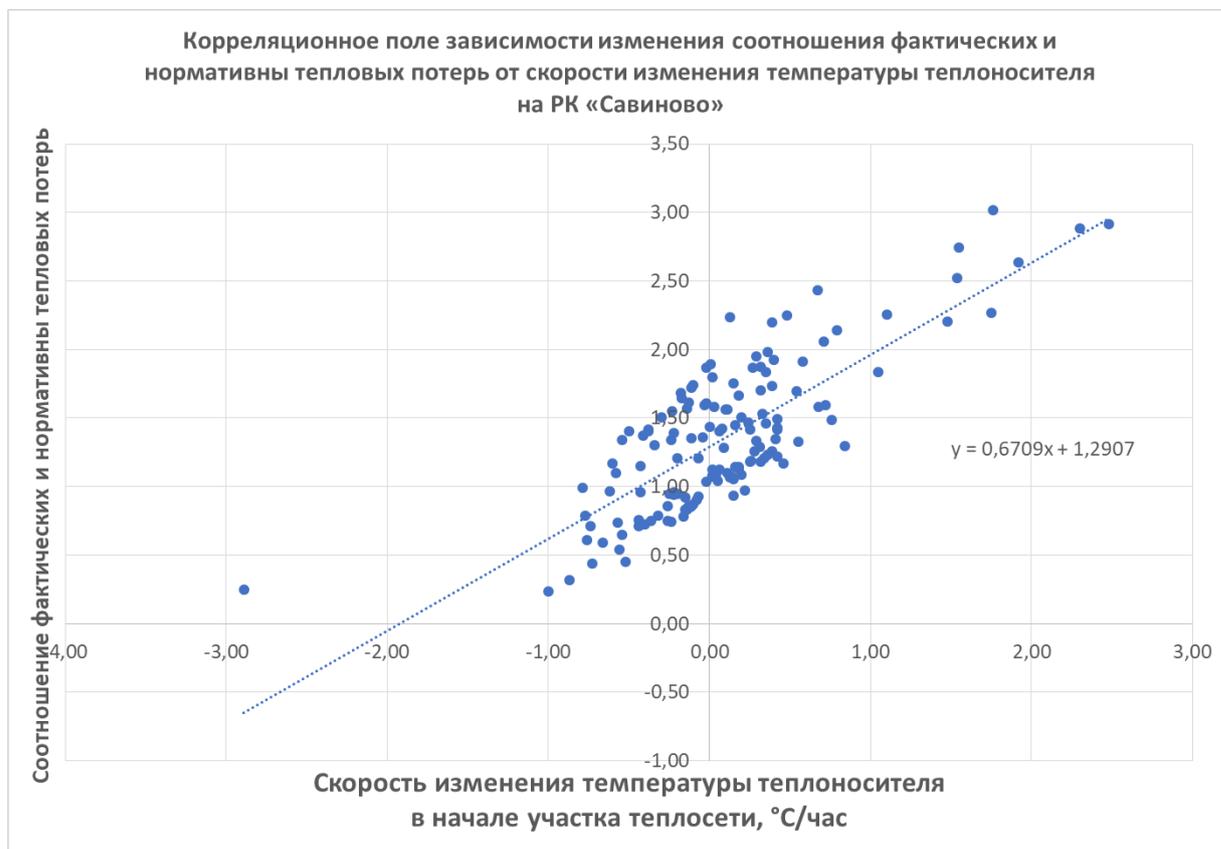
21.12.2021 2:00	80,11	84,34	81,60	4,23	2,74	0,67	1,54
21.12.2021 3:00	80,76	84,76	82,10	4	2,66	0,42	1,50
21.12.2021 4:00	81,32	84,36	81,70	3,04	2,66	-0,40	1,14
21.12.2021 5:00	81,47	84,75	82,10	3,28	2,65	0,39	1,24
21.12.2021 6:00	81,54	84,37	81,70	2,83	2,67	-0,38	1,06
21.12.2021 7:00	81,46	86,13	83,30	4,67	2,83	1,76	1,65
21.12.2021 8:00	82,25	86,49	83,60	4,24	2,89	0,36	1,47
21.12.2021 9:00	83,02	86,37	83,60	3,35	2,77	-0,12	1,21
21.12.2021 10:00	83,34	86,69	83,80	3,35	2,89	0,32	1,16
21.12.2021 11:00	83,12	85,96	83,20	2,84	2,76	-0,73	1,03
21.12.2021 12:00	83,15	85,98	83,20	2,83	2,78	0,02	1,02
21.12.2021 13:00	82,81	85,96	83,20	3,15	2,76	-0,02	1,14
21.12.2021 14:00	82,76	85,85	83,10	3,09	2,75	-0,11	1,12
21.12.2021 15:00	82,76	85,9	83,10	3,14	2,80	0,05	1,12
21.12.2021 16:00	82,65	88,38	85,40	5,73	2,98	2,48	1,92
21.12.2021 17:00	83,58	89,93	86,80	6,35	3,13	1,55	2,03
21.12.2021 18:00	86,12	89,95	86,90	3,83	3,05	0,02	1,26
21.12.2021 19:00	86,6	90,74	87,50	4,14	3,24	0,79	1,28
21.12.2021 20:00	86,94	90,67	87,50	3,73	3,17	-0,07	1,18
21.12.2021 21:00	87,51	91,77	88,50	4,26	3,27	1,10	1,30
21.12.2021 22:00	87,63	93,31	89,90	5,68	3,41	1,54	1,67
21.12.2021 23:00	89,45	94,15	90,40	4,7	3,75	0,84	1,25
22.12.2021 0:00	90,29	93,85	91,50	3,56	2,35	-0,30	1,51
22.12.2021 1:00	90,73	94,01	91,60	3,28	2,41	0,16	1,36
22.12.2021 2:00	90,53	93,41	91,00	2,88	2,41	-0,60	1,20
22.12.2021 3:00	90,43	94,12	91,60	3,69	2,52	0,71	1,46
22.12.2021 4:00	90,6	94,7	92,20	4,1	2,50	0,58	1,64
22.12.2021 5:00	91,41	96,18	93,60	4,77	2,58	1,48	1,85
22.12.2021 6:00	92,08	97,93	95,20	5,85	2,73	1,75	2,14
22.12.2021 7:00	94,36	95,04	92,50	0,68	2,54	-2,89	0,27
22.12.2021 8:00	92,81	97,34	94,60	4,53	2,74	2,30	1,65
22.12.2021 9:00	93,43	97,36	94,70	3,93	2,66	0,02	1,48
22.12.2021 10:00	93,55	97,91	95,20	4,36	2,71	0,55	1,61
22.12.2021 11:00	94,51	98,01	95,30	3,5	2,71	0,10	1,29
22.12.2021 12:00	94,61	97,79	95,10	3,18	2,69	-0,22	1,18
22.12.2021 13:00	94,42	97,59	94,90	3,17	2,69	-0,20	1,18
22.12.2021 14:00	94,34	96,93	94,30	2,59	2,63	-0,66	0,98
22.12.2021 15:00	93,88	96,69	94,10	2,81	2,59	-0,24	1,08
22.12.2021 16:00	93,52	98,61	95,80	5,09	2,81	1,92	1,81
22.12.2021 17:00	94,52	99,15	96,40	4,63	2,75	0,54	1,68
22.12.2021 18:00	95,72	99,33	96,50	3,61	2,83	0,18	1,28
22.12.2021 19:00	95,82	99,33	96,50	3,51	2,83	0,00	1,24
22.12.2021 20:00	95,96	99,07	96,30	3,11	2,77	-0,26	1,12
22.12.2021 21:00	95,88	98,71	95,90	2,83	2,81	-0,36	1,01
22.12.2021 22:00	95,67	97,92	95,20	2,25	2,72	-0,79	0,83
22.12.2021 23:00	94,76	98,24	95,50	3,48	2,74	0,32	1,27

23.12.2021 0:00	94,76	98,27	96,00	3,51	2,27	0,03	1,55
23.12.2021 1:00	95,25	98,38	96,10	3,13	2,28	0,11	1,37
23.12.2021 2:00	95,21	99,14	96,80	3,93	2,34	0,76	1,68
23.12.2021 3:00	95,72	99,3	96,90	3,58	2,40	0,16	1,49
23.12.2021 4:00	96,14	99,56	97,20	3,42	2,36	0,26	1,45
23.12.2021 5:00	96,37	99,64	97,20	3,27	2,44	0,08	1,34
23.12.2021 6:00	96,5	99,2	96,80	2,7	2,40	-0,44	1,13
23.12.2021 7:00	96,28	98,63	96,30	2,35	2,33	-0,57	1,01
23.12.2021 8:00	95,66	98,38	96,10	2,72	2,28	-0,25	1,19
23.12.2021 9:00	95,45	98,44	96,10	2,99	2,34	0,06	1,28
23.12.2021 10:00	95,44	98,33	96,00	2,89	2,33	-0,11	1,24
23.12.2021 11:00	95,08	98,75	96,50	3,67	2,25	0,42	1,63
23.12.2021 12:00	95,95	98,84	96,50	2,89	2,34	0,09	1,24
23.12.2021 13:00	95,6	98,64	96,30	3,04	2,34	-0,20	1,30
23.12.2021 14:00	95,9	98,21	95,90	2,31	2,31	-0,43	1,00
23.12.2021 15:00	95,22	99,26	96,90	4,04	2,36	1,05	1,71
23.12.2021 16:00	96,2	98,49	96,20	2,29	2,29	-0,77	1,00
23.12.2021 17:00	95,49	97,95	95,70	2,46	2,25	-0,54	1,09
23.12.2021 18:00	95,14	98,3	96,00	3,16	2,30	0,35	1,37
23.12.2021 19:00	94,83	98,7	96,40	3,87	2,30	0,40	1,68
23.12.2021 20:00	95,61	97,7	95,40	2,09	2,30	-1,00	0,91
23.12.2021 21:00	94,85	98,12	95,80	3,27	2,32	0,42	1,41
23.12.2021 22:00	95,18	98,18	95,90	3	2,28	0,06	1,32
23.12.2021 23:00	95,12	98,57	96,30	3,45	2,27	0,39	1,52
24.12.2021 0:00	95,45	98,96	96,50	3,51	2,46	0,39	1,43
24.12.2021 1:00	95,77	99,11	96,60	3,34	2,51	0,15	1,33
24.12.2021 2:00	96,1	99,31	96,80	3,21	2,51	0,20	1,28
24.12.2021 3:00	96,15	99,55	97,10	3,4	2,45	0,24	1,39
24.12.2021 4:00	96,55	99,11	96,60	2,56	2,51	-0,44	1,02
24.12.2021 5:00	96,09	99,04	96,50	2,95	2,54	-0,07	1,16
24.12.2021 6:00	96,06	98,89	96,40	2,83	2,49	-0,15	1,14
24.12.2021 7:00	95,93	98,67	96,30	2,74	2,37	-0,22	1,16
24.12.2021 8:00	95,71	98,98	96,50	3,27	2,48	0,31	1,32
24.12.2021 9:00	95,76	99,2	96,70	3,44	2,50	0,22	1,38
24.12.2021 10:00	96,35	98,44	96,00	2,09	2,44	-0,76	0,86
24.12.2021 11:00	95,55	99,16	96,70	3,61	2,46	0,72	1,47
24.12.2021 12:00	95,84	98,54	96,10	2,7	2,44	-0,62	1,11
24.12.2021 13:00	95,51	98,86	96,40	3,35	2,46	0,32	1,36
24.12.2021 14:00	95,52	98,88	96,40	3,36	2,48	0,02	1,35
24.12.2021 15:00	95,44	99,21	96,70	3,77	2,51	0,33	1,50
24.12.2021 16:00	96,07	99,32	96,80	3,25	2,52	0,11	1,29
24.12.2021 17:00	96,25	98,74	96,30	2,49	2,44	-0,58	1,02
24.12.2021 18:00	95,59	99,2	96,70	3,61	2,50	0,46	1,44
24.12.2021 19:00	96,07	98,97	96,50	2,9	2,47	-0,23	1,17
24.12.2021 20:00	95,79	98,1	95,70	2,31	2,40	-0,87	0,96
24.12.2021 21:00	95,32	97,36	95,00	2,04	2,36	-0,74	0,86

24.12.2021 22:00	94,22	96,8	94,50	2,58	2,30	-0,56	1,12
24.12.2021 23:00	93,96	97,05	94,80	3,09	2,25	0,25	1,37

Участок теплосети от РК «Савиново»

до ИТП многоквартирного дома по пр. Амирхана, 2



Математическая функция линейной регрессии:

$$K = 0,6709 * \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,2907$$

Параметры испытаний

Время измерений	T1 объекта	T1ист (факт)	T1норм объекта	T1ист(факт) - T1объекта	T1ист(факт)-T1норм	Скорость изменения температуры теплоносителя	Соотношение фактических потерь к нормативным
19.12.2021 1:00	82,62	83,72	82,50	1,1	1,22	-0,08	0,90
19.12.2021 2:00	82,54	83,9	82,70	1,36	1,20	0,18	1,13
19.12.2021 3:00	82,59	84,32	83,10	1,73	1,22	0,42	1,42
19.12.2021 4:00	81,88	84,45	83,30	2,57	1,15	0,13	2,23
19.12.2021 5:00	83,2	84,49	83,30	1,29	1,19	0,04	1,08
19.12.2021 6:00	83,25	84,17	83,00	0,92	1,17	-0,32	0,79
19.12.2021 7:00	82,04	84,04	82,80	2	1,24	-0,13	1,61
19.12.2021 8:00	81,91	83,86	82,70	1,95	1,16	-0,18	1,68

19.12.2021 9:00	81,93	83,52	82,30	1,59	1,22	-0,34	1,30
19.12.2021 10:00	82,39	83,72	82,50	1,33	1,22	0,20	1,09
19.12.2021 11:00	82,57	83,59	82,40	1,02	1,19	-0,13	0,86
19.12.2021 12:00	81,66	83,94	82,70	2,28	1,24	0,35	1,84
19.12.2021 13:00	82,78	84,19	83,00	1,41	1,19	0,25	1,18
19.12.2021 14:00	82,18	84,48	83,30	2,3	1,18	0,29	1,95
19.12.2021 15:00	83,32	84,61	83,40	1,29	1,21	0,13	1,07
19.12.2021 16:00	82,63	84,47	83,30	1,84	1,17	-0,14	1,57
19.12.2021 17:00	82,61	84,04	82,80	1,43	1,24	-0,43	1,15
19.12.2021 18:00	82,9	83,89	82,70	0,99	1,19	-0,15	0,83
19.12.2021 19:00	82,77	83,73	82,50	0,96	1,23	-0,16	0,78
19.12.2021 20:00	82,07	83,69	82,50	1,62	1,19	-0,04	1,36
19.12.2021 21:00	81,92	83,87	82,70	1,95	1,17	0,18	1,67
19.12.2021 22:00	82,75	84,21	83,00	1,46	1,21	0,34	1,21
19.12.2021 23:00	83,07	84,1	82,90	1,03	1,20	-0,11	0,86
20.12.2021 0:00	82,18	84,08	82,90	1,9	1,18	-0,02	1,61
20.12.2021 1:00	82,91	84,22	83,00	1,31	1,22	0,14	1,07
20.12.2021 2:00	82,16	84,05	82,90	1,89	1,15	-0,17	1,64
20.12.2021 3:00	82,01	84,41	83,20	2,4	1,21	0,36	1,98
20.12.2021 4:00	82,29	84,03	82,80	1,74	1,23	-0,38	1,41
20.12.2021 5:00	82,9	83,89	82,70	0,99	1,19	-0,14	0,83
20.12.2021 6:00	82,75	83,79	82,60	1,04	1,19	-0,10	0,87
20.12.2021 7:00	81,94	83,57	82,40	1,63	1,17	-0,22	1,39
20.12.2021 8:00	81,58	83,72	82,50	2,14	1,22	0,15	1,75
20.12.2021 9:00	81,77	83,99	82,80	2,22	1,19	0,27	1,87
20.12.2021 10:00	82,8	84,27	83,10	1,47	1,17	0,28	1,26
20.12.2021 11:00	83,09	84,68	83,50	1,59	1,18	0,41	1,35
20.12.2021 12:00	82,49	84,66	83,50	2,17	1,16	-0,02	1,87
20.12.2021 13:00	83,51	84,42	83,20	0,91	1,22	-0,24	0,75
20.12.2021 14:00	82,2	84,9	83,70	2,7	1,20	0,48	2,25
20.12.2021 15:00	83,6	85,19	84,00	1,59	1,19	0,29	1,34
20.12.2021 16:00	82,93	85,2	84,00	2,27	1,20	0,01	1,89
20.12.2021 17:00	83,01	85,1	83,90	2,09	1,20	-0,10	1,74
20.12.2021 18:00	83,91	84,84	83,60	0,93	1,24	-0,26	0,75
20.12.2021 19:00	82,69	84,3	83,10	1,61	1,20	-0,54	1,34
20.12.2021 20:00	82,26	83,89	82,70	1,63	1,19	-0,41	1,37
20.12.2021 21:00	82,73	84,04	82,80	1,31	1,24	0,15	1,06
20.12.2021 22:00	82,08	84,01	82,80	1,93	1,21	-0,03	1,60
20.12.2021 23:00	81,81	83,51	82,30	1,7	1,21	-0,50	1,40
21.12.2021 0:00	82,45	82,99	81,80	0,54	1,19	-0,52	0,45
21.12.2021 1:00	81,82	83,67	82,50	1,85	1,17	0,68	1,58
21.12.2021 2:00	81,32	84,34	83,10	3,02	1,24	0,67	2,44
21.12.2021 3:00	83,1	84,76	83,60	1,66	1,16	0,42	1,43
21.12.2021 4:00	83,52	84,36	83,20	0,84	1,16	-0,40	0,72
21.12.2021 5:00	82,22	84,75	83,60	2,53	1,15	0,39	2,20
21.12.2021 6:00	82,73	84,37	83,20	1,64	1,17	-0,38	1,40

21.12.2021 7:00	82,42	86,13	84,90	3,71	1,23	1,76	3,02
21.12.2021 8:00	84,9	86,49	85,20	1,59	1,29	0,36	1,23
21.12.2021 9:00	85,29	86,37	85,10	1,08	1,27	-0,12	0,85
21.12.2021 10:00	84,27	86,69	85,40	2,42	1,29	0,32	1,88
21.12.2021 11:00	85,45	85,96	84,80	0,51	1,16	-0,73	0,44
21.12.2021 12:00	83,86	85,98	84,80	2,12	1,18	0,02	1,80
21.12.2021 13:00	84,76	85,96	84,80	1,2	1,16	-0,02	1,03
21.12.2021 14:00	83,87	85,85	84,70	1,98	1,15	-0,11	1,72
21.12.2021 15:00	84,65	85,9	84,70	1,25	1,20	0,05	1,04
21.12.2021 16:00	84,65	88,38	87,10	3,73	1,28	2,48	2,91
21.12.2021 17:00	86,28	89,93	88,60	3,65	1,33	1,55	2,74
21.12.2021 18:00	88,6	89,95	88,70	1,35	1,25	0,02	1,08
21.12.2021 19:00	87,87	90,74	89,40	2,87	1,34	0,79	2,14
21.12.2021 20:00	89,49	90,67	89,40	1,18	1,27	-0,07	0,93
21.12.2021 21:00	88,68	91,77	90,40	3,09	1,37	1,10	2,26
21.12.2021 22:00	89,75	93,31	91,90	3,56	1,41	1,54	2,52
21.12.2021 23:00	92,01	94,15	92,50	2,14	1,65	0,84	1,30
22.12.2021 0:00	91,97	93,85	92,60	1,88	1,25	-0,30	1,50
22.12.2021 1:00	92,51	94,01	92,70	1,5	1,31	0,16	1,15
22.12.2021 2:00	91,88	93,41	92,10	1,53	1,31	-0,60	1,17
22.12.2021 3:00	91,4	94,12	92,80	2,72	1,32	0,71	2,06
22.12.2021 4:00	92,21	94,7	93,40	2,49	1,30	0,58	1,92
22.12.2021 5:00	93,36	96,18	94,90	2,82	1,28	1,48	2,20
22.12.2021 6:00	94,69	97,93	96,50	3,24	1,43	1,75	2,27
22.12.2021 7:00	94,71	95,04	93,70	0,33	1,34	-2,89	0,25
22.12.2021 8:00	93,19	97,34	95,90	4,15	1,44	2,30	2,88
22.12.2021 9:00	95,83	97,36	96,00	1,53	1,36	0,02	1,13
22.12.2021 10:00	96,04	97,91	96,50	1,87	1,41	0,55	1,33
22.12.2021 11:00	95,81	98,01	96,60	2,2	1,41	0,10	1,56
22.12.2021 12:00	96,46	97,79	96,40	1,33	1,39	-0,22	0,96
22.12.2021 13:00	96,27	97,59	96,20	1,32	1,39	-0,20	0,95
22.12.2021 14:00	96,08	96,93	95,50	0,85	1,43	-0,66	0,59
22.12.2021 15:00	94,83	96,69	95,30	1,86	1,39	-0,24	1,34
22.12.2021 16:00	94,89	98,61	97,20	3,72	1,41	1,92	2,64
22.12.2021 17:00	96,86	99,15	97,80	2,29	1,35	0,54	1,70
22.12.2021 18:00	97,69	99,33	97,90	1,64	1,43	0,18	1,15
22.12.2021 19:00	97,28	99,33	97,90	2,05	1,43	0,00	1,43
22.12.2021 20:00	97,89	99,07	97,70	1,18	1,37	-0,26	0,86
22.12.2021 21:00	97,65	98,71	97,30	1,06	1,41	-0,36	0,75
22.12.2021 22:00	96,51	97,92	96,50	1,41	1,42	-0,79	0,99
22.12.2021 23:00	96,54	98,24	96,80	1,7	1,44	0,32	1,18
23.12.2021 0:00	96,26	98,27	97,00	2,01	1,27	0,03	1,58
23.12.2021 1:00	96,38	98,38	97,10	2	1,28	0,11	1,56
23.12.2021 2:00	97	99,14	97,70	2,14	1,44	0,76	1,49
23.12.2021 3:00	97,27	99,3	97,90	2,03	1,40	0,16	1,45
23.12.2021 4:00	97,94	99,56	98,20	1,62	1,36	0,26	1,19

23.12.2021 5:00	97,59	99,64	98,20	2,05	1,44	0,08	1,42
23.12.2021 6:00	98,2	99,2	97,80	1	1,40	-0,44	0,71
23.12.2021 7:00	97,65	98,63	97,30	0,98	1,33	-0,57	0,74
23.12.2021 8:00	97,17	98,38	97,10	1,21	1,28	-0,25	0,95
23.12.2021 9:00	96,56	98,44	97,10	1,88	1,34	0,06	1,40
23.12.2021 10:00	96,53	98,33	97,00	1,8	1,33	-0,11	1,35
23.12.2021 11:00	97,1	98,75	97,40	1,65	1,35	0,42	1,22
23.12.2021 12:00	96,99	98,84	97,40	1,85	1,44	0,09	1,28
23.12.2021 13:00	97,02	98,64	97,30	1,62	1,34	-0,20	1,21
23.12.2021 14:00	96,95	98,21	96,90	1,26	1,31	-0,43	0,96
23.12.2021 15:00	96,76	99,26	97,90	2,5	1,36	1,05	1,84
23.12.2021 16:00	97,47	98,49	97,20	1,02	1,29	-0,77	0,79
23.12.2021 17:00	97,14	97,95	96,70	0,81	1,25	-0,54	0,65
23.12.2021 18:00	96,4	98,3	97,00	1,9	1,30	0,35	1,46
23.12.2021 19:00	96,2	98,7	97,40	2,5	1,30	0,40	1,92
23.12.2021 20:00	97,39	97,7	96,40	0,31	1,30	-1,00	0,24
23.12.2021 21:00	96,15	98,12	96,80	1,97	1,32	0,42	1,49
23.12.2021 22:00	96,74	98,18	96,90	1,44	1,28	0,06	1,13
23.12.2021 23:00	96,37	98,57	97,30	2,2	1,27	0,39	1,73
24.12.2021 0:00	97,25	98,96	97,60	1,71	1,36	0,39	1,26
24.12.2021 1:00	97,79	99,11	97,70	1,32	1,41	0,15	0,94
24.12.2021 2:00	97,19	99,31	97,90	2,12	1,41	0,20	1,50
24.12.2021 3:00	97,57	99,55	98,20	1,98	1,35	0,24	1,47
24.12.2021 4:00	98,04	99,11	97,70	1,07	1,41	-0,44	0,76
24.12.2021 5:00	97,3	99,04	97,60	1,74	1,44	-0,07	1,21
24.12.2021 6:00	97,61	98,89	97,50	1,28	1,39	-0,15	0,92
24.12.2021 7:00	97,38	98,67	97,30	1,29	1,37	-0,22	0,94
24.12.2021 8:00	97,2	98,98	97,60	1,78	1,38	0,31	1,29
24.12.2021 9:00	97,84	99,2	97,80	1,36	1,40	0,22	0,97
24.12.2021 10:00	97,56	98,44	97,00	0,88	1,44	-0,76	0,61
24.12.2021 11:00	96,99	99,16	97,80	2,17	1,36	0,72	1,60
24.12.2021 12:00	97,15	98,54	97,10	1,39	1,44	-0,62	0,97
24.12.2021 13:00	96,54	98,86	97,50	2,32	1,36	0,32	1,71
24.12.2021 14:00	97,4	98,88	97,50	1,48	1,38	0,02	1,07
24.12.2021 15:00	97,05	99,21	97,80	2,16	1,41	0,33	1,53
24.12.2021 16:00	97,76	99,32	97,90	1,56	1,42	0,11	1,10
24.12.2021 17:00	97,16	98,74	97,30	1,58	1,44	-0,58	1,10
24.12.2021 18:00	97,56	99,2	97,80	1,64	1,40	0,46	1,17
24.12.2021 19:00	96,85	98,97	97,60	2,12	1,37	-0,23	1,55
24.12.2021 20:00	97,65	98,1	96,70	0,45	1,40	-0,87	0,32
24.12.2021 21:00	96,46	97,36	96,10	0,9	1,26	-0,74	0,71
24.12.2021 22:00	96,1	96,8	95,50	0,7	1,30	-0,56	0,54
24.12.2021 23:00	95,28	97,05	95,80	1,77	1,25	0,25	1,42

**Участок теплосети от РК «Савиново»
до ИТП многоквартирного дома по ул. Чуйкова, 93**



Математическая функция линейной регрессии:

$$K = 0,7652 * \Delta T_{\tau_0}^{тн.нач} + 1,502$$

Параметры испытаний

Время измерений	T1 объекта	T1ист (факт)	T1норм объекта	T1ист(факт) - T1объекта	T1ист(факт)- T1норм	Скорость изменения температуры теплоносителя	Соотношение фактических потерь к нормативным
19.12.2021 1:00	82,11	83,72	82,50	1,61	1,22	-0,08	1,32
19.12.2021 2:00	82,03	83,9	82,70	1,87	1,20	0,18	1,56
19.12.2021 3:00	81,93	84,32	83,10	2,39	1,22	0,42	1,96
19.12.2021 4:00	82,43	84,45	83,30	2,02	1,15	0,13	1,76
19.12.2021 5:00	82,63	84,49	83,30	1,86	1,19	0,04	1,56
19.12.2021 6:00	82,72	84,17	83,00	1,45	1,17	-0,32	1,24
19.12.2021 7:00	82,55	84,04	82,80	1,49	1,24	-0,13	1,20
19.12.2021 8:00	82,24	83,86	82,70	1,62	1,16	-0,18	1,40
19.12.2021 9:00	82,26	83,52	82,40	1,26	1,12	-0,34	1,13

19.12.2021 10:00	81,88	83,72	82,50	1,84	1,22	0,20	1,51
19.12.2021 11:00	81,95	83,59	82,50	1,64	1,09	-0,13	1,50
19.12.2021 12:00	81,88	83,94	82,70	2,06	1,24	0,35	1,66
19.12.2021 13:00	82,16	84,19	83,00	2,03	1,19	0,25	1,71
19.12.2021 14:00	82,4	84,48	83,30	2,08	1,18	0,29	1,76
19.12.2021 15:00	82,73	84,61	83,40	1,88	1,21	0,13	1,55
19.12.2021 16:00	82,92	84,47	83,30	1,55	1,17	-0,14	1,32
19.12.2021 17:00	82,88	84,04	82,80	1,16	1,24	-0,43	0,94
19.12.2021 18:00	82,48	83,89	82,70	1,41	1,19	-0,15	1,18
19.12.2021 19:00	82,27	83,73	82,50	1,46	1,23	-0,16	1,19
19.12.2021 20:00	82,16	83,69	82,50	1,53	1,19	-0,04	1,29
19.12.2021 21:00	82,12	83,87	82,70	1,75	1,17	0,18	1,50
19.12.2021 22:00	82,24	84,21	83,00	1,97	1,21	0,34	1,63
19.12.2021 23:00	82,49	84,1	82,90	1,61	1,20	-0,11	1,34
20.12.2021 0:00	82,62	84,08	82,90	1,46	1,18	-0,02	1,24
20.12.2021 1:00	82,33	84,22	83,00	1,89	1,22	0,14	1,55
20.12.2021 2:00	82,57	84,05	82,90	1,48	1,15	-0,17	1,29
20.12.2021 3:00	82,45	84,41	83,20	1,96	1,21	0,36	1,62
20.12.2021 4:00	82,65	84,03	82,80	1,38	1,23	-0,38	1,12
20.12.2021 5:00	82,49	83,89	82,70	1,4	1,19	-0,14	1,18
20.12.2021 6:00	82,29	83,79	82,60	1,5	1,19	-0,10	1,26
20.12.2021 7:00	82,24	83,57	82,40	1,33	1,17	-0,22	1,14
20.12.2021 8:00	81,85	83,72	82,50	1,87	1,22	0,15	1,53
20.12.2021 9:00	82,1	83,99	82,80	1,89	1,19	0,27	1,59
20.12.2021 10:00	82,17	84,27	83,10	2,1	1,17	0,28	1,79
20.12.2021 11:00	82,59	84,68	83,50	2,09	1,18	0,41	1,77
20.12.2021 12:00	82,75	84,66	83,50	1,91	1,16	-0,02	1,65
20.12.2021 13:00	83,05	84,42	83,20	1,37	1,22	-0,24	1,12
20.12.2021 14:00	82,65	84,9	83,70	2,25	1,20	0,48	1,88
20.12.2021 15:00	82,95	85,19	84,00	2,24	1,19	0,29	1,88
20.12.2021 16:00	83,28	85,2	84,00	1,92	1,20	0,01	1,60
20.12.2021 17:00	83,39	85,1	83,90	1,71	1,20	-0,10	1,43
20.12.2021 18:00	83,32	84,84	83,60	1,52	1,24	-0,26	1,23
20.12.2021 19:00	83,13	84,3	83,10	1,17	1,20	-0,54	0,97
20.12.2021 20:00	82,69	83,89	82,70	1,2	1,19	-0,41	1,01
20.12.2021 21:00	82,1	84,04	82,80	1,94	1,24	0,15	1,56
20.12.2021 22:00	82,36	84,01	82,80	1,65	1,21	-0,03	1,36
20.12.2021 23:00	82,19	83,51	82,30	1,32	1,21	-0,50	1,09
21.12.2021 0:00	82,04	82,99	81,90	0,95	1,09	-0,52	0,87
21.12.2021 1:00	81,28	83,67	82,60	2,39	1,07	0,68	2,23
21.12.2021 2:00	81,75	84,34	83,10	2,59	1,24	0,67	2,09
21.12.2021 3:00	82,39	84,76	83,60	2,37	1,16	0,42	2,04
21.12.2021 4:00	82,86	84,36	83,20	1,5	1,16	-0,40	1,29
21.12.2021 5:00	82,65	84,75	83,60	2,1	1,15	0,39	1,83
21.12.2021 6:00	83,01	84,37	83,20	1,36	1,17	-0,38	1,16
21.12.2021 7:00	82,55	86,13	84,90	3,58	1,23	1,76	2,91

21.12.2021 8:00	84,12	86,49	85,30	2,37	1,19	0,36	1,99
21.12.2021 9:00	84,58	86,37	85,20	1,79	1,17	-0,12	1,53
21.12.2021 10:00	84,6	86,69	85,50	2,09	1,19	0,32	1,76
21.12.2021 11:00	84,76	85,96	84,80	1,2	1,16	-0,73	1,03
21.12.2021 12:00	84,31	85,98	84,80	1,67	1,18	0,02	1,42
21.12.2021 13:00	84,21	85,96	84,80	1,75	1,16	-0,02	1,51
21.12.2021 14:00	84,14	85,85	84,70	1,71	1,15	-0,11	1,49
21.12.2021 15:00	84,16	85,9	84,70	1,74	1,20	0,05	1,45
21.12.2021 16:00	84,12	88,38	87,20	4,26	1,18	2,48	3,61
21.12.2021 17:00	86,11	89,93	88,60	3,82	1,33	1,55	2,87
21.12.2021 18:00	87,9	89,95	88,70	2,05	1,25	0,02	1,64
21.12.2021 19:00	88,13	90,74	89,40	2,61	1,34	0,79	1,95
21.12.2021 20:00	88,76	90,67	89,40	1,91	1,27	-0,07	1,50
21.12.2021 21:00	88,86	91,77	90,50	2,91	1,27	1,10	2,29
21.12.2021 22:00	89,69	93,31	91,90	3,62	1,41	1,54	2,57
21.12.2021 23:00	91,31	94,15	92,50	2,84	1,65	0,84	1,72
22.12.2021 0:00	92,14	93,85	92,70	1,71	1,15	-0,30	1,49
22.12.2021 1:00	92,02	94,01	92,80	1,99	1,21	0,16	1,64
22.12.2021 2:00	92,13	93,41	92,20	1,28	1,21	-0,60	1,06
22.12.2021 3:00	91,68	94,12	92,90	2,44	1,22	0,71	2,00
22.12.2021 4:00	92,29	94,7	93,50	2,41	1,20	0,58	2,01
22.12.2021 5:00	92,88	96,18	94,90	3,3	1,28	1,48	2,58
22.12.2021 6:00	94,34	97,93	96,60	3,59	1,33	1,75	2,70
22.12.2021 8:00	95,05	97,34	96,00	2,29	1,34	-0,59	1,71
22.12.2021 9:00	95,36	97,36	96,10	2	1,26	0,02	1,59
22.12.2021 10:00	95,45	97,91	96,60	2,46	1,31	0,55	1,88
22.12.2021 11:00	96,01	98,01	96,70	2	1,31	0,10	1,53
22.12.2021 12:00	96,15	97,79	96,50	1,64	1,29	-0,22	1,27
22.12.2021 13:00	95,93	97,59	96,30	1,66	1,29	-0,20	1,29
22.12.2021 14:00	95,73	96,93	95,60	1,2	1,33	-0,66	0,90
22.12.2021 15:00	95,09	96,69	95,40	1,6	1,29	-0,24	1,24
22.12.2021 16:00	94,78	98,61	97,30	3,83	1,31	1,92	2,92
22.12.2021 17:00	96,54	99,15	97,90	2,61	1,25	0,54	2,09
22.12.2021 18:00	97,08	99,33	98,00	2,25	1,33	0,18	1,69
22.12.2021 19:00	97,26	99,33	98,00	2,07	1,33	0,00	1,56
22.12.2021 20:00	97,28	99,07	97,80	1,79	1,27	-0,26	1,41
22.12.2021 21:00	97,05	98,71	97,40	1,66	1,31	-0,36	1,27
22.12.2021 22:00	96,71	97,92	96,60	1,21	1,32	-0,79	0,92
22.12.2021 23:00	95,98	98,24	96,90	2,26	1,34	0,32	1,69
23.12.2021 0:00	96,26	98,27	97,10	2,01	1,17	0,03	1,72
23.12.2021 1:00	96,37	98,38	97,20	2,01	1,18	0,11	1,70
23.12.2021 2:00	96,48	99,14	97,90	2,66	1,24	0,76	2,15
23.12.2021 3:00	97,18	99,3	98,10	2,12	1,20	0,16	1,77
23.12.2021 4:00	97,36	99,56	98,40	2,2	1,16	0,26	1,90
23.12.2021 5:00	97,61	99,64	98,40	2,03	1,24	0,08	1,64
23.12.2021 6:00	97,65	99,2	98,00	1,55	1,20	-0,44	1,29

23.12.2021 7:00	97,2	98,63	97,40	1,43	1,23	-0,57	1,16
23.12.2021 8:00	96,73	98,38	97,20	1,65	1,18	-0,25	1,40
23.12.2021 9:00	96,47	98,44	97,20	1,97	1,24	0,06	1,59
23.12.2021 10:00	96,51	98,33	97,10	1,82	1,23	-0,11	1,48
23.12.2021 11:00	96,51	98,75	97,60	2,24	1,15	0,42	1,95
23.12.2021 12:00	96,79	98,84	97,60	2,05	1,24	0,09	1,65
23.12.2021 13:00	96,9	98,64	97,40	1,74	1,24	-0,20	1,40
23.12.2021 14:00	96,61	98,21	97,00	1,6	1,21	-0,43	1,32
23.12.2021 15:00	96,63	99,26	98,10	2,63	1,16	1,05	2,27
23.12.2021 16:00	97,29	98,49	97,30	1,2	1,19	-0,77	1,01
23.12.2021 17:00	96,83	97,95	96,80	1,12	1,15	-0,54	0,97
23.12.2021 18:00	96,14	98,3	97,10	2,16	1,20	0,35	1,80
23.12.2021 19:00	96,38	98,7	97,50	2,32	1,20	0,40	1,93
23.12.2021 20:00	97,02	97,7	96,50	0,68	1,20	-1,00	0,57
23.12.2021 21:00	96,14	98,12	96,90	1,98	1,22	0,42	1,62
23.12.2021 22:00	96,37	98,18	97,00	1,81	1,18	0,06	1,53
23.12.2021 23:00	96,46	98,57	97,40	2,11	1,17	0,39	1,80
24.12.2021 0:00	96,82	98,96	97,80	2,14	1,16	0,39	1,84
24.12.2021 1:00	97,29	99,11	97,80	1,82	1,31	0,15	1,39
24.12.2021 2:00	97,29	99,31	98,00	2,02	1,31	0,20	1,54
24.12.2021 3:00	97,57	99,55	98,30	1,98	1,25	0,24	1,58
24.12.2021 4:00	97,69	99,11	97,80	1,42	1,31	-0,44	1,08
24.12.2021 5:00	97,33	99,04	97,80	1,71	1,24	-0,07	1,38
24.12.2021 6:00	97,24	98,89	97,70	1,65	1,19	-0,15	1,39
24.12.2021 7:00	97,05	98,67	97,50	1,62	1,17	-0,22	1,38
24.12.2021 8:00	96,86	98,98	97,80	2,12	1,18	0,31	1,80
24.12.2021 9:00	97,32	99,2	97,90	1,88	1,30	0,22	1,45
24.12.2021 10:00	97,25	98,44	97,20	1,19	1,24	-0,76	0,96
24.12.2021 11:00	96,61	99,16	97,90	2,55	1,26	0,72	2,02
24.12.2021 12:00	97,26	98,54	97,30	1,28	1,24	-0,62	1,03
24.12.2021 13:00	96,66	98,86	97,70	2,2	1,16	0,32	1,90
24.12.2021 14:00	96,95	98,88	97,70	1,93	1,18	0,02	1,64
24.12.2021 15:00	96,82	99,21	97,90	2,39	1,31	0,33	1,82
24.12.2021 16:00	97,16	99,32	98,00	2,16	1,32	0,11	1,64
24.12.2021 17:00	97,25	98,74	97,50	1,49	1,24	-0,58	1,20
24.12.2021 18:00	96,79	99,2	97,90	2,41	1,30	0,46	1,85
24.12.2021 19:00	97,12	98,97	97,80	1,85	1,17	-0,23	1,58
24.12.2021 20:00	96,96	98,1	96,90	1,14	1,20	-0,87	0,95
24.12.2021 21:00	96,1	97,36	96,20	1,26	1,16	-0,74	1,09
24.12.2021 22:00	95,43	96,8	95,60	1,37	1,20	-0,56	1,14
24.12.2021 23:00	94,85	97,05	95,90	2,2	1,15	0,25	1,91

Участок теплосети от РК «Савиново»

до ИТП многоквартирного дома по ул. Лаврентьева, 26



Математическая функция линейной регрессии:

$$K = 0,654 * \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,1616$$

Параметры испытаний

Время измерений	T1 объекта	T1ист (факт)	T1норм объекта	T1ист(факт) - T1объекта	T1ист(факт) - T1норм	Скорость изменения температуры теплоносителя	Соотношение фактических потерь к нормативным
19.12.2021 1:00	82,24	83,72	82,30	1,48	1,42	-0,08	1,04
19.12.2021 2:00	82,17	83,9	82,50	1,73	1,40	0,18	1,24
19.12.2021 3:00	82,07	84,32	82,90	2,25	1,42	0,42	1,58
19.12.2021 4:00	82,58	84,45	83,10	1,87	1,35	0,13	1,39
19.12.2021 5:00	82,77	84,49	83,10	1,72	1,39	0,04	1,24
19.12.2021 6:00	82,85	84,17	82,80	1,32	1,37	-0,32	0,96
19.12.2021 7:00	82,69	84,04	82,60	1,35	1,44	-0,13	0,94
19.12.2021 8:00	82,37	83,86	82,50	1,49	1,36	-0,18	1,10
19.12.2021 9:00	82,42	83,52	82,10	1,1	1,42	-0,34	0,77
19.12.2021 10:00	82,03	83,72	82,30	1,69	1,42	0,20	1,19

19.12.2021 11:00	82,12	83,59	82,20	1,47	1,39	-0,13	1,06
19.12.2021 12:00	82,04	83,94	82,50	1,9	1,44	0,35	1,32
19.12.2021 13:00	82,33	84,19	82,80	1,86	1,39	0,25	1,34
19.12.2021 14:00	82,58	84,48	83,10	1,9	1,38	0,29	1,38
19.12.2021 15:00	82,84	84,61	83,20	1,77	1,41	0,13	1,26
19.12.2021 16:00	83,01	84,47	83,10	1,46	1,37	-0,14	1,07
19.12.2021 17:00	82,98	84,04	82,60	1,06	1,44	-0,43	0,74
19.12.2021 18:00	82,58	83,89	82,50	1,31	1,39	-0,15	0,94
19.12.2021 19:00	82,37	83,73	82,30	1,36	1,43	-0,16	0,95
19.12.2021 20:00	82,25	83,69	82,30	1,44	1,39	-0,04	1,04
19.12.2021 21:00	82,21	83,87	82,50	1,66	1,37	0,18	1,21
19.12.2021 22:00	82,31	84,21	82,80	1,9	1,41	0,34	1,35
19.12.2021 23:00	82,56	84,1	82,70	1,54	1,40	-0,11	1,10
20.12.2021 0:00	82,71	84,08	82,70	1,37	1,38	-0,02	0,99
20.12.2021 1:00	82,4	84,22	82,80	1,82	1,42	0,14	1,28
20.12.2021 2:00	82,65	84,05	82,70	1,4	1,35	-0,17	1,04
20.12.2021 3:00	82,55	84,41	83,00	1,86	1,41	0,36	1,32
20.12.2021 4:00	82,72	84,03	82,60	1,31	1,43	-0,38	0,92
20.12.2021 5:00	82,6	83,89	82,50	1,29	1,39	-0,14	0,93
20.12.2021 6:00	82,39	83,79	82,40	1,4	1,39	-0,10	1,01
20.12.2021 7:00	82,33	83,57	82,20	1,24	1,37	-0,22	0,91
20.12.2021 8:00	81,94	83,72	82,30	1,78	1,42	0,15	1,25
20.12.2021 9:00	82,23	83,99	82,60	1,76	1,39	0,27	1,27
20.12.2021 10:00	82,27	84,27	82,90	2	1,37	0,28	1,46
20.12.2021 11:00	82,72	84,68	83,30	1,96	1,38	0,41	1,42
20.12.2021 12:00	82,85	84,66	83,30	1,81	1,36	-0,02	1,33
20.12.2021 13:00	83,16	84,42	83,00	1,26	1,42	-0,24	0,89
20.12.2021 14:00	82,74	84,9	83,40	2,16	1,50	0,48	1,44
20.12.2021 15:00	83,1	85,19	83,70	2,09	1,49	0,29	1,40
20.12.2021 16:00	83,46	85,2	83,70	1,74	1,50	0,01	1,16
20.12.2021 17:00	83,56	85,1	83,60	1,54	1,50	-0,10	1,03
20.12.2021 18:00	83,5	84,84	83,40	1,34	1,44	-0,26	0,93
20.12.2021 19:00	83,31	84,3	82,90	0,99	1,40	-0,54	0,71
20.12.2021 20:00	82,87	83,89	82,50	1,02	1,39	-0,41	0,73
20.12.2021 21:00	82,26	84,04	82,60	1,78	1,44	0,15	1,24
20.12.2021 22:00	82,52	84,01	82,60	1,49	1,41	-0,03	1,06
20.12.2021 23:00	82,35	83,51	82,10	1,16	1,41	-0,50	0,82
21.12.2021 0:00	82,2	82,99	81,60	0,79	1,39	-0,52	0,57
21.12.2021 1:00	81,41	83,67	82,30	2,26	1,37	0,68	1,65
21.12.2021 2:00	81,89	84,34	82,90	2,45	1,44	0,67	1,70
21.12.2021 3:00	82,55	84,76	83,40	2,21	1,36	0,42	1,63
21.12.2021 4:00	83,02	84,36	83,00	1,34	1,36	-0,40	0,99
21.12.2021 5:00	82,79	84,75	83,40	1,96	1,35	0,39	1,45
21.12.2021 6:00	83,18	84,37	83,00	1,19	1,37	-0,38	0,87
21.12.2021 7:00	82,71	86,13	84,60	3,42	1,53	1,76	2,24
21.12.2021 8:00	84,31	86,49	85,00	2,18	1,49	0,36	1,46

21.12.2021 9:00	84,79	86,37	84,90	1,58	1,47	-0,12	1,07
21.12.2021 10:00	84,81	86,69	85,20	1,88	1,49	0,32	1,26
21.12.2021 11:00	84,93	85,96	84,50	1,03	1,46	-0,73	0,71
21.12.2021 12:00	84,48	85,98	84,50	1,5	1,48	0,02	1,01
21.12.2021 13:00	84,38	85,96	84,50	1,58	1,46	-0,02	1,08
21.12.2021 14:00	84,32	85,85	84,50	1,53	1,35	-0,11	1,13
21.12.2021 15:00	84,3	85,9	84,50	1,6	1,40	0,05	1,14
21.12.2021 16:00	84,22	88,38	86,90	4,16	1,48	2,48	2,81
21.12.2021 17:00	86,12	89,93	88,30	3,81	1,63	1,55	2,34
21.12.2021 18:00	88,06	89,95	88,40	1,89	1,55	0,02	1,22
21.12.2021 19:00	88,28	90,74	89,10	2,46	1,64	0,79	1,50
21.12.2021 20:00	88,92	90,67	89,10	1,75	1,57	-0,07	1,11
21.12.2021 21:00	88,98	91,77	90,20	2,79	1,57	1,10	1,78
21.12.2021 22:00	89,77	93,31	91,60	3,54	1,71	1,54	2,07
21.12.2021 23:00	91,45	94,15	92,20	2,7	1,95	0,84	1,38
22.12.2021 0:00	92,26	93,85	92,50	1,59	1,35	-0,30	1,18
22.12.2021 1:00	92,19	94,01	92,60	1,82	1,41	0,16	1,29
22.12.2021 2:00	92,22	93,41	92,00	1,19	1,41	-0,60	0,84
22.12.2021 3:00	91,78	94,12	92,70	2,34	1,42	0,71	1,65
22.12.2021 4:00	92,36	94,7	93,30	2,34	1,40	0,58	1,67
22.12.2021 5:00	92,98	96,18	94,70	3,2	1,48	1,48	2,16
22.12.2021 6:00	94,39	97,93	96,40	3,54	1,53	1,75	2,31
22.12.2021 8:00	95,56	97,34	95,80	1,78	1,54	-0,59	1,16
22.12.2021 9:00	95,46	97,36	95,90	1,9	1,46	0,02	1,30
22.12.2021 10:00	95,54	97,91	96,40	2,37	1,51	0,55	1,57
22.12.2021 11:00	96,13	98,01	96,50	1,88	1,51	0,10	1,25
22.12.2021 12:00	96,22	97,79	96,30	1,57	1,49	-0,22	1,05
22.12.2021 13:00	96,01	97,59	96,10	1,58	1,49	-0,20	1,06
22.12.2021 14:00	95,84	96,93	95,40	1,09	1,53	-0,66	0,71
22.12.2021 15:00	95,23	96,69	95,20	1,46	1,49	-0,24	0,98
22.12.2021 16:00	95,02	98,61	97,10	3,59	1,51	1,92	2,38
22.12.2021 17:00	96,78	99,15	97,60	2,37	1,55	0,54	1,53
22.12.2021 18:00	97,35	99,33	97,70	1,98	1,63	0,18	1,21
22.12.2021 19:00	97,53	99,33	97,70	1,8	1,63	0,00	1,10
22.12.2021 20:00	97,54	99,07	97,50	1,53	1,57	-0,26	0,97
22.12.2021 21:00	97,32	98,71	97,20	1,39	1,51	-0,36	0,92
22.12.2021 22:00	96,96	97,92	96,40	0,96	1,52	-0,79	0,63
22.12.2021 23:00	96,2	98,24	96,70	2,04	1,54	0,32	1,32
23.12.2021 0:00	96,48	98,27	96,90	1,79	1,37	0,03	1,31
23.12.2021 1:00	96,6	98,38	97,00	1,78	1,38	0,11	1,29
23.12.2021 2:00	96,68	99,14	97,70	2,46	1,44	0,76	1,71
23.12.2021 3:00	97,41	99,3	97,90	1,89	1,40	0,16	1,35
23.12.2021 4:00	97,59	99,56	98,20	1,97	1,36	0,26	1,45
23.12.2021 5:00	97,82	99,64	98,20	1,82	1,44	0,08	1,26
23.12.2021 6:00	97,9	99,2	97,80	1,3	1,40	-0,44	0,93
23.12.2021 7:00	97,46	98,63	97,20	1,17	1,43	-0,57	0,82

23.12.2021 8:00	96,95	98,38	97,00	1,43	1,38	-0,25	1,04
23.12.2021 9:00	96,72	98,44	97,00	1,72	1,44	0,06	1,19
23.12.2021 10:00	96,74	98,33	96,90	1,59	1,43	-0,11	1,11
23.12.2021 11:00	96,76	98,75	97,40	1,99	1,35	0,42	1,47
23.12.2021 12:00	97,08	98,84	97,40	1,76	1,44	0,09	1,22
23.12.2021 13:00	97,16	98,64	97,20	1,48	1,44	-0,20	1,03
23.12.2021 14:00	96,86	98,21	96,80	1,35	1,41	-0,43	0,96
23.12.2021 15:00	96,71	99,26	97,90	2,55	1,36	1,05	1,88
23.12.2021 16:00	97,42	98,49	97,10	1,07	1,39	-0,77	0,77
23.12.2021 17:00	96,89	97,95	96,60	1,06	1,35	-0,54	0,79
23.12.2021 18:00	96,24	98,3	96,90	2,06	1,40	0,35	1,47
23.12.2021 19:00	96,54	98,7	97,30	2,16	1,40	0,40	1,54
23.12.2021 20:00	97,13	97,7	96,30	0,57	1,40	-1,00	0,41
23.12.2021 21:00	96,19	98,12	96,70	1,93	1,42	0,42	1,36
23.12.2021 22:00	96,47	98,18	96,80	1,71	1,38	0,06	1,24
23.12.2021 23:00	96,55	98,57	97,20	2,02	1,37	0,39	1,47
24.12.2021 0:00	96,93	98,96	97,60	2,03	1,36	0,39	1,49
24.12.2021 1:00	97,38	99,11	97,60	1,73	1,51	0,15	1,15
24.12.2021 2:00	97,4	99,31	97,80	1,91	1,51	0,20	1,26
24.12.2021 3:00	97,67	99,55	98,10	1,88	1,45	0,24	1,30
24.12.2021 4:00	97,82	99,11	97,60	1,29	1,51	-0,44	0,85
24.12.2021 5:00	97,45	99,04	97,60	1,59	1,44	-0,07	1,10
24.12.2021 6:00	97,36	98,89	97,50	1,53	1,39	-0,15	1,10
24.12.2021 7:00	97,18	98,67	97,30	1,49	1,37	-0,22	1,09
24.12.2021 8:00	96,98	98,98	97,60	2	1,38	0,31	1,45
24.12.2021 9:00	97,4	99,2	97,70	1,8	1,50	0,22	1,20
24.12.2021 10:00	97,42	98,44	97,00	1,02	1,44	-0,76	0,71
24.12.2021 11:00	96,76	99,16	97,70	2,4	1,46	0,72	1,64
24.12.2021 12:00	97,43	98,54	97,10	1,11	1,44	-0,62	0,77
24.12.2021 13:00	96,84	98,86	97,50	2,02	1,36	0,32	1,49
24.12.2021 14:00	97,12	98,88	97,50	1,76	1,38	0,02	1,28
24.12.2021 15:00	97,17	99,21	97,70	2,04	1,51	0,33	1,35
24.12.2021 16:00	97,45	99,32	97,80	1,87	1,52	0,11	1,23
24.12.2021 17:00	97,55	98,74	97,30	1,19	1,44	-0,58	0,83
24.12.2021 18:00	97,07	99,2	97,70	2,13	1,50	0,46	1,42
24.12.2021 19:00	97,39	98,97	97,60	1,58	1,37	-0,23	1,15
24.12.2021 20:00	97,26	98,1	96,70	0,84	1,40	-0,87	0,60
24.12.2021 21:00	96,37	97,36	96,00	0,99	1,36	-0,74	0,73
24.12.2021 22:00	95,7	96,8	95,40	1,1	1,40	-0,56	0,79

Участок теплосети от РК «Савиново»

до ИТП многоквартирного дома по ул. Гаврилова, 54



Математическая функция линейной регрессии:

$$K = 0,8346 * \Delta T_{\tau_0}^{тн.нач} + 1,1647$$

Параметры испытаний

Время измерений	T1 объекта	T1ист (факт)	T1норм объекта	T1ист(факт) - T1объекта	T1ист(факт) - T1норм	Скорость изменения температуры теплоносителя	Соотношение фактических потерь к нормативным
19.12.2021 1:00	82,54	83,72	82,50	1,18	1,22	-0,08	0,97
19.12.2021 2:00	82,45	83,9	82,70	1,45	1,20	0,18	1,21
19.12.2021 3:00	82,24	84,32	83,10	2,08	1,22	0,42	1,70
19.12.2021 4:00	82,79	84,45	83,30	1,66	1,15	0,13	1,44
19.12.2021 5:00	83	84,49	83,30	1,49	1,19	0,04	1,25
19.12.2021 6:00	83,1	84,17	83,00	1,07	1,17	-0,32	0,91
19.12.2021 7:00	83,01	84,04	82,80	1,03	1,24	-0,13	0,83
19.12.2021 8:00	82,59	83,86	82,70	1,27	1,16	-0,18	1,09
19.12.2021 9:00	82,72	83,52	82,40	0,8	1,12	-0,34	0,71
19.12.2021 10:00	82,34	83,72	82,50	1,38	1,22	0,20	1,13
19.12.2021 11:00	82,28	83,59	82,50	1,31	1,09	-0,13	1,20

19.12.2021 12:00	82,31	83,94	82,70	1,63	1,24	0,35	1,31
19.12.2021 13:00	82,51	84,19	83,00	1,68	1,19	0,25	1,41
19.12.2021 14:00	82,79	84,48	83,30	1,69	1,18	0,29	1,43
19.12.2021 15:00	83,03	84,61	83,40	1,58	1,21	0,13	1,31
19.12.2021 16:00	83,21	84,47	83,30	1,26	1,17	-0,14	1,08
19.12.2021 17:00	83,25	84,04	82,80	0,79	1,24	-0,43	0,64
19.12.2021 18:00	82,87	83,89	82,70	1,02	1,19	-0,15	0,86
19.12.2021 19:00	82,6	83,73	82,50	1,13	1,23	-0,16	0,92
19.12.2021 20:00	82,52	83,69	82,50	1,17	1,19	-0,04	0,98
19.12.2021 21:00	82,45	83,87	82,70	1,42	1,17	0,18	1,21
19.12.2021 22:00	82,51	84,21	83,00	1,7	1,21	0,34	1,40
19.12.2021 23:00	82,75	84,1	82,90	1,35	1,20	-0,11	1,13
20.12.2021 0:00	83,02	84,08	82,90	1,06	1,18	-0,02	0,90
20.12.2021 1:00	82,57	84,22	83,00	1,65	1,22	0,14	1,35
20.12.2021 2:00	82,9	84,05	82,90	1,15	1,15	-0,17	1,00
20.12.2021 3:00	82,86	84,41	83,20	1,55	1,21	0,36	1,28
20.12.2021 4:00	82,92	84,03	82,80	1,11	1,23	-0,38	0,90
20.12.2021 5:00	82,93	83,89	82,70	0,96	1,19	-0,14	0,81
20.12.2021 6:00	82,66	83,79	82,60	1,13	1,19	-0,10	0,95
20.12.2021 7:00	82,6	83,57	82,40	0,97	1,17	-0,22	0,83
20.12.2021 8:00	82,15	83,72	82,50	1,57	1,22	0,15	1,29
20.12.2021 9:00	82,51	83,99	82,80	1,48	1,19	0,27	1,24
20.12.2021 10:00	82,48	84,27	83,10	1,79	1,17	0,28	1,53
20.12.2021 11:00	83,03	84,68	83,50	1,65	1,18	0,41	1,40
20.12.2021 12:00	83,01	84,66	83,50	1,65	1,16	-0,02	1,42
20.12.2021 13:00	83,43	84,42	83,20	0,99	1,22	-0,24	0,81
20.12.2021 14:00	83,05	84,9	83,70	1,85	1,20	0,48	1,54
20.12.2021 15:00	83,29	85,19	84,00	1,9	1,19	0,29	1,60
20.12.2021 16:00	83,67	85,2	84,00	1,53	1,20	0,01	1,28
20.12.2021 17:00	83,8	85,1	83,90	1,3	1,20	-0,10	1,08
20.12.2021 18:00	83,76	84,84	83,60	1,08	1,24	-0,26	0,87
20.12.2021 19:00	83,6	84,3	83,10	0,7	1,20	-0,54	0,58
20.12.2021 20:00	83,19	83,89	82,70	0,7	1,19	-0,41	0,59
20.12.2021 21:00	82,55	84,04	82,80	1,49	1,24	0,15	1,20
20.12.2021 22:00	82,79	84,01	82,80	1,22	1,21	-0,03	1,01
20.12.2021 23:00	82,59	83,51	82,30	0,92	1,21	-0,50	0,76
21.12.2021 0:00	82,58	82,99	81,90	0,41	1,09	-0,52	0,38
21.12.2021 1:00	81,67	83,67	82,50	2	1,17	0,68	1,71
21.12.2021 2:00	82,06	84,34	83,10	2,28	1,24	0,67	1,84
21.12.2021 3:00	82,69	84,76	83,60	2,07	1,16	0,42	1,78
21.12.2021 4:00	83,21	84,36	83,20	1,15	1,16	-0,40	0,99
21.12.2021 5:00	83,1	84,75	83,60	1,65	1,15	0,39	1,43
21.12.2021 6:00	83,41	84,37	83,20	0,96	1,17	-0,38	0,82
21.12.2021 7:00	82,96	86,13	84,90	3,17	1,23	1,76	2,58
21.12.2021 8:00	84,39	86,49	85,30	2,1	1,19	0,36	1,76
21.12.2021 9:00	84,99	86,37	85,20	1,38	1,17	-0,12	1,18

21.12.2021 10:00	85,1	86,69	85,50	1,59	1,19	0,32	1,34
21.12.2021 11:00	85,14	85,96	84,80	0,82	1,16	-0,73	0,71
21.12.2021 12:00	84,84	85,98	84,80	1,14	1,18	0,02	0,97
21.12.2021 13:00	84,67	85,96	84,80	1,29	1,16	-0,02	1,11
21.12.2021 14:00	84,55	85,85	84,70	1,3	1,15	-0,11	1,13
21.12.2021 15:00	84,56	85,9	84,70	1,34	1,20	0,05	1,12
21.12.2021 16:00	84,45	88,38	87,20	3,93	1,18	2,48	3,33
21.12.2021 17:00	86,05	89,93	88,60	3,88	1,33	1,55	2,92
21.12.2021 18:00	88,17	89,95	88,70	1,78	1,25	0,02	1,42
21.12.2021 19:00	88,49	90,74	89,40	2,25	1,34	0,79	1,68
21.12.2021 20:00	89	90,67	89,40	1,67	1,27	-0,07	1,31
21.12.2021 21:00	89,22	91,77	90,50	2,55	1,27	1,10	2,01
21.12.2021 22:00	89,77	93,31	92,00	3,54	1,31	1,54	2,70
21.12.2021 23:00	91,56	94,15	92,60	2,59	1,55	0,84	1,67
22.12.2021 0:00	92,37	93,85	92,60	1,48	1,25	-0,30	1,18
22.12.2021 1:00	92,51	94,01	92,70	1,5	1,31	0,16	1,15
22.12.2021 2:00	92,4	93,41	92,10	1,01	1,31	-0,60	0,77
22.12.2021 3:00	92,05	94,12	92,80	2,07	1,32	0,71	1,57
22.12.2021 4:00	92,47	94,7	93,40	2,23	1,30	0,58	1,72
22.12.2021 5:00	93,17	96,18	94,90	3,01	1,28	1,48	2,35
22.12.2021 6:00	94,26	97,93	96,60	3,67	1,33	1,75	2,76
22.12.2021 8:00	95,39	97,34	96,00	1,95	1,34	-0,59	1,46
22.12.2021 9:00	95,6	97,36	96,10	1,76	1,26	0,02	1,40
22.12.2021 10:00	95,62	97,91	96,60	2,29	1,31	0,55	1,75
22.12.2021 11:00	96,41	98,01	96,70	1,6	1,31	0,10	1,22
22.12.2021 12:00	96,49	97,79	96,50	1,3	1,29	-0,22	1,01
22.12.2021 13:00	96,27	97,59	96,30	1,32	1,29	-0,20	1,02
22.12.2021 14:00	96,12	96,93	95,60	0,81	1,33	-0,66	0,61
22.12.2021 15:00	95,54	96,69	95,40	1,15	1,29	-0,24	0,89
22.12.2021 16:00	95,23	98,61	97,20	3,38	1,41	1,92	2,40
22.12.2021 17:00	96,74	99,15	97,80	2,41	1,35	0,54	1,79
22.12.2021 18:00	97,56	99,33	97,90	1,77	1,43	0,18	1,24
22.12.2021 19:00	97,7	99,33	97,90	1,63	1,43	0,00	1,14
22.12.2021 20:00	97,74	99,07	97,70	1,33	1,37	-0,26	0,97
22.12.2021 21:00	97,57	98,71	97,30	1,14	1,41	-0,36	0,81
22.12.2021 22:00	97,28	97,92	96,60	0,64	1,32	-0,79	0,48
22.12.2021 23:00	96,4	98,24	96,90	1,84	1,34	0,32	1,37
23.12.2021 0:00	96,63	98,27	97,00	1,64	1,27	0,03	1,29
23.12.2021 1:00	96,77	98,38	97,10	1,61	1,28	0,11	1,26
23.12.2021 2:00	96,84	99,14	97,80	2,3	1,34	0,76	1,72
23.12.2021 3:00	97,51	99,3	98,00	1,79	1,30	0,16	1,38
23.12.2021 4:00	97,72	99,56	98,30	1,84	1,26	0,26	1,46
23.12.2021 5:00	97,99	99,64	98,30	1,65	1,34	0,08	1,23
23.12.2021 6:00	98,06	99,2	97,90	1,14	1,30	-0,44	0,88
23.12.2021 7:00	97,7	98,63	97,30	0,93	1,33	-0,57	0,70
23.12.2021 8:00	97,1	98,38	97,10	1,28	1,28	-0,25	1,00

23.12.2021 9:00	96,89	98,44	97,10	1,55	1,34	0,06	1,16
23.12.2021 10:00	96,92	98,33	97,00	1,41	1,33	-0,11	1,06
23.12.2021 11:00	96,77	98,75	97,50	1,98	1,25	0,42	1,58
23.12.2021 12:00	97,27	98,84	97,50	1,57	1,34	0,09	1,17
23.12.2021 13:00	97,26	98,64	97,30	1,38	1,34	-0,20	1,03
23.12.2021 14:00	97,17	98,21	96,90	1,04	1,31	-0,43	0,79
23.12.2021 15:00	96,7	99,26	98,00	2,56	1,26	1,05	2,03
23.12.2021 16:00	97,7	98,49	97,20	0,79	1,29	-0,77	0,61
23.12.2021 17:00	96,97	97,95	96,70	0,98	1,25	-0,54	0,78
23.12.2021 18:00	96,49	98,3	97,00	1,81	1,30	0,35	1,39
23.12.2021 19:00	96,71	98,7	97,40	1,99	1,30	0,40	1,53
23.12.2021 20:00	97,16	97,7	96,40	0,54	1,30	-1,00	0,42
23.12.2021 21:00	96,26	98,12	96,80	1,86	1,32	0,42	1,41
23.12.2021 22:00	96,63	98,18	96,90	1,55	1,28	0,06	1,21
23.12.2021 23:00	96,67	98,57	97,30	1,9	1,27	0,39	1,50
24.12.2021 0:00	97,02	98,96	97,70	1,94	1,26	0,39	1,54
24.12.2021 1:00	97,41	99,11	97,80	1,7	1,31	0,15	1,30
24.12.2021 2:00	97,58	99,31	98,00	1,73	1,31	0,20	1,32
24.12.2021 3:00	97,75	99,55	98,20	1,8	1,35	0,24	1,33
24.12.2021 4:00	98,02	99,11	97,80	1,09	1,31	-0,44	0,83
24.12.2021 5:00	97,59	99,04	97,70	1,45	1,34	-0,07	1,08
24.12.2021 6:00	97,53	98,89	97,60	1,36	1,29	-0,15	1,05
24.12.2021 7:00	97,4	98,67	97,40	1,27	1,27	-0,22	1,00
24.12.2021 8:00	97,18	98,98	97,70	1,8	1,28	0,31	1,41
24.12.2021 9:00	97,43	99,2	97,90	1,77	1,30	0,22	1,36
24.12.2021 10:00	97,72	98,44	97,10	0,72	1,34	-0,76	0,54
24.12.2021 11:00	97	99,16	97,90	2,16	1,26	0,72	1,71
24.12.2021 12:00	97,63	98,54	97,20	0,91	1,34	-0,62	0,68
24.12.2021 13:00	97,08	98,86	97,60	1,78	1,26	0,32	1,41
24.12.2021 14:00	97,32	98,88	97,60	1,56	1,28	0,02	1,22
24.12.2021 15:00	97,32	99,21	97,90	1,89	1,31	0,33	1,44
24.12.2021 16:00	97,67	99,32	98,00	1,65	1,32	0,11	1,25
24.12.2021 17:00	97,88	98,74	97,40	0,86	1,34	-0,58	0,64
24.12.2021 18:00	97,18	99,2	97,90	2,02	1,30	0,46	1,55
24.12.2021 19:00	97,75	98,97	97,70	1,22	1,27	-0,23	0,96
24.12.2021 20:00	97,45	98,1	96,80	0,65	1,30	-0,87	0,50
24.12.2021 21:00	96,84	97,36	96,10	0,52	1,26	-0,74	0,41
24.12.2021 22:00	95,87	96,8	95,50	0,93	1,30	-0,56	0,72

Участок теплосети от РК «Савиново»

до ИТП по ул. Чистопольская, 43



Математическая функция линейной регрессии:

$$K = 0,8881 * \Delta T_{\tau_0}^{\text{ТН.нач}} + 3,6344$$

Параметры испытаний

Время измерений	T1 объекта	T1ист (факт)	T1норм объекта	T1ист(факт) - T1объекта	T1ист(факт) - T1норм	Скорость изменения температуры теплоносителя	Соотношение фактических потерь к нормативным
19.12.2021 1:00	80,16	83,72	82,80	3,56	0,92	-0,08	3,87
19.12.2021 2:00	80,21	83,9	83,00	3,69	0,90	0,18	4,10
19.12.2021 3:00	80,07	84,32	83,40	4,25	0,92	0,42	4,62
19.12.2021 4:00	80,41	84,45	83,60	4,04	0,85	0,13	4,75
19.12.2021 5:00	80,59	84,49	83,60	3,9	0,89	0,04	4,38
19.12.2021 6:00	80,94	84,17	83,30	3,23	0,87	-0,32	3,71
19.12.2021 7:00	80,75	84,04	83,10	3,29	0,94	-0,13	3,50
19.12.2021 8:00	80,31	83,86	83,00	3,55	0,86	-0,18	4,13
19.12.2021 9:00	80,57	83,52	82,60	2,95	0,92	-0,34	3,21

19.12.2021 10:00	80,35	83,72	82,80	3,37	0,92	0,20	3,66
19.12.2021 11:00	80,3	83,59	82,70	3,29	0,89	-0,13	3,70
19.12.2021 12:00	80,16	83,94	83,00	3,78	0,94	0,35	4,02
19.12.2021 13:00	80,41	84,19	83,30	3,78	0,89	0,25	4,25
19.12.2021 14:00	80,83	84,48	83,60	3,65	0,88	0,29	4,15
19.12.2021 15:00	80,99	84,61	83,70	3,62	0,91	0,13	3,98
19.12.2021 16:00	81,01	84,47	83,60	3,46	0,87	-0,14	3,98
19.12.2021 17:00	81,08	84,04	83,10	2,96	0,94	-0,43	3,15
19.12.2021 18:00	80,96	83,89	83,00	2,93	0,89	-0,15	3,29
19.12.2021 19:00	80,81	83,73	82,80	2,92	0,93	-0,16	3,14
19.12.2021 20:00	80,54	83,69	82,80	3,15	0,89	-0,04	3,54
19.12.2021 21:00	80,47	83,87	83,00	3,4	0,87	0,18	3,91
19.12.2021 22:00	80,74	84,21	83,30	3,47	0,91	0,34	3,81
19.12.2021 23:00	80,92	84,1	83,20	3,18	0,90	-0,11	3,53
20.12.2021 0:00	80,9	84,08	83,20	3,18	0,88	-0,02	3,61
20.12.2021 1:00	80,41	84,22	83,30	3,81	0,92	0,14	4,14
20.12.2021 2:00	80,86	84,05	83,20	3,19	0,85	-0,17	3,75
20.12.2021 3:00	80,77	84,41	83,50	3,64	0,91	0,36	4,00
20.12.2021 4:00	80,76	84,03	83,10	3,27	0,93	-0,38	3,52
20.12.2021 5:00	80,64	83,89	83,00	3,25	0,89	-0,14	3,65
20.12.2021 6:00	80,69	83,79	82,90	3,1	0,89	-0,10	3,48
20.12.2021 7:00	80,63	83,57	82,70	2,94	0,87	-0,22	3,38
20.12.2021 8:00	80,1	83,72	82,80	3,62	0,92	0,15	3,93
20.12.2021 9:00	80,26	83,99	83,10	3,73	0,89	0,27	4,19
20.12.2021 10:00	80,37	84,27	83,40	3,9	0,87	0,28	4,48
20.12.2021 11:00	80,75	84,68	83,80	3,93	0,88	0,41	4,47
20.12.2021 12:00	80,7	84,66	83,80	3,96	0,86	-0,02	4,60
20.12.2021 13:00	80,93	84,42	83,50	3,49	0,92	-0,24	3,79
20.12.2021 14:00	80,76	84,9	84,00	4,14	0,90	0,48	4,60
20.12.2021 15:00	81,07	85,19	84,20	4,12	0,99	0,29	4,16
20.12.2021 16:00	81,27	85,2	84,20	3,93	1,00	0,01	3,93
20.12.2021 17:00	81,23	85,1	84,10	3,87	1,00	-0,10	3,87
20.12.2021 18:00	81,44	84,84	83,90	3,4	0,94	-0,26	3,62
20.12.2021 19:00	81,33	84,3	83,40	2,97	0,90	-0,54	3,30
20.12.2021 20:00	80,88	83,89	83,00	3,01	0,89	-0,41	3,38
20.12.2021 21:00	80,28	84,04	83,10	3,76	0,94	0,15	4,00
20.12.2021 22:00	80,72	84,01	83,10	3,29	0,91	-0,03	3,62
20.12.2021 23:00	80,5	83,51	82,60	3,01	0,91	-0,50	3,31
21.12.2021 0:00	80,32	82,99	82,10	2,67	0,89	-0,52	3,00
21.12.2021 1:00	79,38	83,67	82,80	4,29	0,87	0,68	4,93
21.12.2021 2:00	80,01	84,34	83,40	4,33	0,94	0,67	4,61
21.12.2021 3:00	80,64	84,76	83,90	4,12	0,86	0,42	4,79
21.12.2021 4:00	80,89	84,36	83,50	3,47	0,86	-0,40	4,03
21.12.2021 5:00	80,75	84,75	83,90	4	0,85	0,39	4,71
21.12.2021 6:00	81,4	84,37	83,50	2,97	0,87	-0,38	3,41
21.12.2021 7:00	80,97	86,13	85,10	5,16	1,03	1,76	5,01

21.12.2021 8:00	82,19	86,49	85,50	4,3	0,99	0,36	4,34
21.12.2021 9:00	82,51	86,37	85,40	3,86	0,97	-0,12	3,98
21.12.2021 10:00	82,79	86,69	85,70	3,9	0,99	0,32	3,94
21.12.2021 11:00	82,77	85,96	85,00	3,19	0,96	-0,73	3,32
21.12.2021 12:00	82,35	85,98	85,00	3,63	0,98	0,02	3,70
21.12.2021 13:00	82,39	85,96	85,00	3,57	0,96	-0,02	3,72
21.12.2021 14:00	82,43	85,85	84,90	3,42	0,95	-0,11	3,60
21.12.2021 15:00	82,38	85,9	84,90	3,52	1,00	0,05	3,52
21.12.2021 16:00	82,27	88,38	87,40	6,11	0,98	2,48	6,23
21.12.2021 17:00	84,08	89,93	88,90	5,85	1,03	1,55	5,68
21.12.2021 18:00	85,8	89,95	89,00	4,15	0,95	0,02	4,37
21.12.2021 19:00	86,08	90,74	89,70	4,66	1,04	0,79	4,48
21.12.2021 20:00	86,75	90,67	89,70	3,92	0,97	-0,07	4,04
21.12.2021 21:00	87,08	91,77	90,80	4,69	0,97	1,10	4,84
21.12.2021 22:00	87,83	93,31	92,20	5,48	1,11	1,54	4,94
21.12.2021 23:00	89,16	94,15	92,80	4,99	1,35	0,84	3,70
22.12.2021 0:00	90,04	93,85	92,90	3,81	0,95	-0,30	4,01
22.12.2021 1:00	90,2	94,01	92,90	3,81	1,11	0,16	3,43
22.12.2021 2:00	90,39	93,41	92,40	3,02	1,01	-0,60	2,99
22.12.2021 3:00	89,96	94,12	93,00	4,16	1,12	0,71	3,71
22.12.2021 4:00	90,57	94,7	93,60	4,13	1,10	0,58	3,75
22.12.2021 5:00	91,27	96,18	95,10	4,91	1,08	1,48	4,55
22.12.2021 6:00	92,55	97,93	96,80	5,38	1,13	1,75	4,76
22.12.2021 7:00	94,43	95,04	93,90	0,61	1,14	-2,89	0,54
22.12.2021 14:00	92,05	96,93	95,80	4,88	1,13	1,89	4,32
22.12.2021 15:00	93,18	96,69	95,60	3,51	1,09	-0,24	3,22
22.12.2021 16:00	93,11	98,61	97,50	5,5	1,11	1,92	4,95
22.12.2021 17:00	94,85	99,15	98,10	4,3	1,05	0,54	4,10
22.12.2021 18:00	95,09	99,33	98,20	4,24	1,13	0,18	3,75
22.12.2021 19:00	95,31	99,33	98,20	4,02	1,13	0,00	3,56
22.12.2021 20:00	95,51	99,07	98,00	3,56	1,07	-0,26	3,33
22.12.2021 21:00	95,21	98,71	97,60	3,5	1,11	-0,36	3,15
22.12.2021 22:00	94,82	97,92	96,80	3,1	1,12	-0,79	2,77
22.12.2021 23:00	94,35	98,24	97,10	3,89	1,14	0,32	3,41
23.12.2021 0:00	94,7	98,27	97,20	3,57	1,07	0,03	3,34
23.12.2021 1:00	94,59	98,38	97,30	3,79	1,08	0,11	3,51
23.12.2021 2:00	94,62	99,14	98,00	4,52	1,14	0,76	3,96
23.12.2021 3:00	95,42	99,3	98,20	3,88	1,10	0,16	3,53
23.12.2021 4:00	95,58	99,56	98,50	3,98	1,06	0,26	3,75
23.12.2021 5:00	95,67	99,64	98,50	3,97	1,14	0,08	3,48
23.12.2021 6:00	95,79	99,2	98,10	3,41	1,10	-0,44	3,10
23.12.2021 7:00	95,5	98,63	97,50	3,13	1,13	-0,57	2,77
23.12.2021 8:00	95,09	98,38	97,30	3,29	1,08	-0,25	3,05
23.12.2021 9:00	94,79	98,44	97,30	3,65	1,14	0,06	3,20
23.12.2021 10:00	94,75	98,33	97,20	3,58	1,13	-0,11	3,17
23.12.2021 11:00	94,84	98,75	97,70	3,91	1,05	0,42	3,72

23.12.2021 12:00	95,17	98,84	97,70	3,67	1,14	0,09	3,22
23.12.2021 13:00	95,3	98,64	97,50	3,34	1,14	-0,20	2,93
23.12.2021 14:00	94,77	98,21	97,10	3,44	1,11	-0,43	3,10
23.12.2021 15:00	94,84	99,26	98,20	4,42	1,06	1,05	4,17
23.12.2021 16:00	95,37	98,49	97,40	3,12	1,09	-0,77	2,86
23.12.2021 17:00	95	97,95	96,90	2,95	1,05	-0,54	2,81
23.12.2021 18:00	94,28	98,3	97,20	4,02	1,10	0,35	3,65
23.12.2021 19:00	94,59	98,7	97,60	4,11	1,10	0,40	3,74
23.12.2021 20:00	95,24	97,7	96,60	2,46	1,10	-1,00	2,24
23.12.2021 21:00	94,39	98,12	97,00	3,73	1,12	0,42	3,33
23.12.2021 22:00	94,54	98,18	97,10	3,64	1,08	0,06	3,37
23.12.2021 23:00	94,63	98,57	97,50	3,94	1,07	0,39	3,68
24.12.2021 0:00	94,93	98,96	97,90	4,03	1,06	0,39	3,80
24.12.2021 1:00	95,37	99,11	98,00	3,74	1,11	0,15	3,37
24.12.2021 2:00	95,3	99,31	98,20	4,01	1,11	0,20	3,61
24.12.2021 3:00	95,56	99,55	98,50	3,99	1,05	0,24	3,80
24.12.2021 4:00	95,62	99,11	98,00	3,49	1,11	-0,44	3,14
24.12.2021 5:00	95,32	99,04	97,90	3,72	1,14	-0,07	3,26
24.12.2021 6:00	95,21	98,89	97,80	3,68	1,09	-0,15	3,38
24.12.2021 7:00	95,02	98,67	97,60	3,65	1,07	-0,22	3,41
24.12.2021 8:00	94,84	98,98	97,90	4,14	1,08	0,31	3,83
24.12.2021 9:00	95,26	99,2	98,10	3,94	1,10	0,22	3,58
24.12.2021 10:00	95,16	98,44	97,30	3,28	1,14	-0,76	2,88
24.12.2021 11:00	94,67	99,16	98,10	4,49	1,06	0,72	4,24
24.12.2021 12:00	95,31	98,54	97,40	3,23	1,14	-0,62	2,83
24.12.2021 13:00	94,79	98,86	97,80	4,07	1,06	0,32	3,84
24.12.2021 14:00	95,02	98,88	97,80	3,86	1,08	0,02	3,57
24.12.2021 15:00	95,25	99,21	98,10	3,96	1,11	0,33	3,57
24.12.2021 16:00	95,24	99,32	98,20	4,08	1,12	0,11	3,64
24.12.2021 17:00	95,47	98,74	97,60	3,27	1,14	-0,58	2,87
24.12.2021 18:00	95,24	99,2	98,10	3,96	1,10	0,46	3,60
24.12.2021 19:00	95,26	98,97	97,90	3,71	1,07	-0,23	3,47
24.12.2021 20:00	95,11	98,1	97,00	2,99	1,10	-0,87	2,72
24.12.2021 21:00	94,36	97,36	96,30	3	1,06	-0,74	2,83
24.12.2021 22:00	93,88	96,8	95,70	2,92	1,10	-0,56	2,65
24.12.2021 23:00	93,14	97,05	96,00	3,91	1,05	0,25	3,72

Участок теплосети от РК «Савиново»
до ИТП по ул. Четаева, 46



Математическая функция линейной регрессии:

$$K = 1,0572 * \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 3,0621$$

Параметры испытаний

Время измерений	T1 объекта	T1ист (факт)	T1норм объекта	T1ист(факт) - T1объекта	T1ист(факт)- T1норм	Скорость изменения температуры	Соотношение фактических потерь к нормативным
19.12.2021 1:00	81,33	83,72	83,00	2,39	0,72	-0,08	3,32
19.12.2021 2:00	81,34	83,9	83,20	2,56	0,70	0,18	3,66
19.12.2021 3:00	81,37	84,32	83,60	2,95	0,72	0,42	4,10
19.12.2021 4:00	81,81	84,45	83,80	2,64	0,65	0,13	4,06
19.12.2021 5:00	81,94	84,49	83,80	2,55	0,69	0,04	3,70
19.12.2021 6:00	82,02	84,17	83,50	2,15	0,67	-0,32	3,21

19.12.2021 7:00	81,84	84,04	83,30	2,2	0,74	-0,13	2,97
19.12.2021 8:00	81,68	83,86	83,20	2,18	0,66	-0,18	3,30
19.12.2021 9:00	81,62	83,52	82,80	1,9	0,72	-0,34	2,64
19.12.2021 10:00	81,31	83,72	83,00	2,41	0,72	0,20	3,35
19.12.2021 11:00	81,55	83,59	82,90	2,04	0,69	-0,13	2,96
19.12.2021 12:00	81,39	83,94	83,20	2,55	0,74	0,35	3,45
19.12.2021 13:00	81,63	84,19	83,50	2,56	0,69	0,25	3,71
19.12.2021 14:00	81,85	84,48	83,80	2,63	0,68	0,29	3,87
19.12.2021 15:00	82,16	84,61	83,90	2,45	0,71	0,13	3,45
19.12.2021 16:00	82,29	84,47	83,80	2,18	0,67	-0,14	3,25
19.12.2021 17:00	82,24	84,04	83,30	1,8	0,74	-0,43	2,43
19.12.2021 18:00	81,91	83,89	83,20	1,98	0,69	-0,15	2,87
19.12.2021 19:00	81,87	83,73	83,00	1,86	0,73	-0,16	2,55
19.12.2021 20:00	81,69	83,69	83,00	2	0,69	-0,04	2,90
19.12.2021 21:00	81,67	83,87	83,20	2,2	0,67	0,18	3,28
19.12.2021 22:00	81,78	84,21	83,50	2,43	0,71	0,34	3,42
19.12.2021 23:00	82	84,1	83,40	2,1	0,70	-0,11	3,00
20.12.2021 0:00	81,88	84,08	83,40	2,2	0,68	-0,02	3,24
20.12.2021 1:00	81,79	84,22	83,50	2,43	0,72	0,14	3,38
20.12.2021 2:00	81,92	84,05	83,40	2,13	0,65	-0,17	3,28
20.12.2021 3:00	81,78	84,41	83,70	2,63	0,71	0,36	3,70
20.12.2021 4:00	82,09	84,03	83,30	1,94	0,73	-0,38	2,66
20.12.2021 5:00	81,85	83,89	83,20	2,04	0,69	-0,14	2,96
20.12.2021 6:00	81,75	83,79	83,10	2,04	0,69	-0,10	2,96
20.12.2021 7:00	81,65	83,57	82,90	1,92	0,67	-0,22	2,87
20.12.2021 8:00	81,42	83,72	83,00	2,3	0,72	0,15	3,19
20.12.2021 9:00	81,49	83,99	83,30	2,5	0,69	0,27	3,62
20.12.2021 10:00	81,68	84,27	83,60	2,59	0,67	0,28	3,87
20.12.2021 11:00	81,92	84,68	84,00	2,76	0,68	0,41	4,06
20.12.2021 12:00	82,22	84,66	84,00	2,44	0,66	-0,02	3,70
20.12.2021 13:00	82,27	84,42	83,70	2,15	0,72	-0,24	2,99
20.12.2021 14:00	82,01	84,9	84,20	2,89	0,70	0,48	4,13
20.12.2021 15:00	82,37	85,19	84,50	2,82	0,69	0,29	4,09
20.12.2021 16:00	82,64	85,2	84,50	2,56	0,70	0,01	3,66
20.12.2021 17:00	82,66	85,1	84,40	2,44	0,70	-0,10	3,49
20.12.2021 18:00	82,63	84,84	84,10	2,21	0,74	-0,26	2,99
20.12.2021 19:00	82,46	84,3	83,60	1,84	0,70	-0,54	2,63
20.12.2021 20:00	82,01	83,89	83,20	1,88	0,69	-0,41	2,72
20.12.2021 21:00	81,64	84,04	83,30	2,4	0,74	0,15	3,24
20.12.2021 22:00	81,72	84,01	83,30	2,29	0,71	-0,03	3,23
20.12.2021 23:00	81,58	83,51	82,80	1,93	0,71	-0,50	2,72
21.12.2021 0:00	81,3	82,99	82,30	1,69	0,69	-0,52	2,45
21.12.2021 1:00	80,66	83,67	83,00	3,01	0,67	0,68	4,49
21.12.2021 2:00	81,18	84,34	83,60	3,16	0,74	0,67	4,27
21.12.2021 3:00	81,77	84,76	84,10	2,99	0,66	0,42	4,53
21.12.2021 4:00	82,14	84,36	83,70	2,22	0,66	-0,40	3,36

21.12.2021 5:00	81,94	84,75	84,10	2,81	0,65	0,39	4,32
21.12.2021 6:00	82,41	84,37	83,70	1,96	0,67	-0,38	2,93
21.12.2021 7:00	82,13	86,13	85,30	4	0,83	1,76	4,82
21.12.2021 8:00	83,66	86,49	85,70	2,83	0,79	0,36	3,58
21.12.2021 9:00	83,94	86,37	85,60	2,43	0,77	-0,12	3,16
21.12.2021 10:00	83,9	86,69	85,90	2,79	0,79	0,32	3,53
21.12.2021 11:00	84,15	85,96	85,20	1,81	0,76	-0,73	2,38
21.12.2021 12:00	83,58	85,98	85,20	2,4	0,78	0,02	3,08
21.12.2021 13:00	83,6	85,96	85,20	2,36	0,76	-0,02	3,11
21.12.2021 14:00	83,58	85,85	85,10	2,27	0,75	-0,11	3,03
21.12.2021 15:00	83,54	85,9	85,10	2,36	0,80	0,05	2,95
21.12.2021 16:00	83,62	88,38	87,60	4,76	0,78	2,48	6,10
21.12.2021 17:00	85,76	89,93	89,10	4,17	0,83	1,55	5,02
21.12.2021 18:00	87,11	89,95	89,20	2,84	0,75	0,02	3,79
21.12.2021 19:00	87,26	90,74	89,90	3,48	0,84	0,79	4,14
21.12.2021 20:00	88,15	90,67	89,90	2,52	0,77	-0,07	3,27
21.12.2021 21:00	88,12	91,77	91,00	3,65	0,77	1,10	4,74
21.12.2021 22:00	89,3	93,31	92,50	4,01	0,81	1,54	4,95
21.12.2021 23:00	90,59	94,15	93,10	3,56	1,05	0,84	3,39
22.12.2021 0:00	91,34	93,85	93,10	2,51	0,75	-0,30	3,35
22.12.2021 1:00	91,19	94,01	93,20	2,82	0,81	0,16	3,48
22.12.2021 2:00	91,44	93,41	92,60	1,97	0,81	-0,60	2,43
22.12.2021 3:00	91,05	94,12	93,30	3,07	0,82	0,71	3,74
22.12.2021 4:00	91,88	94,7	93,90	2,82	0,80	0,58	3,53
22.12.2021 5:00	92,27	96,18	95,30	3,91	0,88	1,48	4,44
22.12.2021 6:00	94,3	97,93	97,00	3,63	0,93	1,75	3,90
22.12.2021 7:00	95,5	96,04	94,20	0,54	1,84	-1,89	0,29
22.12.2021 14:00	94,09	96,93	96,00	2,84	0,93	0,89	3,05
22.12.2021 15:00	93,8	96,69	95,80	2,89	0,89	-0,24	3,25
22.12.2021 16:00	94,47	98,61	97,70	4,14	0,91	1,92	4,55
22.12.2021 17:00	96,28	99,15	98,30	2,87	0,85	0,54	3,38
22.12.2021 18:00	96,42	99,33	98,40	2,91	0,93	0,18	3,13
22.12.2021 19:00	96,68	99,33	98,40	2,65	0,93	0,00	2,85
22.12.2021 20:00	96,65	99,07	98,20	2,42	0,87	-0,26	2,78
22.12.2021 21:00	96,48	98,71	97,80	2,23	0,91	-0,36	2,45
22.12.2021 22:00	95,95	97,92	97,00	1,97	0,92	-0,79	2,14
22.12.2021 23:00	95,52	98,24	97,30	2,72	0,94	0,32	2,89
23.12.2021 0:00	95,83	98,27	97,40	2,44	0,87	0,03	2,80
23.12.2021 1:00	95,97	98,38	97,50	2,41	0,88	0,11	2,74
23.12.2021 2:00	96,02	99,14	98,20	3,12	0,94	0,76	3,32
23.12.2021 3:00	96,73	99,3	98,40	2,57	0,90	0,16	2,86
23.12.2021 4:00	96,85	99,56	98,70	2,71	0,86	0,26	3,15
23.12.2021 5:00	96,98	99,64	98,70	2,66	0,94	0,08	2,83
23.12.2021 6:00	97,02	99,2	98,30	2,18	0,90	-0,44	2,42
23.12.2021 7:00	96,6	98,63	97,70	2,03	0,93	-0,57	2,18
23.12.2021 8:00	96,22	98,38	97,50	2,16	0,88	-0,25	2,45

23.12.2021 9:00	96,11	98,44	97,50	2,33	0,94	0,06	2,48
23.12.2021 10:00	95,92	98,33	97,40	2,41	0,93	-0,11	2,59
23.12.2021 11:00	96,23	98,75	97,90	2,52	0,85	0,42	2,96
23.12.2021 12:00	96,42	98,84	97,90	2,42	0,94	0,09	2,57
23.12.2021 13:00	96,41	98,64	97,70	2,23	0,94	-0,20	2,37
23.12.2021 14:00	95,79	98,21	97,30	2,42	0,91	-0,43	2,66
23.12.2021 15:00	96,35	99,26	98,40	2,91	0,86	1,05	3,38
23.12.2021 16:00	96,36	98,49	97,60	2,13	0,89	-0,77	2,39
23.12.2021 17:00	96,24	97,95	97,10	1,71	0,85	-0,54	2,01
23.12.2021 18:00	95,27	98,3	97,40	3,03	0,90	0,35	3,37
23.12.2021 19:00	95,72	98,7	97,80	2,98	0,90	0,40	3,31
23.12.2021 20:00	96,56	97,7	96,80	1,14	0,90	-1,00	1,27
23.12.2021 21:00	95,71	98,12	97,20	2,41	0,92	0,42	2,62
23.12.2021 22:00	95,74	98,18	97,30	2,44	0,88	0,06	2,77
23.12.2021 23:00	95,9	98,57	97,70	2,67	0,87	0,39	3,07
24.12.2021 0:00	96,22	98,96	98,10	2,74	0,86	0,39	3,19
24.12.2021 1:00	96,74	99,11	98,20	2,37	0,91	0,15	2,60
24.12.2021 2:00	96,59	99,31	98,40	2,72	0,91	0,20	2,99
24.12.2021 3:00	96,97	99,55	98,70	2,58	0,85	0,24	3,04
24.12.2021 4:00	96,79	99,11	98,20	2,32	0,91	-0,44	2,55
24.12.2021 5:00	96,64	99,04	98,10	2,4	0,94	-0,07	2,55
24.12.2021 6:00	96,46	98,89	98,00	2,43	0,89	-0,15	2,73
24.12.2021 7:00	96,28	98,67	97,80	2,39	0,87	-0,22	2,75
24.12.2021 8:00	96,07	98,98	98,10	2,91	0,88	0,31	3,31
24.12.2021 9:00	96,69	99,2	98,30	2,51	0,90	0,22	2,79
24.12.2021 10:00	96,3	98,44	97,50	2,14	0,94	-0,76	2,28
24.12.2021 11:00	95,9	99,16	98,30	3,26	0,86	0,72	3,79
24.12.2021 12:00	96,5	98,54	97,60	2,04	0,94	-0,62	2,17
24.12.2021 13:00	95,94	98,86	98,00	2,92	0,86	0,32	3,40
24.12.2021 14:00	96,25	98,88	98,00	2,63	0,88	0,02	2,99
24.12.2021 15:00	96,6	99,21	98,30	2,61	0,91	0,33	2,87
24.12.2021 16:00	96,6	99,32	98,40	2,72	0,92	0,11	2,96
24.12.2021 17:00	96,59	98,74	97,80	2,15	0,94	-0,58	2,29
24.12.2021 18:00	96,54	99,2	98,30	2,66	0,90	0,46	2,96
24.12.2021 19:00	96,28	98,97	98,10	2,69	0,87	-0,23	3,09
24.12.2021 20:00	96,37	98,1	97,20	1,73	0,90	-0,87	1,92
24.12.2021 21:00	95,27	97,36	96,50	2,09	0,86	-0,74	2,43
24.12.2021 22:00	95	96,8	95,90	1,8	0,90	-0,56	2,00

Приложение Г

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023662329

**«Модуль мониторинга качества теплоснабжения
потребителей»**Правообладатель: **Общество с ограниченной
ответственностью «Татарстан Автоматизация и
связь Энерго» (RU)**Авторы: **Запольская Ирина Николаевна (RU), Лапин
Константин Викторович (RU), Вовченко Иван
Геннадьевич (RU)**Заявка № **2023661179**Дата поступления **30 мая 2023 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **07 июня 2023 г.**Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Приложение Д

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021680212

Transition2ITP

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» (RU)*

Авторы: *Ваньков Юрий Витальевич (RU), Запольская Ирина Николаевна (RU), Лапин Константин Викторович (RU), Шаповалов Станислав Константинович (KZ), Измайлова Евгения Вячеславовна (RU)*

Заявка № 2021668558

Дата поступления 22 ноября 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 08 декабря 2021 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат ключа электронной подписи: 20210118
Владелец: *Иванов Дмитрий Петрович*
Действителен с 10.01.2021 по 10.01.2030

Г.П. Исаев

Приложение Е



«УТВЕРЖДАЮ»
Заместитель генерального
директора – директор по
реализации тепловой и
электрической энергии
АО «Татэнерго»



О.И. Зверев
О.И. Зверев
«15» августа 2023 г.

АКТ

о внедрении результатов кандидатской диссертационной работы
Лапина Константина Викторовича

Комиссия в составе:

Запольская И.Н. – заместитель директора по реализации тепловой энергии, председатель комиссии;

Клементьев А.В. – начальник сектора контроля режимов теплоснабжения, член комиссии;

Козлова Д.П. – инженер сектора контроля режимов теплоснабжения, член комиссии

составили настоящий Акт о том, что результаты диссертационной работы «МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА ФАКТИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ, НАХОДЯЩИХСЯ В РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в деятельности АО «Татэнерго» в виде:

- проведения работ по определению эксплуатационных тепловых потерь через тепловую изоляцию в водяных тепловых сетях;
- проведения испытаний водяных тепловых сетей на фактические тепловые потери через тепловую изоляцию для участков тепловых сетей,

находящихся в режиме эксплуатации отопительного периода, и сопоставление их с нормативными значениями тепловых потерь;

- внедрения в эксплуатацию «Модуля мониторинга качества теплоснабжения потребителей» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023662329. 2023.).

Использование указанных результатов позволяет проводить в отопительный период испытания тепловых сетей без ограничения теплоснабжения потребителей, организовать мониторинг потерь тепловой энергии по участкам действующей теплосети, своевременно составлять планы летних ремонтов тепловых сетей и мероприятий по ликвидации увлажнения, затопления участков теплотрасс.

Результаты диссертации также планируется использовать в будущих проектах по цифровой трансформации систем теплоснабжения в зоне присутствия АО «Татэнерго».

Председатель комиссии

И.Н. Запольская

Член комиссии

А.В. Клементьев

Член комиссии

Д.П. Козлова



Акционерное общество «Казэнерго»
420021, Республика Татарстан, г.Казань, ул.Г.Тукай, 162
Тел./факс: +7 (843) 211-17-17, 211-12-69
E-mail: info@kazenergo.com
Акционерлык жамгыяте «Казэнерго»

«УТВЕРЖДАЮ»
Заместитель главного
инженера по
энергосбережению и новым
технологиям АО «Казэнерго»


Т.Р. Ахметов

«25» августа 2023 г.



АКТ

об использовании результатов кандидатской диссертационной работы
Лапина Константина Викторовича

«Методика проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения, находящихся в режиме эксплуатации»

Комиссия в составе:

Герасимов Е.В. – начальник производственно-технического отдела, председатель комиссии;

Долгов М.В. – начальник производственной службы наладки, член комиссии;

Залялова А.Р. – заместитель начальника производственно-технического отдела по эксплуатации, член комиссии

составили настоящий Акт о том, что научные и практические результаты, полученные в диссертационной работе, используются в деятельности АО «Казэнерго» для проведения испытаний участков водяных тепловых сетей на фактические тепловые потери через тепловую изоляцию непосредственно находящихся в эксплуатации в течение отопительного периода.

Использование материалов диссертационной работы позволяет проводить в отопительный период испытания тепловых сетей без ограничения теплоснабжения потребителей и заблаговременно составлять планы проведения ремонтов теплосети.

Председатель комиссии

Герасимов Е.В.

Член комиссии

Долгов М.В.

Член комиссии

Залялова А.Р.