



ОБОСНОВЫВАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

К СХЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ОКРУГА ГОРОД СТЕРЛИТАМАК РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН НА ПЕРИОД ДО 2033 ГОДА

(АКТУАЛИЗАЦИЯ НА 2020 ГОД)

ГЛАВА 3 «ЭЛЕКТРОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ»

СОСТАВ РАБОТЫ

Наименование документа	Шифр
Схема теплоснабжения городского округа город Стерлитамак Республики Башкортостан на период до 2033 года (актуализация на 2020 год)	80445.СТ-ПСТ.000.000
<i>Обосновывающие материалы к схеме теплоснабжения городского округа город Стерлитамак Республики Башкортостан на период до 2033 года (актуализация на 2020 год)</i>	
Глава 1 «Существующее положение в сфере производства, передачи и потребления тепловой энергии для целей теплоснабжения»	80445.ОМ-ПСТ.001.000
Приложение 1 «Тепловые нагрузки и потребление тепловой энергии абонентами»	80445.ОМ-ПСТ.001.001
Приложение 2 «Тепловые сети»	80445.ОМ-ПСТ.001.002
Приложение 3 «Оценка надежности теплоснабжения»	80445.ОМ-ПСТ.001.003
Приложение 4 «Существующие гидравлические режимы тепловых сетей»	80445.ОМ-ПСТ.001.004
Приложение 5 «Графическая часть»	80445.ОМ-ПСТ.001.005
Глава 2 «Существующее и перспективное потребление тепловой энергии на цели теплоснабжения»	80445.ОМ-ПСТ.002.000
Приложение 1 «Характеристика существующей и перспективной застройки и тепловой нагрузки по элементам территориального деления»	80445.ОМ-ПСТ.002.001
Глава 3 «Электронная модель систем теплоснабжения»	80445.ОМ-ПСТ.003.000
Приложение 1 «Инструкция пользователя»	80445.ОМ-ПСТ.003.001
Приложение 2 «Руководство администратора»	80445.ОМ-ПСТ.003.002
Глава 4 «Существующие и перспективные балансы тепловой мощности источников тепловой энергии и тепловой нагрузки потребителей»	80445.ОМ-ПСТ.004.000
Приложение 1 «Перспективные гидравлические режимы тепловых сетей»	80445.ОМ-ПСТ.004.001
Глава 5 «Мастер-план развития систем теплоснабжения»	80445.ОМ-ПСТ.005.000
Глава 6 «Существующие и перспективные балансы производительности водоподготовительных установок и	80445.ОМ-ПСТ.006.000

Наименование документа	Шифр
максимального потребления теплоносителя теплопотребляющими установками потребителей, в том числе в аварийных режимах»	
Глава 7 «Предложения по строительству, реконструкции и техническому перевооружению источников тепловой энергии»	80445.ОМ-ПСТ.007.000
Приложение 1 «Графическая часть»	80445.ОМ-ПСТ.007.001
Глава 8 «Предложения по строительству и реконструкции тепловых сетей»	80445.ОМ-ПСТ.008.000
Глава 9 «Предложения по переводу открытых систем теплоснабжения (горячего водоснабжения) в закрытые системы горячего водоснабжения»	80445.ОМ-ПСТ.009.000
Глава 10 «Перспективные топливные балансы»	80445.ОМ-ПСТ.010.000
Глава 11 «Оценка надежности теплоснабжения»	80445.ОМ-ПСТ.011.000
Глава 12 «Обоснование инвестиций в строительство, реконструкцию и техническое перевооружение»	80445.ОМ-ПСТ.012.000
Глава 13 «Индикаторы развития систем теплоснабжения»	80445.ОМ-ПСТ.013.000
Глава 14 «Ценовые (тарифные) последствия»	80445.ОМ-ПСТ.014.000
Глава 15 «Реестр единых теплоснабжающих организаций»	80445.ОМ-ПСТ.015.000
Приложение 1 «Графическая часть»	80445.ОМ-ПСТ.015.001
Глава 16 «Реестр проектов схемы теплоснабжения»	80445.ОМ-ПСТ.016.000
Глава 17 «Замечания и предложения к проекту схемы теплоснабжения»	80445.ОМ-ПСТ.017.000
Глава 18 «Сводный том изменений, выполненных в актуализированной схеме теплоснабжения»	80445.ОМ-ПСТ.018.000

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень рисунков	5
1 Общие сведения о разработанной электронной модели системы теплоснабжения города Стерлитамак	6
2 Актуализация электронной модели системы теплоснабжения города Стерлитамак	9
3 Расчетные модули «CityCom-ТеплоГраф»	11
3.1 Общие положения	11
3.2 Базовый комплекс ИГС «CityCom-ТеплоГраф»	12
3.3 Подсистема «Гидравлика»	12
3.3.1 Расчет номинального гидравлического режима	13
3.3.2 Расчет текущего (фактического) гидравлического режима	13
3.3.3 Моделирование переключений	14
3.3.4 Модельные базы	15
3.3.5 Пьезометрические графики	16
3.3.6 Групповые изменения характеристик нагрузок абонентов тепловой сети по заданным критериям	17
3.3.7 Групповые изменения характеристик участков тепловой сети по заданным критериям	19
3.3.8 Табличные и графические аналитические инструменты	20
3.3.9 Расчет потерь тепловой энергии через изоляцию и с утечками теплоносителя	21
3.3.10 Наладочный расчет тепловой сети	22
4 База данных ООО «БашРТС»	23
5 Этапы актуализации ООО «БашРТС»	24
5.1 Информационно-графическое описание объектов системы теплоснабжения	24
5.2 Описание топологической связности объектов системы теплоснабжения	31
5.3 Отладка и калибровка электронной модели	31
5.4 Моделирование перспективных вариантов развития системы теплоснабжения	37

ПЕРЕЧЕНЬ РИСУНКОВ

Рисунок 1.1 - Изображение электронной модели городского округа город Стерлитамак..	8
Рисунок 5.1 - Визуальное отображение структуры тепловых сетей	30
Рисунок 5.2 - Варианты отчетов, формируемых при работе в электронной модели.....	33
Рисунок 5.3 - Экран со свойствами ветви в перспективных базах электронной модели .	38

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗРАБОТАННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА СТЕРЛИТАМАК

Электронная модель системы теплоснабжения городского округа город Стерлитамак Республики Башкортостан разрабатывалась в рамках утвержденной схемы теплоснабжения в целях:

- повышения эффективности информационного обеспечения процессов принятия решений в области текущего функционирования и перспективного развития системы теплоснабжения города;
- проведения единой политики в организации текущей деятельности предприятий и в перспективном развитии всей системы теплоснабжения города;
- обеспечения устойчивого градостроительного развития города;
- разработки мер для повышения надежности системы теплоснабжения города;
- минимизации вероятности возникновения аварийных ситуаций в системе теплоснабжения;
- создания единой информационной платформы для обеспечения мониторинга развития.

Разработанная электронная модель предназначена для решения следующих задач:

- создание общегородской электронной схемы существующих и перспективных тепловых сетей и объектов системы теплоснабжения города Стерлитамак, привязанных к электронной карте города;
- оптимизация существующей системы теплоснабжения (оптимизация гидравлических режимов, моделирование перераспределения тепловых нагрузок между источниками, определение оптимальных диаметров проектируемых и реконструируемых тепловых сетей и теплосетевых объектов и т.д.);

- моделирование перспективных вариантов развития системы теплоснабжения (строительство новых и реконструкция существующих источников тепловой энергии, перераспределение тепловых нагрузок между источниками, определение возможности подключения новых потребителей тепловой энергии, определение оптимальных вариантов качественного и надежного обеспечения тепловой энергией новых потребителей и т.д.);
- оперативное моделирование обеспечения тепловой энергией потребителей при аварийных ситуациях;
- оперативное получение информационных выборок, справок, отчетов по системе в целом по системе теплоснабжения города и по отдельным ее элементам;
- мониторинг развития системы теплоснабжения города Стерлитамак;
- обеспечение ежегодной актуализации Схемы теплоснабжения городского округа город Стерлитамак в соответствии с ФЗ-190 «О теплоснабжении» и Постановлением Правительства РФ №154.

В качестве базового программного обеспечения в электронной модели определен программно-расчетный комплекс «ТеплоГраф».

Изображение электронной модели городского округа город Стерлитамак приведено на рисунке 1.1.

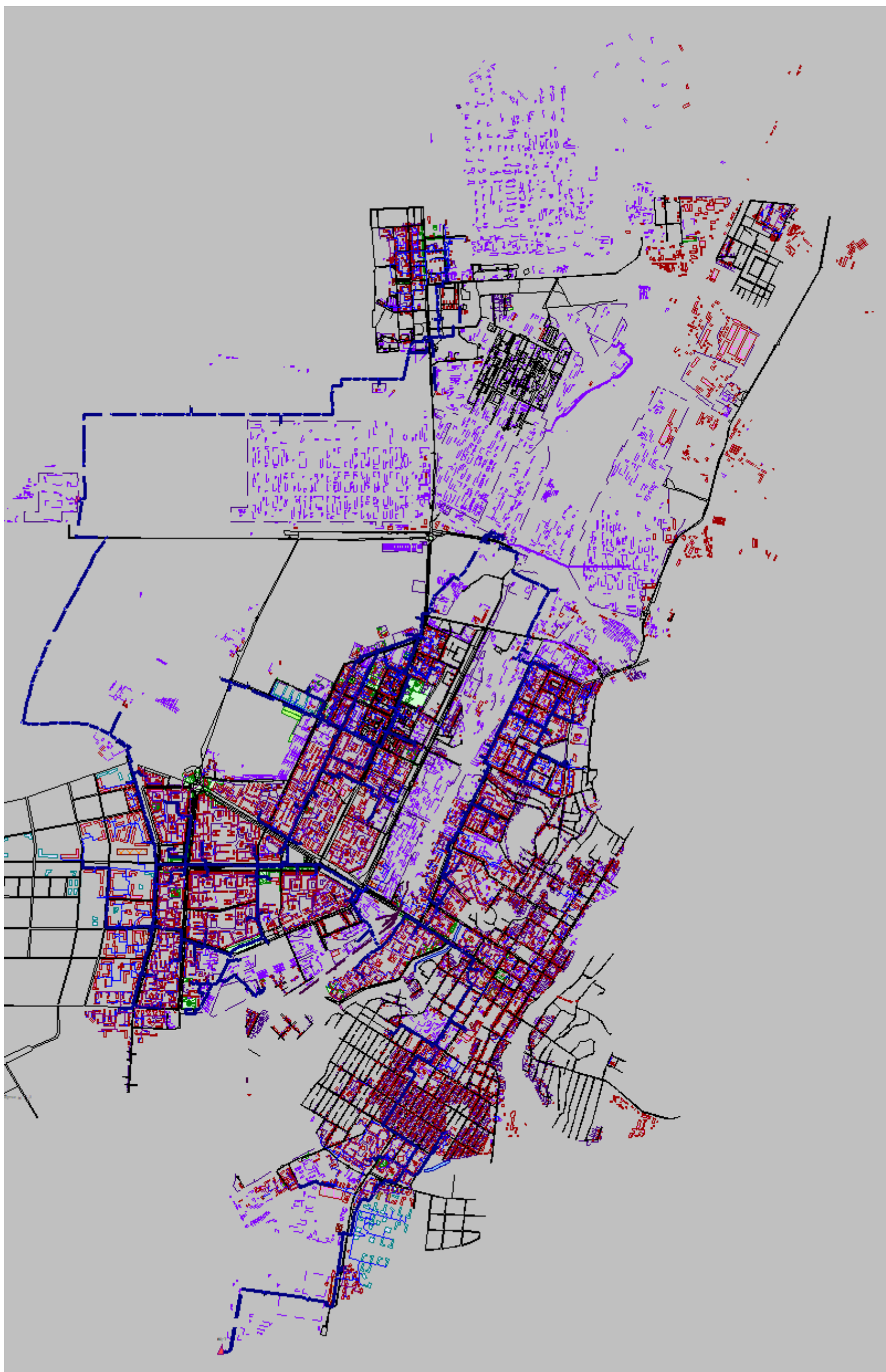


Рисунок 1.1 - Изображение электронной модели городского округа город Стерлитамак

2 АКТУАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА СТЕРЛИТАМАК

В рамках актуализации схемы теплоснабжения в части электронной модели выполнены следующие работы:

- выверка и соответствующая корректировка трассировки и характеристик тепловых сетей по предоставленным техническим паспортам и свидетельствам регистрации ООО «БашРТС»;
- выверка и соответствующая корректировка подключенных потребителей в соответствии с предоставленной базой абонентов ООО «БашРТС» и по состоянию на 01.01.2019;
- калибровка электронной модели по фактическим данным из суточных ведомостей источников тепловой энергии ООО «БашРТС», предоставленным за 2018-2019 гг.

Актуализированная электронная модель системы теплоснабжения городского округа город Стерлитамак обеспечивает выполнение всех требований, предъявляемых к электронным моделям в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 154 от 22.02.2012 г.:

а) графическое представление объектов системы теплоснабжения с привязкой к топографической основе поселения, городского округа и с полным топологическим описанием связности объектов;

б) паспортизацию объектов системы теплоснабжения;

в) паспортизацию и описание расчетных единиц территориального деления, включая административное;

г) гидравлический расчет тепловых сетей любой степени закольцованности, в том числе гидравлический расчет при совместной работе нескольких источников тепловой энергии на единую тепловую сеть;

д) моделирование всех видов переключений, осуществляемых в тепловых сетях, в том числе переключений тепловых нагрузок между источниками тепловой энергии;

е) расчет балансов тепловой энергии по источникам тепловой энергии и по территориальному признаку;

ж) расчет потерь тепловой энергии через изоляцию и с утечками теплоносителя;

з) расчет показателей надежности теплоснабжения;

и) групповые изменения характеристик объектов (участков тепловых сетей, потребителей) по заданным критериям с целью моделирования различных перспективных вариантов схем теплоснабжения;

к) сравнительные пьезометрические графики для разработки и анализа сценариев перспективного развития тепловых сетей.

3 РАСЧЕТНЫЕ МОДУЛИ «CITYCOM-ТЕПЛОГРАФ»

3.1 Общие положения

В данном разделе представлено краткое описание функциональных возможностей различных модулей ИГС «ТеплоГраф». Необходимо отметить, что электронная модель системы теплоснабжения в рамках выполнения настоящего проекта поставляется в составе основных модулей:

- базовый комплекс ИГС «CityCom-ТеплоГраф»;
- подсистема «Гидравлика»;
- расчет потерь тепловой энергии;
- наладочный расчет.

Более детально комплекс задач, решаемых данными модулями, представлен далее. Инструкция по работе с электронной моделью на базе ИГС «ТеплоГраф» представлена в Приложении 1 к настоящему документу. По окончании внедрения Заказчик самостоятельно определяет целесообразность развития данной системы и необходимость приобретения и внедрения дополнительных модулей.

Гидравлический расчет тепловых сетей приведен в документах «Обосновывающие материалы к схеме теплоснабжения городского округа город Стерлитамак Республики Башкортостан на период до 2033 года (актуализация на 2020 год). Глава 1. Существующее положение в сфере производства, передачи и потребления тепловой энергии для целей теплоснабжения. Приложение 4. Существующие гидравлические режимы тепловых сетей» (шифр 80445.ОМ-ПСТ.001.004) и «Обосновывающие материалы к схеме теплоснабжения городского округа город Стерлитамак Республики Башкортостан на период до 2033 года (актуализация на 2020 год). Глава 4. Перспективные балансы тепловой мощности источников тепловой энергии и тепловой нагрузки. Приложение 1. Перспективные гидравлические режимы тепловых сетей» (шифр 80445.ОМ-ПСТ.004.001).

3.2 Базовый комплекс ИГС «CityCom-ТеплоГраф»

Базовый комплекс представляет собой функциональную платформу и пользовательскую среду, включающую в себя:

- ГИС-компоненту с многооконным интерфейсом, послойным представлением объектов и полным набором функций, присущих ГИС и обеспечивающих топологически корректный ввод, корректировку, визуализацию и обработку данных;
- многокритериальный информационно-поисковый функционал;
- инструментарий для графического, топологического и семантического описания сетей инженерных коммуникаций, представляющего собой единую информационно-аналитическую модель;
- специальным образом сконфигурированную многопользовательскую базу данных открытого формата, содержащую всю информацию, необходимую для функционирования комплекса – от графических данных до паспортов оборудования сетей;
- аналитический инструментарий, включающий в себя как графические (раскраски, выделения, подписи), так и табличные (справки, запросы, отчеты, документы) методы анализа данных;
- инструментарий для каталогизации «внешних» документов и мультимедийных данных (фотоизображения, видеофрагменты, документы Office и т.п.) с привязкой их к конкретным объектам сетей;
- средства для межсистемного обмена графической информацией со сторонними ГИС с использованием стандартных обменных форматов.

3.3 Подсистема «Гидравлика»

Подсистема включает в себя полный набор функциональных компонент и соответствующие им информационные структуры базы данных, необходимых для гидравлического расчета и моделирования тепловых сетей.

Размерность рассчитываемых тепловых сетей, степень их закольцованности, а также количество теплоисточников, работающих на общую сеть, не ограничены.

3.3.1 Расчет номинального гидравлического режима

Используется классический вид гидравлического расчета, отталкивающийся от задания тепловых нагрузок потребителей. В результате расчета получается полное потокораспределение по подающим и обратным трубопроводам тепловой сети, а также абсолютные и располагаемые напоры во всех точках тепловой сети в предположении, что все потребители получают заявленную тепловую нагрузку при определенных для них температурных графиках.

Насосные группы на источниках тепла, а также в насосных станциях смешения, подпора и подкачки описываются полной моделью, включающей расходно-напорную характеристику группы насосных агрегатов. Расходно-напорная характеристика может быть получена двумя способами:

- заданием параметров граничных пар «расход-напор», описывающих рабочую зону;
- заданием паспортных характеристик установленных насосных агрегатов (выбор из справочника насосов) и комбинацией их включения.

Гидравлические сопротивления участков трубопроводов определяются их длиной, внутренним диаметром, суммой местных сопротивлений, коэффициентом шероховатости, либо коэффициентом местных потерь (в зависимости от выбранного способа расчета), степенью зарастания.

Инструментарий подсистемы включает в себя табличные и графические средства анализа режима, полученного в результате гидравлического расчета, включая пьезометрические графики.

3.3.2 Расчет текущего (фактического) гидравлического режима

От гидравлического расчета номинального режима отличается тем, что потребители тепла в этом случае моделируются специально рассчитанным на основании «номинального» режима внутренним гидравлическим сопротивлением

(включающем обвязку и сужающие устройства), а заданная для них тепловая нагрузка игнорируется. Потокораспределение при этом полностью определяется расходно-напорными характеристиками групп насосных агрегатов, работающих на тепловую сеть, и гидравлическими сопротивлениями участков теплосети и потребителей тепла.

Именно этот вид гидравлического расчета является инструментом имитационного моделирования. С его помощью возможен ответ на вопрос, что произойдет с гидравлическим режимом в тепловой сети при аварийном отключении какого-либо оборудования (нештатная ситуация). Поэтому в литературе этот метод гидравлического расчета часто называют «аварийным».

Существенная особенность метода состоит в том, что гидравлический расчет текущего режима имеет смысл только на модели, откалиброванной для номинального гидравлического режима.

3.3.3 Моделирование переключений

Это основной инструмент, который, главным образом, позволяет говорить о «гидравлической модели» сети. Суть заключается в автоматическом отслеживании программой состояния запорно-регулирующей арматуры и насосных агрегатов в базе данных описания тепловой сети. Любое переключение на схеме тепловой сети влечет за собой автоматическое выполнение гидравлического расчета, и, таким образом, в любой момент времени пользователь видит тот гидравлический режим, который соответствует текущему состоянию всей совокупности запорно-регулирующей арматуры и насосных агрегатов на схеме тепловой сети.

Переключения могут быть как одиночными, так и групповыми, для любой выбранной (помеченной) совокупности переключаемых элементов.

Задвижки типа «дроссель», помимо двух крайних состояний (открыта/закрыта), могут иметь промежуточное состояние «прижата», определяемое либо в процентах открытия клапана, либо в числе оборотов штока. При этом состоянии задвижка моделируется своим гидравлическим сопротивлением, рассчитанным по паспортной характеристике клапана.

Для насосных агрегатов и их групп в модели доступны несколько видов переключений: включение/выключение, дросселирование, изменение частоты вращения привода. При любом переключении насосных агрегатов в насосной станции или на

источнике автоматически пересчитывается суммарная расходно-напорная характеристика всей совокупности работающих насосов.

Для регуляторов давления и расхода переключением является изменение установки.

Для потребителей переключением является любое из следующих действий:

- включение/отключение одного или нескольких видов тепловой нагрузки;
- ограничение одного или нескольких видов тепловой нагрузки (в % от паспортной, в т.ч. и более 100%);
- изменение температурного графика и/или удельных расходов теплоносителя по видам тепловой нагрузки;
- изменение способа задания тепловой нагрузки из списка, имеющегося в паспорте (проектная / договорная / фактическая/ ...).

Предусмотрена генерация специальных отчетов об отключенных/включенных абонентах и участках тепловой сети, состояние которых изменилось в результате последнего произведенного единичного или группового переключения. Эти отчеты могут, по желанию пользователя, содержать любую информацию об этих объектах, содержащуюся в базе данных.

Режим гидравлического моделирования позволяет оперативно получать ответы на вопросы типа «Что будет, если...?» Это дает возможность избежать ошибочных действий при регулировании режима и переключениях на реальной тепловой сети, которые могут повлечь неприятные и даже фатальные последствия.

3.3.4 Модельные базы

Подсистема гидравлических расчетов позволяет моделировать произвольные режимы, в том числе аварийные и перспективные. Само по себе гидравлическое моделирование предполагает внесение в модель каких-то изменений с целью воспроизведения режимных последствий этих изменений. Очевидно, что такие изменения искажают реальные данные, описывающие эксплуатируемую тепловую сеть в ее текущем состоянии, что категорически недопустимо.

Подсистема гидравлических расчетов содержит специальный инструментарий, позволяющий для целей моделирования создавать и администрировать специальные

«модельные» базы - наборы данных, клонируемых из основной (контрольной) базы данных описания тепловой сети, на которых можно производить любые манипуляции без риска исказить или повредить контрольную базу.

Кроме свободы манипуляций, этот механизм также обеспечивает возможность осуществления сравнительного анализа различных режимов работы тепловой сети, реализованных в модельных базах, между собой. В частности, основным аналитическим инструментом является сравнительный пьезометрический график, на котором наглядно видно изменение гидравлического режима, произошедшее в результате тех или иных манипуляций.

3.3.5 Пьезометрические графики

Это основной аналитический инструмент специалиста по гидравлическим расчетам тепловых сетей. Пьезометр представляет собой графический документ, на котором изображены линии давлений в подающей и обратной магистралях тепловой сети, а также профиль рельефа местности - вдоль определенного пути, соединяющего между собой два произвольных узла тепловой сети по неразрывному потоку теплоносителя. На пьезометрическом графике наглядно представлены все основные характеристики режима, полученные в результате гидравлического расчета, по всем узлам и участкам вдоль выбранного пути: манометрические давления, полные и удельные потери напора на участках тепловой сети, располагаемые давления в камерах, расходы теплоносителя, перепады, создаваемые на насосных станциях и источниках, избыточные напоры и т.д.

Построению пьезометрического графика предшествует выбор искомого пути. Для этой цели на схеме тепловой сети отмечаются не менее двух узлов, через которые должен пройти выбранный путь. В общем случае, с учетом закольцованности тепловых сетей, может существовать более одного пути, соединяющего заданные точки. В этом случае для однозначного определения результата можно указать промежуточные точки, либо изменить критерий поиска пути (это может быть минимизация количества участков, минимизация гидравлического сопротивления либо минимизация суммарной длины, поиск по линиям подающей или обратной магистрали). Путь строится программой автоматически с учетом состояния запорной арматуры в узлах коммутации (тепловых камерах), найденный путь «подсвечивается» на экране цветом выделения.

После выбора требуемого пути одним кликом мыши строится пьезометрический график. Состав отображаемой на нем информации, легенда и масштаб представления легко настраиваются пользователем в удобном для него виде. Среди прочих настроек имеется возможность выделить на графике нарушения гидравлического режима, критерии нарушений задаются пользователем. При необходимости график может быть распечатан.

На одном координатном поле графика могут быть одновременно построены пьезометры для номинального и фактического гидравлических режимов, а также сравнительные графики этих же режимов, построенные по одной из модельных баз. Типы и цвета линий и точек графика легко настраиваются, так чтобы графики различных гидравлических режимов на одном поле были различимы между собой.

В случае наличия связи ИГС «ТеплоГраф» с АСУ ТП, на пьезометрическом графике возможно, помимо расчетных линий давлений, показать реальные узловые давления, измеряемые непосредственно на тепловой сети датчиками. Это позволяет сопоставить режим, полученный в результате гидравлического расчета, с данными фактических замеров, и очень упрощает процесс калибровки расчетной гидравлической модели.

Пьезометрический график является незаменимым инструментом при калибровке гидравлической модели тепловой сети, поскольку графическая интерпретация гидравлического режима позволяет одновременно качественно и количественно оценить поправки, которые необходимо внести в расчетную модель, чтобы она наиболее адекватно повторяла «гидравлическое поведение» реальной тепловой сети в эксплуатации.

3.3.6 Групповые изменения характеристик нагрузок абонентов тепловой сети по заданным критериям

В подсистеме гидравлических расчетов имеется специальный инструмент для осуществления массовых изменений характеристик нагрузок потребителей с целью моделирования - таким образом, чтобы при этом не менять паспортные значения нагрузок абонентов тепловой сети.

Этот инструмент позволяет применить общее правило изменения характеристик тепловой нагрузки одновременно для некоторой совокупности потребителей, определяемой заданным критерием отбора, в частности:

- по всей базе данных описания тепловой сети;
- по одной из связанных компонент (тепловой зоне источника);
- по некоторой графической области, заданной произвольным многоугольником;
- по типу объектов теплоснабжения (жилье, административные здания, промышленность и т.д.);
- по признаку ведомственной подчиненности;
- по признаку административного деления; и т.п.

Критерии отбора могут быть любыми, единственное существенное требование: соответствующая информация, на основании которой строится критериальный отбор, должна в явном виде присутствовать в базе данных описания потребителей тепла.

Для потребителей, отобранных по заданному критерию, можно выполнить любое из следующих изменений характеристик нагрузки:

- включение/отключение одного или нескольких видов тепловой нагрузки;
- ограничение одного или нескольких видов тепловой нагрузки (в % от паспортной, в т.ч. и более 100 %);
- изменение температурного графика и/или удельных расходов теплоносителя по видам тепловой нагрузки;
- изменение способа задания тепловой нагрузки из списка, имеющегося в паспорте (проектная/договорная/фактическая/...)

После проведения серии изменений характеристик нагрузок автоматически производится гидравлический расчет тепловой сети, результаты которого сразу же доступны для визуализации на схеме и анализа.

Поскольку при изменении характеристик нагрузки паспорта потребителей не меняются, очень просто вернуться к исходному состоянию расчетной гидравлической модели, определяемому паспортными значениями тепловых нагрузок потребителей.

3.3.7 Групповые изменения характеристик участков тепловой сети по заданным критериям

Данный инструмент применим для различных целей и задач гидравлического моделирования, однако его основное предназначение - калибровка расчетной гидравлической модели тепловой сети. Трубопроводы реальной тепловой сети всегда имеют физические характеристики, отличающиеся от проектных, в силу происходящих во времени изменений - коррозии и выпадения отложений, отражающихся на изменении эквивалентной шероховатости и уменьшении внутреннего диаметра вследствие зарастания. Очевидно, что эти изменения влияют на гидравлические сопротивления участков трубопроводов, и в масштабах сети в целом это приводит к весьма значительным расхождениям результатов гидравлического расчета по «проектным» значениям с реальным гидравлическим режимом, наблюдаемым в эксплуатируемой тепловой сети. С другой стороны, измерить действительные значения шероховатостей и внутренних диаметров участков действующей тепловой сети не представляется возможным, поскольку это потребовало бы массового вскрытия трубопроводов, что вряд ли реализуемо. Поэтому эти значения можно лишь косвенным образом оценить на основании сравнения реального (наблюдаемого) гидравлического режима с результатами расчетов на гидравлической модели и внести в расчетную модель соответствующие поправки. В этом, в первом приближении, и состоит процесс калибровки.

Инструмент групповых операций позволяет выполнить изменение характеристик для подмножества участков тепловой сети, определяемого заданным критерием отбора, в частности:

- по всей базе данных описания тепловой сети;
- по одной из связанных компонент тепловой сети (тепловой зоне источника);
- по некоторой графической области, заданной произвольным многоугольником;
- вдоль выбранного пути.

При этом на любой из вышеперечисленных «пространственных» критериев может быть наложена суперпозиция критериев отбора по классифицирующим признакам:

- по подающим или обратным трубопроводам тепловой сети, либо симметрично;

- по виду тепловых сетей (магистральные, квартальные);
- по участкам тепловой сети определенного условного диаметра;
- по участкам тепловой сети с определенным типом прокладки, и т.п.

Критерии отбора могут быть произвольными при соблюдении основного требования: информация, на основании которой строится отбор, должна в явном виде присутствовать в паспортных описаниях участков тепловой сети.

Для участков тепловых сетей, отобранных по определенной совокупности критериев, можно произвести любую из следующих операций:

- изменение эквивалентной шероховатости;
- изменение степени зарастания трубопроводов;
- изменение коэффициента местных потерь;
- изменение способа расчета сопротивления.

После проведения серии изменений характеристик участков трубопроводов тепловой сети автоматически производится гидравлический расчет, результаты которого сразу же доступны для визуализации на схеме и анализа.

Поскольку при изменении характеристик участков сети тепловой сети их паспорта не модифицируются, в любой момент можно вернуться к исходному состоянию расчетной гидравлической модели, определяемому паспортными значениями характеристик участков тепловой сети.

3.3.8 Табличные и графические аналитические инструменты

Наряду с самым востребованным инструментом - пьезометрическими графиками, подсистема гидравлических расчетов тепловых сетей снабжена большим количеством удобных средств анализа. В частности, следующие:

- «гидравлическая» раскраска сети: разными цветами выделяются включенные, отключенные и тупиковые участки тепловых сетей;
- специальные раскраски тепловой сети по значениям различных характеристик гидравлического режима (по скорости, по зонам давлений в подающей или обратной магистрали, по удельным потерям напора на участках и т.п.);

- графические выделения (выделения цветом или иным способом узлов и/или участков тепловой сети по некоторому критерию), например: потребители с превышением давления в обратной магистрали, тепловые камеры с «прижатыми» задвижками, узлы с располагаемым напором ниже заданного, участки с превышением заданной скорости потока, и т.п.
- расстановка на схеме тепловой сети значков-стрелок, указывающих направление движения теплоносителя по подающей или обратной магистрали;
- подпись на схеме тепловой сети значений расходов по участкам и давлений в узлах сети;
- произвольные табличные аналитические документы, построенные по исходным данным и результатам гидравлического расчета тепловых сетей;
- гидравлические справки по отдельным узлам, участкам, источникам, насосным станциям и потребителям тепловой сети;
- произвольные запросы и выборки из базы данных, содержащие любые описанные функции от параметров режима, полученных в результате гидравлического расчета.

Набор раскрасок, графических выделений и аналитических документов ничем не ограничен, кроме потребностей пользователя и соблюдения общего принципа: группировать, фильтровать и анализировать можно только те данные, которые в явном виде присутствуют в базе данных проекта, либо вычислимы из последних.

3.3.9 Расчет потерь тепловой энергии через изоляцию и с утечками теплоносителя

Разработанная электронная модель системы теплоснабжения позволяет осуществлять расчет потерь тепловой энергии через изоляцию и с утечками теплоносителя. В качестве данных для расчета программа использует занесенные при паспортизации объектов системы теплоснабжения данные, а именно:

- температура сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах;
- температура холодной воды;
- температура грунта;

- температура подвальных помещений;
- температура воздуха;
- нормативная продолжительность работы тепловой сети

Программный комплекс «ТеплоГраф» позволяет выполнять расчет как за весь период (конкретный год), так и за конкретный месяц.

3.3.10 Наладочный расчет тепловой сети

Целью наладочного расчета является обеспечение потребителей расчетным количеством воды и тепловой энергии. В результате расчета осуществляется подбор элеваторов и их сопел, производится расчет смесительных и дросселирующих устройств, определяется количество и место установки дроссельных шайб. Расчет может производиться при известном располагаемом напоре на источнике и его автоматическом подборе в случае, если заданного напора не достаточно.

В результате расчета определяются расходы и потери напора в трубопроводах, напоры в узлах сети, в том числе располагаемые напоры у потребителей, температура теплоносителя в узлах сети (при учете тепловых потерь), величина избыточного напора у потребителей, температура внутреннего воздуха.

Дросселирование избыточных напоров на абонентских вводах производят с помощью сопел элеваторов и дроссельных шайб. Дроссельные шайбы перед абонентскими вводами устанавливаются автоматически на подающем, обратном или обоих трубопроводах в зависимости от необходимого для системы гидравлического режима. При работе нескольких источников на одну сеть определяется распределение воды и тепловой энергии между источниками. Подводится баланс по воде и отпущенной тепловой энергией между источником и потребителями. Определяются потребители и соответствующий им источник, от которого данные потребители получают воду и тепловую энергию.

4 БАЗА ДАННЫХ ООО «БАШРТС»

База данных ЭМ реализована в средствах Microsoft Access. Данный способ хранения информации обеспечивает доступ к данным средствам языка запросов SQL в соответствии со стандартом ISO/IEC 9075:1992, «Язык баз данных SQL» (Database Language SQL).

5 ЭТАПЫ АКТУАЛИЗАЦИИ ООО «БАШРТС»

5.1 Информационно-графическое описание объектов системы теплоснабжения

На данном этапе проводилась выверка с последующей корректировкой информационно-графического описания существующих объектов системы теплоснабжения города Стерлитамак с учетом изменений на 2017 г., по данным Заказчика (база абонентов, технические паспорта и свидетельства о регистрации тепловых сетей, суточные ведомости)

Номенклатура наименований узлов при актуализации сохранена прежняя, а именно:

- наименование таких узлов, как «котельная», «потребитель ЦТП», «источник ЦТП», насосная станция, тепловая камера вводится вручную
- наименование ответвлений, заглушек, точек «изменения диаметра» и «изменение параметра», потребителей - вводится автоматически в порядке увеличения порядкового номера соответствующего узла для соблюдения уникальности имен.

Например,

- наименование котельной КЦ-7: для отопительного контура - «КЦ-7», для вывода ГВС - «КЦ-7 (ГВС)».
- наименование тепловой камеры – «УТ-4», «ТК-1113»
- наименование ЦТП – «ЦТПГ-1», «ЦТПО-1»
- наименование ответвлений – «ОТВ-001615»
- наименование заглушек – «ЗАГ-000003»
- наименование точек «изменение диаметра» - «ПЕР-000001»
- наименование точек «изменение параметра» - «И.П.-000042»
- наименование потребителей – «ПП_1_2019».

В существующей базе данных электронной модели описаны и при необходимости дополнены (скорректированы) следующие паспортные характеристики по приведенным ниже типам объектов системы теплоснабжения. Состав информации по каждому типу объектов как носит справочный характер (например, материал камеры, балансовая принадлежность и т.д.), так и необходим для функционирования расчетной модели. Полнота заполнения базы данных по параметрам зависит от наличия исходных данных у теплоснабжающих компаний.

Состав информации по паспорту источника:

- температурный график;
- способ задания характеристики источника;
- состояние источника;
- минимальный напор;
- максимальный напор;
- минимальный расход;
- максимальный расход;
- признак задания расхода или давления в точке подпитки;
- давление в точке подпитки;
- расход на подпитку;
- геодезическая отметка в точке подпитки;
- адрес расположения;
- основные паспортные параметры;
- описание принадлежности.

Состав информации по паспорту участков:

- выбор типа участка (симметричный, подающий, обратный);
- длина;
- условный диаметр;
- толщина стенки;
- материал трубы;

- год прокладки;
- шероховатость;
- способ расчёта сопротивления (через коэффициент местных потерь, через коэффициент местных сопротивлений, непосредственное задание);
- способ задания коэффициентов местных потерь и местных сопротивлений;
- способ определения внутреннего диаметра (по ГОСТ, непосредственный ввод);
- типы ГОСТов на трубопроводы;
- тип прокладки (надземная, подземная, подвальная);
- тип подземной прокладки (бесканальная, в непроходных каналах, в полупроходных каналах, в проходных каналах);
- вид тепловой изоляции.

Состав информации по паспорту потребителей:

- код абонента;
- имя абонента;
- назначение потребителя (жилые помещения, ЖКХ, детские дошкольные (школьные) учреждения, учреждения, промышленные, прочее, с/х, связь, строительство, транспорт и связь, ТСЖ и УК, ЧЖД, Больница, Родильный дом, детский сад, школа, гостиницы, магазины);
- количество зданий;
- адрес;
- тепловой пункт (ЦТП, ИТП);
- код ЦТП;
- способ задания нагрузки отопления (ДОГОВОРНАЯ, ФАКТИЧЕСКАЯ, ОТСУТСТВУЕТ, ПО ОБЪЕМУ ЗДАНИЙ);
- схема присоединения отопления (ЗАВИСИМАЯ, НЕЗАВИСИМАЯ, НАСОСНАЯ);
- договорная нагрузка отопления;

- фактическая нагрузка отопления;
- способ задания нагрузки ГВС (средняя, максимальная, ОТСУТСТВУЕТ, ПО ЧИСЛУ ЖИТЕЛЕЙ);
- система теплоснабжения (ОТКРЫТАЯ, ЗАКРЫТАЯ);
- схема ГВС по закрытой схеме (ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ, ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ, СМЕШАННАЯ);
- схема ГВС по открытой схеме (БЕЗ ЦИРКУЛЯЦИИ, С ЦИРКУЛЯЦИЕЙ);
- договорная нагрузка ГВС;
- фактическая нагрузка ГВС;
- способ задания нагрузки вентиляции (ОТСУТСТВУЕТ, ФАКТИЧЕСКАЯ, ДОГОВОРНАЯ);
- договорная нагрузка вентиляции;
- фактическая нагрузка вентиляции;
- способ задания нагрузки технологии (ДОГОВОРНАЯ, ФАКТИЧЕСКАЯ, ОТСУТСТВУЕТ);
- температурный график;
- диаметр головной диафрагмы;
- коэффициент подмешивания элеватора;
- диаметр сопла элеватора;
- номер элеватора;
- диаметр диафрагмы на отопление;
- диаметр диафрагмы на подогреватели ГВС;
- диаметр диафрагмы на вентиляцию;
- диаметр сопла элеватора;
- диаметр подпорной диафрагмы;
- диаметр диафрагмы на циркуляции;
- диаметр диафрагмы подпора для циркуляции;

- потери напора в системе отопления;
- потери напора в системе вентиляции;
- потери напора в системе циркуляции
- способ задания подпорной диафрагмы (По зад. потере напора, Автоматически, Не рассчитывать);
- потери напора в подпорной диафрагме;
- располагаемый напор во втором контуре.

Состав информации по паспорту камер:

- место расположения (проезжая часть, тротуар, газон, под мостом);
- материал колодца/камеры (КИРПИЧ, ЖЕЛЕЗОБЕТОН, НЕИЗВЕСТЕН, МОНОЛИТ, СОСТОИТ ИЗ БЛОКОВ, КЕРАМИЧЕСКИЕ, ПАНЕЛЬНЫЕ);
- длина (диаметр);
- ширина;
- глубина колодца/ высота камеры;
- толщина стенки;
- конструкция перекрытия камеры (НЕИЗВЕСТНО, ОТСУТСТВУЕТ, ПЛИТА);
- количество люков;
- вид спуска в колодец (СТУПЕНИ, СКОБЫ, ОТСУТСТВУЕТ, СТРЕМЯНКА);
- геодезическая отметка;
- старое наименование камеры/колодца;
- состояние колодца/камеры (ИСПРАВЕН, РАЗРУШЕН, ЗАТОПЛЕН, ЗАВАЛЕН, НЕИЗВЕСТНО);
- наличие гидроизоляции, грунтовых вод;
- вид дренажа (НЕТ, БЫТОВАЯ КАНАЛИЗАЦИЯ, ЛИВНЕВАЯ КАНАЛИЗАЦИЯ, НА РЕЛЬЕФ);
- способ измерения давления (ОТСУТСТВУЕТ, ЧЕРЕЗ ВЕНТИЛЬ, ЧЕРЕЗ КРАН, ЧЕРЕЗ ПГ, ЧЕРЕЗ ШТУЦЕР, ЧЕРЕЗ ЗАДВИЖКУ).

Состав информации по паспорту насосных станций:

- тип насосной станции (ПОДАЮЩАЯ, ОБРАТНАЯ, СМЕСИТЕЛЬНАЯ, регулятор давления);
- инвентарный номер;
- количество и номера насосных агрегатов;
- марки насосных агрегатов;
- фактический диаметр насосных агрегатов;
- фактические обороты насосных агрегатов (об/мин);
- мощность электродвигателя (кВт);
- напряжение электродвигателя (В);
- состояние насосных агрегатов (Резерв, Работа, Ремонт, АВР, Регулирование);
- способ регулирования (дресселирование на выходном водоводе, рециркуляция);
- тип регулятора (давления до себя, давления после себя, расхода, давления в другом узле после себя, давления в другом узле до себя);
- диаметр регулятора;
- уставка регулятора;
- сопротивление регулятора.

В результате работы актуализирована электронная модель системы теплоснабжения. Визуальное отображение структуры тепловых сетей от источников ООО «БашРТС» представлено на рисунке 5.1.

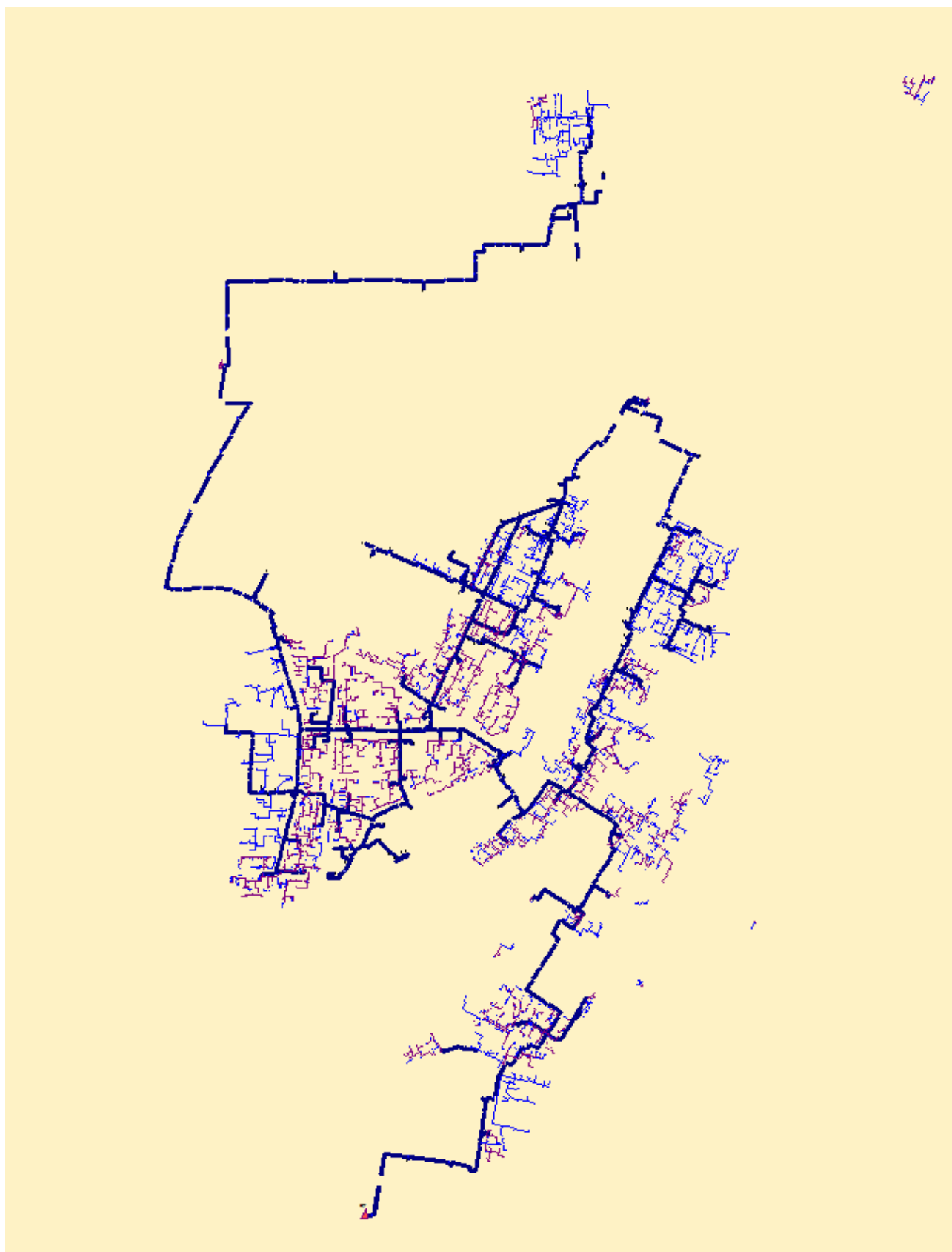


Рисунок 5.1 - Визуальное отображение структуры тепловых сетей

5.2 Описание топологической связности объектов системы теплоснабжения

Описание топологической связности объектов системы теплоснабжения является стандартной процедурой для ИГС «CityCom-Теплограф» и представляет собой описание гидравлической структуры узлов системы теплоснабжения (коллекторов, тепловых камер, смотровых колодцев). В результате выполнения данного этапа работ актуализирована гидравлическая модель системы теплоснабжения, которая отражает существующее положение системы теплоснабжения городского округа город Стерлитамак.

Подробно алгоритм описания топологической связности объектов представлен в документе «Обосновывающие материалы к схеме теплоснабжения городского округа город Стерлитамак Республики Башкортостан на период до 2033 года (актуализация на 2020 год). Глава 3. Электронная модель системы теплоснабжения города. Приложение 1. Инструкция пользователя (ИГС «ТеплоГраф»).» (шифр 80445.ОМ-ПСТ.003.001)

5.3 Отладка и калибровка электронной модели

В рамках данного этапа были выполнены:

- отладка работы расчетных математических модулей путем выявления ошибок в исходных данных;
- калибровка модели с целью достижения соответствия расчетных параметров модели фактическим параметрам в определенных реперных узлах системы теплоснабжения (расходы, давления воды в подающих и обратных трубопроводах системы теплоснабжения для определенных расчетных режимов); реперные узлы (источник тепловой энергии, тепловая камера, ЦТП) выбирались для каждой системы теплоснабжения исходя из наличия данных, предоставленных Заказчиком.

На этапе отладки электронной модели был проведен анализ полноты внесенных исходных данных. Инструментарием для анализа и выявления ошибок во введенных

исходных данных являются сгенерированные отчеты об объектах из созданной базы данных (рисунок 5.2):

- узлы с не введенной внутренней структурой;
- узлы-потребители без описанных реальных потребителей;
- узлы без геодезических отметок;
- отчет о потребителях;
- отчет о камерах (паспортизированных);
- отчет об участках (паспортизированных);
- участки без паспортов;
- отчет об источниках (паспортизированных).

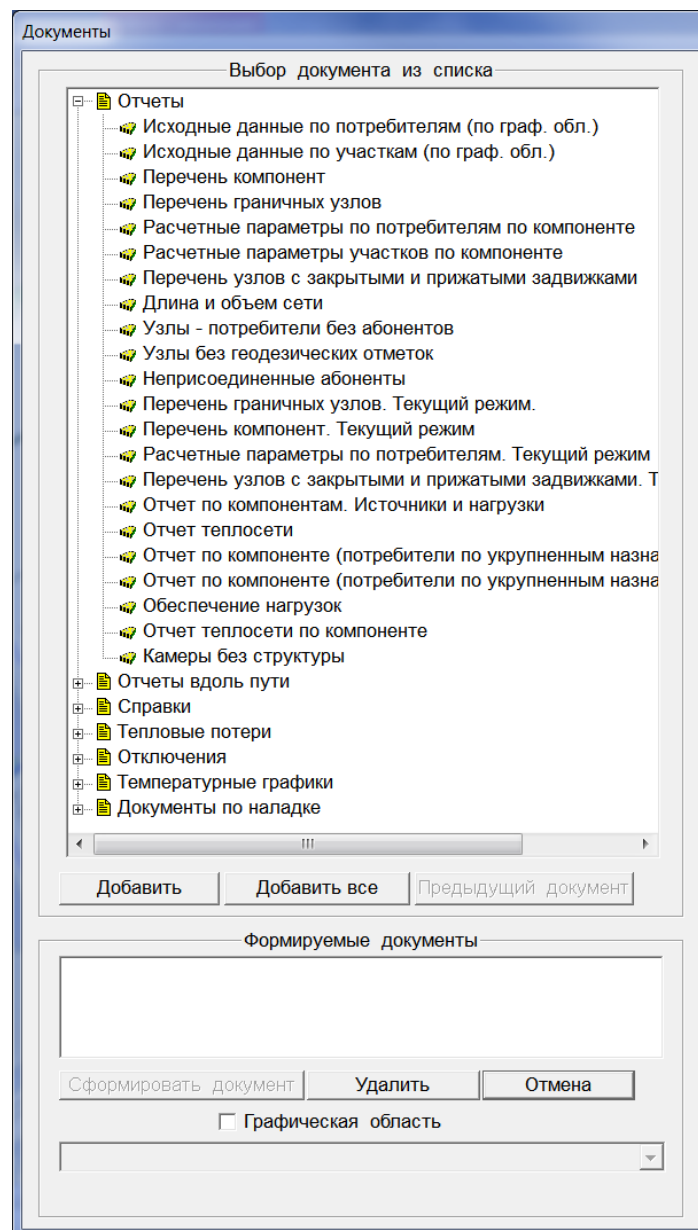


Рисунок 5.2 - Варианты отчетов, формируемых при работе в электронной модели

Калибровка модели - процесс идентификации и тонкой настройки наборов исходных данных таким образом, чтобы обеспечить максимальное приближение результатов гидравлического расчета к фактическим параметрам в определенных реперных узлах системы теплоснабжения. Для организации процесса калибровки ЭМ выбираются реперные узлы в каждой из систем теплоснабжения, такие как: выводной коллектор на источнике, тепловые камеры, насосные станции, по которым имеются фактические данные по расходам теплоносителя и располагаемым напорам за период, когда расходы теплоносителя были максимально приближены к номинальным. Для калибровки созданной модели используют большой набор встроенных инструментов.

Одним из незаменимых инструментов при калибровке гидравлической модели тепловой сети является пьезометрический график, поскольку графическая интерпретация гидравлического режима позволяет одновременно качественно и количественно оценить поправки, которые необходимо внести в расчетную модель, чтобы она наиболее адекватно повторяла «гидравлическое поведение» реальной тепловой сети в эксплуатации.

Также для выполнения калибровки используют сгенерированные отчеты и справки об объектах из созданной базы данных, а также графическое представление параметров теплоносителя:

- расчетные параметры участков (данный отчет, представленный в табличном виде, позволяет выполнить анализ гидравлического расчета всей системы теплоснабжения от определенного источника);
- результаты гидравлического расчета по участкам вдоль пути (данный отчет, представленный в табличном виде, позволяет выполнить анализ гидравлического расчета системы теплоснабжения вдоль выделенного пути);
- справка о потребителе (нагрузки, дроссельные устройства);
- гидравлическая справка о потребителе (данный отчет позволяет проанализировать гидравлические параметры по конкретному потребителю);
- «гидравлическая раскраска» сети (данный режим позволяет разными цветами выделить включенные, отключенные и тупиковые участки тепловых сетей);
- специальные раскраски тепловой сети по значениям различных характеристик гидравлического режима (данные режимы позволяют анализировать всю систему теплоснабжения по некоторым параметрам, например, скорости, диаметрам);
- графические выделения (выделения цветом или иным способом узлов и/или участков тепловой сети вдоль пути);
- расстановка на схеме тепловой сети значков-стрелок, указывающих направление движения теплоносителя по подающей или обратной

магистрала (данный режим позволяет анализировать движение теплоносителя по подающей или обратной магистрали);

- подпись на схеме тепловой сети значений расходов по участкам и давлений в узлах сети.

Параллельно работе с вышеописанным инструментарием проводится корректировка изначально введенных данных по шероховатости трубопроводов, значениям местных сопротивлений и пр. с целью получения максимального соответствия параметров расчетной модели с фактическими параметрами систем теплоснабжения. Процесс калибровки - один из самых сложных процессов при разработке и актуализации модели, в каждом отдельном случае производится с помощью различных функций системы, описание которых не является целью данного отчета.

Результаты калибровки, а соответственно, и реперные точки с исходными данными, представлены в документе «Обосновывающие материалы к схеме теплоснабжения городского округа город Стерлитамак Республики Башкортостан на период до 2033 года (актуализация на 2020 год). Глава 1. Существующее положение в сфере производства, передачи и потребления тепловой энергии для целей теплоснабжения. Приложение 4. Существующие гидравлические режимы тепловых сетей» (шифр 80445.ОМ-ПСТ.001.004).

В результате актуализации электронной модели и ее калибровки Заказчику передается база данных:

- «Стерлитамак теплосеть» - база данных, которая соответствует фактическому гидравлическому режиму, а именно режиму моделирования, полученного в результате калибровки проектного режима по суммарным расходам теплоносителя на котельных и ЦТП.

Результаты выполненной калибровки в электронной модели представлены в сравнительной таблице 5.1. для базового периода разработки схемы теплоснабжения (отопительного периода 2018/2019 гг.).

Таблица 5.1 - Результаты выполнения калибровки электронной модели системы теплоснабжения города Стерлитамак для отопительного (зимнего) периода

Энергоисточник, магистральный вывод	Параметры гидравлических режимов работы				Погрешность м/д расходом, полученным в эл. модели, и фактическим расходом теплоносителя в трубопроводе (%)
	по данным фактического режима работы в отопительный период 2018/2019 гг.		по результатам выполненной калибровки электронной модели системы теплоснабжения		
	Давление в подающем/обратном трубопроводах, (м вод. ст. / м вод. ст.)	Расход теплоносителя в подающем трубопроводе, (м³/ч)	Давление в подающем/обратном трубопроводах, (м вод. ст. / м вод. ст.)	Расход теплоносителя в подающем / обратном трубопроводах, (м³/ч / м³/ч)	
НС+ТЭЦ	150 / 70	ТМ 8 – 4740,9; ТМ 9 – 1557,4; Итого: 6298,3;	150 / 70	ТМ 8 - 4658,0; ТМ 9 - 1650,2; Итого: 6308,2;	ТМ 8 - 1,7; ТМ 9 – 5,0; Итого: 1,5;
СтТЭЦ	150 / 70	ТМ 1 – 2477,5; ТМ 3 – 1504,5; Итого: 3982,0;	150 / 70	ТМ 1 – 2565,5; ТМ 3 – 1569,2; Итого: 4134,7;	ТМ 1 – 3,5; ТМ 3 – 4,3; Итого: 3,8;
КЦ-7	150 / 70	ТМ 11 – 1372,5; Итого: 1372,5;	150 / 70	ТМ 11 - 1376,0; Итого: 1376,0;	ТМ 11 – 0,3; Итого: 0,3;

5.4 Моделирование перспективных вариантов развития системы теплоснабжения

Моделирование перспективных вариантов развития системы теплоснабжения (строительство новых и реконструкция существующих источников тепловой энергии, перераспределение тепловых нагрузок между источниками, определение возможности подключения новых потребителей тепловой энергии, определение оптимальных вариантов качественного и надежного обеспечения тепловой энергией новых потребителей и т.д.) осуществляется через механизм создания и администрирования специальных «модельных» баз - наборов данных, клонируемых из основной (контрольной) базы данных описания тепловой сети, на которых можно производить любые манипуляции без риска исказить или повредить контрольную базу.

В результате актуализации перспективного варианта в ЭМ ИГС «ТеплоГраф» в соответствии с предложенным вариантом мастер-плана представлена следующая модельная база с учетом изменения нагрузок потребителей, планируемых к подключению или отключению, соответственно:

- «Стерлитамак_перспектива» - база данных, которая соответствует варианту развития системы теплоснабжения мастер-плана на 2033 год с учетом предлагаемых мероприятий по источникам и тепловым сетям;

В перспективных модельных базах планируемые к подключению потребители имеют код абонента в формате:

ПП_хх_уууу, где

«ПП» обозначает перспективный потребитель;

«хх» - рабочая нумерация, введенная искусственно для удобства работы с базой; которая представлена в Главе 2 Приложение 1 «Характеристика существующей и перспективной застройки, тепловой нагрузки и потребления тепловой энергии по элементам территориального деления» (шифр 80445.ОМ-ПСТ.002.001);

«уууу» - год ввода потребителя.

Предлагаемые для нового строительства сети выделены цветом («Свойство ветви»), варианты раскраски приведены на рисунке 5.3.

Результаты гидравлических расчетов, выполненных в перспективных базах, представлены в документе «Обосновывающие материалы к схеме теплоснабжения городского округа город Стерлитамак Республики Башкортостан на период до 2033 года (актуализация на 2020 год). Глава 4. Перспективные балансы тепловой мощности источников тепловой энергии и тепловой нагрузки. Приложение 1. Перспективные гидравлические режимы тепловых сетей» (шифр 80445.ОМ-ПСТ.004.001).

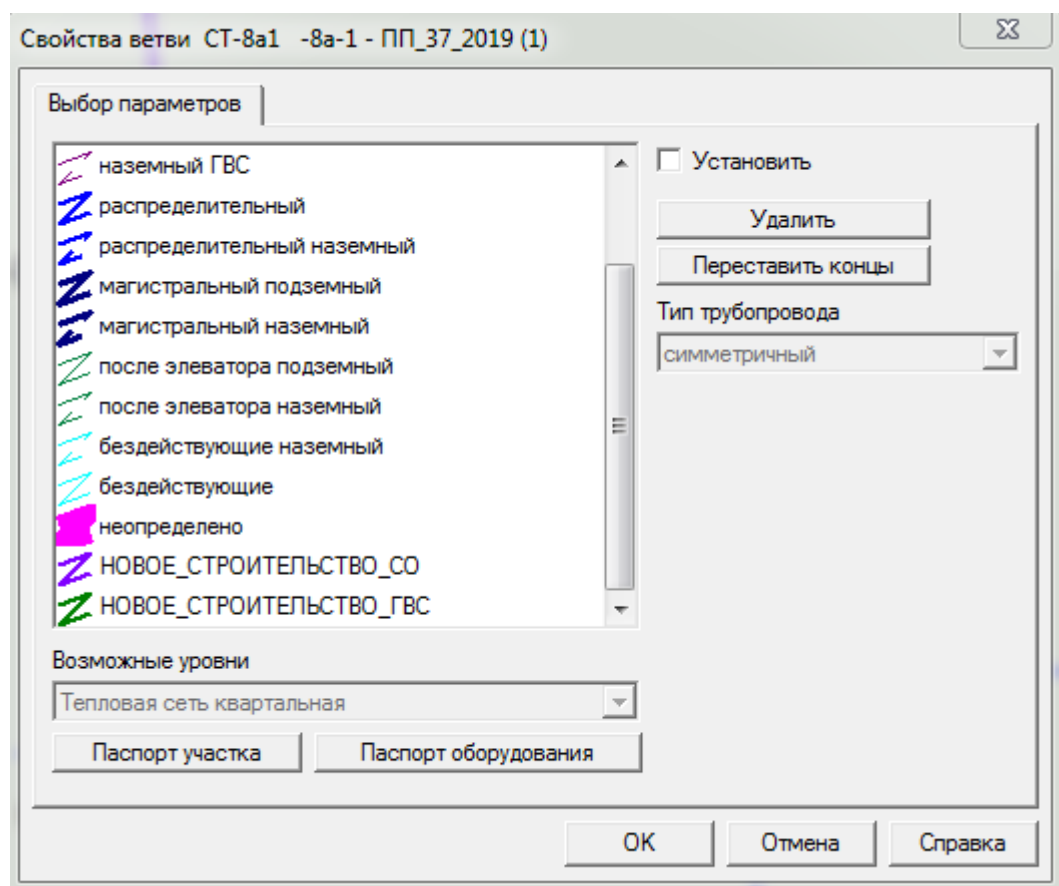


Рисунок 5.3 - Экран со свойствами ветви в перспективных базах электронной модели