

Методика и алгоритм пересмотра графиков температуры теплоносителя в существующих СЦТ

1. Введение

В последнее время, особенно при утверждении схем теплоснабжения, возникают дискуссии, которые на профессиональном жаргоне сводятся к рассмотрению обязательств выполнения со стороны теплоснабжающих компаний утвержденного «температурного графика».

Для однозначности трактовки используемого жаргона, напомним, что речь идет о центральном регулировании отпуска теплоты потребителям, присоединенным к тепловым сетям в системах централизованного теплоснабжения (СЦТ) в зависимости от температуры наружного воздуха. Предполагаем также, что читатели этой статьи изучили содержание главы 4 книги [1], особенно в той ее части, где говорится о центральном «качественном» регулировании отпуска теплоты потребителям по разнородной тепловой нагрузке.

Основным вопросом дискуссий, является обязательство теплоснабжающей компании поддерживать ту температуру теплоносителя, которая заложена и обоснована при проектировании СЦТ и соответствует температуре наружного воздуха. Зависимость температуры теплоносителя на выходе из источника тепла в СЦТ от температуры наружного воздуха и называется «температурным графиком». Он обосновывается в проекте строительства СЦТ и предполагает, что количество тепла, доставленное к абонентской установке потребителя от централизованного источника теплоты будет соответствовать спросу потребителя, который в свою очередь меняется в зависимости от температуры наружного воздуха (конечно, для простых СЦТ с преобладающим спросом на теплоту для отопления и вентиляции). В большинстве российских систем теплоснабжения принято, что центральное (на выходе из источника теплоты) регулирование отпуска теплоты потребителям осуществляется с использованием изменения температуры теплоносителя при сохранении его расхода постоянным. Такой способ центрального регулирования назван «качественным». В зависимости от того, какое количество теплоты в СЦТ расходуется потребителями на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение центральное качественное регулирование может осуществляться только по спросу на теплоту на отопление (качественное регулирование по отопительной тепловой нагрузке) или по всем трем видам спроса (качественное регулирование по разнородной тепловой нагрузке). Доли этих тепловых нагрузок в суммарной тепловой нагрузке в СЦТ ложатся в проектное обоснование выбора графика зависимости температуры теплоносителя от температуры наружного воздуха.

СЦТ, как правило, являются развивающимися системами, в течение жизни которых к тепловым сетям присоединяются новые потребители с разнородными спросом на тепло (горячее водоснабжение, вентиляция, кондиционирование, иногда технология) и разными техническими схемами присоединения абонентских установок к тепловым сетям

(например, превалирующее независимое присоединение при зависимом присоединении в процессе проектирования). Для того, чтобы регулирование отпуска тепла соответствовало изменяющимся параметрам спроса на тепло, температурный график должен периодически пересматриваться.

Пересмотр температурного графика может быть осуществлён теплоснабжающей компанией и по другим причинам. Например, в процессе развития СЦТ стало ясно, что заложенные в проекте параметры прироста тепловой нагрузки потребителей не выполняются, или в процессе эксплуатации СЦТ не выполняются объёмы ремонтных работ в тепловых сетях и постепенно ухудшаются технические свойства оборудования СЦТ. Описание алгоритма пересмотра температурного графика в развивающихся СЦТ можно найти в разделе 13.6 книги [2].

Между тем, представленный в книге алгоритм, хоть и формирует представление о том, как и какие расчеты должны быть выполнены в процессе приближения температурного графика к оптимальным значениям, позволяющим обеспечить заданные параметры спроса на теплоту для всего многообразия потребителей, но не предполагает возможности исследования целевого влияния возможной реконструкции оборудования СЦТ для достижения сокращения операционных расходов и расходов на энергоресурсы.

В настоящей статье представлены результаты разработки и реализации алгоритма пересмотра температурного графика в развивающейся СЦТ с целью сокращения операционных расходов на передачу тепла при выполнении обязательных требований к обеспечению нормативного спроса на теплоту у потребителей, так же как и результатам его работы для конкретной СЦТ.

2. Блок схема алгоритма

2.1. Состав алгоритма

Укрупненная блок схема обоснования пересмотра и выбора температурного графика приведена на рисунке 1.

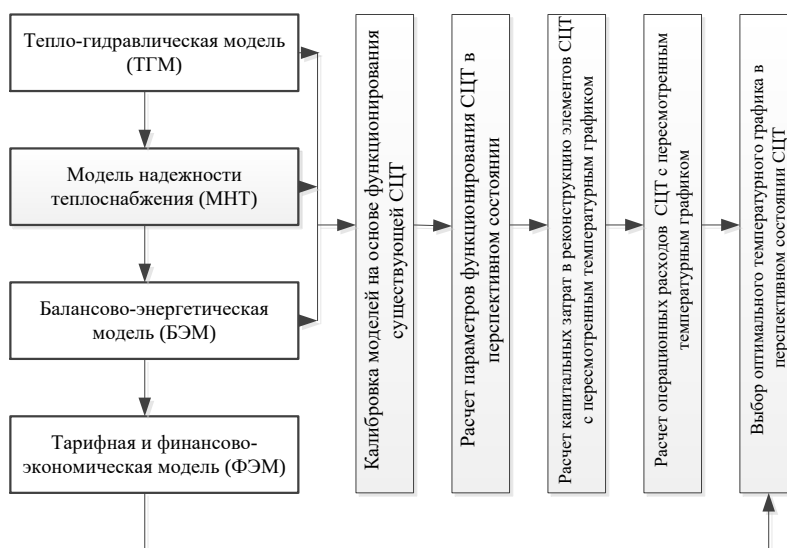


Рисунок 1. Укрупненная блок схема пересмотра температурного графика в существующей СЦТ

Для реализации алгоритма необходимо создание четырёх базовых моделей СЦТ.

2.2. Тепло-гидравлическая модель СЦТ

Тепло-гидравлическая модель (ТГМ) существующей СЦТ составляется с целью создания инструмента для учета условий и расчета режимов транспорта (передачи) теплоносителя и тепла от источника тепловой мощности до всех потребителей (абонентских вводов), присоединенных к тепловым сетям. В силу требований закона «О теплоснабжении» тепло-гидравлические модели СЦТ являются обязательным атрибутом утверждаемых схем теплоснабжения для городов с численностью населения от 100 тыс. человек.

Создание тепло-гидравлических моделей тепловых сетей СЦТ основывается на методах теории гидравлических цепей. В большинстве существующих в РФ программных комплексов (ПК), предназначенных для разработки тепло-гидравлических моделей, обзор которых приведён в [3], реализованы методы и алгоритмы, изложенные в [4]. Для целей анализа результатов пересчета температурного графика была использована тепло-гидравлическая модель СЦТ, созданная в программном комплексе «ZuluThermo» [5]. С помощью ГИС Zulu™ созданы карты, включающие следующие слои: топоосновы; кадастровых кварталов; информационно-расчетные, вспомогательные информационные.

Информационно-расчетные слои содержали данные графического отображения, топологической связи и технических характеристик элементов систем теплоснабжения. В том числе: источников тепловой мощности, узлов тепловой сети (тепловые камеры, узлы разветвления, смена диаметра, смена типа прокладки и др.), насосных станций, отключающих устройств (задвижки), дросселирующих узлов (шайбы, регуляторы расхода, регуляторы давления, регуляторы напора), центральных тепловых пунктов (ЦТП), потребителей, а также участков тепловых сетей. Каждый из перечисленных элементов системы поддерживается общей по слою базой данных. Правила формирования схемы тепловой сети в программном комплексе «ZuluThermo» изложены в [6]. Вспомогательные информационные слои содержали данные о всех потребителях, присоединение которых к тепловым сетям СЦТ запланировано на последующий перспективный (плановый) период.

С помощью созданной ТГМ выполнены расчеты для выбора допустимых диаметров существующих тепловых сетей (или строительства насосной станции), обеспечивающие допустимый пьезометрический график) для различных температурных графиков с перспективной тепловой нагрузкой до 2035 года. Расчет СЦТ был выполнен с использованием базового комплекса расчетных модулей ПК «ZuluThermo».

В результате расчета с использованием ТГМ были определены капитальные затраты в реконструкцию: сетевых насосов на источнике тепловой мощности, тепловых сетей, повысительных насосных станций, центральных тепловых пунктов и абонентских установок потребителей. Расчеты выполнены для сопоставимых (нормативных) условий передачи тепла и теплоносителя от источника до потребителя.

2.3. Модель надежности теплоснабжения

В состав ПК «ZuluTermo» дополнительной опцией входит модуль расчета надежности теплоснабжения. Он функционирует на основании требований раздела 47 методических указаний по разработке схем теплоснабжения [7], основанного на методах, изложенных в [8]. Однако в рамках постановки задачи настоящего исследования его применимость была ограничена.

Модель основана на требованиях обеспечения нормативных параметров надежности теплоснабжения каждого потребителя, присоединенного к тепловым сетям СЦТ. Достижение этих параметров осуществляется за счет выполнения ряда технических и технологических мероприятий. Выделяются три главных группы мероприятий подобного рода:

- группа мероприятий по доведению надежности участков тепловых сетей до необходимого уровня за счет их замены на новые, выполняемой в процессе текущих (капитальных) ремонтов или реконструкции;
- группа мероприятий, влияющих на сокращение времени восстановления теплоснабжения за счет замены поврежденного участка тепловой сети (технологические приемы диагностики повреждения и замены повреждённого участка);
- группы мероприятий, характеризующиеся увеличением объема резервирования тепловой сети за счет устройства аварийных перемычек, секционирования тепловой сети или увеличения располагаемого напора на коллекторах источника.

Все эти действия выполняются в ходе разработки схемы теплоснабжения. При пересмотре температурного графика, с целью сохранения сопоставимости сравниваемых результатов, и оценки влияния пересмотра температурного графика на интенсивность повреждений участков тепловой сети, основное внимание модели сосредоточено на оценке влияния частоты (интенсивности) замены участков тепловой сети на их надежность. Делается это с целью выявления связи интенсивности отказов участков тепловой сети с затратами на текущие и капитальные ремонты. При этом, все мероприятия, обоснованные в схеме теплоснабжения, для достижения нормативной надежности теплоснабжения при неизменном температурном графике остаются так же неизменными.

Модель надежности участка тепловой сети (элемента СЦТ) базировалась на следующих допущениях. По результатам диагностики отказа участка тепловой сети (потери его плотности, утечке теплоносителя) выполняются ремонтные работы, состоящие в замене отказавшего участка на новый, аналогичный (диаметр, марка стали, тип прокладки, конструкция теплоизоляции и т.д.) длиной 10 – 12 метров. Таким образом, предполагается, что отказавший элемент (элемент теплопровода) является невосстанавливаемым. Восстановление элемента теплопровода, заключающееся в его ремонте (бандажи, накладки и другие операции, выполняемые в ходе отопительного периода с целью восстановления плотности элемента), с частичным восстановлением его свойств, в данной модели не рассматривается.

При создании модели надежности с целью пересмотра температурного графика основное внимание уделяется обработке статистических данных об отказах участков

тепловых сетей в конкретной (исследуемой) системе теплоснабжения. В основу этой обработки положены фактические данные по отказам в тепловой сети при неизменном температурном графике. Результатом этой обработки является, в соответствии с [7], определение значений параметров масштаба η и формы β в трехпараметрическом распределении Вейбулла.

$$F(t) = 1 - \exp \left\{ \left(-\frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta \right\},$$

где

$F(t)$ - функция распределения;

t - время эксплуатации;

t_0 - базовая точка фиксации временного изменения функции распределения.

Обработка была выполнена с использованием стандартных вычислительных процедур, реализованных в ПК «Статистика 8.0». Руководство пользователя ПК, приведено в [9].

По результатам обработки данных для конкретной развивающейся СЦТ, функционирующей в течение последних 37 лет, были получены оценки параметров формы и масштаба (см. таблицу 1) для различных температурных графиков, диаметров трубопроводов и типов прокладки.

Таблица 1. Параметр масштаба и формы в распределении Вейбулла

Показатели	Расчетные значения температур теплоносителя, °C				
	150/70	130/70	115/70	110/70	95/70
Диаметры теплопроводов, мм	Dy=от 1000 до 300				
Параметр формы	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Параметр масштаба	30	33	35	39	42
Диаметры теплопроводов, мм	Dy=от 250 до 40				
Параметр формы	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Параметр масштаба	18	20	23	27	27

Использование полученных данных позволяет вычислить прогнозируемое количество отказов в тепловых сетях за каждый последующий год из 25 последующих лет функционирования СЦТ для различных графиков температур теплоносителя.

2.4. Балансовая энергетическая модель СЦТ

Балансовая энергетическая модель СЦТ обеспечивает связь различных параметров энергетического баланса СЦТ и сопутствующих затрат энергоресурсов на выработку тепла на источнике и передачу теплоносителя и тепловой энергии по тепловым сетям. Структура балансовой модели представлена на рисунке 2.

Данные, используемые в первых четыре блока модели, передаются из ТГМ. Для расчета потерь тепла и теплоносителя в тепловых сетях использовался базовый расчетный модуль, входящий в состав ПК «ZuluTermo». Модуль оперирует с расчетными процедурами, приведенными в [10].

В силу различия организации передачи теплоносителя по тепловым сетям (сетевые насосы на источнике тепловой энергии, повысительные насосные станции на тепловых сетях, центральные тепловые пункты, индивидуальные тепловые пункты) расчет затрат электроэнергии был выполнен для каждой из имеющихся насосных групп.

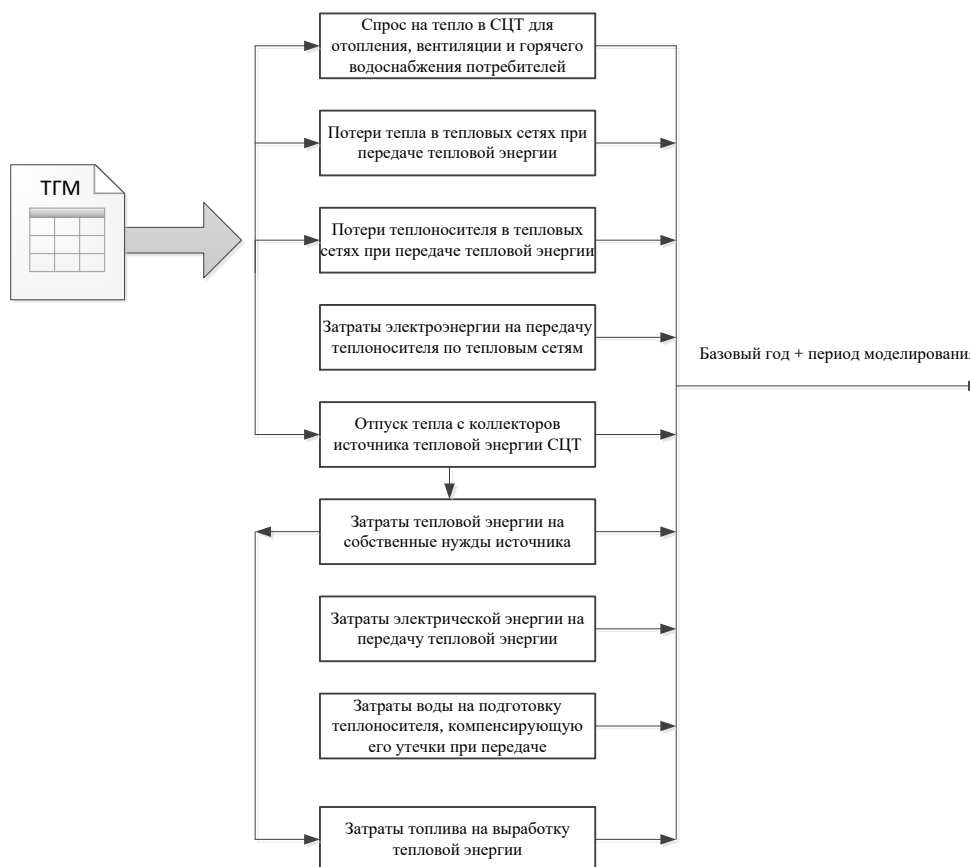


Рисунок 2. Структура балансовой модели СЦТ

Целью балансовой энергетической модели СЦТ являются расчеты затрат материальных и энергетических потоков при различных температурных графиках, в том числе: используемого топлива на источнике; количества тепла, отпущенного с коллекторов источника тепловой энергии; потерь тепловой энергии при передаче теплоносителя по тепловым сетям; полезно отпущенной тепловой энергии потребителям, присоединенным к тепловой сети СЦТ. Также были вычислены затраты электроэнергии и теплоносителя на его передачу по тепловым сетям. Расчеты были выполнены для отопительного периода, летнего гидравлического режима, за календарный год в целом и за час максимального потребления тепла базового и перспективных периодов функционирования СЦТ.

2.5. Тарифная и финансово-экономическая модель СЦТ

Тарифная и финансово-экономическая модель СЦТ обеспечивает связь различных параметров финансовых, материальных и энергетических потоков при выработке

тепловой энергии на источнике тепловой мощности, ее передаче (распределении) по тепловым сетям при заданной организации эксплуатации СЦТ. В основе финансово-экономической модели СЦТ лежат методические указания, изложенные в [11].

Тарифная модель позволяет прогнозировать связанную структуру затрат на теплоснабжение (необходимую валовую выручку, далее НВВ) для каждого прогнозного температурного графика с учетом основных влияющих факторов:

- изменение топливно-энергетического баланса;
- изменение операционных затрат;
- изменения капитальных затрат.

Капитальные затраты, предусмотренные для перехода на скорректированные температурные графики, учитывались в НВВ в виде дополнительного денежного потока (прибыли на капитальные вложения) необходимого для возврата инвестиций. Величина и темп возврата инвестиций сформированных за счет долговых ресурсов осуществлялся аннуитетными платежами в течении последующих (после реализации перехода) 10 лет с $WACC=12,5\%$.

Выручка от продажи тепловой энергии определена на основе средневзвешенного установленного тарифа на тепловую энергию в СЦТ.

3. Калибровка моделей

Для отладки моделей, формирования доказательной достоверности выполненных расчетов, каждая из моделей подвергается калибровке на ретроспективных данных функционирования СЦТ в течение, как минимум, пятилетнего периода. Работа моделей считается достоверной, если в процессе калибровки удастся достичь 5% сопоставимости расчетов и фактических данных.

4. Перспективное состояние СЦТ

Так как СЦТ является развивающейся системой, то за период возврата инвестиций могут быть зарегистрированы ее существенные изменения. Например, за 10 лет к тепловым сетям СЦТ могут быть присоединены еще 25% новых потребителей (с тепловой нагрузкой до 15% от существующих). Это, в свою очередь, должно учитываться в стратегии пересмотра температурных графиков. Данные о развитии СЦТ принимаются из схемы теплоснабжения.

5. Оценка капитальных затрат при пересмотре температурных графиков

5.1. Общие положения

Прежде всего следует отметить, что объем капитальных затрат, который потребуется для корректировки температурных графиков, зависит от состояния СЦТ (имеются ввиду требования заложенные при ее проектировании и исполнение этих требований в процессе строительства и эксплуатации). Напомним также, что пересмотр температурных графиков не предполагает изменения метода центрального регулирования и перехода, например, на количественный или качественно-количественный метод центрального регулирования.

5.2. Капитальные затраты в реконструкцию тепловых сетей, связанные с увеличением расхода теплоносителя

Корректировка температурного графика, связанная с изменением расчетных параметров теплоносителя, для используемого метода центрального качественного регулирования, прежде всего, приводит к изменению расчетного расхода теплоносителя, который должен соответствовать неизменному расчетному количеству тепла, необходимого для теплоснабжения потребителей. Изменение расхода теплоносителя требует рассмотрения возможностей существующей системы теплоснабжения по передаче нужного количества теплоносителя по существующим тепловым сетям. Ответ на это вопрос дает расчет пьезометрического графика при различных расчетных температурах теплоносителя. Расчет пьезометрического графика осуществляется в ТГМ.

В некоторых случаях при изменении температурного графика и расхода теплоносителя может быть достигнуто предельное состояние тепловой сети по возможности передачи теплоносителя к части потребителей. На пьезометрическом графике точка предельного состояния отражается пересечением верхней и нижней ветвей пьезометрического графика (см. рис. 3б)

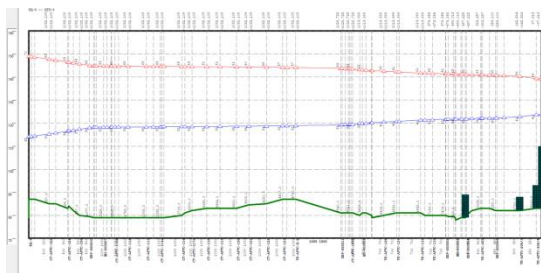


Рис. 3а. Пьезометрический график передачи теплоносителя по тепловой сети при расчетном температурном графике 150/70

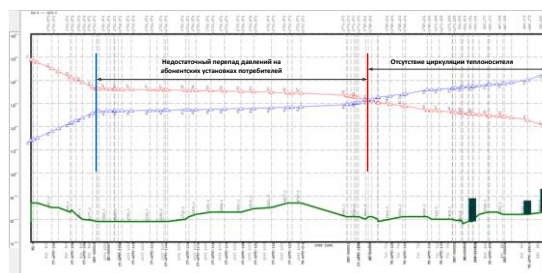


Рис. 3б. Пьезометрический график передачи теплоносителя по тепловой сети при расчетном температурном графике 95/70

Рисунок 3. Пьезометрические графики при передаче теплоносителя по тепловым сетям

В результате расчета пьезометрического графика со скорректированным значением расчетной температуры теплоносителя, выделены две области в тепловой сети. Первая область – от тепловой камеры «ПЕР-000001» до тепловой камеры «СТР-2341..». Эта область характеризуется недостаточными перепадами давления теплоносителя на абонентских вводах потребителей и, следовательно, недостаточным его расходом по теплоиспользующим установкам потребителя и как следствие недостаточной поставкой тепла для отопления и горячего водоснабжения. Вторая область – от тепловой камеры «СТР-2341..» до обобщенного потребителя «ЦТП №3». Эта область характеризуется отсутствием циркуляции теплоносителя и, следовательно, теплоноситель и тепло к потребителям не поставляется.

Существует три способа ликвидации этой проблемы. Первый – осуществить реконструкцию участков тепловой сети с изменением их диаметра, второй – построить (или реконструировать) насосную станцию для повышения давления теплоносителя на подающем (и/или обратном) теплопроводе тепловой сети, третий – осуществить реконструкцию группы насосного оборудования на источнике тепловой энергии («сетевые» насосы) или теплофикационной установке ТЭЦ с целью увеличения располагаемого перепада давления на головном участке теплопровода.

Каждый из этих способов обладает собственной эффективностью и стоимостью. Но, с одной стороны, реализация третьего способа зачастую затруднена из-за различий в структуре собственности и управления источниками тепловой энергии и тепловыми сетями. С другой – существенными затратами на реконструкцию ТФУ и эксплуатационными затратами на транспорт теплоносителя, так как повышение давления теплоносителя на коллекторе источника приводит к неоправданному росту затрат электроэнергии для всех потребителей тепловой сети.

5.3. Капитальные затраты на реконструкцию ТФУ источника тепла

В силу особенностей рассматриваемой в примере СЦТ, была доказана необходимость реконструкции на ТФУ источника тепла. При снижении расчетных параметров температуры теплоносителя на ТФУ источника необходимо было осуществить строительство перемычки между подающим и обратным теплопроводом с установкой частотно-регулируемого привода на сетевых и подпиточных насосах (см. рисунок 4). Эти действия, позволяя, с одной стороны, поддерживать работу котлоагрегатов котельных в расчетных режимах (температура теплоносителя на выходе из котлоагрегата должна быть всегда не ниже 150 из-за необходимости поддержания температуры продуктов сгорания ниже точки росы образования серно-кислотной коррозии), а с другой – регулировать температуру теплоносителя в тепловых сетях в зависимости от температуры наружного воздуха при поддержании его расхода постоянным, вне зависимости от реакции тепловой сети.

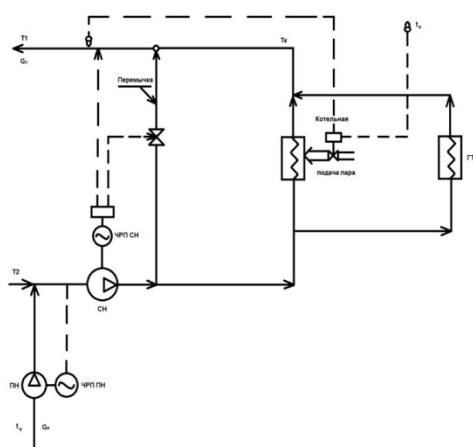


Рисунок 4. Схема реконструкции ТФУ источника тепловой энергии

Конечно, приведенная схема реконструкции не является универсальной и для большого числа ТФУ такие работы в большинстве случаев выполнены,

5.4. Капитальные затраты в строительство насосной станции

Для обеспечения нормативных (требуемых) перепадов давления теплоносителя на абонентском вводах потребителей при переходе на температурный график, например 95/70, потребовалось не только реконструировать некоторые участки тепловой сети, но и построить насосную станцию на подающем теплопроводе (см. рисунок 5). Насосная станция обеспечивала повышение давления теплоносителя после критической точки тепловой сети.

Выбор производительности насосов определялся расчетным расходом теплоносителя и требуемым перепадом давления в критической точке. Требуемый перепад давлений, в свою очередь, определялся не только для существующего, но и перспективного состояния, которое было установлено планами строительства новых потребителей (по данным генерального плана) в зоне действия СЦТ (на 15 лет вперед).

После ввода в эксплуатацию насосной станции требуемый гидравлический режим передачи теплоносителя по тепловым сетям будет обеспечен на всем протяжении рассматриваемого периода.

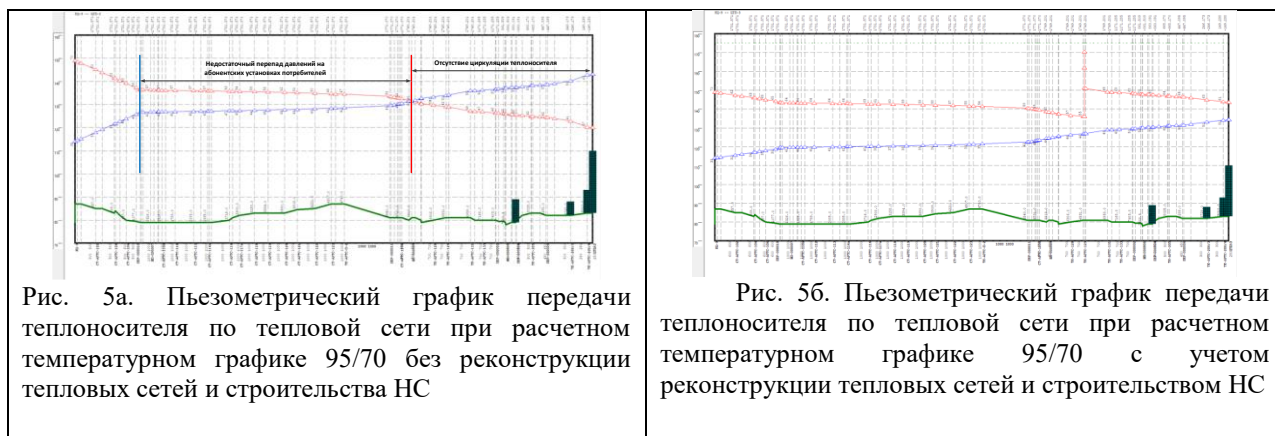


Рисунок 5. Реконструкция тепловых сетей и строительство НС при переходе на пониженный температурный график

5.5. Капитальные затраты в реконструкцию центральных тепловых пунктов

Центральные тепловые пункты являются неизменным атрибутом практически во всех СЦТ России (кроме совсем небольших СЦТ с тепловой нагрузкой потребителей до 10 Гкал/ч). Такие решения применялись при строительстве СЦТ по трем утилитарным причинам. Первая причина состояла в том, что в периоды интенсивного строительства жилья в России использовался принцип типового домостроения. Предполагалось, что для группы однотипных задний, можно осуществить единые алгоритмы управления теплоснабжением с единого группового (центрального) теплового пункта. Вторая причина состояла в том, что у российских производителей отсутствовало оборудование с допустимыми уровнями шума (поэтому ЦТП выносились в отдельно стоящие здания). Третья причина это создание условий безопасной эксплуатации тепловых сетей во внутриквартальных пространствах группы жилых зданий (разделение контуров циркуляции теплоносителя на два независимых контура). Первый контур – с температурой теплоносителя до 150 °С в подающем теплопроводе, второй – с температурой теплоносителя до 115 °С.

Переход на температурные графики с максимальными температурами теплоносителя в подающем теплопроводе равными 115 °С и ниже ликвидирует третью причину, наличие малошумящего насосного оборудования – вторую, а отказ от типового домостроения – первую. В силу этих причин наличие ЦТП для группы зданий не является в настоящее время обоснованным решением.

Тем не менее, в существующих СЦТ с наличием ЦТП, корректировка температурных графиков потребует рассмотрения возможности осуществления их

функций в изменившихся условиях. В некоторых случаях, например при переходе на пониженные температурные графики для ЦТП с независимым присоединением систем отопления и горячего водоснабжения, потребуется реконструкция теплообменных аппаратов отопления и, возможно, первой и второй ступени теплообменников в системе горячего водоснабжения. В основном это зависит от тепловой схемы ЦТП.

В случае рассматриваемой СЦТ схема теплового пункта представляла собой зависимое присоединение систем отопления и вентиляции потребителей с использованием водо-водяного струйного насоса (элеватора ВТИ) и присоединение систем горячего водоснабжения группы зданий по двухступенчатой последовательной схеме (см рис. 6). Предполагалось, что при корректировке температурного графика или его пересмотре существующая структура СЦТ оставалась неизменной и ЦТП в ней сохранялись на весь прогнозный период.

Теоретически, поддержание неизменного количества и качества тепла на отопление (полезного отпуска на цели отопления), возможно с использованием реконструкции схем присоединения систем отопления потребителей к тепловым сетям по двум направлениям:

- замена существующей зависимой схемы присоединения систем отопления потребителей с использованием элеваторных установок на зависимую схему с использованием насосов смешения (корректирующих насосов);
- замена существующей зависимой схемы присоединения систем отопления потребителей с использованием элеваторных установок на независимую схему присоединения систем отопления потребителей с созданием независимого контура циркуляции теплоносителя в системах отопления после ЦТП (использованием теплообменных аппаратов отопления на ЦТП).

К сожалению, переход с зависимой на независимую схему присоединения всех потребителей в СЦТ города, остаётся недостижимым по величине требуемых инвестиций и сроков их возврата.

В силу этих причин с целью создания условий независимости полезного отпуска тепловой энергии на цели отопления потребителей рекомендована замена существующей зависимой схемы присоединения систем отопления потребителей с использованием элеваторных установок на зависимую схему с использованием насосов смешения (корректирующих насосов).

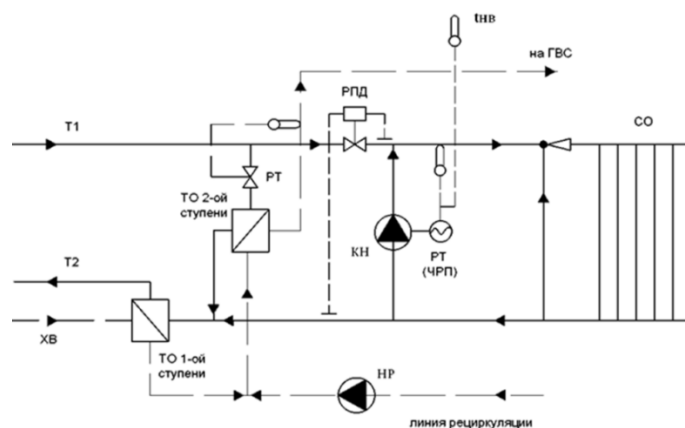


Рисунок 6. Реконструкция центральных тепловых пунктов

Расчет капитальных затрат в реконструкцию ЦТП состоял в следующем. Вначале определялась достаточность (недостаточность) теплообменной поверхности существующих теплообменников в системе горячего водоснабжения. Для этого использовалась методика, изложенная в [12]. Если в результате расчетов оказывалось, что при изменении температуры теплоносителя на входе в теплообменник существующей поверхности теплообмена было недостаточно для обеспечения требуемой температуры на выходе из него, а располагаемый перепад давлений теплоносителя не обеспечивал возможное увеличение расхода теплоносителя из-за повышения гидравлического сопротивления проточной части теплообменного аппарата, то существующий теплообменник заменялся на новый с требуемой поверхностью теплообмена и гидравлического сопротивления.

Изменение температуры теплоносителя на входе в ЦТП требовала также изменений характеристик существующего струйного насоса (элеватора). Это довольно простая техническая процедура, приводящая к изменению коэффициента инжекции (смешения) за счет изменения диаметра соплового аппарата элеватора, к сожалению, не обеспечивала расчетное количества тепловой энергии для отопления потребителей. В силу этого, и для больших возможностей регулирования, предполагалось, что в контуре регулирования системы отопления будет смонтирована перемычка, содержащая корректирующий насос с частотно-регулируемым электроприводом. Эта мера позволит избежать подачи избыточного количества тепла на отопление зданий в период нижнего спрямления температурного графика.

5.6. Капитальные затраты в реконструкцию ИТП (абонентских установок потребителей)

К сожалению, если вы имеете дело с действующей СЦТ, введенной в эксплуатацию 30 – 40 лет назад, в ней существует многообразие схем присоединения потребителей (абонентских установок) к тепловым сетям. И часть из них могут быть присоединены к тепловым сетям минуя ЦТП. При пересмотре температурных графиков это приводит к необходимости осуществить наладку (а иногда замену) технических устройств, размещенных на абонентских вводах. Точная оценка затрат на наладку затруднительна, но

возможна на основании ретроспективных данных, которыми обладают эксплуатирующие организации.

5.7. Суммарные капитальные затраты в пересмотр температурных графиков

В таблице 2 приведены общие капитальные затраты в пересмотр температурного графика на одной из СЦТ РФ, которая была введена в эксплуатацию 37 лет назад. Температурный график, выбранный в процессе проектирования, соответствовал расчетным значениям теплоносителя с температурами 150/70 °С. За прошедшие 37 лет ни разу не исполнялся.

Для этой СЦТ были разработаны и прошли процедуру калибровки все модели описанные выше. Расчеты выполнялись последовательно с изменением расчетного температурного графика в сторону его снижения до температуры теплоносителя в подающем теплопроводе равной 95°С. Дальнейшее ее снижение считалось не целесообразным в силу заданных неизменных условий функционирования внутридомовых систем отопления жилых и общественных зданий, системы отопления которых были присоединены к тепловым сетям этой СЦТ.

Таблица 2. Суммарные капитальные затраты при переходе на пониженный график, млн руб. с НДС

Вид капитальных затрат	Значения температур теплоносителя при расчетной температуре наружного воздуха, °С			
	130/70	115/70	110/70	95/70
Затраты на реконструкцию ТФУ источника тепловой энергии	18,0	18,0	18,0	40,3
Затраты на реконструкцию тепловых сетей	6,8	55,8	112,2	222,9
Строительство ПНС	0,0	0,0	0,0	219,3
Затраты на реконструкцию ЦТП	10,4	10,6	10,7	12,4
Затраты на реконструкцию абонентских вводов	2,5	2,5	2,5	2,5
Всего капитальные затраты	37,7	86,9	143,4	497,4

6. Оценка изменения операционных затрат при пересмотре температурных графиков

6.1. Общие положения

При пересмотре температурных графиков изменяются и операционные затраты на выработку тепла на источнике тепловой энергии и ее передачу по тепловым сетям, связанные с изменением расходов энергетических ресурсов (электроэнергии, тепла и теплоносителя). Например, при снижении температуры теплоносителя (расчетной и средней за отопительный период) в тепловых сетях можно ожидать снижения тепловых потерь через изоляционные конструкции теплопроводов и как следствие, сокращению затрат топлива на выработку тепла для компенсации этих потерь. Но при этом, возрастают затраты на электроэнергию для передачи теплоносителя по тепловым сетям в связи с увеличением его расхода.

Также, снижение температуры теплоносителя может привести к снижению затрат на аварийно-восстановительные работы в тепловых сетях, например, за счет снижения градиентов температурных напряжений в металле трубопроводов тепловых сетей. Оценка

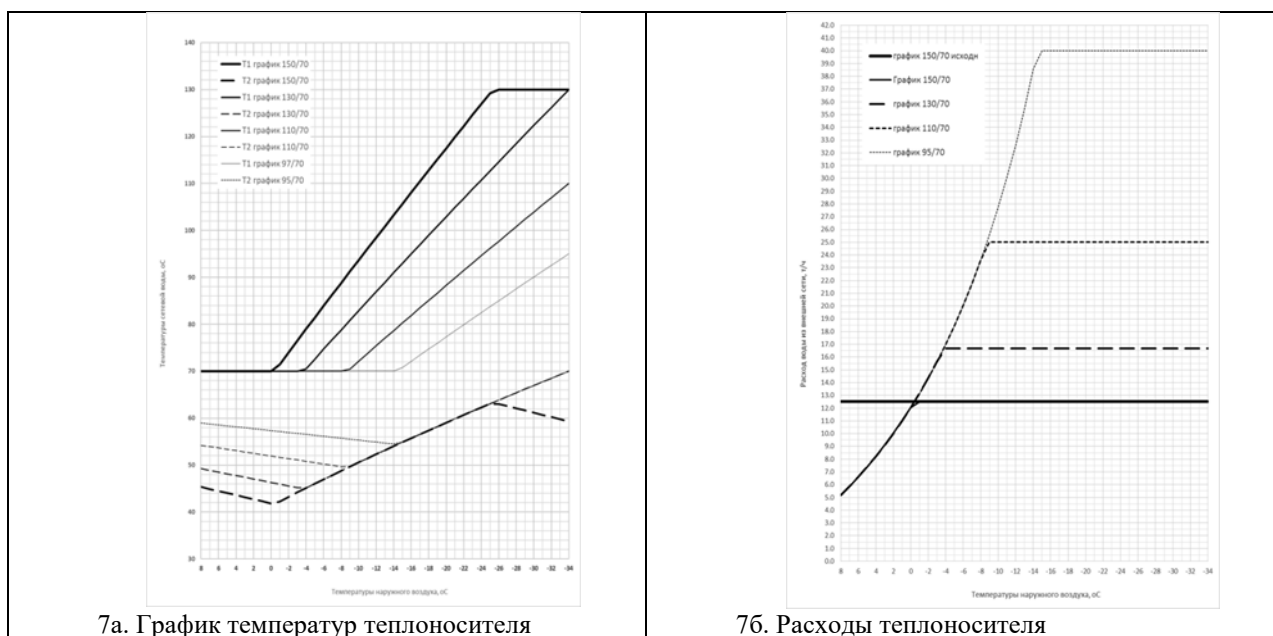
этих изменений должна быть выполнена с целью использования в тарифно-балансовой модели.

Потребность в таких оценках тем более важна, так как в большинстве будущих проектов перехода от существующих СЦТ к СЦТ четвертого и пятого поколений [13], низкие температуры теплоносителя являются предпочтительными.

6.2. Затраты электроэнергии на передачу теплоносителя

6.2.1. Общие положения

При оценке затрат электроэнергии на передачу тепловой энергии выделяются две основных проблемы. Первая – необходимость учета затрат электроэнергии на функционирование сетевых насосов (ТФУ) источника тепловой энергии и отнесения их на передачу тепловой энергии (вместо их учета в полезном отпуске тепловой энергии с коллекторов истопника). Вторая – это смещение точки нижнего спрямления температурного графика в область низких температур (см. рисунок 7).



7а. График температур теплоносителя

7б. Расходы теплоносителя

Рисунок 7. Девияция точки нижнего спрямления температурного графика и расход теплоносителя

Смещение точки нижнего спрямления температурного графика существенно влияет на количество тепла отпущенного потребителям из тепловой сети в том случае, когда ЦТП и ИТП не оборудованы приборами автоматического регулирования потребления тепловой энергии и/или устройствами для изменения расхода теплоносителя. Таким образом, пересмотр температурного графика в сторону, например, его снижения, в СЦТ с низким уровнем автоматизации режимов теплоснабжения и отпуска тепловой энергии приводит к отпуску тепловой энергии превышающим спрос на нее. Чем ниже температурный график в существующих тепловых сетях, спроектированных на повышенный температурный график, тем при большем диапазоне температур наружного воздуха будет нарушен баланс спроса и предложения.

6.2.2. Затраты электроэнергии на ТФУ источника тепловой энергии

Затраты электроэнергии на ТФУ источника тепла, связанные с увеличением расхода теплоносителя и возможного изменения перепадов давления на его коллекторах выполнены в соответствии с [15]. Калибровка расчетов проводилась по результатам фактических данных расходов электроэнергии на сетевых и подпиточных насосах котельной. Расходы электроэнергии были отнесены к количеству тепла, отпущенного с коллекторов источника тепловой мощности и зарегистрированного приборами учета тепловой энергии.

6.2.3. Затраты электроэнергии на ПНС

Затраты электроэнергии на повысительных насосных станциях, станциях смешения и, иногда, зарядно-разрядных станциях аккумулирования горячей воды в квартальных тепловых сетях оценены в соответствии с [16]. В силу отсутствия в действующей СЦТ повысительных насосных станций, станций смешения и аккумуляторов горячей воды калибровка модели оценки расхода электроэнергии проводилась по данным других СЦТ.

Поскольку наличие повысительной насосной станции обосновано гидравлическим расчетом только для температурного графика 95/70, затраты электроэнергии на ее функционирование были определены после выбора насосного оборудования.

6.2.4. Затраты электроэнергии на ЦТП

Затраты электроэнергии на функционирование насосного оборудования, установленного на ЦТП действующей СЦТ были определены в соответствии с [16] с использованием таблиц 6.11 и 6.12, представленных в [17]. При этом предполагалось, что в существующем исполнении на ЦТП установлены только группа насосов холодного водоснабжения и насосы в линии циркуляции внутриквартальной системы горячего водоснабжения. Калибровка оценочных расчетов, осуществлялась по данным фактических расходов электроэнергии на действующих ЦТП.

После осуществления реконструкции ЦТП к перечисленному насосному оборудованию добавляются корректирующие насосы с частотно-регулируемым электроприводом для регулирования расхода теплоносителя во внутриквартальной системе отопления. Насосы выполняют свою функцию после точки нижнего спрямления и верхней срезки температурного графика.

6.2.5. Суммарные расходы электроэнергии в СЦТ при корректировке температурного графика

Оценка суммарных затрат электроэнергии на передачу теплоносителя по тепловым сетям, отнесенным к отпущенной потребителям тепловой энергии при пересмотре температурных графиков приведена на рисунке 8.

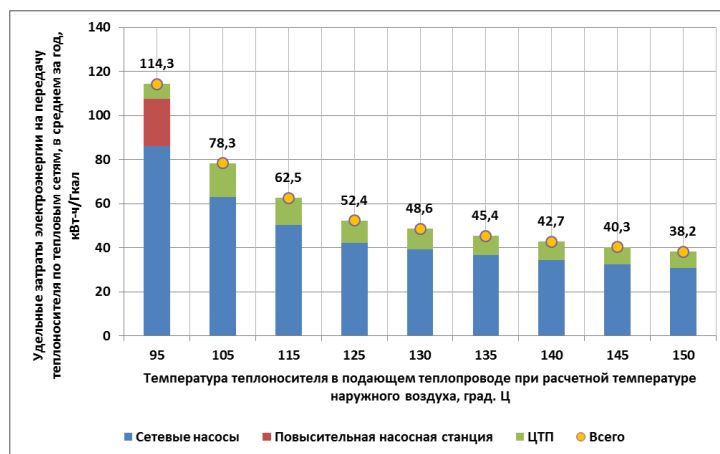


Рисунок 8. Удельный расход электроэнергии на передачу теплоносителя

Напомним, что в общие затраты электроэнергии на передачу теплоносителя по тепловым сетям, включены также, затраты электроэнергии на сетевых насосах источника тепловой энергии. Они составляют от 73% до 80% суммарных затрат электроэнергии на передачу теплоносителя. В дополнение к затратам электроэнергии на сетевых насосах при температурном графике 95/70 учтены затраты электроэнергии на повысительной насосной станции, которую необходимо построить для обеспечения нормативных перепадов давления на абонентских вводах потребителей.

Результаты оценки суммарных затрат электроэнергии на передачу теплоносителя в распариваемой СЦТ приведены в таблице 3.

Таблица 3. Затраты электроэнергии на передачу теплоносителя по тепловым сетям

Расход электроэнергии за год, тыс. кВт·ч	Значения температур теплоносителя при расчетной температуре наружного воздуха, °С				
	150/70	130/70	115/70	110/70	95/70
Сетевые и прочие насосы ТФУ источника	462	610	780	866	1329
Повысительная насосная станция	0	0	0	0	880
Насосы на ЦТП и ИТП	25	29	30	35	30
Всего на передачу теплоносителя	487	639	810	901	2239

6.3. Затраты на теплоноситель для компенсации потерь при его передаче по тепловым сетям

Оценка затрат теплоносителя для компенсации его потерь при передаче по тепловым сетям выполнена в соответствии с [18]. Технологические ПСВ являются производственными затратами сетевой воды. К ПСВ с утечкой относятся:

- технологические потери (затраты) сетевой воды, превышающие технически обоснованные значения;
- потери сетевой воды при нарушениях нормальных режимов работы систем теплоснабжения, связанных с нарушением плотности (повреждениями) тепловой сети или систем теплоснабжения и с проведением аварийно-восстановительных работ по их устранению;

- потери сетевой воды с ее сливом или отбором из тепловой сети или систем теплоснабжения на удовлетворение потребностей в тепловой энергии или воде, не предусмотренных техническими решениями и договорными отношениями.

Утечки сетевой воды через неплотности трубопроводов, арматуры и оборудования в пределах установленного нормативными документами значения как технически неизбежные при транспорте тепловой энергии также относятся к производственным потерям.

При пересмотре температурных графиков и выполнении необходимых действий капитального характера для перехода с одного температурного графика на другой, формируются следующие влияющие факторы. При снижении температуры теплоносителя в подающем теплопроводе тепловой сети требуется, как правило, замена некоторых участков тепловой сети на участки с увеличенными диаметрами. Это приводит к увеличению объема тепловой сети и, как следствие, увеличению нормативного (расчетного) расхода ее подпитки.

Оценка затрат теплоносителя на компенсацию его потерь при передаче по тепловым сетям приведена в таблице 4.

Таблица 4. Оценка затрат теплоносителя на компенсацию его потерь при передаче тепла по тепловым сетям

Затраты теплоносителя за год, тыс. м ³	Значения температур теплоносителя при расчетной температуре наружного воздуха, °С				
	150/70	130/70	115/70	110/70	95/70
Расход теплоносителя на компенсацию его потерь при передаче по тепловым сетям СЦТ	38,4	38,4	38,5	38,8	39,8

6.4. Затраты на компенсацию потерь тепловой энергии при ее передаче по тепловым сетям

Оценка затрат тепловой энергии для компенсации ее потерь при передаче по тепловым сетям выполнена в соответствии с [19]. Энергетическая характеристика устанавливает зависимость тепловых потерь от конструктивных характеристик тепловых сетей, режимов их работы, внешних климатических факторов с учетом условий эксплуатации и их технического состояния.

Тепловые потери в конкретных тепловых сетях являются величиной индивидуальной как в абсолютном, так и в относительном виде и не могут без дополнительного анализа являться показателем для сравнительной оценки энергетической эффективности транспорта и распределения тепловой энергии различных тепловых сетей или приниматься в качестве аналогов для других тепловых сетей.

Тепловые потери при транспорте и распределении тепловой энергии состоят из потерь тепловой энергии через теплоизоляционные конструкции и потерь тепловой энергии с потерями сетевой воды.

Оценка затрат тепловой энергии, выработанной на источнике тепловой мощности, для компенсации ее потерь при передаче тепла по тепловым сетям приведена в таблице 5.

Таблица 5. Оценка затрат тепловой энергии на компенсацию ее потерь при передаче тепла по тепловым сетям

Затраты тепловой энергии за год, тыс. Гкал	Значения температур теплоносителя при расчетной температуре наружного воздуха, °С				
	150/70	130/70	115/70	110/70	95/70
Расход тепловой энергии на компенсацию ее потерь при передаче по тепловым сетям СЦТ	59,2	57,5	56,8	56,7	57,7

Следует отметить, что ожидаемое снижение нормируемых потерь тепловой энергии по тепловым сетям, возникающее из-за снижения температур теплоносителя, практически компенсируется их увеличением, за счет роста диаметров теплопроводов тепловых сетей и, следовательно, поверхности их теплообмена. В свою очередь рост диаметров теплопроводов обосновывается необходимой пропускной способностью для обеспечения потерь давления при повышенных расходах теплоносителя.

6.5. Затраты на ремонты тепловых сетей

Оценка затрат на ремонт тепловых сетей, как показано в разделе 2.3 настоящей статьи, выполнена с использованием модели полного восстановления отказавших участков тепловой сети. Она позволила выполнить оценку количества отказов в тепловых сетях период их функционирования до 2052 года. Оценка отказов проводилась для каждого диаметра теплопровода тепловой сети СЦТ, стратифицированных по типам прокладок теплопроводов.

Алгоритм оценок состоял в следующем:

- По данным отказов в тепловых сетях конкретной СЦТ, на основе обработки и анализа статистической информации, вычислялись параметры масштабов и формы в распределении Вейбулла, индивидуальные для каждого диаметра теплопровода и вида его прокладки (надземная и подземная).
- Если данных по отказам в конкретной СЦТ было недостаточно для получения достоверного анализа к массиву данных добавлялись данные об отказах в тепловых сетях аналогичных СЦТ. Однородность данных доказывалась каждый раз, когда выполнялось объединение выборок.
- Для каждого диаметра теплопровода (с учетом типа его прокладки и количества отказов в базовой точке), вычислялась вероятность отказа за каждый год рассматриваемого интервала.
- Вероятность отказа, умноженная на количество элементов (отрезков теплопровода по 10 метров), и округленная до целого значения, позволяла вычислять количество отказов в теплопроводе протяженностью L.

- Для поддержания теплопровода в рабочем состоянии, каждый из отказавших элементов заменялся на аналогичный. Стоимость замены принималась по данным теплоснабжающей компании и корректировалась по данным [20].
- Каждый замененный элемент начинал функционировать в теплопроводе как новый элемент, обладающий новым назначенным ресурсом.
- Срок службы теплопровода с постоянным обновлением элементов вычислялся как средневзвешенный, с учетом интенсивности их замены.

На рисунке 9 приведены результаты расчета стоимости замены участков тепловых сетей, необходимых для поддержания тепловых сетей СЦТ в работоспособном состоянии при температурном графике 150/70. Результаты расчетов показывают, что в период с 2020 по 2036 год основной поток отказов и следовательно капитальных ремонтов, сосредоточен в области распределительных тепловых сетей с условными диаметрами от 250 мм до 42 мм. Интенсивность отказов в таких тепловых сетях растет с 2020 по 2031 год и затем начинает уменьшаться ввиду значительного количества замененных, вышедших из строя, элементов. Средневзвешенный срок службы этих трубопроводов постепенно снижается (ввиду интенсивной их замены на новые).

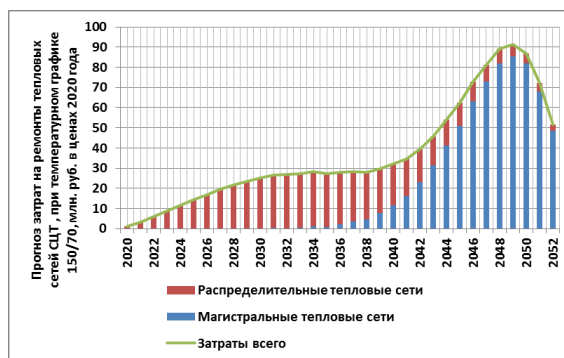


Рисунок 9. Стоимость замены (капитального ремонта) участков тепловых сетей

В период с 2036 по 2049 год происходит интенсивный рост отказов магистральных теплопроводов с условными диаметрами от 300 до 1000 мм. Интенсивность отказов элементов с большими диаметрами приводит к интенсивному росту стоимости их замены. По мере накопления эффекта замены «старые на новые» и обновления магистральных теплопроводов с 2050 года снижается интенсивность их отказов и, следовательно, стоимость их замены. Следует, однако, заметить, что использованная модель является хоть и не противоречивой, но не учитывающей ряда особенностей, связанных с выполнением ремонтов в период отопительного периода. В этот период из-за жестких требований, накладываемых на время восстановления теплоснабжения, ремонты выполняются не с заменой отказавшего участка на новый, а с частичным восстановлением его свойств. Это позволяет восстановить теплоснабжение, но замененный участок будет функционировать с ухудшенными свойствами и, следовательно, сокращённым сроком жизни. Такие модели существуют, смотри, например, [21]. Однако, для ее использования не хватает статистического материала о характеристиках отказов ремонтируемых тепловых сетей.

Прогнозные модели надежности, основанные на статистическом материале об отказах в тепловых сетях, собранных при функционировании СЦТ с температурными графиками 150/70 были дополнены детерминированными зависимостями, характеризующими прочность и износа тепловых сетей. Эти зависимости связывали температуру теплоносителя в подающих и обратных теплопроводах и их долговременную и циклическую прочность. В моделях использовались соотношения, приведенные в [22] и [23]. Более подробно описание гибридных моделей расчета надежности приведено в [24]. Результаты оценок отказов в тепловых сетях с различными температурами теплоносителя приведены на рисунке 10.

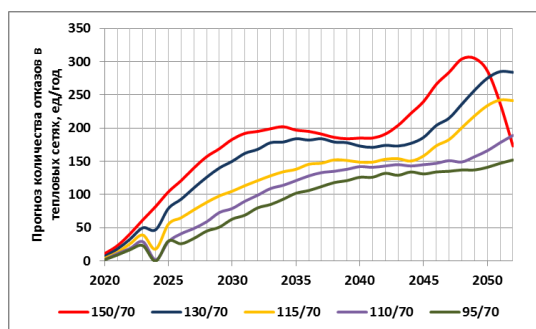


Рисунок 10. Прогноз количества отказов в тепловых сетях

Результаты расчетов показывают, что в зависимости от температуры теплоносителя, как средней за отопительный период, так и максимальной, в периоды расчетных (минимальных) температур наружного воздуха, изменяются интенсивность и количество отказов в целом за год эксплуатации и по годам прогнозного периода. Выявлены следующие особенности пересмотра температурных графиков на интенсивность отказов:

- чем ниже температура теплоносителя, тем меньше интенсивность отказов в тепловых сетях;
- при снижении температуры теплоносителя увеличивается циклическая прочность тепловых сетей, что приводит к снижению вероятности отказов в тепловых сетях;
- снижение вероятности отказов выражается в снижении абсолютного числа отказов и, как следствие, снижении затрат на замену отказавших участков.

Этот механизм близок к механизму целевого снижения температуры острого пара перед турбиной при достижении срока ее назначенного (продленного) ресурса по данным прочностных расчетов.

При оценке интенсивности отказов в тепловых сетях учитывались замены некоторых участков тепловых сетей, определяемых по результатам расчетов ТГМ. Также учитывалось, что реконструкция этих участков с увеличением диаметра теплопроводов будет выполнена за 1 год (с 2023 по 2024 год). По этой причине с 2023 по 2024 год заметно снижение количества отказов тепловых сетях. Чем больше тепловых сетей заменяется по причине требований пропускной способности при снижении температуры теплоносителя, тем глубже это снижение.

7. Результаты расчетов тарифно-балансовой модели

Результаты расчетов с использованием тарифно-балансовой модели приведены на рисунке 11.

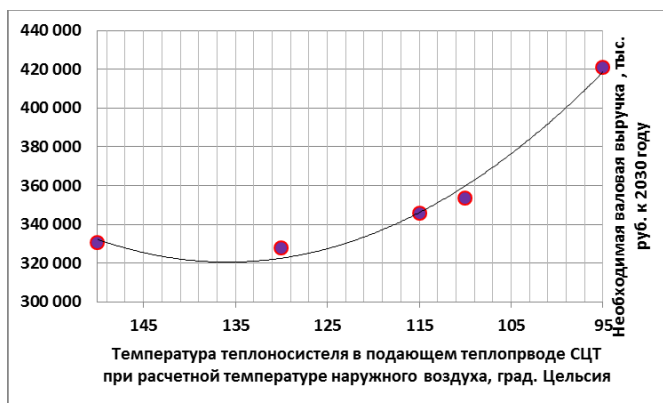


Рисунок 11. НВВ СЦТ при пересмотре температурных графиков

Результаты расчетов показывают, что значение НВВ при пересмотре температурных графиков в сторону снижения их расчетных значений со 150 до 120 градусов Цельсия изменяется незначительно, и строго говоря, в пределах погрешности многофакторной тарифно-балансовой модели. Так, например, пересмотр температурного графика со значений «150/70» на «130/70» позволит сократить НВВ всего лишь на 0,8%. Однако дальнейшее снижение температур теплоносителя показывает, что НВВ прирастает с темпом 2,7 млн. руб. на градус температуры теплоносителя. НВВ достигает максимального значения при переходе на температурный график «95/70» и ее прирост относительно действующего температурного графика (150/70) составит 28%.

Объясняется это следующими причинами:

- Сокращение потерь тепловой энергии через изоляционные конструкции теплопроводов при ее передаче по тепловым сетям, вызванное снижением температуры теплоносителя в подающем и обратном теплопроводах тепловых сетей компенсируется увеличением потерь тепловой энергии в связи с увеличением их поверхности, связанных с необходимостью увеличения диаметра. В свою очередь, увеличение диаметра теплопроводов диктуется необходимой пропускной способностью при увеличении расхода теплоносителя. Таким образом, снижение затрат на компенсацию потерь тепловой энергии через изоляционные конструкции теплопроводов при ее передаче по тепловым сетям является незначительным и в составе затрат на передачу не превышает 0,1% от всех затрат.
- Сокращение потерь тепловой энергии связанных с потерями теплоносителя при ее передаче по тепловым сетям, вызванное снижением температуры теплоносителя, также компенсируется увеличением потерь теплоносителя в связи с увеличением объема тепловых сетей. Снижение затрат на компенсацию потерь тепловой энергии, связанных с потерями теплоносителя, является еще более незначительным в составе затрат на передачу и не превышает 0,1% от всех затрат.
- Снижение температуры теплоносителя приводит к ощутимой экономии потерь тепловой энергии при ее передаче в том случае, если существующие тепловые сети

спроектированы и построены для обеспечения теплоснабжения значительно большего количества потребителей (по спросу на тепловую мощность), чем зафиксировано в существующем состоянии. В этом случае тепловые сети имеют значительный запас по пропускной способности и не потребуют увеличения диаметра и объема теплопроводов тепловых сетей. Но и в этом случае НВВ изменяется в пределах погрешности ее расчета.

- Увеличение затрат электроэнергии на передачу теплоносителя, связанного увеличением его расхода при снижении температур теплоносителя, также не вносит существенного вклада в НВВ теплоснабжающей компании, эксплуатирующей СЦТ. Если, как предполагается в проекте пересмотра температурного графика, будет осуществлена реконструкция ТФУ источника тепловой энергии и существующих ЦТП, с установкой корректирующих насосов с частотно-регулируемым электроприводом, то увеличение затрат на электроэнергию приведет к повышению НВВ в пределах 0,3% - 0,4 % от всех затрат на передачу тепловой энергии.

8. Выводы по результатам исследований

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- пересмотр температурного графика в сторону его снижения от принятых проектных значений в СЦТ с низкой оснащенностью системами автоматического регулирования (прежде всего ТФУ, ЦТП и ИТП) приводит к перемещению точки нижнего спрямления температурного графика в сторону более низких температур наружного воздуха. Отсутствие систем автоматического регулирования, позволяющих осуществлять помимо центрального качественного регулирования, количественное регулирование расхода теплоносителя на ЦТП и ИТП, приведет к перерасходу тепловой энергии в зоне с температурами наружного воздуха выше, чем точка нижнего спрямления температурного графика. Перерасход тепловой энергии в этой зоне приводит к превышению температуры внутри отапливаемых помещений допустимых комфортных значений. Как следствие, пересмотр температурного графика в сторону его снижения от проектных значений должен сопровождаться проектами установки систем автоматического регулирования на ТФУ, ЦТП и ИТП с расчетом капитальных затрат на их реализацию;

- пересмотр температурного графика в сторону его снижения от принятых проектных значений приводит увеличению расчетного расхода теплоносителя (как правило, в точке нижнего спрямления температурного графика). В свою очередь, увеличение расчетного расхода теплоносителя требует пересмотра гидравлического режима передачи теплоносителя по тепловым сетям и реконструкции тепловых сетей с увеличением диаметров теплопроводов. Капитальные затраты на реконструкцию теплопроводов должны учитываться в проектах пересмотра температурных графиков;

- в некоторых случаях, при существенном снижении расчетной температуры теплоносителя, реконструкции тепловых сетей с увеличением диаметра теплопроводов является недостаточным. В этом случае для обеспечения нормативной (необходимой) пропускной способности тепловых сетей требуется строительство повысительной насосной станции. Капитальные затраты в строительство ПНС также должны быть учтены при пересмотре температурных графиков.

- пересмотр температурного графика в сторону его снижения от принятых проектных значений для СЦТ с зависимым присоединением абонентских установок к

тепловым сетям, приводит к необходимости их наладки с установкой новых сопловых аппаратов элеваторов для изменения коэффициента инжекции;

- снижение температуры теплоносителя в подающем и обратном теплопроводах тепловых сетей хоть и приводит к сокращению потерь тепловой энергии через изоляционные конструкции теплоносителя и потерями теплоносителя, но практически полностью компенсируется увеличением потерь тепловой энергии в связи с увеличением их поверхности, связанных с необходимостью увеличения диаметра и объема тепловой сети;

- увеличение затрат электроэнергии на передачу теплоносителя, связанного увеличением его расхода при снижении температур теплоносителя, оказывается существенным только в том случае, если учитываются затраты на сетевых насосах источника тепловой энергии. В случае осуществления реконструкция ТФУ источника тепловой энергии и существующих ЦТП, с установкой корректирующих насосов с частотно-регулируемым электроприводом, увеличение затрат на электроэнергию на передачу теплоносителя и тепловой энергии не окажет существенного влияния на НВВ эксплуатирующей организации;

- пересмотр температурного графика в сторону его снижения от принятых проектных значений для СЦТ приводит к снижению затрат на аварийно-восстановительные и капитальные ремонты тепловых сетей из-за повышения их циклической прочности. Одновременно с этим продлевается назначенный ресурс теплопроводов. Оценки показывают, что снижение температурного графика от расчетных значений 150/70 до значений 110/70 позволяют продлить назначенный ресурс теплопроводов минимум на 12% от нормативного значения;

- таким образом, пересмотр температурных графиков в сторону их снижения от проектных значений предпочтителен в случае наличия избыточной пропускной способности тепловых сетей (недогруженная тепловая сеть) и высокой оснащенностью системами автоматического регулирования;

- оптимальное снижение температурного графика от расчетного его значения, установленного при проектировании и изготовлении должно оцениваться с учетом необходимых капитальных затрат на его пересмотр и прежде всего зависит от их величины. Для большинства СЦТ предпочтительным оказывается снижение температурного графика на 20-25 градусов от его проектного значения.

9. Список использованной литературы

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети
2. Зингер Н.М., Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.
3. Михайловский Е.А., Разработка и апробация технологии объектно-ориентированного моделирования гидравлических цепей на примере задач потокораспределения. Дис. на соиск. учен. степени к-та техн. наук, 2018., 142 с. Иркутск, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева, СО РАН.
4. Хасилев В. Я., Меренков А.П., Каганович Б.М. и др., Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.
5. ООО «Политерм». <https://www.politerm.com/products/thermo/zuluthermo/>

6. Zulu Thermo. Руководство пользователя. – Политерм – 514 с.
<https://www.politerm.com/download/zulu/ZuluThermo.pdf>
7. Методические указания по разработке схем теплоснабжения. Приказ Минэнерго России от 5 марта 2019 года № 212
8. Сеннова Е.Н., Кирюхин С.Н. Методика и алгоритм расчета надежности тепловых сетей при разработке схем теплоснабжения городов.
https://www.rosteplo.ru/Npb_files/metod_1590.zip
9. ПК «Статистика 8.0»: обзор методов анализа и руководство пользователя.
http://csm.donntu.org/sites/default/files/resources/6_statistica_version6_smallbook.pdf
10. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. № 325 "Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии.
11. Методические указания по расчету регулируемых цен (тарифов) в сфере теплоснабжения (с изменениями и дополнениями). Утверждены приказом Федеральной службы по тарифам от 13 июня 2013 г. № 760-э
12. СП 41-101-95 Проектирование тепловых пунктов.– М.: Минстрой России, 1996.– 165 с.
13. Buffa S., Fouladfar M.H., Franchini G., Lozano G.I., Chicote A.M. Advanced Control and Fault Detection Strategies for District Heating and Cooling Systems. Appl. Sci. 2021, 11, 455. <https://doi.org/10.3390/app11010455/> Published: 5 January 2021
14. Миргородский А.И. О температурных графиках. Журнал «Новости теплоснабжения» №8 (216) 2018 г. , www.rosteplo.ru/nt/216
15. Методика расчета расхода электроэнергии на собственные нужды и потерь электроэнергии при производстве и поставке электроэнергии электрическими станциями на оптовый рынок электроэнергии. Приложение № 2 к Соглашению об апробации Концепции учета собственных нужд электростанций между НП «АТС». 2007 г.
16. Методические указания по составлению энергетических характеристик для систем транспорта тепловой энергии по показателям «разность температур сетевой воды в подающих и обратных трубопроводах» и «удельный расход электроэнергии», Утверждены приказом Министерства энергетики РФ № 278 от 30 июня 2003 г., СПО «ОРГРЭС», Москва 2003, 20 с.
17. Прядок определения нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии, теплоносителя. Приказ Минэнерго России 30.12.2003 (в редакции приказа Минэнерго от 10.08.2012 № 377), 68 с.
18. Методические указания по составлению энергетической характеристики для систем транспорта тепловой энергии по показателю «потери сетевой воды» Утверждены приказом Министерства энергетики РФ № 278 от 30 июня 2003 г., СПО «ОРГРЭС», Москва 2003, 28 с.
19. Методические указания по составлению энергетической характеристики для систем транспорта тепловой энергии по показателю «тепловые потери». Утверждены приказом Министерства энергетики РФ № 278 от 30 июня 2003 г., СПО «ОРГРЭС», Москва 2003, 60 с.

20. Приказ Минстроя России от 30 декабря 2019 года №916/пр «Об утверждении укрупнённых нормативов цены строительства». НЦС 81-03-13-2020. Сборник 13. Наружные тепловые сети.
21. Анкудинов А.В., Антонов А.В., Чепурко В.А. Исследование характеристик процессов Кижима - Сумиты при возрастающей функции интенсивности // Надежность. 2019. №3. С. 7-11. DOI: 10.21683/1729-2646-2019-19-3-7-11
22. Методика вероятностной оценки остаточного ресурса технологических стальных трубопроводов, М.: НТП «Трубопровод», 1997 г. Согласована Госгортехнадзором России 11.01.1996 г.
23. ОСТ 153-39.4-010-2002 Методика определения остаточного ресурса нефтегазопромысловых трубопроводов и трубопроводов головных сооружений. Утверждена приказом Минэнерго России от 5.08.2002 № 255
24. Разработка концепции перевода теплоснабжения в городах Уфа, Благовещенск, Стерлитамак, Салават, Ишимбай, Сибай, Нефтекамск, Агидель на пониженный температурный график" для ООО «БашРТС». Отчет о научно-исследовательской работе, выполненный в рамках выполнения программы научных исследований, опытно-конструкторских, опытно-технологических работ Группы «Интер РАО» на 2019-2023 годы. ОАО «ВТИ». Москва 2020 год, 373 стр.