



**ОБОСНОВЫВАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ  
К СХЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ  
МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕЛЬСКОЕ ПОСЕЛЕНИЕ КРАСНЫЙ ПРОФИНТЕРН»  
НЕКРАСОВСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО РАЙОНА  
НА ПЕРИОД С 2013 ДО 2028 ГОДА**

**КНИГА 3**

**ЭЛЕКТРОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ  
СП КРАСНЫЙ ПРОФИНТЕРН**

Красный Профинтерн, 2013

### СОСТАВ РАБОТЫ

Наименование документа	Шифр
Схема теплоснабжения муниципального образования «Сельское поселение Красный Профинтерн» Некрасовского муниципального района на период с 2013 до 2028 года	ЗК-05-13.СТ-ПСТ.00.00.
Книга 1 «Существующее положение в сфере производства, передачи и потребления тепловой энергии для целей теплоснабжения» обосновывающих материалов к схеме теплоснабжения муниципального образования «Сельское поселение Красный Профинтерн» Некрасовского муниципального района на период с 2013 до 2028 года	ЗК-05-13.ОМ-ПСТ.01.00.
Приложение к Книге 1 «Существующее положение в сфере производства, передачи и потребления тепловой энергии для целей теплоснабжения» обосновывающих материалов к схеме теплоснабжения муниципального образования «Сельское поселение Красный Профинтерн» Некрасовского муниципального района на период с 2013 до 2028 года	ЗК-05-13.ОМ-ПСТ.01.01.
Книга 2 «Перспективное потребление тепловой энергии на цели теплоснабжения» обосновывающих материалов к схеме теплоснабжения муниципального образования «Сельское поселение Красный Профинтерн» Некрасовского муниципального района на период с 2013 до 2028 года	ЗК-05-13.ОМ-ПСТ.02.00.
Книга 3 «Электронная модель системы теплоснабжения сельского поселения» обосновывающих материалов к схеме теплоснабжения муниципального образования «Сельское поселение Красный Профинтерн» Некрасовского муниципального района на период с 2013 до 2028 года	ЗК-05-13.ОМ-ПСТ.03.00.
Книга 4 «Мастер-план разработки схемы теплоснабжения» обосновывающих материалов к схеме теплоснабжения муниципального образования «Сельское поселение Красный Профинтерн» Некрасовского муниципального района на период с 2013 до 2028 года	ЗК-05-13.ОМ-ПСТ.04.00.
Книга 5 «Перспективные балансы тепловой мощности и тепловой нагрузки» обосновывающих материалов к схеме теплоснабжения муниципального образования «Сельское поселение Красный Профинтерн» Некрасовского муниципального района на период с 2013 до 2028 года	ЗК-05-13.ОМ-ПСТ.05.00.
Книга 6 «Перспективные балансы производительности водоподготовительных установок и максимального потребления теплоносителя» обосновывающих материалов к схеме теплоснабжения муниципального образования «Сельское поселение Красный Профинтерн» Некрасовского муниципального района на период с 2013 до 2028 года	ЗК-05-13.ОМ-ПСТ.06.00.
Книга 7 «Предложения по строительству, реконструкции и техническому перевооружению источников тепловой энергии» обосновывающих материалов к схеме теплоснабжения муниципального образования «Сельское поселение Красный	ЗК-05-13.ОМ-ПСТ.07.00.

ОБОСНОВЫВАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ К СХЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕЛЬСКОЕ  
ПОСЕЛЕНИЕ КРАСНЫЙ ПРОФИНТЕРН» НА ПЕРИОД С 2013 Г. ДО 2028 Г.  
КНИГА 3. ЭЛЕКТРОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СП КРАСНЫЙ ПРОФИНТЕРН

Наименование документа	Шифр
Профинтерн» Некрасовского муниципального района на период с 2013 до 2028 года	
Книга 8 «Предложения по строительству и реконструкции тепловых сетей и сооружений на них» обосновывающих материалов к схеме теплоснабжения муниципального образования «Сельское поселение Красный Профинтерн» Некрасовского муниципального района на период с 2013 до 2028 года	ЗК-05-13.ОМ-ПСТ.08.00.
Приложение к Книге 8 «Предложения по строительству и реконструкции тепловых сетей и сооружений на них» обосновывающих материалов к схеме теплоснабжения муниципального образования «Сельское поселение Красный Профинтерн» Некрасовского муниципального района на период с 2013 до 2028 года	ЗК-05-13.ОМ-ПСТ.08.01.
Книга 9 «Перспективные топливные балансы» обосновывающих материалов к схеме теплоснабжения муниципального образования «Сельское поселение Красный Профинтерн» Некрасовского муниципального района на период с 2013 до 2028 года	ЗК-05-13.ОМ-ПСТ.09.00.
Книга 10 «Оценка надежности теплоснабжения» обосновывающих материалов к схеме теплоснабжения муниципального образования «Сельское поселение Красный Профинтерн» Некрасовского муниципального района на период с 2013 до 2028 года	ЗК-05-13.ОМ-ПСТ.10.00.
Книга 11 «Обоснование инвестиций в строительство, реконструкцию и техническое перевооружение» обосновывающих материалов к схеме теплоснабжения муниципального образования «Сельское поселение Красный Профинтерн» Некрасовского муниципального района на период с 2013 до 2028 года	ЗК-05-13.ОМ-ПСТ.11.00.
Книга 12 «Обоснование предложения по определению единой теплоснабжающей организации» обосновывающих материалов к схеме теплоснабжения муниципального образования «Сельское поселение Красный Профинтерн» Некрасовского муниципального района на период с 2013 до 2028 года	ЗК-05-13.ОМ-ПСТ.12.00.

## Оглавление

ПЕРЕЧЕНЬ ТАБЛИЦ .....	5
ПЕРЕЧЕНЬ РИСУНКОВ .....	6
1. ОБЩЕЕ НАЗНАЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СП КРАСНЫЙ ПРОФИНТЕРН .....	7
2. РАСЧЕТНЫЕ МОДУЛИ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ.....	9
2.1. Общие положения .....	9
2.2. Базовый комплекс ГИРК «Теплоэксперт» .....	9
2.3. Режим «Поверка» .....	9
2.4. Расчет текущего (фактического) гидравлического режима .....	10
2.5. Моделирование переключений .....	10
2.6. Модельные базы .....	11
2.7. Пьезометрические графики .....	11
2.8. Групповые изменения характеристик нагрузок абонентов тепловой сети по заданным критериям.....	12
2.9. Групповые изменения характеристик участков тепловой сети по заданным критериям .	13
2.10. Табличные и графические аналитические инструменты .....	14
2.11. Режим «Наладка» .....	14
3. БАЗА ДАННЫХ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СП КРАСНЫЙ ПРОФИНТЕРН .....	15
4. СТРУКТУРА И СОСТАВ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ.....	16
4.1. Общие положения .....	16
4.2. Электронная модель.....	16
5. ПРИЛОЖЕНИЕ. ОБЩАЯ ЧАСТЬ.....	24
6. ПРИЛОЖЕНИЕ.ВАРИАНТЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СП КРАСНЫЙ ПРОФИНТЕРН .....	55
6.1. Котельная с. Вятское.....	55
6.2. Котельная п. Красный Профинтерн: .....	60
6.3. Котельная д. Грешнево: .....	65
6.4. Котельная д. Заболотье: .....	69
6.5. Котельная больницы с. Диево-Городище: .....	73
6.6. Котельная школы с. Диево-Городище: .....	77

## ПЕРЕЧЕНЬ ТАБЛИЦ

Таблица 4.1 – Перечень источников тепловой энергии электронной модели системы теплоснабжения СП Красный Профинтерн.....	16
---	----

## ПЕРЕЧЕНЬ РИСУНКОВ

Рисунок 4.1 – Схема тепловых сетей котельной с. Вятское .....	18
Рисунок 4.2 – Схема тепловых сетей котельной п. Красный Профинтерн .....	19
Рисунок 4.3 – Схема тепловых сетей котельной д. Грешнево .....	20
Рисунок 4.4 – Схема тепловых сетей котельной д. Заболотье .....	21
Рисунок 4.5 – Схема тепловых сетей котельной больницы с. Диево-Городище .....	22
Рисунок 4.6 – Схема тепловых сетей котельной школы с. Диево-Городище .....	23
Рисунок 6.1.1 - Существующее положение системы теплоснабжения .....	56
Рисунок 6.1.2 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения .....	57
Рисунок 6.1.3 - Существующее положение системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Жилой дом №31» .....	58
Рисунок 6.1.4 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Жилой дом №31» .....	59
Рисунок 6.2.1 - Существующее положение системы теплоснабжения .....	61
Рисунок 6.2.2 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения .....	62
Рисунок 6.2.3 - Существующее положение системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Контора ЖКХ» .....	63
Рисунок 6.2.4- Результаты наладочного расчета существующей системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Контора ЖКХ» .....	64
Рисунок 6.3.1 - Существующее положение системы теплоснабжения .....	66
Рисунок 6.3.2 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения .....	66
Рисунок 6.3.3 - Существующее положение системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Жилой дом №7» .....	67
Рисунок 6.3.4 - Результаты наладочного расчета существующего положения системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Жилой дом №7» .....	68
Рисунок 6.4.1 - Существующее положение системы теплоснабжения .....	70
Рисунок 6.4.2 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения .....	70
Рисунок 6.4.3 - Существующее положение системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Майская, 2» .....	71
Рисунок 6.4.4 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения. Пьезометрический ... график «Котельная – Майская, 2» .....	72
Рисунок 6.5.1 - Существующее положение системы теплоснабжения .....	74
Рисунок 6.5.2 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения .....	74
Рисунок 6.5.3 - Существующее положение системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Стационар» .....	75
Рисунок 6.5.4 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Стационар» .....	76
Рисунок 6.6.1 - Существующее положение системы теплоснабжения .....	78
Рисунок 6.6.2 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения .....	79
Рисунок 6.6.3 – Существующее положение системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Администрация» .....	80
Рисунок 6.6.4 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Администрация» .....	81

## 1. ОБЩЕЕ НАЗНАЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СП КРАСНЫЙ ПРОФИНТЕРН

Электронная модель системы теплоснабжения СП Красный Профинтерн сформирована на базе графико-информационного расчетного комплекса «Теплоэксперт».

В структуре, разрабатываемой в соответствии с «Требованиями к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения» электронной модели системы теплоснабжения СП Красный Профинтерн, ГИРК «Теплоэксперт» является инструментом для отображения фактического и перспективного состояния тепловых и гидравлических режимов систем теплоснабжения, образованных на базе различных источников теплоты.

Подробное описание инструментов, используемых ГИРК «Теплоэксперт», описано в Приложении 1.

При разработке Схемы теплоснабжения ее электронная модель должна отображать главные направления движения теплоносителя по основным выводам и тепломагистралям от источников тепловой энергии (мощности) до «камер сброса тепловой нагрузки» (ответвлений) или центральных тепловых пунктов, включая все существующие насосные станции и источники тепловой энергии. Такая модель называется электронной моделью системы теплоснабжения первого уровня.

Для модели первого уровня внутриквартальные тепловые сети после камер сброса тепловой нагрузки и ЦТП до непосредственных потребителей отображать не требуется. Полномасштабная электронная модель разрабатывается в случае необходимости создания эксплуатационной модели системы теплоснабжения и ее реализация выходит за рамки первоначальной разработки Схемы теплоснабжения. Ее реализация потребует только в процессе актуализации Схемы теплоснабжения, требования, к выполнению которой содержатся в пункте 3 ст.23 Федерального закона от 27 июля 2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении».

Электронная модель первого уровня предназначена для решения следующих задач Схемы теплоснабжения:

- отображения объектов теплоснабжения СП Красный Профинтерн на топологической основе в существующем (на отопительный период 2012/2013 годов) состоянии;
- обеспечения «сборки» циркуляции теплоносителя в различные периоды функционирования системы теплоснабжения, в том числе: режим циркуляции теплоносителя и передачи тепловой энергии при расчетных температурах наружного воздуха; режим циркуляции теплоносителя и передачи тепловой энергии при температурах наружного воздуха в переходный (весенний и осенний) климатические периоды; режим циркуляции теплоносителя при аварийном отключении головного участка одного из магистральных выводов тепловой мощности; режим циркуляции теплоносителя при аварийном отключении насосной станции и т.д.
- обеспечения оперативных тепловых и гидравлических расчетов циркуляции теплоносителя в тепловых сетях для заданной произвольной конфигурации;
- расчетов балансов тепловой энергии и теплоносителя по источникам и магистралям в зонах действия источников тепловой энергии;
- учета и оперативного ведения перспективной тепловой нагрузки в расчетных элементах территориального деления;
- моделирования теплоснабжения потребителей в районах новой комплексной застройки территории;
- моделирования перераспределения тепловой нагрузки между действующими

источниками тепловой энергии;

- моделирования расширения зон действия источников тепловой энергии;
- моделирования строительства новых участков тепловых сетей с целью обеспечения нормативной надежности теплоснабжения потребителей;
- моделирования реконструкции тепловых сетей с целью обеспечения приростов тепловой нагрузки в существующих зонах действия источников тепловой энергии;
- моделирования нового строительства и реконструкции тепловых сетей с целью перевода в пиковый режим действующих котельных;
- моделирования нового строительства (в случае необходимости) и реконструкции насосных станций для обеспечения устойчивой циркуляции теплоносителя по тепловым сетям;
- моделирования нового строительства и реконструкции тепловых камер и павильонов на магистральных тепловых сетях с преобразованием их в КРП с установкой автоматики поддержания постоянства давления на ответвлениях;
- моделирования схемных решений по размещению устройств для защиты от превышения давления в тепловых сетях;
- моделирования присоединения новых и реконструируемых абонентов (абонентских вводов с различными схемами присоединения);
- мониторинга развития Схемы теплоснабжения СП Красный Профинтерн.



## 2. РАСЧЕТНЫЕ МОДУЛИ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ

### 2.1. Общие положения

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

- базовый комплекс,
- Режим «Проверка»,
- Режим «Настройка».

Более детально комплекс задач, решаемых данными модулями, представлен в инструкции по работе с электронной моделью на базе ГИРК «Теплоэксперт» (Книга 3. Электронная модель. Приложение 1).

### 2.2. Базовый комплекс ГИРК «Теплоэксперт»

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, так и табличные методы анализа данных;
- средства для межсистемного обмена графической информацией со сторонними ГИС с использованием стандартных обменных форматов.

### 2.3. Режим «Проверка»

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.

## 2.4. Расчет текущего (фактического) гидравлического режима

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.

## 2.5. Моделирование переключений

Это основной инструмент, который, главным образом, позволяет говорить о "гидравлической модели" сети. Суть заключается в автоматическом отслеживании 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.

Для насосных агрегатов и их групп в модели доступны несколько видов переключений: - включение/выключение; 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 уставки.

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 (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.

## 2.6. 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.

## 2.7. 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 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. График может быть при необходимости распечатан либо экспортирован в другие приложения через буфер обмена Windows.

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.

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.

## **2.8. 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 (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.

## 2.9. 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 расхождением 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 связных компонент тепловой сети (тепловой зоне источника);
- по некоторой графической области, заданной произвольным многоугольником;
- вдоль выбранного пути.

При этом на любой из вышеперечисленный "пространственный" критерий 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.

## 2.10. 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.

## 2.11. Режим «Наладка»

Данная подсистема представляет собой инструментарий для расчета наладочных устройств, установка которых позволяет сбалансировать гидравлический режим в тепловой сети, обеспечив равномерное теплоснабжение потребителей и гидравлическую устойчивость тепловой сети и системы теплоснабжения в целом.

Расчет сужающих устройств (дресселирующих шайб и сопел элеваторов) по видам подключенной тепловой нагрузки на потребителях предполагает значительно более подробное описание абонентских вводов, чем при простом гидравлическом расчете и моделировании тепловой сети. Поэтому подсистема включает в себя соответствующие расширения базы данных паспортизации потребителей, а также необходимые дополнительные процедуры ввода.

Расчет наладочных устройств производится на откалиброванной в номинальном режиме гидравлической модели тепловой сети. В результате наладочного расчета генерируются аналитические документы, содержащие все необходимые данные о гидравлических характеристиках потребителей и параметрах гидравлического режима, а также результирующий документ с рассчитанными конструктивными параметрами сужающих устройств - головных и подпорных диафрагм, а также сопел элеваторов и шайб по видам присоединенной тепловой нагрузки.

### **3. БАЗА ДАННЫХ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СП КРАСНЫЙ ПРОФИНТЕРЬ**

На этапе описания объектов системы теплоснабжения сельского поселения было проведено информационно-графическое описание существующих объектов системы теплоснабжения.

В электронной модели (далее ЭМ) тепловая сеть представлена в виде узлов и ветвей, связывающих эти узлы. К узлам относятся следующие объекты: источники, насосные станции, тепловые камеры, заглушки, бескамерные врезки и потребители. Ряд элементов, такие как тепловые камеры, потребители и т.д., допускают дальнейшую классификацию.

Использованы следующие технологические типы узлов:

- источник (котельная);
- источник ЦТП (ГВС);
- тепловая камера;
- тепловой узел;
- изменение параметров;
- насосная станция;
- потребитель;
- задвижка.

Всем узлам присвоены уникальные имена. Имена некоторых типов узлов определены до ввода описания сети - такие узлы называются именованными. Имена узлам других типов могут присваиваться в процессе ввода - такие узлы называются автоматически именуемыми.

Для именованных узлов использованы шаблоны имен, соответствующие технологическим типам узлов.

Ветви являются графическим изображением трубопроводов и представляют собой многозвенные ломаные линии, соединяющие узлы.

Таким образом, в результате выполнения данного этапа работ была создана топографическая основа поселения, выполнена привязка всех объектов системы теплоснабжения к топографической основе, сформирована база данных по объектам.

## 4. СТРУКТУРА И СОСТАВ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ

### 4.1. Общие положения

Разработку электронной модели системы теплоснабжения рекомендуется выполнять с целью создания инструмента для:

–хранения и актуализации данных о тепловых сетях и сооружениях на них, включая технические паспорта объектов системы теплоснабжения и графическое представление объектов системы теплоснабжения с привязкой к топографической основе поселения с полным топологическим описанием связности объектов;

–гидравлического расчета тепловых сетей любой степени закольцованности, в том числе гидравлического расчета при совместной работе нескольких источников тепловой энергии на единую тепловую сеть;

–моделирования всех видов переключений, осуществляемых в тепловых сетях, в том числе переключений тепловых нагрузок между источниками тепловой энергии;

–расчета энергетических характеристик тепловых сетей по показателю «потери тепловой энергии» и «потери сетевой воды»;

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

–расчета и сравнения пьезометрических графиков для разработки и анализа сценариев перспективного развития тепловых сетей;

–автоматизированного формирования пути движения теплоносителя до произвольно выбранного потребителя с целью расчета вероятности безотказной работы (надежности) системы теплоснабжения относительно этого потребителя;

–автоматизированного расчета отключенных от теплоснабжения потребителей при повреждении произвольного (любого) участка тепловой сети;

–определения существования пути/путей движения теплоносителя до выбранного потребителя при повреждении произвольного участка тепловой сети;

–расчета эффективного радиуса теплоснабжения в зонах действия изолированных систем теплоснабжения на базе единственного источника тепловой энергии.

### 4.2. Электронная модель

В состав электронной модели системы теплоснабжения СП Красный Профинтерн входят источники тепловой энергии, представленные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Перечень источников тепловой энергии электронной модели системы теплоснабжения СП Красный Профинтерн

№ п/п	Наименование источника	Ведомственная принадлежность
1	Котельная с. Вятское	ОАО «Яркоммунсервис»
2	Котельная п. Красный Профинтерн	ОАО «Яркоммунсервис»
3	Котельная д. Грешнево	МУП ЖКХ «Заволжское»
4	Котельная с. Заболотье	МУП ЖКХ «Заволжское»
5	Котельная больницы с. Диево-Городище	МУП ЖКХ «Заволжское»
6	Котельная школы с. Диево-Городище	МУП ЖКХ «Заволжское»



Расчетная схема описывает всю сферу теплоснабжения сельского поселения в состоянии на отопительный период 2012/2013 годов, включает в себя следующие расчетные схемы:

- Котельная с. Вятское;
- Котельная п. Красный Профинтерн;
- Котельная д. Грешнево;
- Котельная с. Заболотье;
- Котельная больницы с. Диево-Городище;
- Котельная школы с. Диево-Городище.

Расчетная схема для электронной модели системы теплоснабжения СП Красный Профинтерн с зонами действия источников тепловой энергии вышеперечисленных котельных представлена ниже.

Схема тепловых сетей котельной с. Вятское представлена на рисунке 4.1.

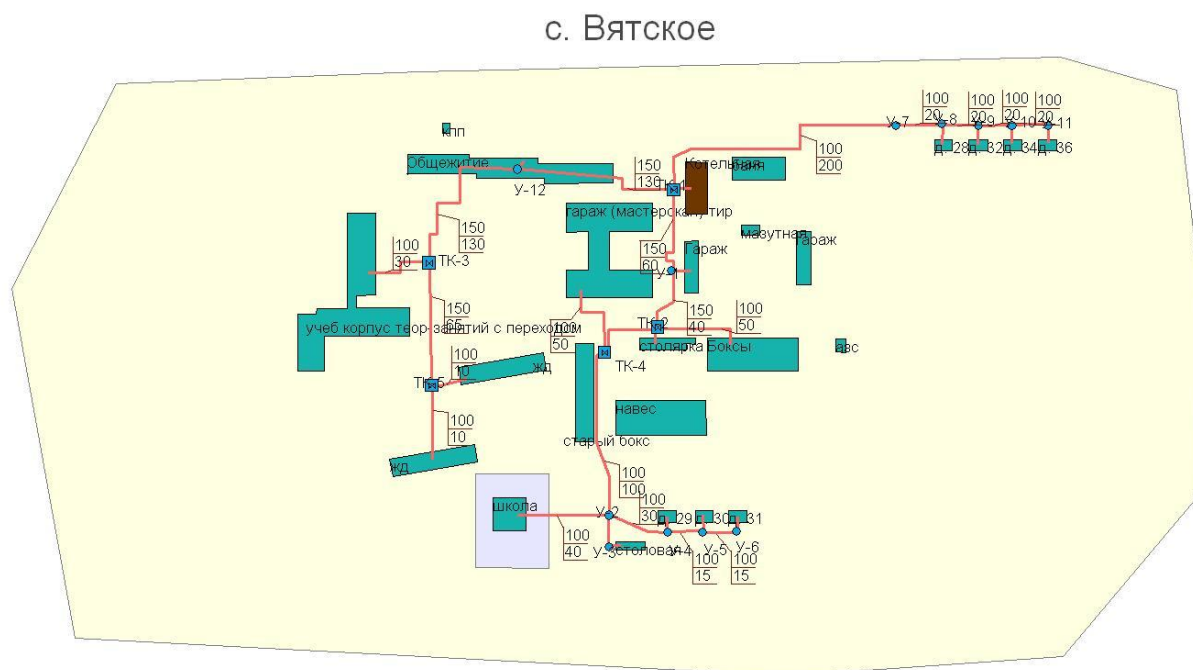


Рисунок 4.21 – Схема тепловых сетей котельной с. Вятское

В состав схемы котельной с. Вятское входят:

- Котельная;
- Квартальные тепловые сети – 34 участков трубопроводов тепловой сети;
- Тепловые камеры на квартальных тепловых сетях - общее количество 5 камер;
- Тепловые узлы - общее количество 12 узлов;
- Потребители тепловой энергии – 24 потребителя.

Схема тепловых сетей котельной п. Красный Профинтерн представлена на рисунке 4.2.

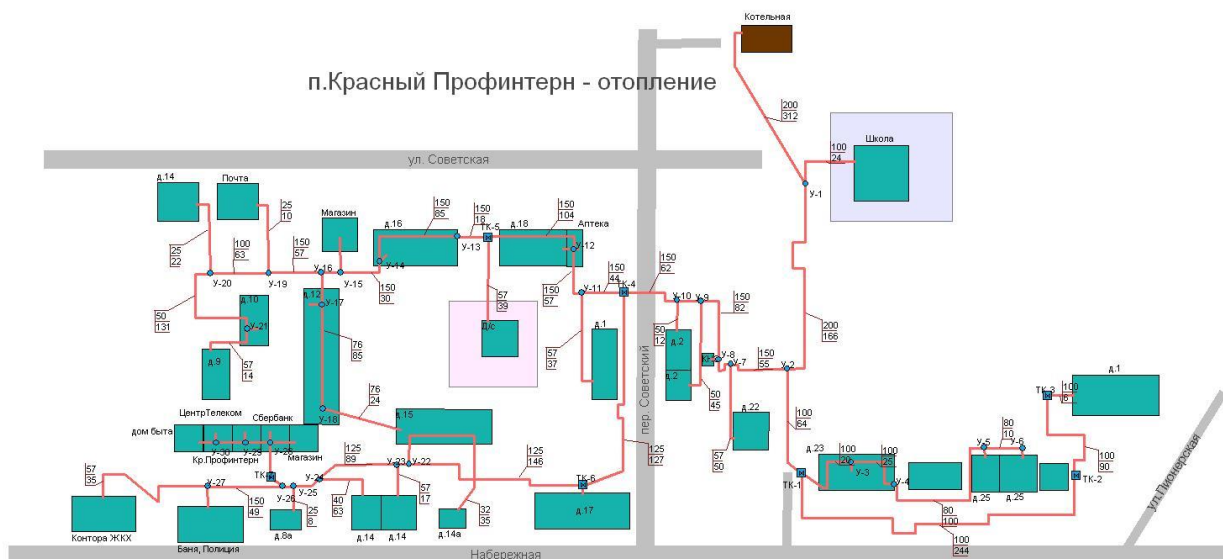


Рисунок 4.22 – Схема тепловых сетей котельной п. Красный Профинтерн

В состав схемы котельной п. Красный Профинтерн входят:

- Котельная;
- Квартальные тепловые сети – 70 участков трубопроводов тепловой сети;
- Тепловые камеры на квартальных тепловых сетях - общее количество 7 камер;
- Тепловые узлы - общее количество 30 узлов;
- Потребители тепловой энергии – общее количество 35 потребителей.



Схема тепловых сетей котельной д. Заболотье представлена на рисунке 4.4.

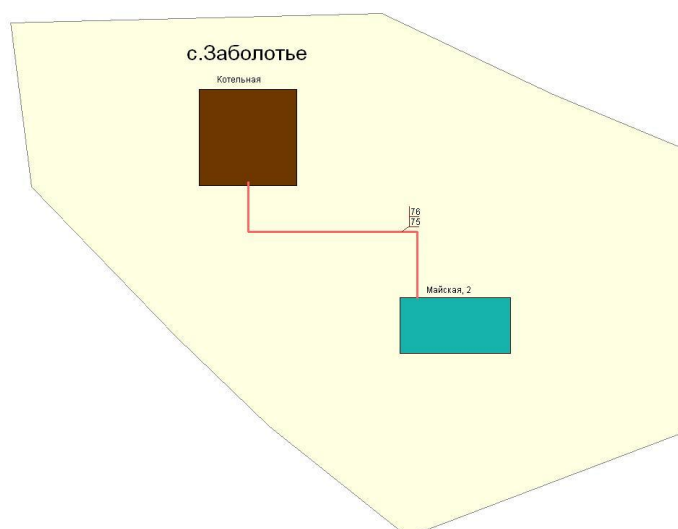


Рисунок 4.24 – Схема тепловых сетей котельной д. Заболотье

В состав схемы котельной д. Заболотье входят:

- Котельная;
- Квартальные тепловые сети – 1 участок трубопровода тепловой сети;
- Потребители тепловой энергии – общее количество 1 потребитель.

Схема тепловых сетей котельной больницы с. Диево-Городище представлена на рисунке 4.5.

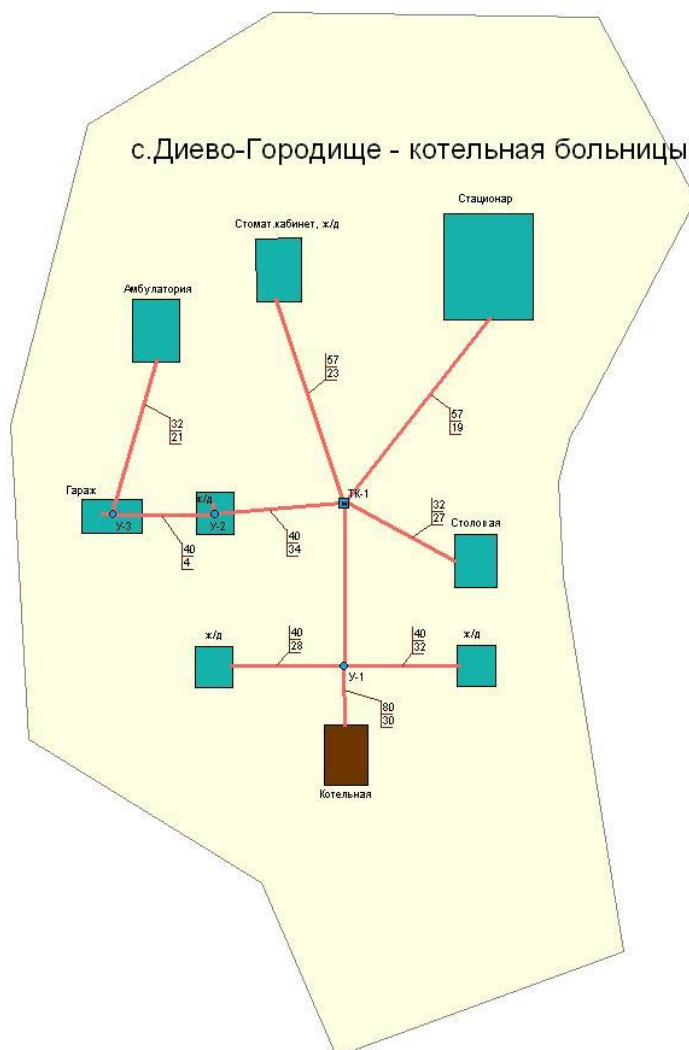


Рисунок 4.25 – Схема тепловых сетей котельной больницы с. Диево-Городище

В состав схемы котельной больницы с. Диево-Городище входят:

- Котельная;
- Квартальные тепловые сети – 12 участков трубопроводов тепловой сети;
- Тепловые камеры – общее количество 1 камера;
- Тепловые узлы - общее количество 3 узла;
- Потребители тепловой энергии – общее количество 8 потребителей.

Схема тепловых сетей котельной школы с. Диево-Городище представлена на рисунке 4.5.

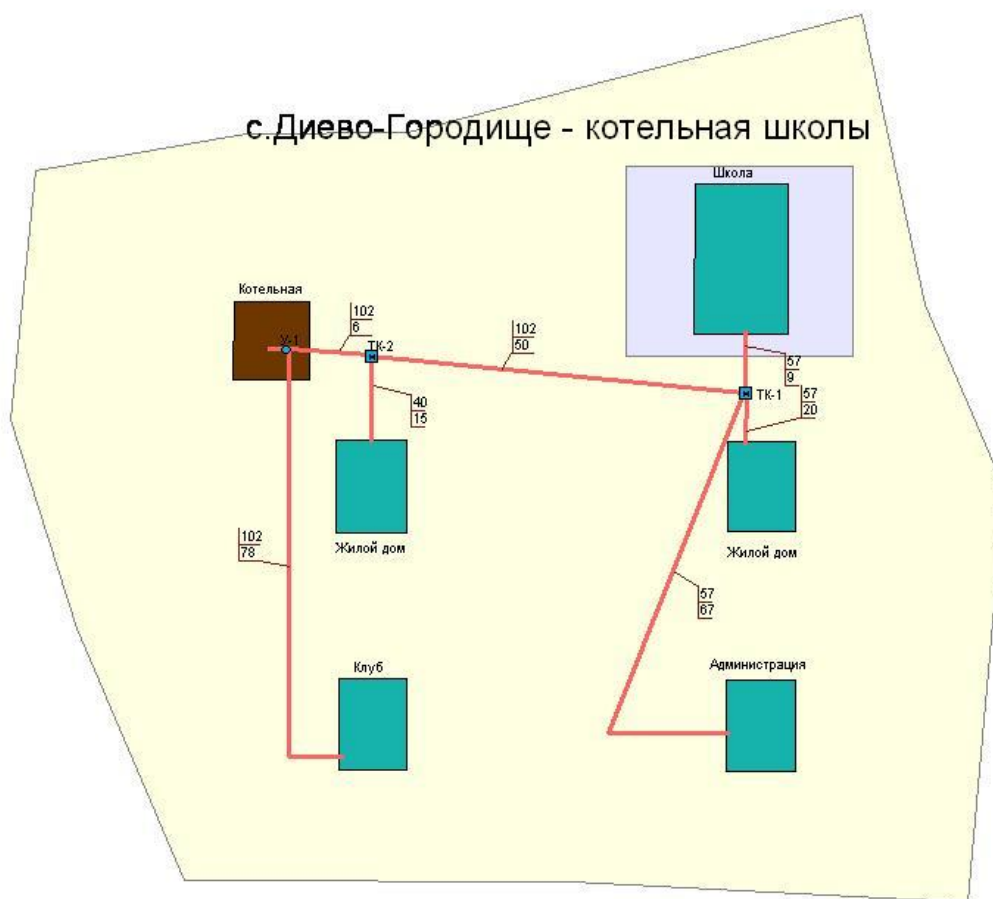


Рисунок 4.26 – Схема тепловых сетей котельной школы с. Диево-Городище

В состав схемы котельной школы с. Диево-Городище входят:

- Котельная;
- Квартальные тепловые сети – 8 участков трубопроводов тепловой сети;
- Тепловые камеры – общее количество 2 камеры;
- Тепловые узлы - общее количество 1 узел;
- Потребители тепловой энергии – общее количество 5 потребителей.

## 5. ПРИЛОЖЕНИЕ. ОБЩАЯ ЧАСТЬ.

### Введение

Вопросы эксплуатации современных систем теплоснабжения требуют к себе пристального внимания, так как затрагивают интересы большого числа потребителей.

В этих условиях наряду с потребностью в новых технических и организационных решениях назрела необходимость в систематическом применении современных методов количественного обоснования эксплуатационных решений и переходе на качественно новый уровень управления и развития с помощью соответствующего математического и программного обеспечения и ЭВМ как обязательного условия дальнейшего прогресса в этой области.

Применение отдельных методик и программных средств при решении задач эксплуатационной практики подразумевает организацию эффективного взаимодействия инженерно-технического персонала с ЭВМ. Это, в свою очередь, обуславливает разработку специальных обслуживающих компьютерных систем, берущих на себя различные трудоемкие операции, в том числе подготовку и контроль исходных данных, расчеты вариантов при анализе возможных решений, классификацию и выдачу результатов в удобной форме и т.п. Тем самым вместе с подготовкой необходимых кадров, внедрением технических средств и развитием парка ЭВМ создаются условия для перехода к автоматизированным системам эксплуатации.

В данном руководстве представлено описание системы автоматизированного ведения расчетов режимов эксплуатации и наладки внутренних тепловых сетей, представляющей собой программный комплекс для персонального компьютера, совместимого с IBM PC/AT.

Система *позволяет*:

1. По реальному режиму отпуска теплоты любой сложности определять расчетные и плановые значения расходов теплоты и греющего теплоносителя для подачи каждому абоненту сети.

2. Воспроизводить существующую гидравлическую и тепловую картину любого режима эксплуатации при любой температуре наружного воздуха с предоставлением данных о величине установившихся при этом фактических значений:

- расходов, узловых перепадов, активных напоров, абсолютных и относительных потерь на любом участке и узле сети;
- расходов теплоты, греющего теплоносителя, температур внутреннего воздуха и горячей воды у каждого потребителя;
- температур теплоносителя на выходе из систем отопления, горячего водоснабжения и вентиляции;
- средневзвешенной температуры теплоносителя, возвращаемого на источник теплоснабжения по обратной магистрали.

3. Моделировать вышеуказанные условия с учетом:

- изменения режима регулирования отпуска теплоты;
- присоединения или отключения тех или иных (новых) потребителей, ветвей и отдельных участков сети;
- замены одних трубопроводов на другие.

4. Осуществлять расчет параметров дросселирующих устройств (сопл элеваторных вводов и запорных шайб), обеспечивающих наладку подачи греющего теплоносителя всем потребителям в соответствии с нормами теплопотребления и достижением реальной экономии топлива и электроэнергии.

Система апробирована на расчетах реальных объектов, предельно проста в работе и не требует специальной подготовки инженерно-технического персонала.



## 1. ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Водяные системы теплоснабжения промышленных объектов представляют собой сложные тепловые и гидравлические цепи, в которых работа всех звеньев находится во взаимной зависимости.

Для правильного управления этими системами и оценки взаимосвязей всех режимных параметров необходимо знать тепловые и гидродинамические характеристики их элементов.

Как правило, практически во всех реально действующих системах теплоснабжения имеет место присоединение и взаимодействие разнородных потребителей теплоты, а именно: отопительных систем, вентиляционных установок и подогревателей горячего водоснабжения. При этом доля тепловой нагрузки вентиляции и горячего водоснабжения в период отопительного сезона бывает не ниже нагрузки отопления.

Центральное качественное регулирование отпуска теплоты ориентируется на основную нагрузку объекта - отопительную. При разнородной тепловой нагрузке невозможно одновременно сочетать требования всех абонентов, снабжаемых теплотой от единой сети, поэтому наряду с центральным регулированием производится местное подрегулирование групп однотипных систем и потребителей в узлах присоединения. Регулируемым параметром является расход сетевой воды на отдельные виды тепловой нагрузки - отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

Тепловое оборудование абонентских установок состоит из различного рода теплообменных аппаратов - отопительных приборов, калориферов, водо-водяных подогревателей и т.п. Аналитические расчеты режимов эксплуатации производятся по системам уравнений, описывающих их совместную работу в расчетных и нерасчетных условиях.

### 1.1. Системы отопления

В качестве основного режима работы систем отопления принимается режим при котором температура наружного воздуха -  $t_H$  равна температуре наружного воздуха расчетной для целей отопления -  $t_{HPO}$ .

Расчетный тепловой поток для водяных систем отопления зданий промышленного назначения следует определять по требованиям СНиП [1, 2] по формулам:

$$Q'_O = Q'_{O1}\beta_1\beta_2 + Q_2 + Q_3, \quad (1.1)$$

где  $Q'_{O1}$  - часть расчетных потерь теплоты зданием, возмещаемых отопительными приборами для компенсации теплотерь;  $\beta_1$  - коэффициент учета дополнительного теплового потока устанавливаемых отопительных приборов за счет округления сверх расчетной величины, принимаемый по табл. 1.1;  $\beta_2$  - коэффициент учета дополнительных потерь теплоты отопительными приборами, расположенными у наружных ограждений, принимаемый по табл. 1.2;  $Q_2$  - дополнительные потери теплоты в подающих и обратных магистралях, проходящих в неотапливаемых помещениях;  $Q_3$  - часть расчетных потерь теплоты, возмещаемых поступлением теплоты от трубопроводов, проходящих в отапливаемых помещениях.

---

Таблица 1.1

Шаг номенклатурного ряда отопительных приборов	$\beta_1$
0,12	1,02
0,15	1,03
0,18	1,04
0,21	1,06
0,24	1,08
0,30	1,13

Таблица 1.2

Отопительный прибор	$\beta_2$	
	у наруж. стены	у остекл. светового проема
<b>Радиатор:</b>		
-чуг. секц.	1,02	1,07
-стальной панельный	1,04	1,10
<b>Конвектор:</b>		
-с кожухом	1,02	1,05
-без кожуха	1,03	1,07

С другой стороны, количество теплоты для компенсации теплопотерь зданий при отсутствии проектов можно рассчитать как [3]:

$$Q'_{O1} = q_{O(V)} V_{зд} (t_B - t_{НРО}), \quad (1.2)$$

где  $q_{O(V)}$  - удельные теплопотери, зависящие от функционального назначения и объема здания, Ккал/(ч·м<sup>3</sup>·°С);  $V_{зд}$  - объем здания по наружному обмеру, м<sup>3</sup>;  $t_B$  - расчетное значение температуры воздуха внутри отапливаемых помещений, °С;  $t_{НРО}$  - расчетное значение температуры наружного воздуха для целей отопления в территориальной зоне расположения объекта, °С.

Температура отапливаемых помещений  $t_B$  является функцией теплового режима здания, определяемого подачей данного количества теплоты в отопительные установки и тепловыми потерями здания через наружные ограждения.

Численные значения величин  $q_{O(V)} = f(V_{зд})$ ,  $t_B$  и  $t_{НРО}$  широко представлены в справочной литературе, в частности в [3].

Удельные теплопотери жилых и общественных зданий могут быть ориентировочно определены по эмпирической формуле [3]

$$q_{O(V)} = \frac{a}{\psi \sqrt[n]{V_{зд}}}, \quad (1.3)$$

где  $n = 6$ ;  $a = 1,6$  Ккал/(м<sup>2,83</sup>·ч·°С) для зданий строительства до 1958 года, т.е. более утепленных. Для зданий строительства после 1958 года  $n=8$  и  $a = 1,3$  Ккал/(м<sup>2,83</sup>·ч·°С). Поправочный коэффициент  $\psi$  имеет следующие значения в зависимости от величин расчетных температур для целей отопления:  $t_{НРО} > -10$  °С  $\psi = 1,2$ ;  $t_{НРО} = -20$  °С  $\psi = 1,1$ ;  $t_{НРО} = -30$  °С  $\psi = 1,0$ ; при  $t_{НРО} < -40$  °С  $\psi = 0,9$ .

Максимальный тепловой поток на отопление жилых зданий при отсутствии соответствующих проектов по требованиям СНиП [2] может быть установлен по формуле

$$Q'_O = q_{O(F)} \cdot A, \quad (1.4)$$

где  $q_{O(F)}$  - укрупненный показатель максимального теплового потока на отопление жилых зданий на 1 м<sup>2</sup> общей площади, принимаемый в соответствии с табл.1.3 [2];  $A$  - общая площадь отапливаемого жилого здания, м<sup>2</sup>.

Таблица 1.3

Укрупненные показатели максимального теплового потока на отопление жилых зданий на 1 м<sup>2</sup> общей площади q<sub>огр</sub>, Вт

Этажность жилой постройки	Характеристика зданий	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления t <sub>НРО</sub> , °С						
		-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
Для постройки до 1985 г.								
1-2	Без учета внедрения энергосберегающих мероприятий	160	205	213	230	234	237	242
3-4		109	117	126	134	144	150	160
5 и более		77	79	86	88	98	102	109
1-2	С учетом внедрения энергосберегающих мероприятий	160	194	201	218	222	225	230
3-4		103	111	119	128	137	140	152
5 и более		73	75	82	88	92	96	103
Для постройки после 1985 г.								
1-2	По новым типовым проектам	159	166	173	177	180	187	194
3-4		86	91	97	101	103	109	116
5 и более		70	73	81	87	87	95	100
<b>Примечания:</b>								
1. Энергосберегающие мероприятия обеспечиваются проведением работ по утеплению зданий при капитальных и текущих ремонтах, направленных на снижение тепловых потерь.								
2. Укрупненные показатели зданий по новым типовым проектам приведены с учетом внедрения прогрессивных архитектурно-планировочных решений и применения строительных конструкций с улучшенными теплофизическими свойствами, обеспечивающими снижение тепловых потерь.								
3. Для перевода значений q <sub>огр</sub> в Ккал/ч необходимо произвести деление на коэффициент, равный 1,163.								

Расчетные, плановые и фактические режимные параметры каждой отопительной установки в соответствии с теорией их регулирования могут быть вычислены посредством решения следующей системы уравнений [3]:

$$\delta\tau'_O = \tau'_{O1} - \tau'_{O2}; \quad (1.5)$$

$$\theta'_O = \tau'_{O3} - \tau'_{O2}; \quad (1.6)$$

$$\Delta t'_O = 0,5 \cdot (\tau'_{O3} + \tau'_{O2}) - t_B; \quad (1.7)$$

$$\bar{Q}_O = \frac{t_B - t_H}{t_B - t_{НРО}}; \quad (1.8)$$

$$\bar{Q}_O = \frac{\tau_{O1} - t_H}{t_B - t_{НРО} + \frac{\Delta t'_O}{Q_O^{0,2}} + \left( \delta\tau'_O - \frac{\theta'_O}{2} \right) \cdot \frac{G'_O}{G_O}}, \quad (1.9)$$

где  $\tau'_{O1}$  - расчетная (максимальная) температура сетевой воды в подающей магистрали тепловой сети при соответствующем режиме отпуска теплоты в расчетных условиях, °С;  $\tau'_{O2}$  - температура сетевой воды на выходе из систем отопления в расчетных условиях, °С;  $\tau'_{O3}$  - температура сетевой воды на входе в отопительные приборы в расчетных условиях, °С;  $\delta\tau'_O$  - расчетная разность температур в системе централизован-

ного теплоснабжения, °С;  $\theta'_O$  - расчетная разность температур теплоносителя на входе и выходе отопительных приборов, °С;  $\Delta t'_O$  - температурный напор от теплоносителя в отопительных приборах к внутреннему воздуху отапливаемых помещений в расчетных условиях, °С;  $Q'_O = Q_O/Q'_O$  - относительная величина текущей (при любой  $t_H$ ) тепловой нагрузки к расчетной;  $G'_O$  - расход сетевой воды, фактически установившийся в соответствии с гидравлической картиной в системе при текущей тепловой нагрузке, кг/ч;  $\tau_{O1}$  - фактическая текущая (при любой  $t_H$ ) температура сетевой воды в подающей магистрали тепловой сети, °С.

Величина  $\tau'_{O1}$  определяется принятым на источнике теплоснабжения температурным режимом регулирования, а численные значения расчетных температур  $\tau'_{O3} = 95$  °С и  $\tau'_{Oр} = 70$  °С [2].

Соответствующее значению  $Q'_O$  расчетная величина расхода теплоносителя может быть установлена по уравнению:

$$G'_O = \frac{Q'_O}{c_B(\tau'_{O1} - \tau'_{O2})}. \quad (1.10)$$

Здесь:  $c_B$  - теплоемкость воды, Ккал/(кг·°С).

При условии качественного централизованного способа регулирования отпуска теплоты, температура сетевой воды в подающей магистрали сети при любой температуре наружного воздуха  $t_H$  может быть вычислена как [3]

$$\tau_{O1} = t_B + \Delta t'_O \bar{Q}_O^{0,8} + (\delta\tau'_O - 0,5 \cdot \theta'_O) \cdot \bar{Q}_O. \quad (1.11)$$

Понятие плановых режимных параметров обусловлено такой работой отопительных систем, при которой температуры внутреннего воздуха отапливаемых помещений  $t_B$  при любой  $t_H$  должны быть равными внутренним расчетным, т.е.  $t_B = t_{BP}$ . Это возможно при достижении соответствующих величин подач греющего теплоносителя -  $G_{O(пл)}$  на вводы абонентских узлов, что, в свою очередь, определяет величину плановых значений температур сетевой воды на выходе из отопительных агрегатов [3]

$$\tau_{O2(пл)} = \tau_{O1} - \bar{Q}_O Q'_O \frac{G'_O}{G_{O(пл)}}. \quad (1.12)$$

Фактические значения режимных параметров, напротив, определяются фактически установившимися величинами подач греющего теплоносителя  $G_{O(ф)}$  в результате того или иного гидравлического режима.

В этом случае значения температур теплоносителя на выходе из отопительных агрегатов будут рассчитываться как:

$$\tau_{O2(ф)} = \tau_{O1} - \bar{Q}_{O(ф)} Q'_O \frac{G'_O}{G_{O(ф)}}. \quad (1.13)$$

При этом величины температур внутреннего воздуха в помещениях будут принимать значения:

$$t_{B(\Phi)} = t_H + \bar{Q}_{O(\Phi)} \cdot (t_B - t_{HPO}). \quad (1.14)$$

Таким образом, система уравнений (1.1)-(1.14) дает возможность определить все тепловые режимные характеристики отопительных систем при эксплуатации в различных условиях.

## 1.2. Системы вентиляции

### 1.2.1. Системы вентиляции с нагревом наружного воздуха

Системами принудительной вентиляции, как правило, оборудованы большинство зданий и отдельных помещений производственного и общественного назначения. Расчетная наружная температура для целей вентиляции  $t_{HРВ}$  по СНиП [1, 2] равна расчетной температуре наружного воздуха для целей отопления  $t_{HPO}$ . Вентиляционная нагрузка общественных и части производственных зданий в некоторых случаях определяется сменностью их работы и не всегда является круглосуточной.

Максимальный тепловой поток на вентиляцию промышленных зданий должен определяться специальными проектами. Однако, при их отсутствии можно воспользоваться укрупненными усредненными показателями удельных тепловых нагрузок на м<sup>3</sup> здания по наружному обмеру [3]:

$$Q'_B = q_{B(V)} V_{зд} \cdot (t_B - t_{HРВ}), \quad (1.15)$$

где  $q_{B(V)}$  - удельные теплотери, зависящие от функционального назначения и объема здания, Ккал/(ч·м<sup>3</sup>·°С);  $V_{зд}$  - объем здания по наружному обмеру, м<sup>3</sup>;  $t_B$  - расчетное значение температуры воздуха внутри вентилируемых помещений, °С;  $t_{HРВ}$  - расчетное значение температуры наружного воздуха для целей вентиляции в территориальной зоне расположения объекта, °С.

Внутренняя расчетная температура вентилируемых помещений  $t_B$  как и в случае с отоплением является функцией теплового режима здания, определяемого подачей данного количества теплоты в вентиляционные установки и тепловыми потерями здания через наружные ограждения.

Численные значения величин  $q_{B(V)} = f(V_{зд})$ ,  $t_B$  и  $t_{HРВ}$  широко представлены в справочной литературе, в частности в [3].

Максимальный тепловой поток на вентиляцию общественных зданий при отсутствии специальных проектов может быть вычислен в соответствии со СНиП [2] как доля отопительной нагрузки (см. таблицу 1.3), а именно:

$$Q'_B = k_1 k_2 q_{O(F)} \cdot A, \quad (1.16)$$

где  $k_1$  - коэффициент, учитывающий тепловой поток на отопление общественных зданий, при отсутствии данных следует принимать равным 0,25;  $k_2$  - коэффициент, учитывающий тепловой поток на вентиляцию общественных зданий, при отсутствии данных следует принимать равным для общественных зданий, построенных до 1985 г. - 0,4, после 1985 г. - 0,6.

В качестве импульса, воздействующего на регуляторы расхода сетевой воды, является изменение температуры воздуха на выходе из калориферных установок.

Эквивалент расхода теплоносителя на вентиляцию  $W'_B$  при режимах, отличных от расчетного, может быть определен на основании уравнений характеристик водовоздушных калориферов [3].

Расчетные, плановые и фактические параметры режимов работы вентиляционных систем могут быть вычислены посредством решения следующей системы уравнений [3]

$$W'_B = \frac{Q'_B}{\tau'_{B1} - \tau'_{B2}}; \quad (1.17)$$

$$W'_{BO3} = \frac{Q'_B}{t_B - t_{HPB}}; \quad (1.18)$$

$$\Delta t'_B = 0,5(\tau'_{B1} + \tau'_{B2}) - (t_B + t_{HPB}); \quad (1.19)$$

$$W'_{\min} = \min(W'_{BO3}, W'_B); \quad (1.20)$$

$$\omega_{OC} = \frac{Q'_B}{\Delta t'_B W'_{\min}}; \quad (1.21)$$

$$\alpha = \frac{\tau_{O1} - t_H}{t_B - t_H} - 0,5; \quad (1.22)$$

$$\beta = \frac{1}{\omega_{OC}} \left( \frac{W'_B}{W'_{\min}} \right)^{0,15} \left( \frac{W'_{BO3}}{W'_{\min}} \right)^{0,5} \left( \frac{W_{BO3}}{W'_{\min}} \right)^{0,35}; \quad (1.23)$$

$$\alpha \frac{W_B}{W_{BO3}} - \beta \left( \frac{W_B}{W_{BO3}} \right)^{0,85} - 0,5 = 0, \quad (1.24)$$

где  $W'_B = c_B G'_B$ ,  $W_B = c_B G_B$  - эквиваленты расхода сетевой воды (первичного теплоносителя) соответственно в расчетных ( $t_H = t_{HPB}$ ) и нерасчетных (при любой  $t_H$ ) условиях, Ккал/(°С·ч);  $G'_B$ ,  $G_B$  - расходы сетевой воды соответственно в расчетных и нерасчетных условиях, кг/ч;  $W'_{BO3} = c_{BO3} G'_{BO3}$ ,  $W_{BO3} = c_{BO3} G_{BO3}$  - эквиваленты расхода воздуха (вторичного теплоносителя) соответственно в расчетных и нерасчетных условиях, Ккал/(°С·ч);  $c_{BO3}$  - теплоемкость воздуха, Ккал/(кг·°С);  $G'_{BO3}$ ,  $G_{BO3}$  - расходы воздуха соответственно в расчетных и нерасчетных условиях, кг/ч;  $Q'_B$  - расчетная тепловая нагрузка вентиляционной системы (при  $t_H = t_{HPB}$ ), Ккал/ч;  $\tau'_{B1}$ ,  $\tau'_{B2}$  - температуры сетевой воды на входе и выходе установки в расчетных условиях (при  $t_H = t_{HPB}$ ), °С;  $\Delta t'_B$  - температурный напор в системе при расчетных условиях, °С;  $\omega_{OC}$  - основной режимный коэффициент системы;  $W'_{\min}$  - меньшее значение из двух величин водяных эквивалентов, Ккал/(°С·ч);  $\alpha$ ,  $\beta$  - постоянные коэффициенты.

Понятие плановых режимных параметров вентиляционных систем обусловлено их работой при любых значениях  $t_H$  и  $\tau_{O1}$  с обязательным условием равенства температур вентиляционного воздуха  $t_{BO3}$  расчетным температурам внутреннего воздуха вентилируемых помещений, т.е.  $t_{BO3} = t_{BPR}$ . Это возможно при достижении соответствующих величин подач греющего теплоносителя -  $G_{B(ПЛ)}$  на вводы систем:

$$G_{B(ПЛ)} = \frac{W_B}{c_B}, \quad (1.25)$$

что, в свою очередь, определяет величину плановых значений температур сетевой воды на выходе из калориферов

$$\tau_{B2(ПЛ)} = \tau_{O1} - \frac{Q'_B}{c_B G_{B(ПЛ)}} \cdot \frac{t_B - t_H}{t_B - t_{HBP}}. \quad (1.26)$$

Фактические значения режимных параметров определяются установившимися величинами подач греющего теплоносителя  $G_{B(\Phi)}$  в результате гидравлического режима. В этом случае величины температур подаваемого в помещения воздуха примут значения

$$t_{BO3(\Phi)} = t_H + \frac{\tau_{O1} - t_H}{\alpha + 0,5}. \quad (1.27)$$

При этом, температуры теплоносителя на выходе из калориферных установок будут рассчитываться как

$$\tau_{B2(\Phi)} = \tau_{O1} - \frac{W'_B (t_{BO3(\Phi)} - t_H)}{G_{B(\Phi)} c_B}. \quad (1.28)$$

Система уравнений (1.15)-(1.28) дает возможность определить значения всех режимных параметров систем вентиляции при любом режиме эксплуатации.

### 1.2.2. Системы вентиляции с нагревом внутреннего воздуха

В качестве импульса, воздействующего на регуляторы расхода сетевой воды, при нагреве внутреннего воздуха также является изменение температуры воздуха на выходе из калориферных установок.

Эквивалент расхода греющего теплоносителя на нагрев внутреннего воздуха  $W_B$  при режимах, отличных от расчетного, может быть определен на основании приведенной выше системы уравнений (1.15)-(1.28) для расчета характеристик водовоздушных калориферов [3].

Но в этом случае, уравнение (1.22) модифицируется в следующий вид:

$$\alpha = \frac{\tau_{O1} - t_{BX}}{t_{ВЫХ} - t_{BX}} - 0,5, \quad (1.29)$$

---

где  $t_{ВХ}$ ;  $t_{ВЫХ}$  - соответственно температуры воздуха на входе и выходе установки, °С.

Текущее значение тепловой нагрузки  $Q_B$ , отличной от расчетной  $Q'_B$ , и эквивалент расхода сетевой воды  $W_B$  могут быть вычислены посредством равенств:

$$Q_B = V_{ВОЗ} \rho_{ВОЗ} c_{ВОЗ} (t_{ВЫХ} - t_{ВХ}) \quad (1.30)$$

$$W_B = \frac{Q_B}{c_B}, \quad (1.31)$$

где  $V_{ВОЗ}$ -объемный расход нагреваемого воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $\rho_{ВОЗ}$ ,  $c_{ВОЗ}$ - соответственно усредненные значения плотности кг/м<sup>3</sup> и теплоемкости воздуха, Ккал/(кг·ч·°С);  $c_B$ - теплоемкость воды, Ккал/(кг·ч·°С).

Расчетные, плановые и фактические параметры режимов работы систем нагрева внутреннего воздуха могут быть вычислены посредством решения следующей системы уравнений.

Величина плановых значений температур сетевой воды на выходе из caloriferов:

$$\tau_{B2(ПЛ)} = \tau_{O1} - \frac{V_{ВОЗ} \rho_{ВОЗ} c_{ВОЗ} (t_{ВЫХ} - t_{ВХ})}{c_B G_{B(ПЛ)}} \quad (1.32)$$

Фактические величины температур подаваемого в помещения воздуха примут значения:

$$t_{ВОЗ(\Phi)} = t_{ВХ} + \frac{\tau_{O1} - t_{ВХ}}{\alpha + 0,5} \quad (1.33)$$

Температуры теплоносителя на выходе из caloriferных установок будут рассчитываться как:

$$\tau_{B2(\Phi)} = \tau_{O1} - \frac{V_{ВОЗ} \rho_{ВОЗ} c_{ВОЗ} (t_{ВОЗ(\Phi)} - t_{ВХ})}{G_{B(\Phi)} c_B}, \quad (1.34)$$

Таким образом, система уравнений (1.17)-(1.21), (1.23), (1.24), (1.29)-(1.34) дают возможность определить значения всех режимных параметров систем нагрева внутреннего воздуха при любом режиме эксплуатации.

### 1.3. Системы горячего водоснабжения

Максимальный тепловой поток на горячее водоснабжение в сутки наибольшего водопотребления в отопительный период по нормам проектирования составляет [2]

$$Q'_Г = 2,4 \cdot Q_{hm}, \quad (1.35)$$

где  $Q_{hm}$  - средний тепловой поток на горячее водоснабжение в средние сутки за неделю в отопительный период, Ккал/ч.



Согласно тем же нормам проектирования [2], средний тепловой поток на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий можно определить как

$$Q_{hm} = \frac{1,2 \cdot m \cdot (a + b) \cdot (55 - t_x)}{24} \cdot c_B \quad (1.36)$$

или

$$Q_{hm} = q_h \cdot m, \quad (1.37)$$

где  $m$  - число жителей, чел;  $a$  - норма расхода воды на горячее водоснабжение при температуре  $55^\circ\text{C}$  на одного человека в сутки, проживающего в здании с горячим водоснабжением, л;  $b$  - норма расхода воды на горячее водоснабжение, потребляемой в общественных зданиях при температуре  $55^\circ\text{C}$ , л;  $t_x$  - расчетная температура холодной воды,  $^\circ\text{C}$ ;  $c_B$  - теплоемкость воды,  $\text{Ккал}/(\text{кг} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $q_h$  - укрупненный показатель среднего теплового потока на горячее водоснабжение на одного человека,  $\text{Ккал}/\text{ч}$ .

В соответствии с требованиями СНиП [2] ниже приводится таблица удельных показателей для расчета величин тепловых потоков на горячее водоснабжение.

Таблица 1.4.

Укрупненные показатели среднего теплового потока на горячее водоснабжение  $q_h$

Средняя за отопительный период норма расхода воды при температуре $55^\circ\text{C}$ на горячее водоснабжение в сутки на 1 чел., проживающего в здании с горячим водоснабжением, л	На одного человека, проживающего в здании, Вт		
	с горячим водоснабжением	с горячим водоснабжением с учетом потребления в общественных зданиях	без горячего водоснабжения с учетом потребления в общественных зданиях
85	247	320	73
90	259	332	73
105	305	376	73
115	334	407	73

Примечание: Для перевода значений  $q_h$  в  $\text{Ккал}/\text{ч}$  необходимо произвести деление на коэффициент, равный 1,163.

Максимальный расход сырой холодной воды, нагреваемой для целей горячего водоснабжения, может быть установлен в соответствии с уравнением [2]

$$G_x = \frac{Q'_r}{c_B \cdot (55 - t_c)} \quad (1.38)$$

Следует особо отметить, что расход сетевой воды на горячее водоснабжение изменяется не только в зависимости от температурного режима подающей линии, но и от характера суточного графика нагрузки. Максимальный расход сетевой воды на горячее водоснабжение имеет место при минимальной температуре воды в подающей линии  $\tau_{Ol(\min)}$  в точке излома температурного графика регулирования  $t_{HI}$ , когда  $\tau_{Ol(\min)} = t_r$  в открытых системах теплоснабжения и  $\tau_{Ol(\min)} = t_r + \Delta t_H$  - в закрытых. Здесь:  $t_r$  - температура горячей воды у потребителей;  $\Delta t_H$  - разность температур в стенке подогревателя, составляющая 5-10  $^\circ\text{C}$ . В этом случае разность температур в подающей и обратной магистралях тепловой сети является минимальной, а темпера-

турная точка наружного излома  $t_{НИ}$  определяет расчетный режим в системе регулирования отпуска теплоты.

### 1.3.1. Закрытые системы горячего водоснабжения

#### 1.3.1.1. Установки с параллельной схемой включения

Установки с параллельной схемой включения присоединяются к тепловой сети через водо-водяные теплообменники, где сетевая вода из подающей линии сети проходит через подогреватель, в котором она через стенку нагревает холодную воду, поступающую из водопровода. Охлажденная сетевая вода после подогревателя поступает в обратную линию тепловой сети. Импульсом регулирования является температура водопроводной воды на выходе из подогревателя -  $t_{Г}$ .

Режимные параметры установок можно определить посредством решения следующей системы уравнений [3, 4]:

$$G'_{Г} = \frac{Q'_{Г}}{c_{В}(\tau'_{Г1} - \tau'_{Г2})}; \quad (1.39)$$

$$G'_{ВВ} = \frac{Q'_{Г}}{c_{В}(t_{Г} - t_{Х})}; \quad (1.40)$$

$$\Delta t'_{Г} = \frac{(\tau'_{Г2} - t_{Х}) - (\tau'_{Г1} - t_{Г})}{\ln \frac{\tau'_{Г2} - t_{Х}}{\tau'_{Г1} - t_{Г}}}; \quad (1.41)$$

$$F = \frac{Q'_{Г}}{\Delta t'_{Г} \cdot (G'_{Г} \cdot G'_{ВВ})^{0,5}}; \quad (1.42)$$

$$G_{М} = \min(G_{Г}, G'_{ВВ}); \quad (1.43)$$

$$G_{\sigma} = \max(G_{Г}, G'_{ВВ}); \quad (1.44)$$

$$e = \frac{1}{0,35 \frac{G_{М}}{G_{\sigma}} + 0,65 + \frac{1}{F} \cdot \left( \frac{G_{М}}{G_{\sigma}} \right)^{0,5}} \leq 1, \quad (1.45)$$

где  $G'_{Г}$ ,  $G'_{ВВ}$  - значение расходов соответственно теплоносителя и водопроводной воды в расчетных условиях, т.е. при  $t_{Н} = t_{НИ}$ , кг/ч;  $Q'_{Г}$  - величина тепловой нагрузки на горячее водоснабжение, Ккал/ч;  $\tau'_{Г1}$ ,  $\tau'_{Г2}$  - температуры сетевой воды соответственно в подающей и обратной магистралях сети в расчетных условиях, °С;  $t_{Г}$ ,  $t_{Х}$  - соответственно температуры горячей и холодной воды, °С;  $\Delta t'_{Г}$  - температурный напор в системе подогрева в расчетных условиях, °С;  $F$  - параметр водо-водяного подогревателя;  $G_{Г}$  - текущее значение величины расхода сетевой воды (при любых  $t_{Н}$  и  $\tau_{О1}$ ), кг/ч;  $G_{М}$ ,  $G_{\sigma}$  - соответственно меньшее и большее значения из двух величин расходов теп-

лообменивающихся сред, кг/ч;  $e$  - безразмерная удельная тепловая нагрузка подогревателя.

Расход сетевой воды на горячее водоснабжение является резко переменной величиной. Поэтому плановое значение режимных параметров обусловлено (при изменяющейся температуре наружного воздуха  $t_H$ ) подачей в установку определенного количества сетевой воды  $G_{Г(ПЛ)}$ , устанавливающей температуру нагреваемой водопроводной воды, равной требуемой горячей -  $t_G$ . В этом случае величина температуры сетевой воды на выходе из подогревателя будет вычислена как:

$$\tau_{Г2(ПЛ)} = \tau_{О1} - \frac{G_M}{G_{Г(ПЛ)}} \cdot e \cdot (\tau_{О1} - t_X), \quad (1.46)$$

а расход теплоносителя

$$G_{Г(ПЛ)} = \frac{Q'_Г}{c_B (\tau_{О1} - \tau_{Г2(ПЛ)})}. \quad (1.47)$$

При фактически установившейся величине подачи греющего теплоносителя  $G_{Г(Ф)}$  значения температур горячей воды примут значения:

$$t_{Г(Ф)} = t_X + \frac{e_{(Ф)} \cdot G_{М(Ф)} \cdot (\tau_{О1} - t_X)}{G'_{ВВ}}. \quad (1.48)$$

В этом случае, температуры теплоносителя на выходе систем подогрева будут определяться следующим образом

$$\tau_{Г2(Ф)} = \tau_{О1} - \frac{e_{(Ф)} \cdot G_{М(Ф)} \cdot (\tau_{О1} - t_X)}{G_{Г(Ф)}}. \quad (1.49)$$

Таким образом, система уравнений (1.39)-(1.49) дает возможность определить все тепловые характеристики данных систем.

При параллельном присоединении подогревателей горячего водоснабжения к системам отопления, обратная сетевая вода, возвращаемая из отопительных установок с температурой  $\tau_{О2}=40-70$  °С, не используются для подогрева холодной водопроводной воды, имеющей на вводе температуру около 5 °С. Тем не менее, теплотой обратной воды после отопления можно покрывать значительную долю нагрузки горячего водоснабжения, поскольку температура горячей воды, подаваемой потребителям, не превышает 55-60 °С. Вследствие нерационального использования теплоносителя на абонентском вводе и удовлетворения нагрузки горячего водоснабжения по максимуму суточного графика, при данной схеме соединения получается завышенный расчетный расход воды в тепловой сети.

### 1.3.1.2. Установки с двухступенчатой смешанной схемой включения

Расчетный расход сетевой воды значительно снижается при двухступенчатой смешанной схеме присоединения установок горячего водоснабжения к отопительным системам благодаря частичному удовлетворению данной нагрузки за счет теплоты сетевой воды, возвращаемой из систем отопления.

Режимные параметры установок определяются посредством решения следующей системы уравнений [4]:

$$G'_{\Gamma} = \frac{Q'_{\Gamma} \cdot [t_{\Gamma} - (\tau'_{\Gamma 2} - \Delta t_{\text{H}})]}{c_{\text{B}}(\tau'_{\Gamma 1} - \tau'_{\Gamma 2}) \cdot (t_{\Gamma} - t_{\text{X}})}; \quad (1.50)$$

$$G'_{\text{BB}} = \frac{Q'_{\Gamma}}{c_{\text{B}}(t_{\Gamma} - t_{\text{X}})}; \quad (1.51)$$

$$\overline{Q}_{\text{O(OTH)}} = \frac{t_{\text{B}} - t_{\text{HH}}}{t_{\text{B}} - t_{\text{HPO}}}; \quad (1.52)$$

$$F_1 = \frac{\tau'_{\Gamma 2} - \Delta t_{\text{H}} - t_{\text{X}}}{\Delta t_1 \left\{ \frac{t_{\Gamma} - t_{\text{X}}}{\tau'_{\text{O1}} - \tau'_{\text{O2}}} \cdot \left[ \frac{Q_{\text{O(COB)}}}{Q'_{\Gamma}} + \frac{t_{\Gamma} - \tau'_{\Gamma 2} + \Delta t_{\text{H}}}{(t_{\Gamma} - t_{\text{X}}) \cdot Q_{\text{O(OTH)}}} \right] \right\}^{0.5}}; \quad (1.53)$$

$$F_2 = \frac{[(\tau'_{\Gamma 1} - \tau'_{\Gamma 2}) \cdot (t_{\Gamma} - \tau'_{\Gamma 2} + \Delta t_{\text{H}})]^{0.5}}{\Delta t_2}; \quad (1.54)$$

$$\Delta t_1 = \frac{(\tau_{2\text{S}} - t_{\text{X}}) - \Delta t_{\text{H}}}{\ln \frac{\tau_{2\text{S}} - t_{\text{X}}}{\Delta t_{\text{H}}}}; \quad (1.55)$$

$$\Delta t_2 = \frac{(\tau_{\text{O1}} - t_{\text{H}}) - \Delta t_{\text{H}}}{\ln \frac{\tau_{\text{O1}} - t_{\text{H}}}{\Delta t_{\text{H}}}}; \quad (1.56)$$

$$G_{\text{O(COB)}} = \frac{Q_{\text{O(COB)}} \cdot (t_{\text{B}} - t_{\text{H}})}{c_{\text{B}}(\tau_{\text{O1}} - \tau_{\text{O2}}) \cdot (t_{\text{B}} - t_{\text{HPO}})}; \quad (1.57)$$

$$\tau_{2\text{S}} = \frac{\tau'_{\Gamma 2}(t_{\Gamma} - t_{\text{X}}) \cdot \left( \frac{\overline{Q}_{\text{O(OTH)}} \cdot Q_{\text{O(COB)}}}{Q'_{\Gamma}} + 1 \right) - \tau'_{\Gamma 1} \cdot (\tau'_{\Gamma 2} - \Delta t_{\text{H}} - t_{\text{X}})}{(t_{\Gamma} - t_{\text{X}}) \cdot \frac{\overline{Q}_{\text{O(OTH)}} \cdot Q_{\text{O(COB)}}}{Q'_{\Gamma}} + (t_{\Gamma} - \tau'_{\Gamma 2} - t_{\text{H}})}; \quad (1.58)$$

$$t_{\text{H}} = t_{\text{X}} + \frac{Q_1}{G'_{\text{BB}} \cdot c_{\text{B}}}; \quad (1.59)$$

$$\tau_{2\Gamma} = \tau_{\text{O1}} - \frac{Q_2}{G_{\Gamma} \cdot c_{\text{B}}}; \quad (1.60)$$

$$\tau_{2(СМ)} = \frac{G_{O(СОВ)} \cdot \tau_{O2} + G_{Г} \cdot \tau_{O1} - Q_2 / c_{В}}{G_{O(СОВ)} + G_{Г}}, \quad (1.61)$$

где  $G'_{Г}$ ,  $G'_{ВВ}$  - значения расходов соответственно теплоносителя и водопроводной воды в расчетных условиях, то есть при  $t_{Н} = t_{НИ}$ , кг/ч;  $Q'_Г$  - величина тепловой нагрузки на горячее водоснабжение, Ккал/ч;  $\tau'_{Г1}$ ,  $\tau'_{Г2}$  - температуры сетевой воды соответственно в подающей и обратной магистралях сети в расчетных условиях, °С;  $t_{Г}$ ,  $t_{Х}$  - соответственно температуры горячей и холодной воды, °С;  $F_1$ ,  $F_2$  - параметры соответственно нижней и верхней ступеней подогрева в схеме;  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$  - средняя разность температур соответственно в нижней и верхней ступенях подогрева, °С;  $Q_{O(ОТН)}$  - относительная величина тепловой нагрузки отопления при условиях подачи максимальной нагрузки горячего водоснабжения;  $Q_{O(СОВ)}$  - величина тепловой нагрузки отопления, совмещенной с системой горячего водоснабжения через подогреватель первой (нижней) ступени на обратной линии сети, Ккал/ч;  $\tau_{2S}$  - температура сетевой воды на выходе подогревателя нижней ступени, °С;  $t_{П}$  - температура водопроводной воды на выходе подогревателя нижней ступени, °С;  $\tau_{2Г}$  - температура сетевой воды на выходе подогревателя второй (верхней) ступени подогрева, °С;  $\tau_{2(СМ)}$  - температура теплоносителя на входе в нижнюю ступень подогрева, получаемая в результате смешения двух потоков сетевой воды - из верхней (второй) ступени и совмещенных с нижней ступенью систем отопления, °С;  $Q_1$ ,  $Q_2$  - тепловые нагрузки соответственно нижней и верхней ступеней нагрева, Ккал/ч.

Значения плановых режимных параметров, обусловленных неизменной величиной  $t_{Г} = t_{ГР}$ , будут определяться в результате соответствующего этому условию подбора  $G_{Г} = G_{Г(П.Л)}$ .

Фактические же значения режимных параметров, в свою очередь, будут определяться величиной фактической подачи греющего теплоносителя во вторую ступень системы нагрева в результате установившегося гидравлического режима сети. В этом случае, температура горячей воды, подаваемой потребителям, примет значения:

$$t_{Г(Ф)} = t_{П} + \frac{Q_2}{G'_{ВВ}}. \quad (1.62)$$

Таким образом, в результате решения системы уравнений (1.50)-(1.62) можно определить все параметры, характеризующие улучшение использования потенциала сетевой воды для нужд горячего водоснабжения при двухступенчатом способе присоединения.

### 1.3.1.3 Установки с двухступенчатой последовательной схемой включения

Присоединение к тепловым вводам систем горячего водоснабжения параллельного и двухступенчатого смешанного, рассмотренным выше, приводит к значительному увеличению расчетного расхода сетевой воды и, следовательно, к увеличению диаметров трубопроводов сети и ее стоимости. Стремление сократить расчетный расход воды в тепловой сети привело к разработке двухступенчатой последовательной схемы подогревателей горячего водоснабжения. В районах жилищного строительства, где большинство абонентов имеют нагрузку горячего водоснабжения, присоединенной по такой схеме, применяется температурный график, рассчитанный на покрытие совместной нагрузки отопления и горячего водоснабжения, т.е. повышенный температурный график [4,7], при котором подогрев сетевой воды на источнике производится до температуры более высокой, чем требуется по обычному температурному графику.

Температурная надбавка к отопительному графику определяется из условия покрытия совместной нагрузки отопления и горячего водоснабжения для абонента с определенной относительной нагрузкой горячего водоснабжения при расходе сетевой воды, равном расходу воды на отопление. Для абонентом с меньшей относительной нагрузкой горячего водоснабжения расход сетевой воды принимается равным расходу воды на отопление [3,4,7]; у абонентов с большей относительной нагрузкой горячего водоснабжения устанавливается расход сетевой воды, больше расчетного расхода воды на отопление.

В районах, в которых часть абонентов не имеет горячего водоснабжения или установки горячего водоснабжения присоединены по параллельной или двухступенчатой смешанной схеме, применяется обычный отопительный температурный график. При этом нагрузка горячего водоснабжения в установках с последовательной схемой, также как и в установках с параллельной и смешанной схемами, покрывается за счет дополнительного расхода сетевой воды на ввод. Добавочный к отопительному расход сетевой воды определяется из условия покрытия совместной нагрузки отопления и горячего водоснабжения. Этот добавочный расход сетевой воды при сопоставимых нагрузках меньше, чем при параллельной и двухступенчатой смешанной схемами [3,4]. Однако работоспособность данной схемы присоединения определяется величиной соотношения максимального часового расхода теплоты на горячее водоснабжение  $Q_{\Gamma}^{\max}$  и максимального часового расхода теплоты на отопление  $Q'_{\text{O}}$ , т.е. [3,4]

$$\frac{Q_{\Gamma}^{\max}}{Q'_{\text{O}}} \leq 0,6. \quad (1.75)$$

Расчет режимных параметров производится при условии постоянства расхода сетевой воды на общий ввод достаточной величины располагаемого напора для пропуска всего расхода сетевой воды через обе ступени подогревателя и систему отопления по следующей системе уравнений [3,4]

$$Q_1 = e_1 W_M (\tau_{02} - t_x), \quad (1.76)$$

$$Q_2 = e_2 W_M (\tau_1 - t_{\text{II}}), \quad (1.77)$$

$$Q_o = \frac{e_o \left\{ W_o \left[ (\tau_1 - t_n) - e_1 \frac{W_M}{W_o} \cdot (t'_b - t_n) \right] - Q_r \right\}}{1 - e_1 \frac{W_M}{W_o} + e_o \left[ e_1 \frac{W_M}{W_o} + \frac{W_o}{Q_o} (t'_b - t_n) \cdot \left( 1 - e_1 \frac{W_M}{W_o} \right) \right]}; \quad (1.78)$$

$$e_o = \frac{1}{\frac{0,5 + u}{1 + u} + \frac{W_o \Delta t'_o}{Q'_o Q_o^{0,2}}}; \quad (1.79)$$

$$\tau_{o2} = \frac{\left( \tau_1 - \frac{Q_r}{W_o} - t_x e_1 \frac{W_M}{W_o} \right) \cdot (1 - e_o) + t_b e_o}{1 - e_1 \frac{W_M}{W_o} (1 - e_o)}; \quad (1.80)$$

$$\Delta W_o^{\text{бал}} = \frac{Q_r^{\text{бал}} \frac{t_r - (\tau'_{r2} - \Delta t_n)}{t_r - t_x}}{t'_{r1} - t'_{r2}}; \quad (1.81)$$

$Q_o, Q_1, Q_2$  – текущие значения тепловых нагрузок соответственно для отопления, первой и второй ступени нагрева холодной воды, Мкал/ч;

$e_1, e_2$  – безразмерные удельные тепловые нагрузки подогревателей первой и второй ступеней;

$W_M$  – меньшее из значений эквивалентов расхода греющей и нагреваемой сред, проходящих через подогреватель первой ступени. Мкал/ч;

$W_o$  – эквивалент расхода сетевой воды для системы отопления, Мкал/°С·ч;

$\tau_1$  – температура сетевой воды на входе в тепловую подстанцию, °С;

$\tau_{o2}$  – температура сетевой воды на выходе из систем отопления, °С;

$t_n$  – температура наружного воздуха, °С;

$t'_b$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

$u$  – коэффициент смешения в системе отопления;

$\Delta t'_o$  – расчетная разность температур в системе отопления, °С;

$t_r, t_x$  – температуры горячей и холодной воды, °С;

$t_n$  – температура холодной воды после первой ступени подогрева, °С;

$t'_{r1}, t'_{r2}$  – температуры сетевой воды в подающей и обратной линиях в отопительном графике в точке излома, °С;

$Q^{\text{бал}}$  – балансовая нагрузка горячего водоснабжения, Мкал/ч;

$\Delta W_o^{\text{бал}}$  – добавочный эквивалент расхода сетевой воды для покрытия нагрузки горячего водоснабжения в точке излома температурного графика, Мкал/°С·ч.

### 1.3.2. Открытые системы горячего водоснабжения

В открытых системах вода для горячего водоснабжения забирается частично из подающей и частично из обратной линий тепловой сети с таким расчетом, чтобы была обеспечена требуемая температура смеси.

Расход сетевой воды на горячее водоснабжение у каждого потребителя определяется по формулам [3]:

$$\text{при } t_{\Gamma} \geq \tau_{O2} \quad G_{\Delta} = \frac{Q'_{\Gamma}}{c_e(t_{\Delta} - t_X)}, \quad (1.63)$$

$$\text{при } t_{\Gamma} < \tau_{O2} \quad G_{\Delta} = \frac{Q'_{\Delta}}{c_e(t_{O2} - t_X)}. \quad (1.64)$$

Доля расхода воды из подающей линии сети для смешения может быть определена следующим соотношением [3]

$$\beta = \frac{t_{\Gamma} - \tau_{O2}}{\tau_{O1} - \tau_{O2}}. \quad (1.65)$$

Вместе с этим, доля расхода из обратной линии для смешения

$$(1 - \beta) = \frac{\tau_{O1} - t_{\Gamma}}{\tau_{O1} - \tau_{O2}}. \quad (1.66)$$

Значение величины расхода сетевой воды на горячее водоснабжение абонента из подающей линии сети в этом случае

$$G_{\Gamma.ПОД} = \beta G_{\Gamma}, \quad (1.67)$$

а из обратной линии

$$G_{\Gamma.ОБР} = (1 - \beta) G_{\Gamma}. \quad (1.68)$$

Чем выше  $\tau_{O2}$ , тем больше сетевой воды забирается из обратной линии и соответственно меньше из подающей линии.

При  $t_{\Gamma} \leq \tau_{O2}$  вся вода для горячего водоснабжения берется только из обратной линии и  $\beta = 0$ . При  $t_{\Gamma} \geq \tau_{O1}$  вся вода для горячего водоснабжения забирается из подающей линии и  $\beta = 1$ .

---



## 1.4. Суммарные расходы сетевой воды. Средневзвешенные температуры сетевой воды в обратной магистрали

В закрытых системах теплоснабжения суммарное значение расхода сетевой воды в подающей и обратной линиях сети без учета утечек складывается из суммы отдельных расходов на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение параллельных и смешанных системах, т.е.

$$G_{\text{под}} = G_{\text{обр}} = \sum_1^n G_{\text{O}} + \sum_1^m G_{\text{B}} + \sum_1^k G_{\text{Г}}^{\text{пар}} + \sum_1^s (G_{\text{O+Г}})_{\text{см}}. \quad (1.69)$$

При этом средне взвешенная температура сетевой воды, возвращаемой на источник теплоснабжения по обратной линии сети, определяется как:

$$\tau_2 = \frac{\sum_1^n (G_{\text{O}} \tau_{\text{O2}}) + \sum_1^m (G_{\text{B}} \tau_{\text{B2}}) + \sum_1^k (G_{\text{Г}}^{\text{пар}} \tau_{\text{Г2}}^{\text{пар}}) + \sum_1^s [(G_{\text{O+Г}})_{\text{см}} \tau_{\text{см2}}]}{\sum_1^n G_{\text{O}} + \sum_1^m G_{\text{B}} + \sum_1^k G_{\text{Г}}^{\text{пар}} + \sum_1^s (G_{\text{O+Г}})_{\text{см}}}. \quad (1.70)$$

Суммарный расход воды в подающей и обратной линиях открытой тепловой сети при любом режиме ее работы определяется по формулам:

$$G_{\text{под}} = \sum_1^n G_{\text{O}} + \sum_1^m G_{\text{B}} + \sum_1^k \beta G_{\text{Г}}; \quad (1.71)$$

$$G_{\text{обр}} = \sum_1^n G_{\text{O}} + \sum_1^m G_{\text{B}} - \sum_1^k [(1-\beta)G_{\text{Г}}]. \quad (1.72)$$

Средне взвешенная температура сетевой воды, возвращаемой на источник по обратной линии открытой тепловой сети, в этом случае будет:

$$\tau_2 = \frac{\sum_1^n (G_{\text{O}} \tau_{\text{O2}}) + \sum_1^m (G_{\text{B}} \tau_{\text{B2}}) - \sum_1^k [(1-\beta)G_{\text{Г}} \tau_{\text{O2}}]}{\sum_1^n G_{\text{O}} + \sum_1^m G_{\text{B}} - \sum_1^k [(1-\beta)G_{\text{Г}}]}. \quad (1.73)$$

Таким образом, исходя из вышеизложенного можно констатировать, что установление фактических значений расходов сетевой воды -  $G_{\text{O}}$ ,  $G_{\text{B}}$  и  $G_{\text{Г}}$ , подаваемых одновременно всем потребителям, является основной целью гидравлических расчетов режимов эксплуатации с определением реального потокораспределения на всех участках сетевых трубопроводов от источника теплоснабжения до отдельных абонентов, присоединенных к сети.

## 2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕТИ

Гидравлические характеристики тепловой сети устанавливают взаимосвязь между расходами и давлениями (или напорами) воды во всех точках системы.

Падение давления и потери напора или располагаемый перепад давлений и располагаемый напор (разность напоров) на любом участке или в узлах сети связаны между собой следующим соотношением:

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho g}, \quad (2.1)$$

где  $\Delta h$  - потери напора или располагаемый напор, м;  $\Delta p$  - падение давления или располагаемый перепад давлений, Па;  $\rho$  - плотность теплоносителя (сетевой воды), кг/м<sup>3</sup>;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Падение давления в трубопроводе может быть представлено как сумма двух слагаемых: линейного падения и падения в местных сопротивлениях:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{л}} + \Delta p_{\text{М}}, \quad (2.2)$$

где  $\Delta p_{\text{л}}$  - линейное падение давления, Па;  $\Delta p_{\text{М}}$  - падение давления в местных сопротивлениях, Па.

В трубопроводах, транспортирующих жидкости или газы,

$$\Delta p_{\text{л}} = R_{\text{л}} L, \quad (2.3)$$

причем  $R_{\text{л}}$  - удельное падение давления, отнесенное к единице длины трубопровода, Па/м;  $L$  - длина трубопровода, м.

Исходными зависимостями для определения удельного линейного падения давления в трубопроводе являются уравнения [3,6]:

$$R_{\text{л}} = \lambda v^2 \frac{\rho}{2d} = 0.812 \lambda G^2 \frac{1}{\rho} d^{-5}; \quad (2.4)$$

$$\lambda = 0.11 \left( \frac{68}{\text{Re}} + \frac{k_{\text{Э}}}{d} \right)^{0.25}, \quad (2.5)$$

где  $\lambda$  - коэффициент гидравлического трения (безразмерная величина);  $v$  - скорость среды, м/с;  $d$  - внутренний диаметр трубопровода, м;  $G$  - массовый расход, кг/с;  $k_{\text{Э}}$  - значение эквивалентной шероховатости трубопровода, м;  $\text{Re}$  - критерий Рейнольдса.

При наличии на участке трубопровода ряда местных сопротивлений суммарное падение давления во всех местных сопротивлениях определяется по формуле [6]:

$$\Delta p_{\text{М}} = \sum \zeta v^2 \frac{\rho}{2} = 0.812 \sum \zeta G^2 \frac{1}{\rho} d^{-4}, \quad (2.6)$$

---

где  $\sum \zeta$  - сумма коэффициентов местных сопротивлений, установленных на участке;  
 $\zeta$  - безразмерная величина, зависящая от характера сопротивления.

Коэффициенты местных сопротивлений арматуры и фасонных частей приведены в справочной литературе. Сопротивления муфтовых, фланцевых и сварных соединений трубопроводов при правильном выполнении и монтаже незначительны, поэтому их надо рассматривать в совокупности с линейными сопротивлениями.

Так как потери в тепловых сетях, как правило, подчиняются квадратичному закону [5,6], то гидравлическая характеристика любого  $i$ -го участка тепловой сети представляет собой квадратичную параболу, описываемую уравнением:

$$\Delta h = SG^2, \quad (2.7)$$

где  $\Delta h$  - потери напора, м;  $S$  - полное сопротивление участка сети,  $\text{м}\cdot\text{ч}^2/\text{т}^2$ ;  $G$  - расход теплоносителя на участке,  $\text{т}/\text{ч}$ .

В свою очередь, полное сопротивление участка сети можно представить в виде [3]:

$$S = s_{уд}(L + L_{\text{э}}), \quad (2.8)$$

где  $s_{уд}$  - величина удельного сопротивления,  $\text{м}\cdot\text{ч}^2/(\text{т}^2\cdot\text{м})$ , которая вычисляется по формуле [5]:

$$s_{уд} = \frac{[1,14 + 21\lg(d/k_{\text{э}})]^{-2}}{156,86} d^{-5} \rho^{-2}, \quad (2.9)$$

а  $L_{\text{э}}$  - эквивалентная длина местных сопротивлений, величину которой можно определить как [2]:

$$L_{\text{э}} = gk_{\text{э}}^{-0,25} \sum \zeta d^{1,25}. \quad (2.10)$$

Для установления гидравлического режима всей сети производится суммирование гидравлических характеристик всех её участков.

Удельные потери напора на участках тепловой сети в этом случае можно определить как:

$$\delta h_{уд} = \frac{\Delta h}{L}. \quad (2.11)$$

Максимальная величина перепада напоров в сети  $\Delta H_{\text{с}}$  имеет место на подающем и обратном коллекторах источника:

$$\Delta H_{\text{с}} = H_{\text{ПОДК}} - H_{\text{ОБР.К}}. \quad (2.12)$$

Суммарная величина сопротивления всей сети  $\sum S_{\text{с}}$  является результирующей функцией всех последовательно и параллельно соединенных между собой сопротивлений участков  $i$ , потребителей  $j$  и подкачивающих магистральных насосных станций  $k$ :

$$\sum S_{\text{с}} = F \left\{ \sum (S_{\text{УЧ}}(i,j), S_{\text{ПОТ}}(i,j), S_{\text{П.НАС}}(i,k)) \right\}. \quad (2.13)$$

Сопротивления совместно включенных групп разнородных потребителей также представляют собой результирующую функцию их последовательного и (или) параллельного соединения между собой:

$$S_{\text{ПОТ.и.э}} = f\left\{\sum(S_{\text{ПОТ.О}}, S_{\text{ПОТ.В}}, S_{\text{ПОТ.Г}})\right\}. \quad (2.14)$$

Гидравлическое сопротивление  $j$ -го потребителя рассчитывается в соответствии с уравнением [5]:

$$S_j = \frac{\Delta h_j}{G_j^2}, \quad (2.15)$$

где  $h_j$  - потери напора при проходе расчетного расхода теплоносителя  $G_j$ . В частности, для систем отопления жилых зданий потери напора по расчетному расходу в соответствии с [1] должны составлять величину  $\Delta h_{\text{СО}} = 1,0 - 1,5$  м. Удельные сопротивления подогревателей горячей воды и вентиляционных систем приведены в справочной литературе.

Отопительные системы жилых и общественных зданий присоединяются к водяным тепловым сетям, как правило, по зависимой схеме со смесительным устройством. Объясняется это тем, что по СНиП [1] температура теплоносителя, подаваемая в отопительные приборы, не должна превышать в расчетных условиях 95 °С. В качестве смесительных устройств на абонентских вводах систем отопления применяются струйные насосы-элеваторы и центробежные насосы.

Характеристика водоструйных насосов (элеваторов) с цилиндрической камерой смешения описывается уравнением [3]:

$$\frac{\Delta p_c}{\Delta p_p} = \varphi_1^2 \frac{f_1}{f_3} \left[ 2\varphi_2 + \left( 2\varphi_2 - \frac{1}{f_4^2} \right) \frac{f_1}{(f_3 - f_1)} u^2 - (2 - \varphi_3^2) \frac{f_1}{f_3} (1 + u)^2 \right]. \quad (2.16)$$

где  $\Delta p_c$ ,  $\Delta p_p$  - перепад давлений, создаваемый элеватором и располагаемый перепад давлений рабочего потока, Па;  $f_1$ ,  $f_3$  - площади живого выходного сечения сопла и сечения цилиндрической камеры смешения, м<sup>2</sup>;  $u$  - коэффициент инжекции (смешения) элеватора;  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$ ,  $\varphi_4$  - коэффициенты скорости соответственно сопла, цилиндрической камеры смешения, диффузора, и входного участка камеры смешения.

Величина оптимального диаметра камеры смешения в этом случае [3]:

$$d_x = \frac{5}{\sqrt[4]{S_c}} = \frac{5}{\sqrt[4]{\frac{\Delta p_c}{V_c^2}}} = \frac{5}{\sqrt[4]{\frac{\Delta p_c \rho^2}{G_c^2}}}. \quad (2.17)$$

Здесь:  $S_c$  - сопротивление отопительной системы, Па\*с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>;  $V$  - объемный расход смешанной воды, м<sup>3</sup>/с;  $G$  - массовый расход смешанной воды, кг/с;  $\rho$  - плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

При значениях коэффициентов (по данным испытаний Теплосети Мосэнерго)  $\varphi_1 = 0,95$ ;  $\varphi_2 = 0,975$ ;  $\varphi_3 = 0,9$ ;  $\varphi_4 = 0,925$  диаметр сопла элеватора может быть вычислен, как [3]:

$$d_c = \frac{d_k}{(1+u) \sqrt{0,64 \cdot 10^{-3} S_c d_k^4 + 0,61 - 0,4 \left( \frac{d_k^2}{d_k^2 - d_c^2} \right) \left( \frac{u}{1+u} \right)^2}} \quad (2.18)$$

Потеря давления в рабочем сопле элеватора:

$$\Delta p_p = \frac{G_p^2}{2\varphi_1^2 (0,785d_c)^2 \rho} \quad (2.19)$$

Где  $G_p$  – массовый расход первичного теплоносителя через сопло, кг/с.

Если располагаемый напор в узле присоединения абонента -  $\Delta H_{AB}$  превышает необходимую для элеватора величину  $\Delta H_{Э}$ , то избыточная разность напоров должна быть сработана дополнительным сопротивлением - дросселирующей шайбой. Диаметр дросселирующей шайбы определяется по уравнению [5]:

$$d_{ш} = 10 \cdot 4 \sqrt{\frac{G'_O{}^2}{\Delta H_{AB} - \Delta H_{Э}}} \quad (2.20)$$

Размерность величины  $d_{ш}$  - мм, причем из-за соображений стабильности работы узла минимальная величина дросселирующей шайбы не должна быть менее 3 мм.

В системах теплоснабжения, работающих по режимному графику отпуска теплоты  $\tau'_{O1}/\tau'_{O2} = 95/70$  °С, присоединение абонентов к линиям сети осуществляется напрямую без инжекционных устройств. Таким же образом к сети присоединяются, как правило, отопительные и вентиляционные установки зданий промышленного назначения и все подогреватели систем горячего водоснабжения. В этом случае, излишняя разность располагаемых напоров в узлах присоединения этих систем срабатывается только шайбами. При этом

$$d_{ш} = 10 \cdot 4 \sqrt{\frac{G'_O{}^2}{\Delta H_{AB} - \Delta h_{CO}}} \quad (2.21)$$

Важнейшим условием нормальной работы всей системы теплоснабжения является обеспечение стабильной подачи всем абонентам расходов сетевой воды, соответствующих их плановой тепловой нагрузке.

В этом случае наладка нормируемой подачи теплоносителя каждому потребителю осуществляется расстановкой только в целом во всей системе дросселирующих устройств, способствующих перераспределению активных напоров и расходов сетевой воды в ветвях и узлах схемы. Диаметры сопел элеваторов и дополнительных дросселирующих шайб, срабатывающих излишки располагаемых напоров у абонентов и, как следствие, ограничивающих подачу им излишнего количества теплоносителя, могут быть рассчитаны только при помощи ЭВМ посредством многократной итерационной увязки.

Таким образом, для успешного решения практических задач по определению оптимальных с точки зрения эксплуатации режимов подачи теплоты в нормальных и аварийных условиях, разработчиками системы был использован широкий круг вышеуказанных теоретических положений (1.1) - (2.21) для разработки программного обеспечения, наиболее рациональным образом отвечающего постановке вопросов в эксплуатационной практике.

### 3. РАСЧЕТ СТАЦИОНАРНОГО ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕТИ

Расчет гидравлических и тепловых режимов разветвленных и многокольцевых сетей с большим числом разнородных абонентов, какими являются реальные сети, может производиться только методами, основанными на решении замкнутых систем нелинейных и линейных алгебраических уравнений с применением современных средств вычислительной техники.

Системы уравнений составляются из условий соблюдения закона сплошности и закона сохранения энергии, т.е. аналогов первого и второго законов Кирхгофа для всех независимых узлов и контуров, а так же с учетом замыкающих уравнений связи между напорами и расходами для всех участков сети.

С учетом известного топологического соотношения [3-5]:

$$k = p - q + 1, \quad (3.1)$$

где  $k$ ,  $p$ ,  $q$  - количество независимых контуров, участков и узлов, в общую систему из  $p$  уравнений, определяющую стационарное потокораспределение в тепловой сети, входит  $k$  нелинейных уравнений вида

$$\sum_c S_i V_i |V_i| - \sum_c H_{Hi} = 0 \quad (3.2)$$

и  $(q - 1)$  линейных уравнений вида

$$\sum V_j = 0, \quad (3.3)$$

где  $S_i$ ,  $V_i$  - сопротивления и расходы на всех участках  $i$  контура  $c$ ;

$\sum H_{Hi}$  - алгебраическая сумма напоров насосных групп на всех участках  $i$  контура  $c$ ;  $V_j$  - расходы в узле  $j$ .

Система нелинейных уравнений, определяющая потокораспределение в сети, может быть решена методом итераций и только при помощи современной ЭВМ. При этом, выбранные в качестве начального приближения расходы не удовлетворяют уравнениям вида (3.2) для каждого независимого контура, и в правой части этих уравнений будет не нуль, а некоторое значение

$$\Delta h_c = \sum_c S_i V_i |V_i| - \sum_c H_{Hi}. \quad (3.4)$$

обычно называемое невязкой. Поэтому в каждой итерации  $N$  для каждого контура определяется поправочный расход  $\Delta V_c$ , вычисляемый из условия  $\Delta h_c = 0$ , т.е.

$$\Delta V_c^{(N+1)} = \frac{\Delta h_c^{(N)}}{\sum 2S_i |V_i^{(N)}| - \frac{\Delta h_c^{(N)} \sum \text{sign}(V_i^{(N)}) S_i}{\sum 2S_i |V_i^{(N)}|}}. \quad (3.5)$$

Расчет потокораспределения может считаться законченным после того, как сумма потерь напора в каждом кольце в результате последовательных приближений станет меньше определенного наперед заданного значения  $\Delta H_{\text{доп}}$  - допустимой невязки потерь напора, т.е.

$$\left| \sum_c S_i V_i |V_i| - \sum_c H_{\text{нi}} \right| < \Delta H_{\text{доп}} \quad (3.6)$$

После того как закончен расчет потокораспределения, т.е. определены расходы на всех участках сети, может быть произведен расчет напоров в узлах. Напоры в узлах рассчитываются по кольцам последовательно, начиная с первого кольца, в котором расположен источник теплоснабжения.

## 4. ТЕПЛОВЫЕ РАСЧЕТЫ ИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Тепловые расчеты изоляционных конструкций проводятся с целью определения тепловых потерь трубопроводов с заданной конструкцией тепловой изоляции при заданном типе прокладки. С другой стороны, целью расчетов может являться определение по заданным значениям этих потерь соответствующих толщин тех или иных изоляционных слоев, выполняемых из материалов с известной теплопроводностью.

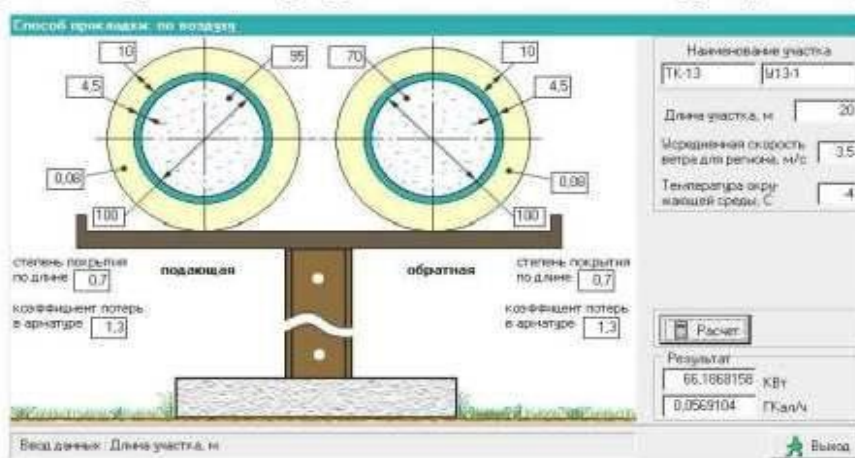
Исходной, в задачах теплового расчета тепловых сетей, является температура теплоносителя на входе в рассматриваемый объект, обычно это участок теплопровода, на протяжении которого способ прокладки, диаметр труб, и характеристики теплоизоляционной конструкции (толщина, теплопроводность) остаются неизменными. Кроме того, при тепловых расчетах должна быть задана температура окружающей среды  $t_0$ , воспринимающей тепловые потоки от конструкций тепловых сетей. Характеристика окружающей среды определяется типом прокладки этих сетей, эти типы могут быть сведены к двум основным, соответствующим надземной и подземной прокладке сетей.

В первом случае окружающей средой для конструкции сетей является воздух (воздушная прокладка), а во втором - массив грунта, в котором заложены эти конструкции. К воздушной прокладке относятся все трубопроводы и оборудование тепловых сетей, расположенные внутри помещений или вне их на открытом воздухе [3,8].

При тепловом расчете приходится определять тепловые потоки через слои и поверхности цилиндрической формы, причем удельные тепловые потери  $q$  и термические сопротивления  $R$  относят к единице длины теплопровода.

### 4.1. Воздушная прокладка

В изолированном трубопроводе, окруженном наружным воздухом, теплота должна пройти через четыре последовательно соединенных сопротивления: внутреннюю поверхность трубы, стенку трубы, слой изоляции и наружную поверхность изоляции.



Так как суммарное сопротивление равно арифметической сумме последовательно соединенных сопротивлений, то в этом случае

$$\sum R = R_B + R_{TP} + R_{II} + R_H \quad (4.1)$$



где  $R_B$ ,  $R_{TR}$ ,  $R_{И}$ ,  $R_{Н}$  – термические сопротивления внутренней поверхности трубы, стенки трубы, слоя изоляции и наружной поверхности изоляции, (м·К)/Вт.

В изолированных теплопроводах термические сопротивления внутренней поверхности трубы  $R_B$  и стенки трубы  $R_{TR}$  несоизмеримо малы по отношению к сопротивлению слоя изоляции  $R_{И}$  и наружной поверхности  $R_{Н}$ , в связи с чем в практических расчетах не рассматриваются [7].

Выражение для термического сопротивления однородного цилиндрического слоя изоляции описывается уравнением Фурье [3]

$$R_{И} = \frac{1}{2\pi\lambda_{И}} \ln \frac{(D_{TR} + 2\delta_{И})}{D_{TR}} \quad (4.2)$$

где  $\lambda_{И}$  - коэффициент теплопроводности слоя изоляции, Вт/(м·К);  
 $\delta_{И}$  - толщина слоя, м;  
 $D_{TR}$  - наружный диаметр теплопровода, м.

Для оценки величины теплопотерь существенное значение имеют только цилиндрические слои с большим термическим сопротивлением, т.е. слой самой изоляции. По этим соображениям обычно не принимается во внимание термическое сопротивление покровного слоя (рубероида, металлической фольги и др.).

Термическое сопротивление наружной цилиндрической поверхности, как известно из [3,8] описывается уравнением

$$R_{Н} = \frac{1}{\pi(D_{TR} + 2\delta_{И})\alpha} \quad (4.3)$$

где  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изолированного теплопровода в окружающий воздух, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Диаметр теплопровода при этом является заданным, а коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  является суммой двух слагаемых – коэффициента теплопередачи излучением  $\alpha_{Л}$  и коэффициента теплоотдачи конвекцией  $\alpha_{К}$ , т.е.

$$\alpha = \alpha_{Л} + \alpha_{К} \quad (4.4)$$

Для определения суммарного коэффициента теплоотдачи, когда температура поверхности изолированного теплопровода заранее неизвестна, применяется формула [3]

$$\alpha = 11,6 + 7\sqrt{W} \quad (4.5)$$

где  $W$  - скорость движения воздуха, м/с.

Величина тепловых потерь надземного теплопровода, с учетом вышеизложенного, может быть определена как

$$q = \frac{\tau - t_0}{R_{И} + R_{Н}} \quad (4.6)$$

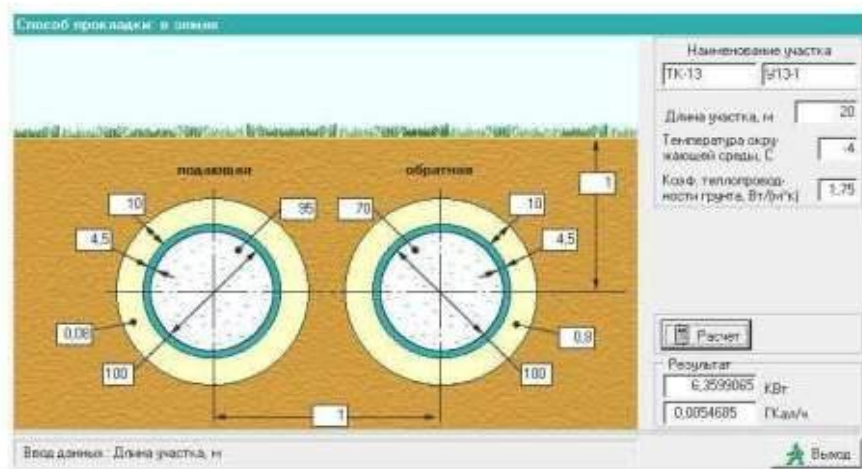
---

При расчете конструкций, состоящих из нескольких теплопроводов, тепловые потери определяются отдельно по каждому [7,8]. Взаимное влияние температурных полей теплопроводов друг на друга здесь не учитываются.

#### 4.2. Подземная бесканальная прокладка

В подземных теплопроводах в качестве одного из последовательно включенных термических сопротивлений участвует сопротивление самого грунта. При расчете тепловых потерь за температуру окружающей среды  $t_0$  принимают, как правило, естественную температуру грунта на глубине заложения оси теплопровода [3,8].

При малых глубинах заложения оси теплопровода ( $h/D < 2$ ) за температуру окружающей среды принимают естественную температуру поверхности грунта.



Термическое сопротивление грунта может быть определено по формуле [3]

$$R_{гр} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \left[ 2 \frac{h}{(D_{гр} + 2\delta_{и})} + \sqrt{\frac{4h^2}{(D_{гр} + 2\delta_{и})^2} - 1} \right] \quad (4.7)$$

где  $\lambda_{гр}$  - коэффициент теплопроводности грунта, Вт/(м·К);

$h$  - глубина заложения оси теплопровода, м.

Коэффициент теплопроводности грунта  $\lambda_{гр}$  зависит главным образом от его влажности и температуры.

При температурах грунта  $t_0 = 10\div 40^\circ\text{C}$  значение  $\lambda_{гр}$  средней влажности лежит в пределах  $1,2\div 2,5$  Вт/(м·К).

При малой глубине заложения подземных теплопроводов ( $h/D < 2$ ) температура поверхности грунта над теплопроводом может существенно отличаться от естественной температуры поверхности грунта. Во избежание ошибок подсчет тепловых потерь производят по температуре наружного воздуха. В этом случае термическое сопротивление грунта определяют не по действительной, а по приведенной глубине заложения оси теплопровода [3]

$$h_{пр} = h + h_{\phi} \quad (4.8)$$

где  $h_{\Phi}$  – толщина фиктивного слоя грунта, м;

$h$  – действительная глубина заложения оси трубопровода, м.

$$h_{\Phi} = \frac{\lambda_{\text{ГР}}}{\alpha_{\text{ПОВ}}} \quad (4.9)$$

Здесь  $\alpha_{\text{ПОВ}}$  – коэффициент теплоотдачи на поверхности грунта, Вт/(м · К).

Фиктивный слой имеет сопротивление, равное сопротивлению поверхности [7].

При бесканальной прокладке двух теплопроводов термическое сопротивление каждого из них представляет собой сумму двух слагаемых – сопротивления слоя изоляции и сопротивления грунта, т.е.

$$R_1 = R_{\text{И1}} + R_{\text{ГР1}} \quad (4.10)$$

$$R_2 = R_{\text{И2}} + R_{\text{ГР2}} \quad (4.11)$$

Взаимное влияние температурных полей теплопроводов учитывается условным дополнительным сопротивлением  $R_0$  по формуле [3,7]

$$R_0 = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{ГР}}} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{B}\right)^2} \quad (4.12)$$

где  $h$  – глубина заложения оси трубопроводов, м;

$B$  – расстояние по горизонтали между осями труб, м.

В этом случае тепловые потери рассчитываются [3,7]

- от первой трубы

$$q_1 = \frac{(\tau_1 - t_0)R_2 - (\tau_2 - t_0)R_1}{R_1R_2 - R_0^2} \quad (4.13)$$

- от второй трубы

$$q_2 = \frac{(\tau_2 - t_0)R_1 - (\tau_1 - t_0)R_2}{R_1R_2 - R_0^2} \quad (4.14)$$

где  $\tau_1, \tau_2$  – температуры теплоносителя в первой и второй трубах, °С.

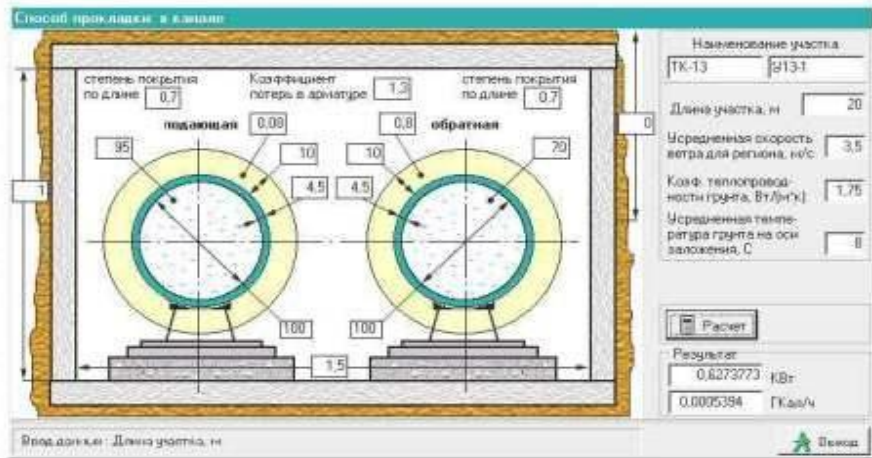
Сумма тепловых потерь от обеих труб с учетом длины дает величину потерь со всего участка.

### 4.3. Канальная подземная прокладка

Если несколько теплопроводов проложены в общем канале, то тепловой поток (потери) от каждого поступают в канал, а затем общий тепловой поток отводится через стенки канала и грунт в наружную среду.

Задача теплового расчета многотрубного теплопровода в канале сводится в первую очередь к определению температуры воздуха в нем. Зная температуру воздуха в канале, можно определить теплопотерю каждого теплопровода по общим правилам теплового расчета трубопроводов, окруженных воздухом.

При установившемся тепловом равновесии количество теплоты, подводимой от трубопроводов к воздушной прослойке канала, равно количеству теплоты, отводимой от воздушной прослойки через стенки канала и грунта в окружающую среду. Температура воздуха в канале многотрубного теплопровода может быть определена как [3,7]



$$t_K = \frac{\frac{\tau_1}{R_1} + \frac{\tau_2}{R_2} + \dots + \frac{\tau_n}{R_n} + \frac{\tau_0}{R_{K-0}}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_{K-0}}} \quad (4.15)$$

где  $R_1, R_2, \dots, R_n$  – суммарные термические сопротивления каждой из труб в канале при передаче теплоты от теплоносителя с температурами  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$  к воздуху в канале, (м·К)/Вт;

$R_{K-0}$  – суммарное термическое сопротивление при переходе теплоты от воздуха канала в окружающую среду, (м·К)/Вт.

Суммарное термическое сопротивление n-го тепловода можно вычислить как [7]

$$R_n = \frac{1}{2\pi\lambda_{И}} \ln \frac{(D_{ТР} + 2\delta_{И})}{D_{ТР}} + \frac{1}{\pi(D_{ТР} + 2\delta_{И})\alpha_{ВН}} \quad (4.16)$$

где  $D_{ТР}$  – наружный диаметр неизолированной трубы, м;

$\delta_{И}$  – толщина слоя изоляционного покрытия, м;

$\alpha_{ВН}$  – коэффициент теплоотдачи от поверхности изолированного теплопровода к воздуху в канале, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Суммарное термическое сопротивление внутренней поверхности канала, стенок канала и массива грунта определяется следующим образом [3]

$$R_{K-0} = R_{ВП} + R_K + R_{ГР} \quad (4.17)$$

Здесь  $R_{ВП}$  – термическое сопротивление при переходе теплоты от воздуха в канале к его внутренним поверхностям – стенкам, (м·К)/Вт;

$R_K$  – сопротивление при передаче теплоты теплопроводностью через стенки канала, (м·К)/Вт;

$R_{гр}$  - термосопротивление грунта, (м· К)/Вт.

Исходя из вышеизложенного, тепловые потери при канальной прокладке могут быть вычислены по уравнению [3, 7, 8]

$$q = \frac{t_K - t_0}{R_{K-0}} \quad (4.18)$$

Таким образом, количество теплоты, подведенной от теплоносителей в канал, равно количеству теплоты, отведенной из канала в окружающую среду.

## Литература

1. СНиП 2.04.05-91\*. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. - М.: Минстрой России, 1994, -65 с.
2. СНиП 2.04.07-86\* Тепловые сети.-М.: Минстрой России, 1994,-46 с.
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. - М.: Энергоиздат, 1982, -360 с.
4. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. - М.: Энергоатомиздат, 1986, -320 с.
5. Хасилев В.Я., Меренков А.П. Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей. - М.: Энергия, 1988, -176 с.
6. Киселев А.Я. Гидравлика и гидрология. - М.: Энергатоомиздат, 1989,-396 с.
7. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию/ И.В. Беляйкина, В.П. Витальев, Н.К. Громов и др.; Под ред. Н.К. Громова, Е.П. Шубина. – М.: Энергоатомиздат, 1988.- 376 с.: ил.
8. СНиП 2.04.14-88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов/ Госстрой СССР.- М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989.- 32 с.

## **6. ПРИЛОЖЕНИЕ.ВАРИАНТЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СП КРАСНЫЙ ПРОФИНТЕРН**

### **6.1. Котельная с. Вятское**

#### **1, 2 варианты развития:**

- Температурный график 95/70 качественного регулирования отпуска тепловой энергии;
- Установка индивидуальных тепловых пунктов;
- Наладка тепловых сетей;
- Частичная замена участков тепловых сетей.

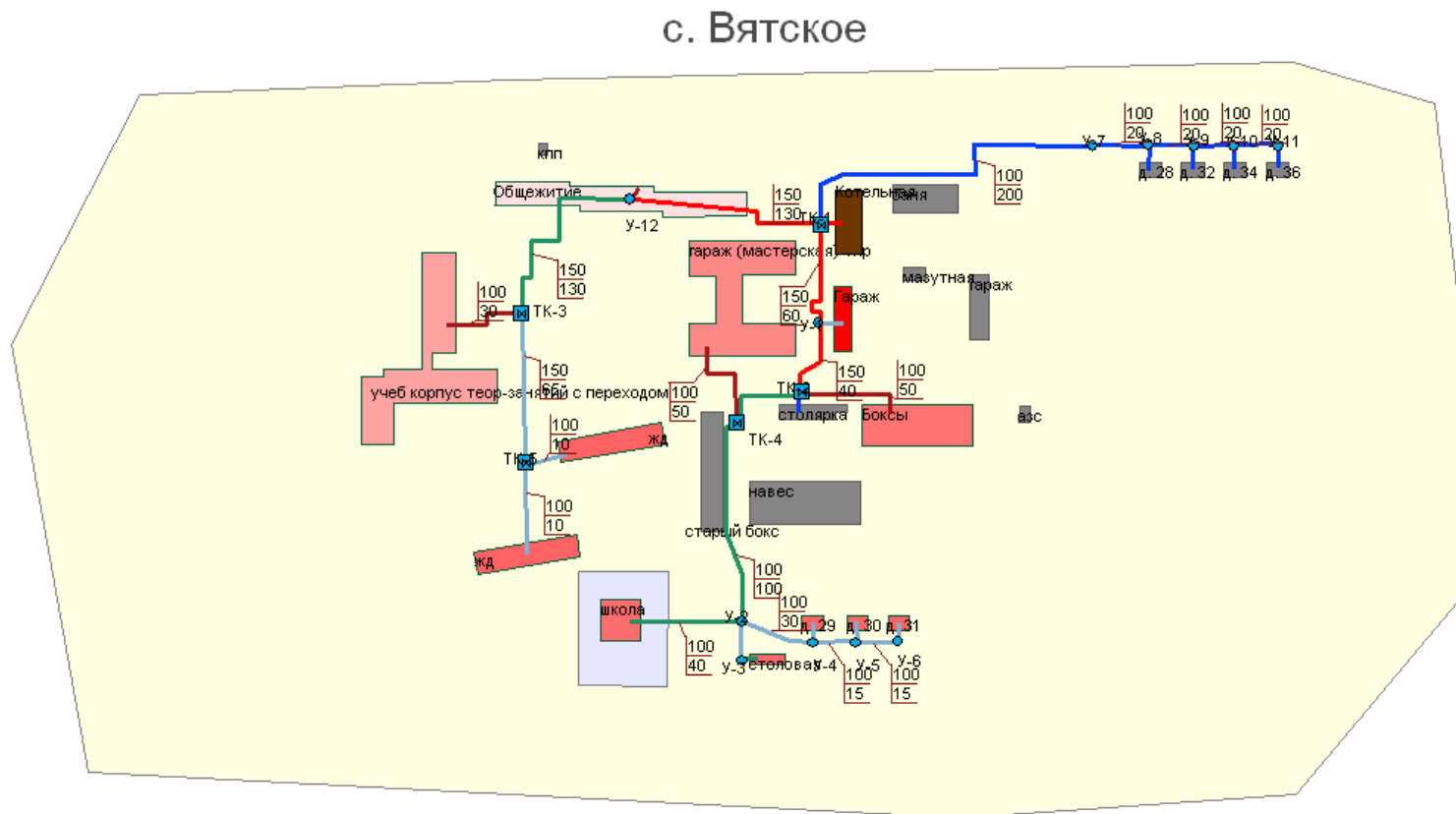


Рисунок 6.1.1 - Существующее положение системы теплоснабжения



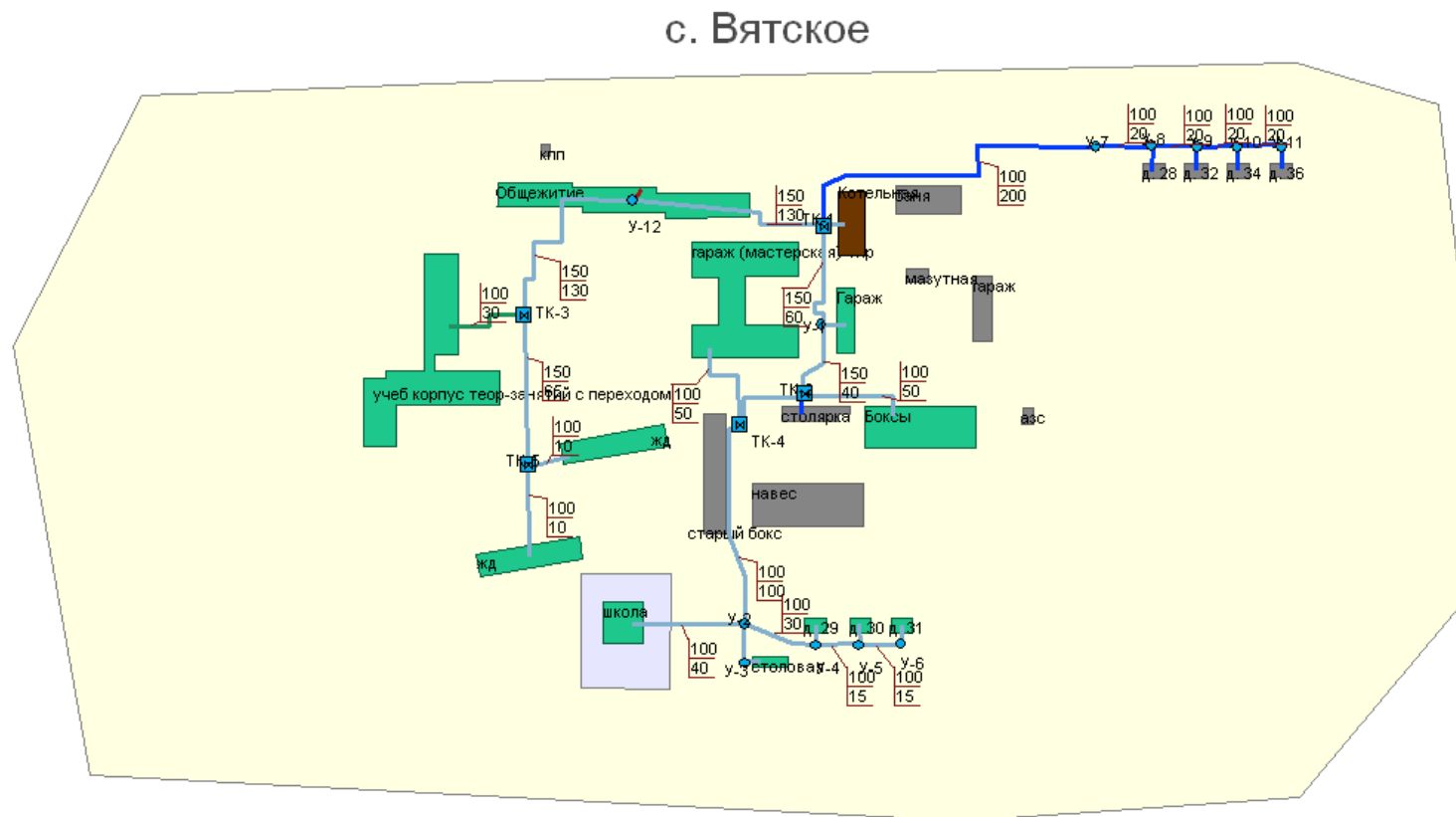


Рисунок 6.1.2 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения

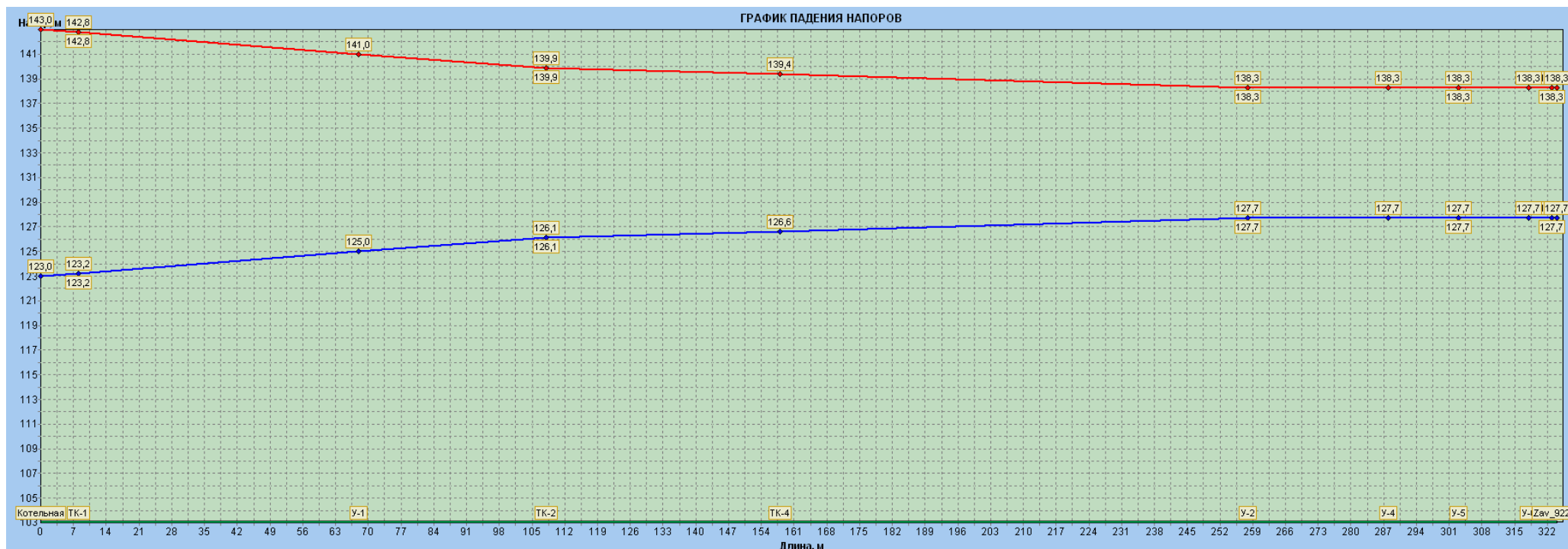


Рисунок 6.1.3 - Существующее положение системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Жилой дом №31»

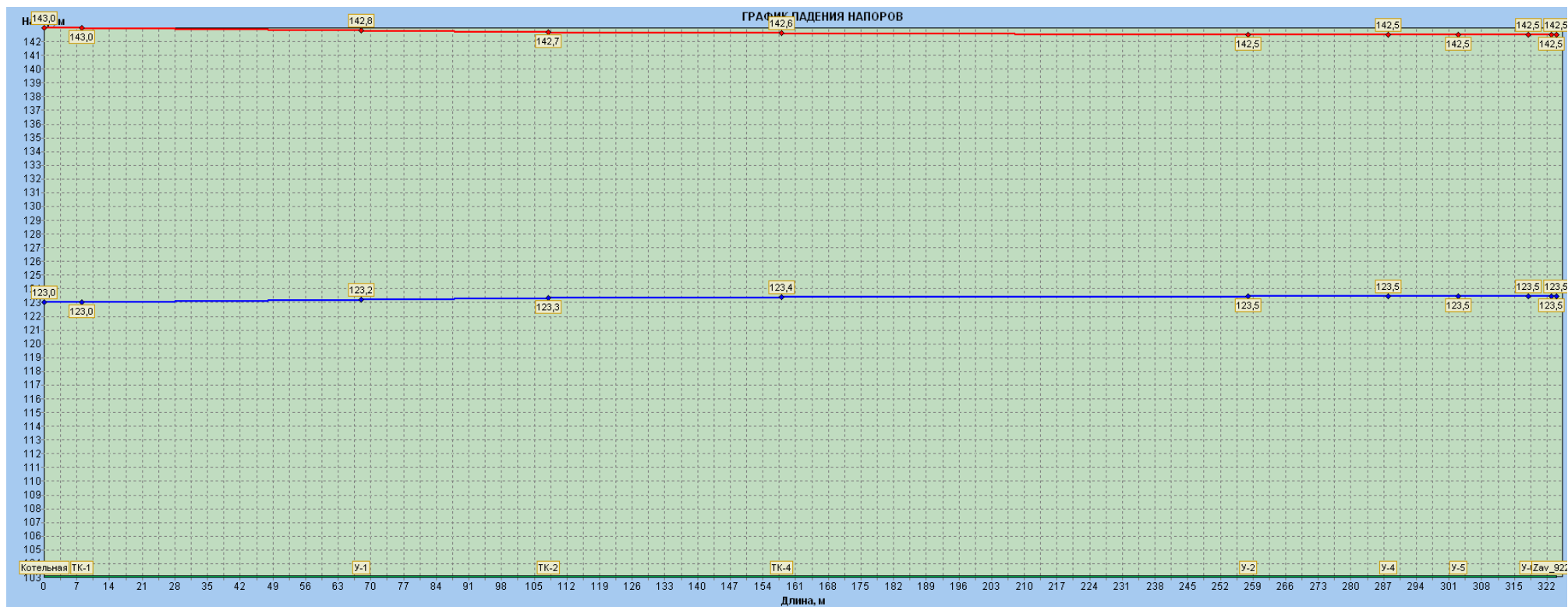


Рисунок 6.1.4 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Жилой дом №31»

## **6.2. Котельная п. Красный Профинтерн:**

### **1,2 варианты развития:**

- Техническое перевооружение котельной;
- Наладка тепловых сетей;
- Частичная замена участков тепловых сетей.

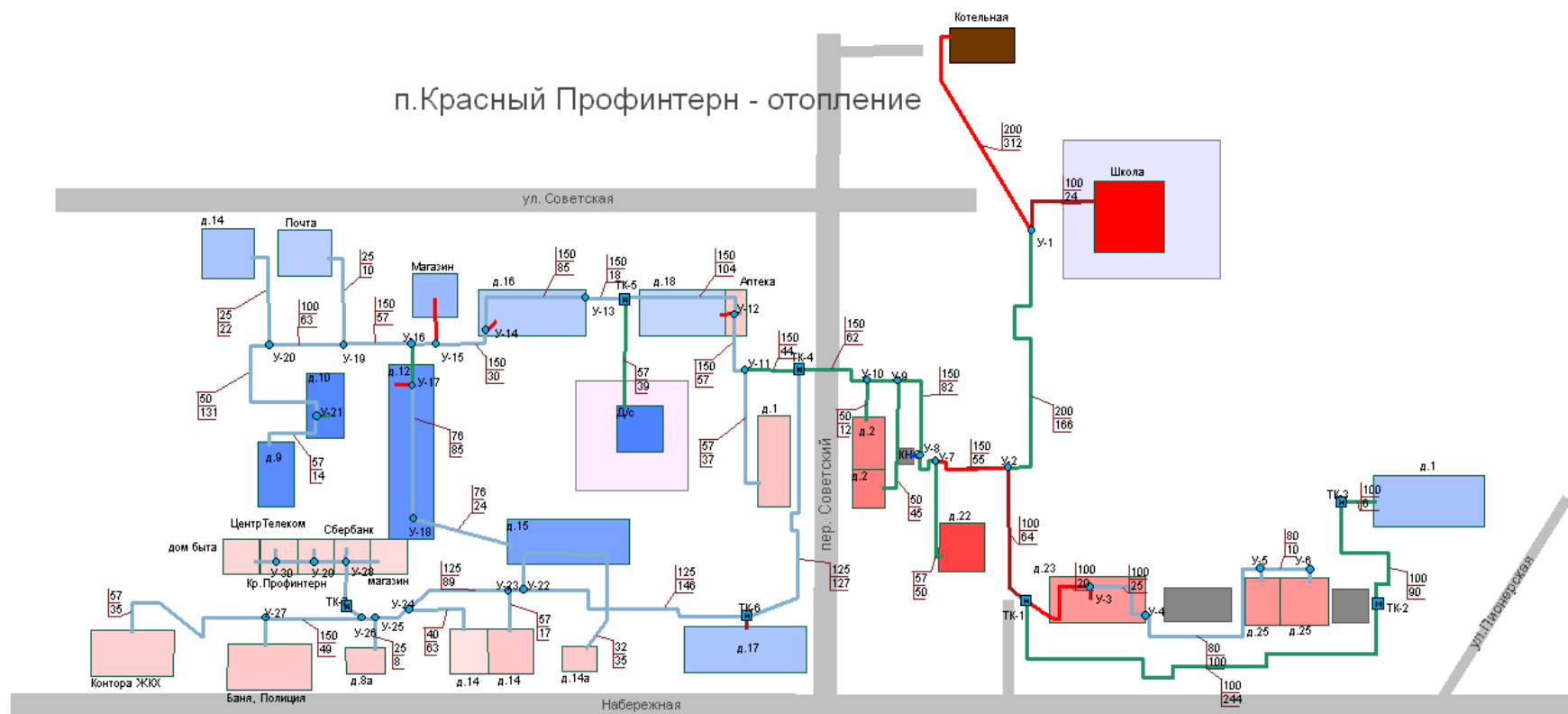


Рисунок 6.2.1 - Существующее положение системы теплоснабжения

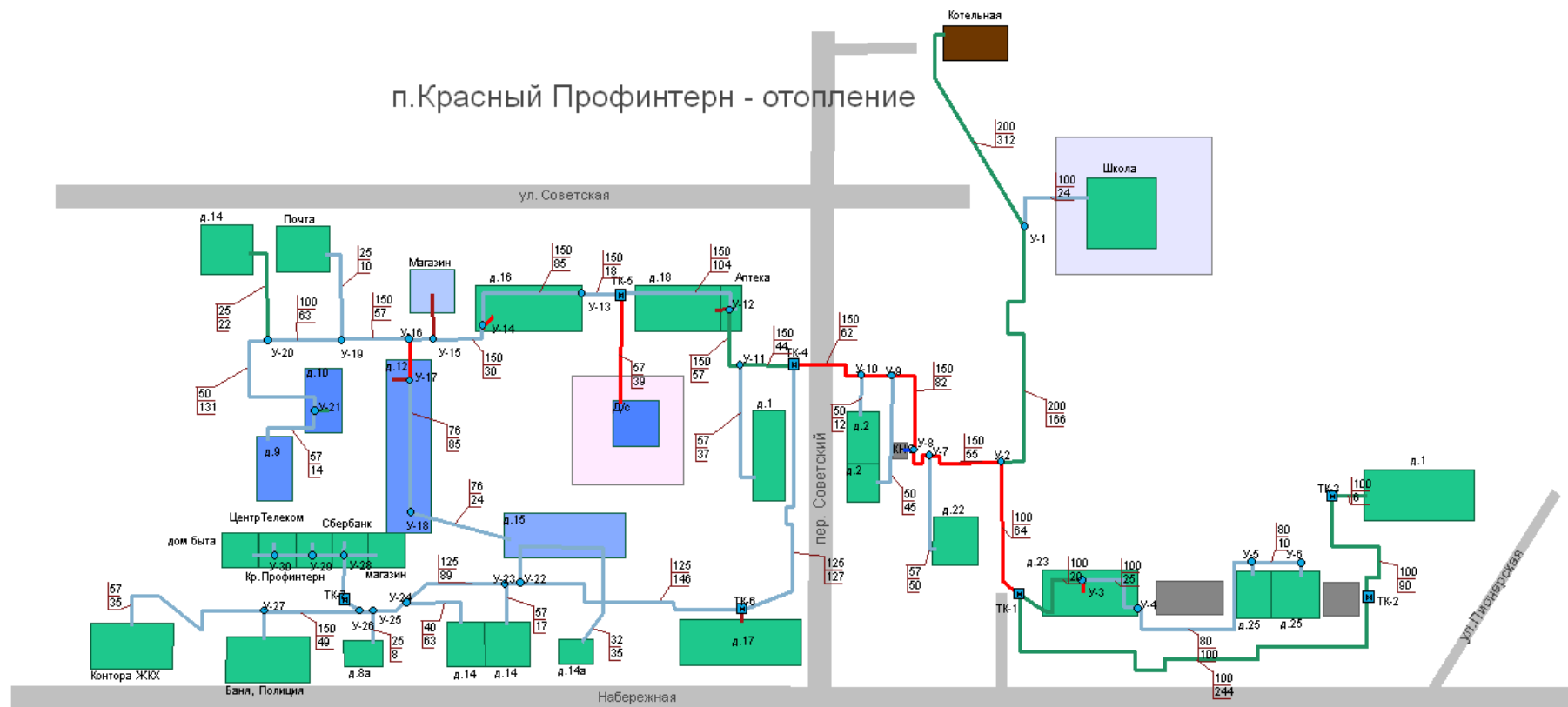


Рисунок 6.2.2 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения

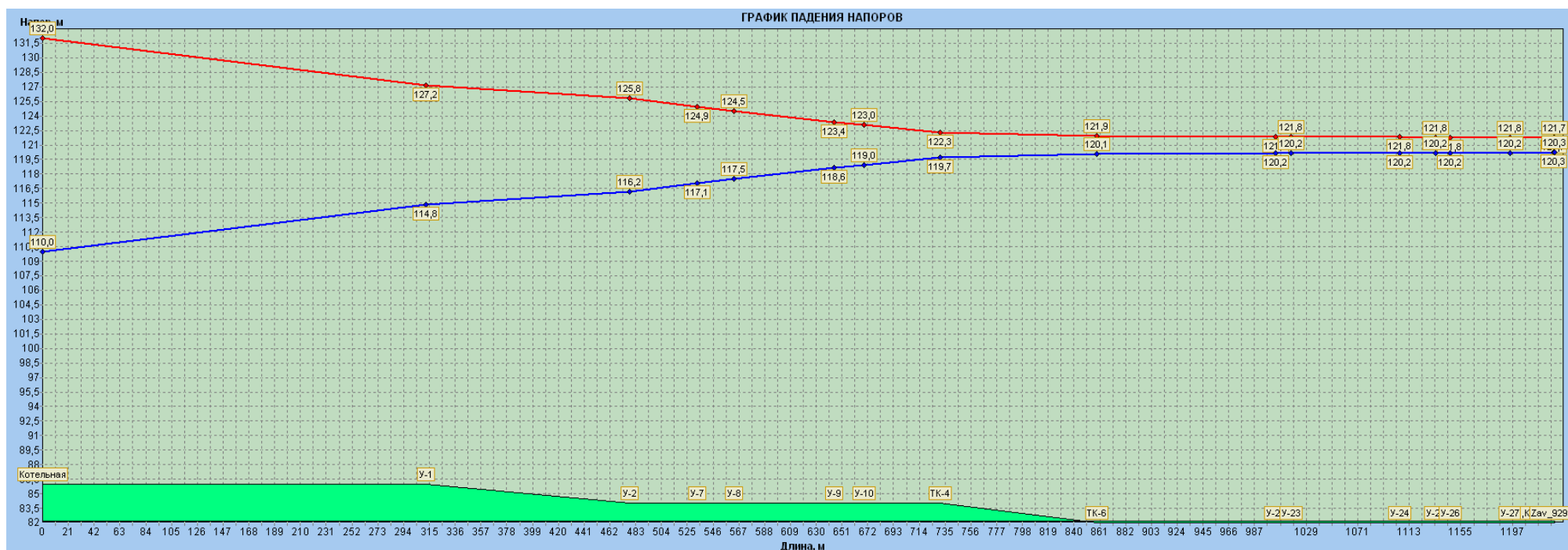


Рисунок 6.2.3 - Существующее положение системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Контора ЖКХ»

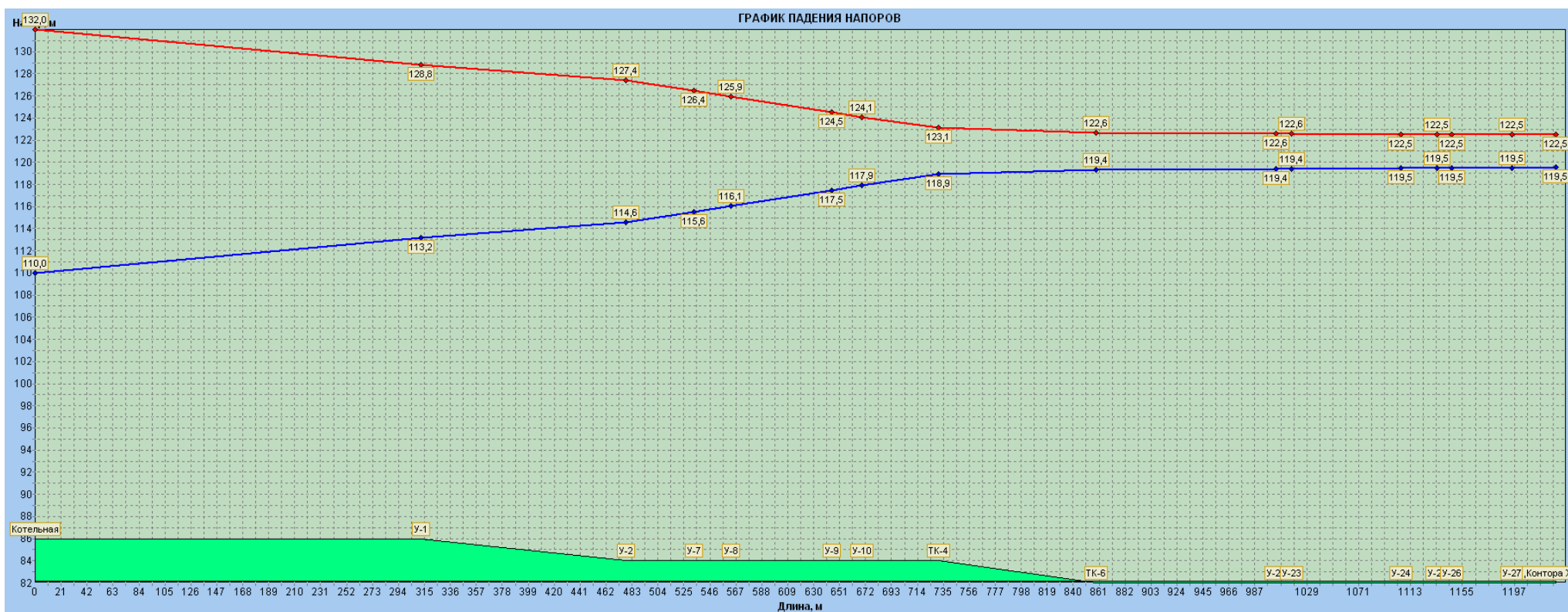


Рисунок 6.2.4- Результаты наладочного расчета существующей системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Контора ЖКХ»



### **6.3. Котельная д. Грешнево:**

#### **1, 2 варианты:**

- Реконструкция котельной с использованием в качестве основного топлива газа;
- Наладка тепловых сетей;
- Частичная замена участков тепловых сетей.

д.Грешнево

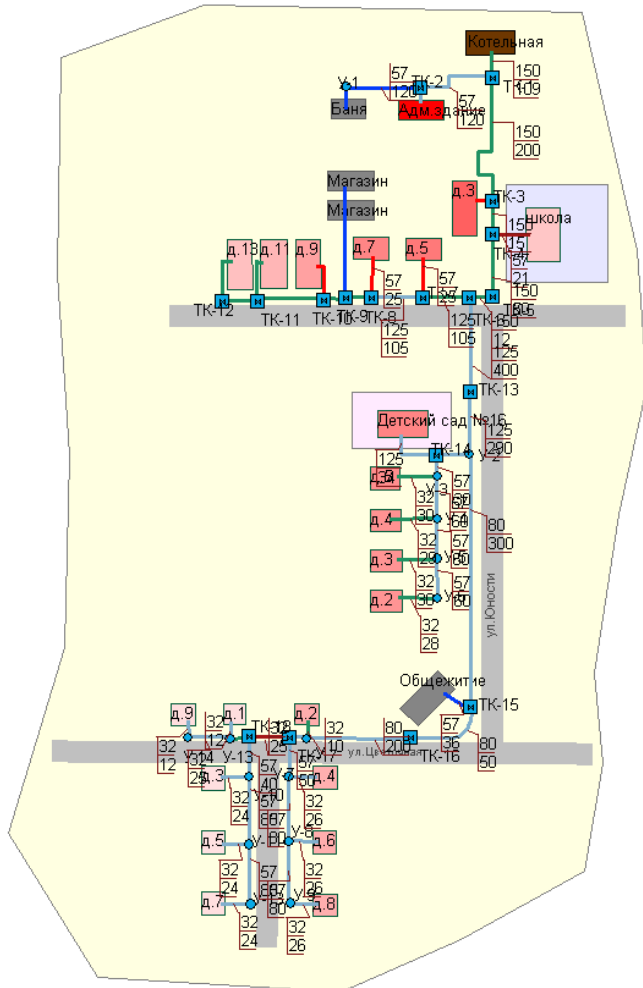


Рисунок 6.3.1 - Существующее положение системы теплоснабжения

д.Грешнево

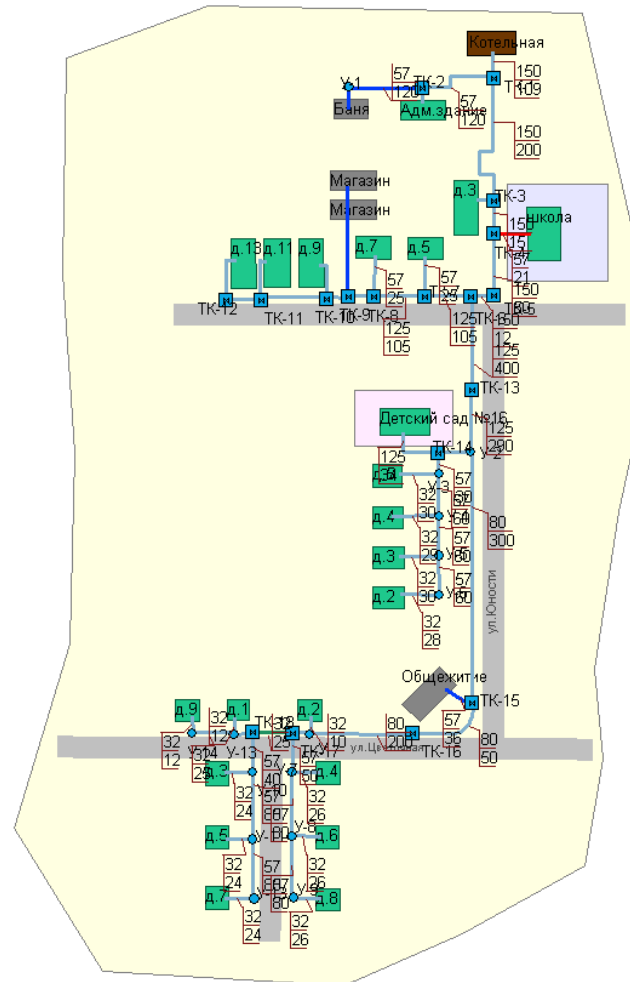


Рисунок 6.3.2 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения

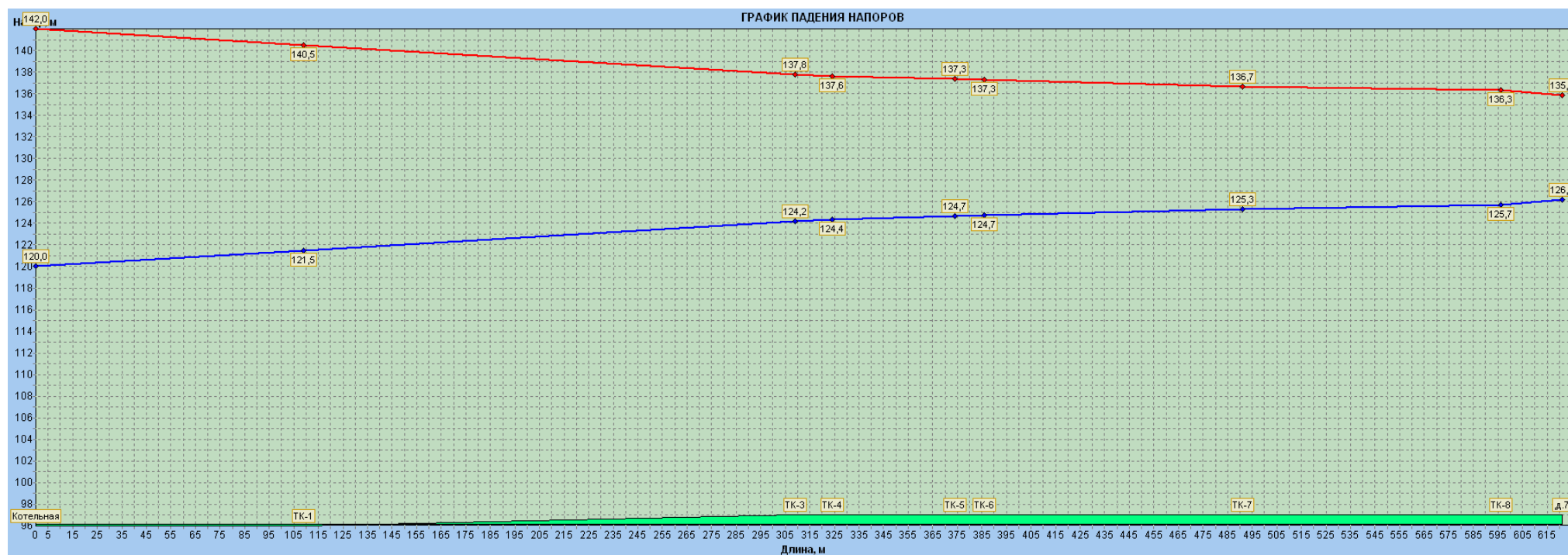


Рисунок 6.3.3 - Существующее положение системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Жилой дом №7»

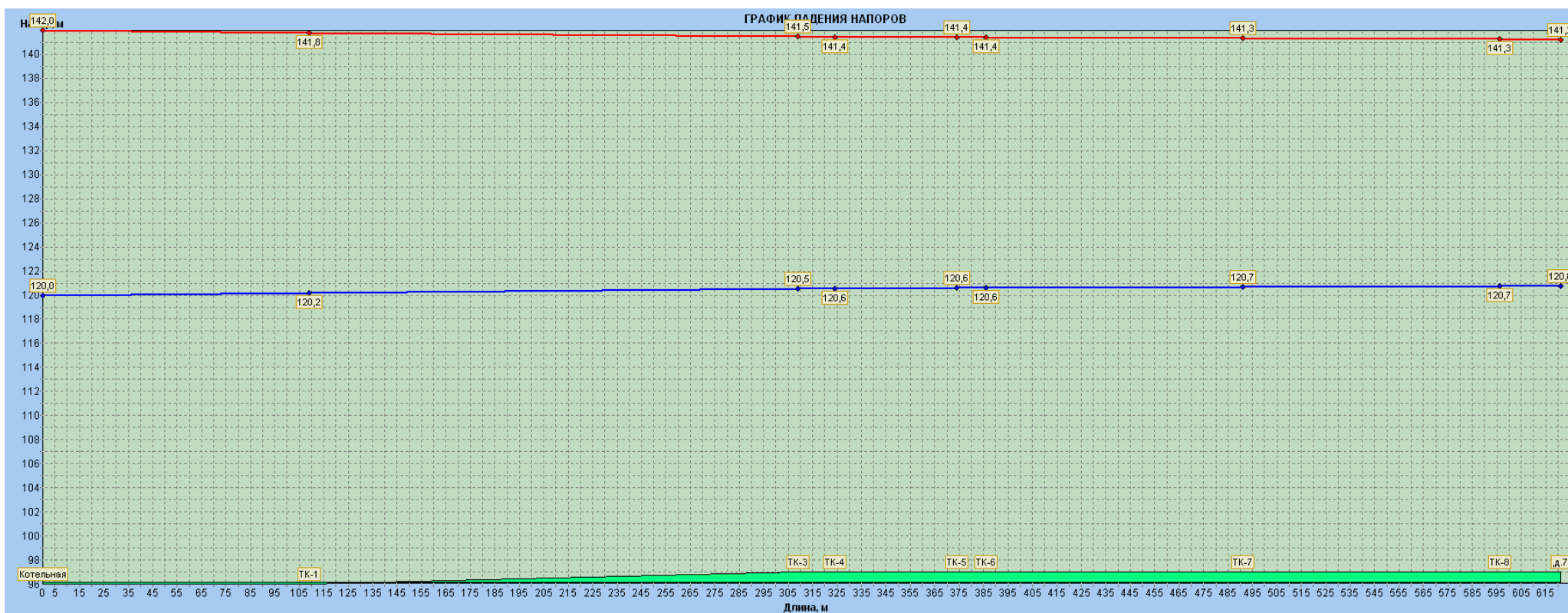


Рисунок 6.3.4 - Результаты наладочного расчета существующего положения системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Жилой дом №7»

#### **6.4. Котельная д. Заболотье:**

##### **1, 2 варианты развития:**

- Техническое перевооружение котельной;
- Наладка тепловых сетей;
- Частичная замена участков тепловых сетей.

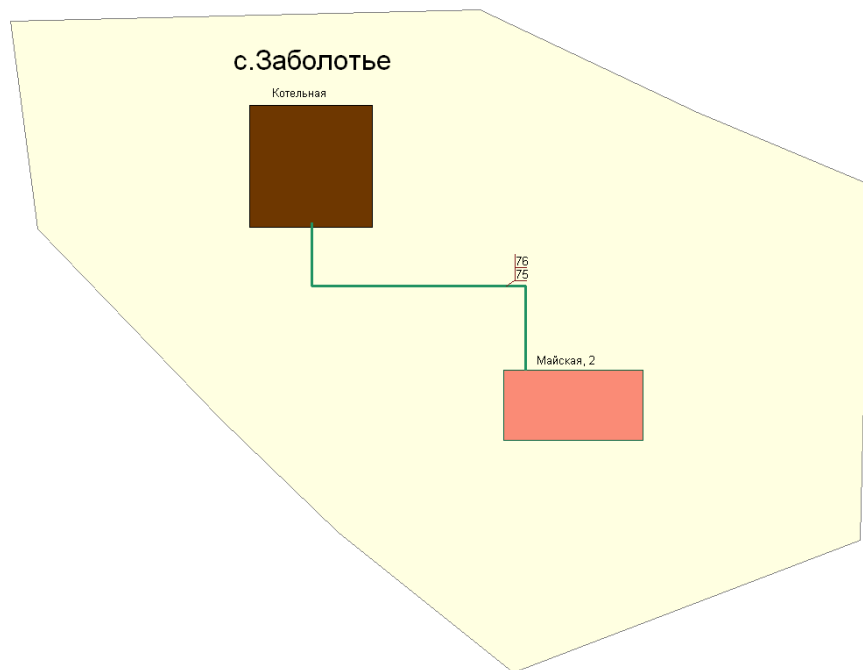


Рисунок 6.4.1 - Существующее положение системы теплоснабжения

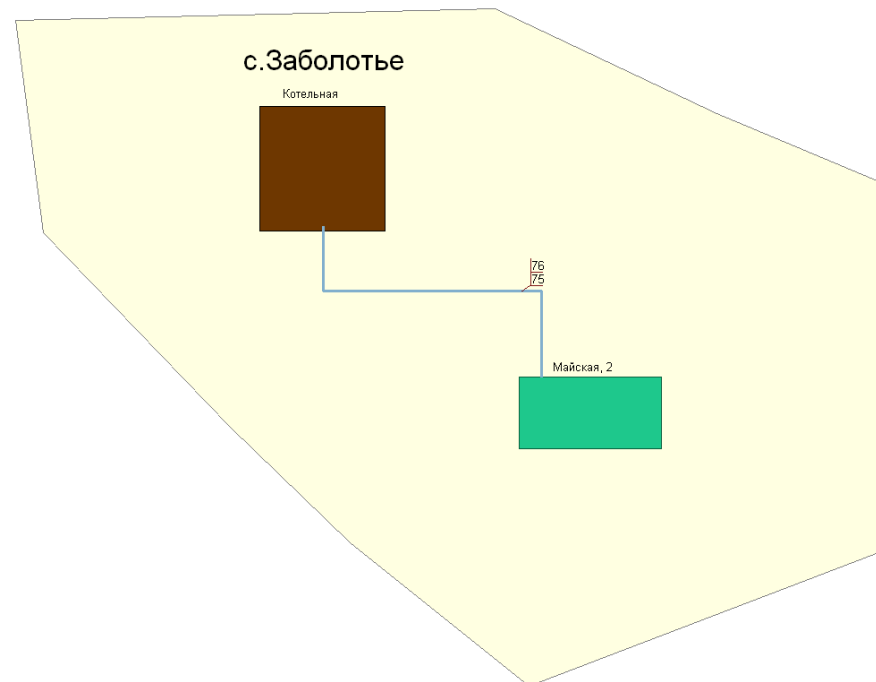


Рисунок 6.4.2 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения

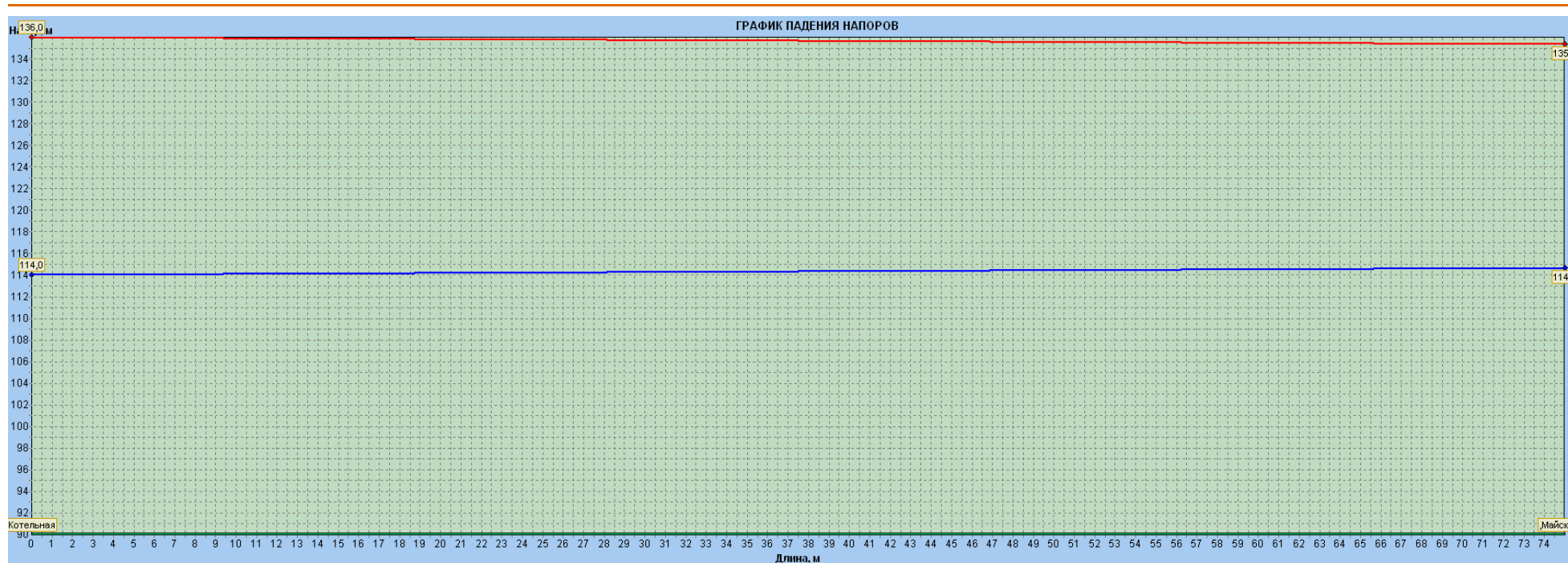


Рисунок 6.4.3 - Существующее положение системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Майская, 2»

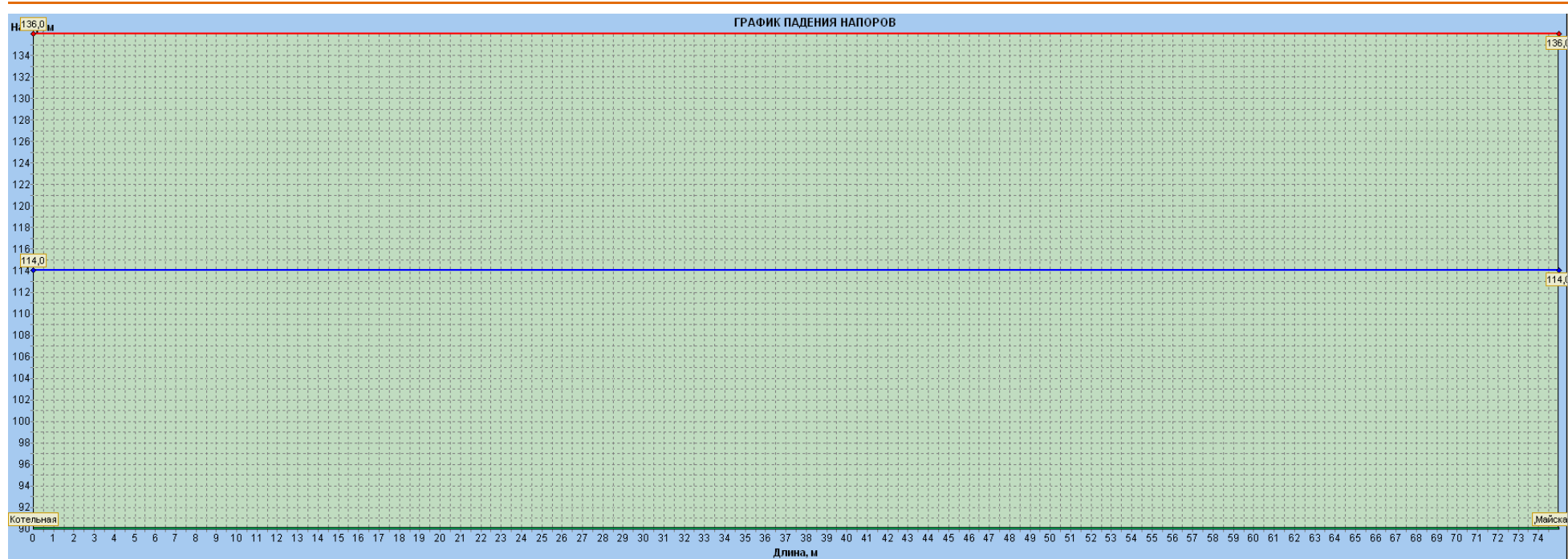


Рисунок 6.4.4 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Майская, 2»



## **6.5. Котельная больницы с. Диево-Городище:**

### **1 вариант развития:**

- Техическое перевооружение котельной;
- Наладка тепловых сетей;
- Частичная замена участков тепловых сетей.

### **2 вариант развития:**

- Строительство блочно-модульной котельной;
- Наладка тепловых сетей;
- Частичная замена участков тепловых сетей.

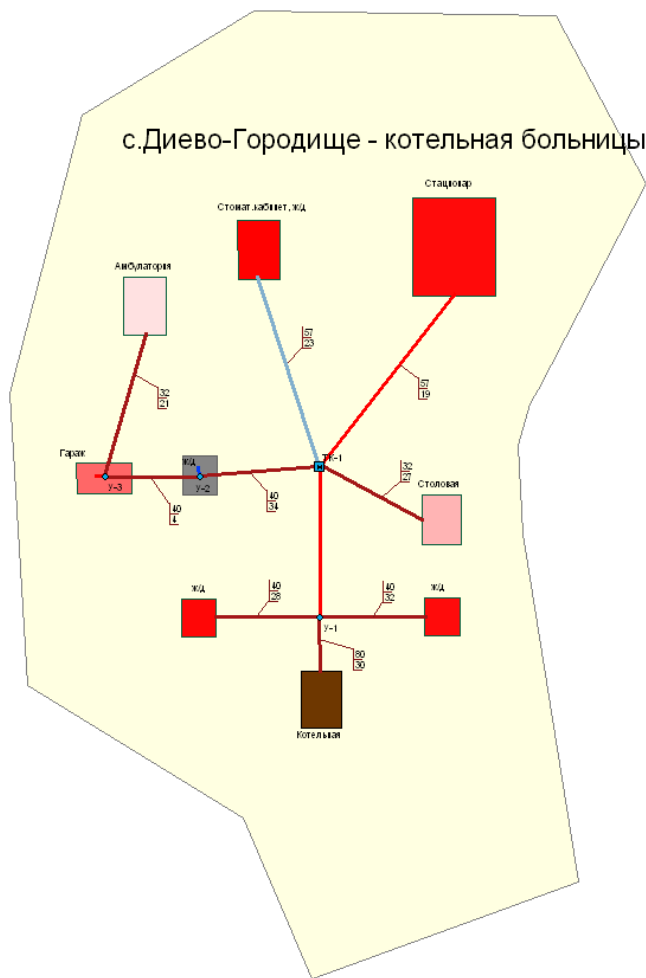


Рисунок 6.5.1 - Существующее положение системы теплоснабжения

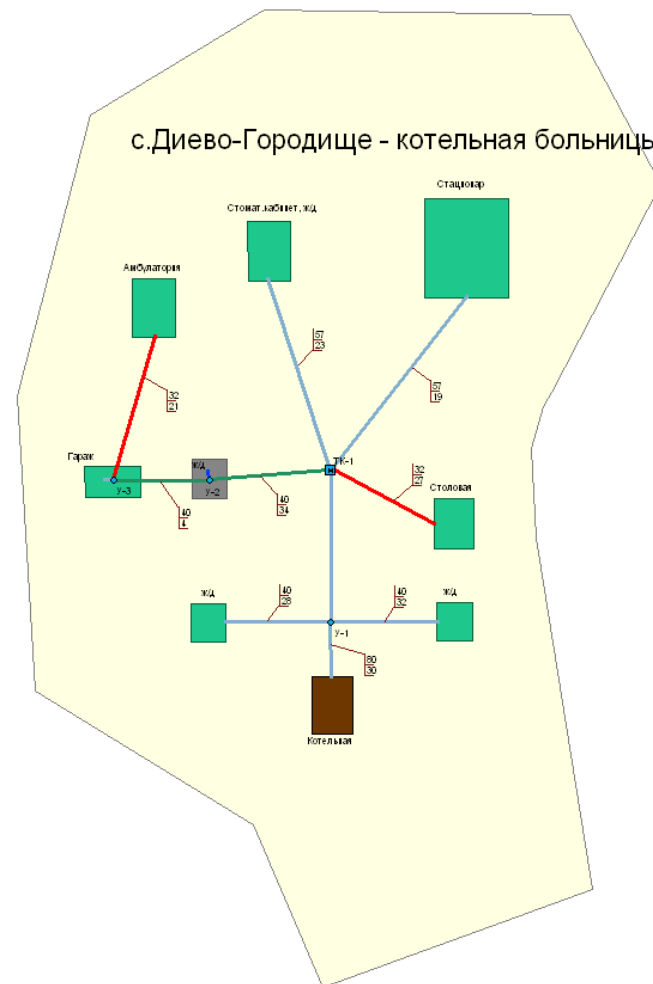


Рисунок 6.5.2 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения

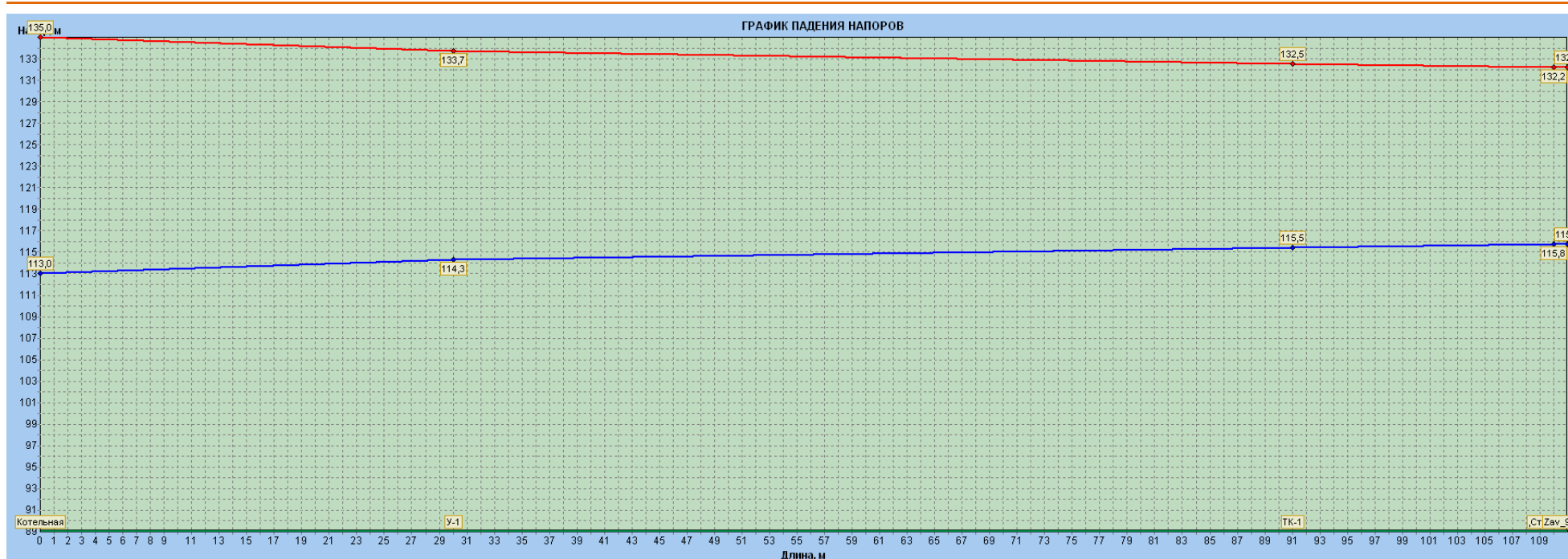


Рисунок 6.5.3 - Существующее положение системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Стационар».

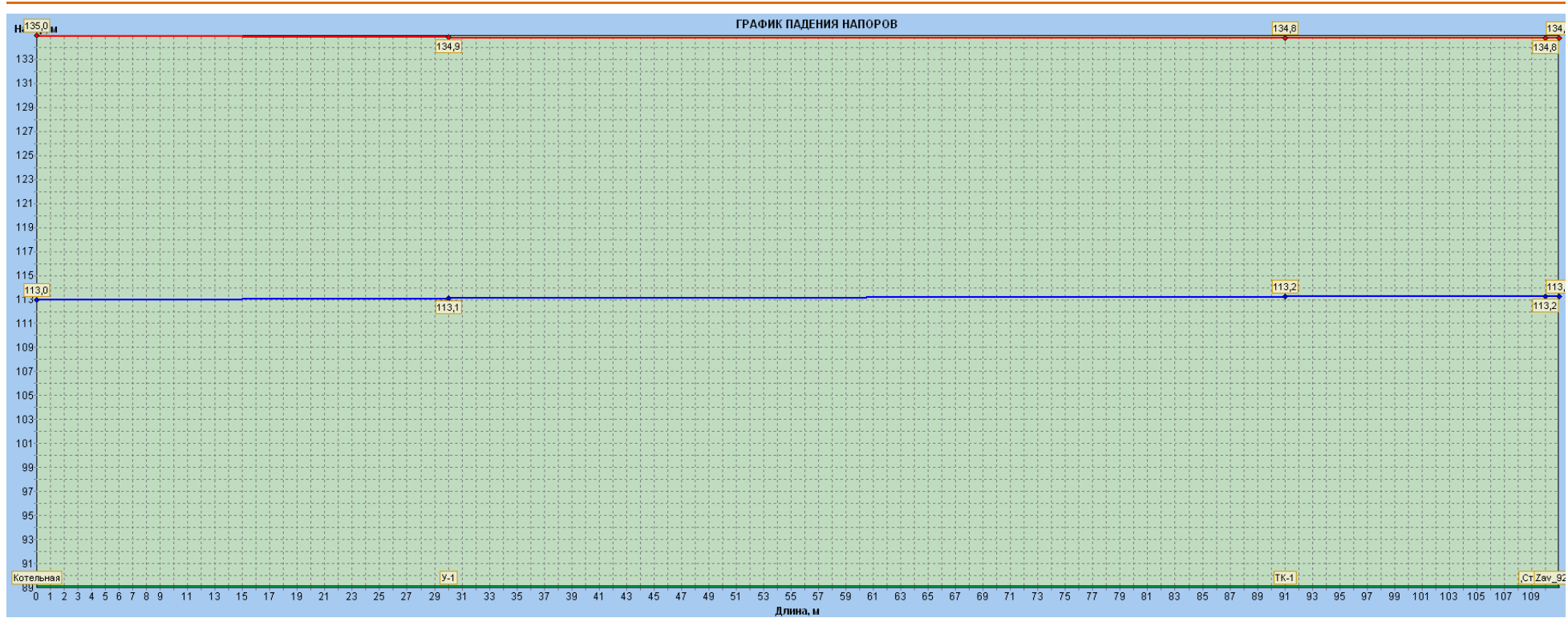


Рисунок 6.5.4 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Стационар».

## **6.6. Котельная школы с. Диево-Городище:**

### **1 вариант развития:**

- Техическое перевооружение котельной;
- Наладка тепловых сетей;
- Частичная замена участков тепловых сетей.

### **2 вариант развития:**

- Строительство блочно-модульной котельной;
- Наладка тепловых сетей;
- Частичная замена участков тепловых сетей.

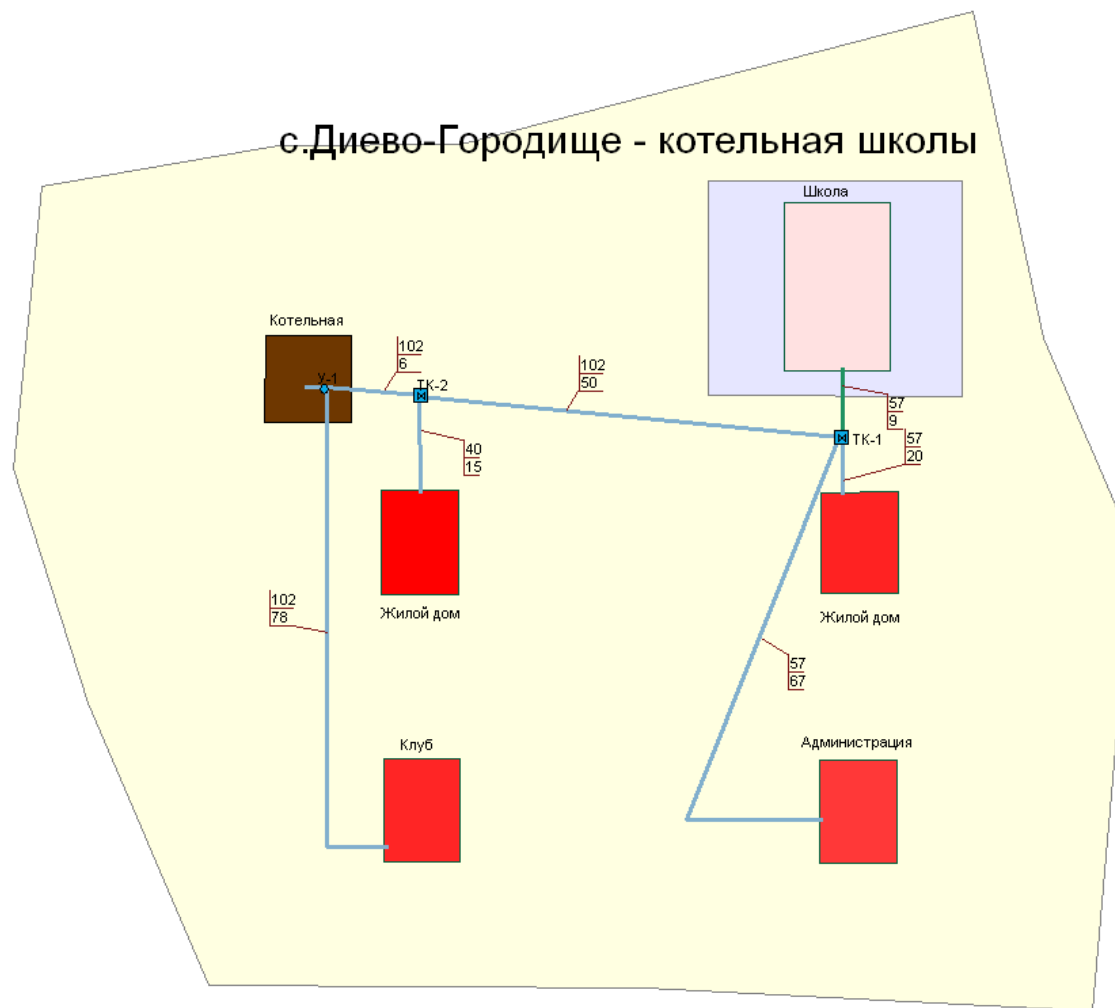


Рисунок 6.6.1 - Существующее положение системы теплоснабжения

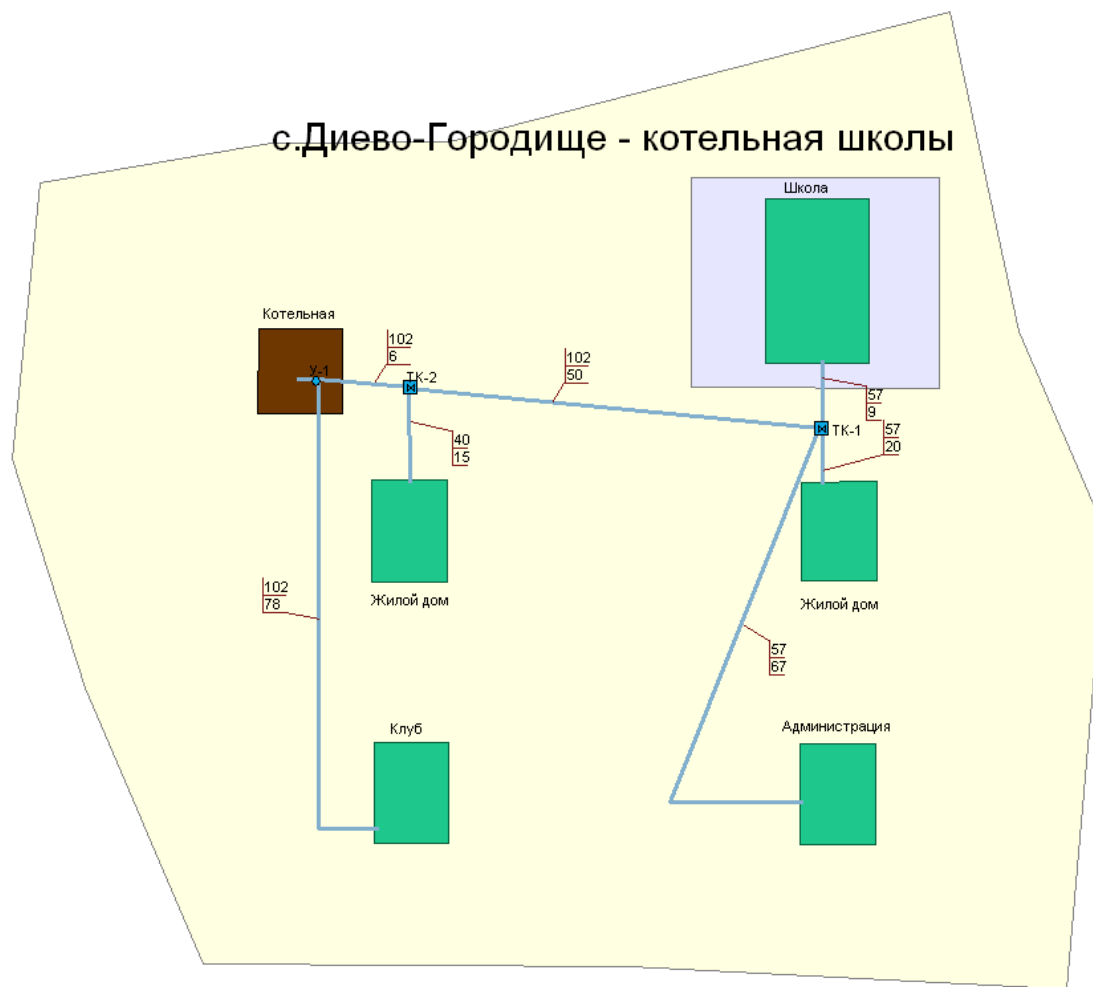


Рисунок 6.6.2 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения

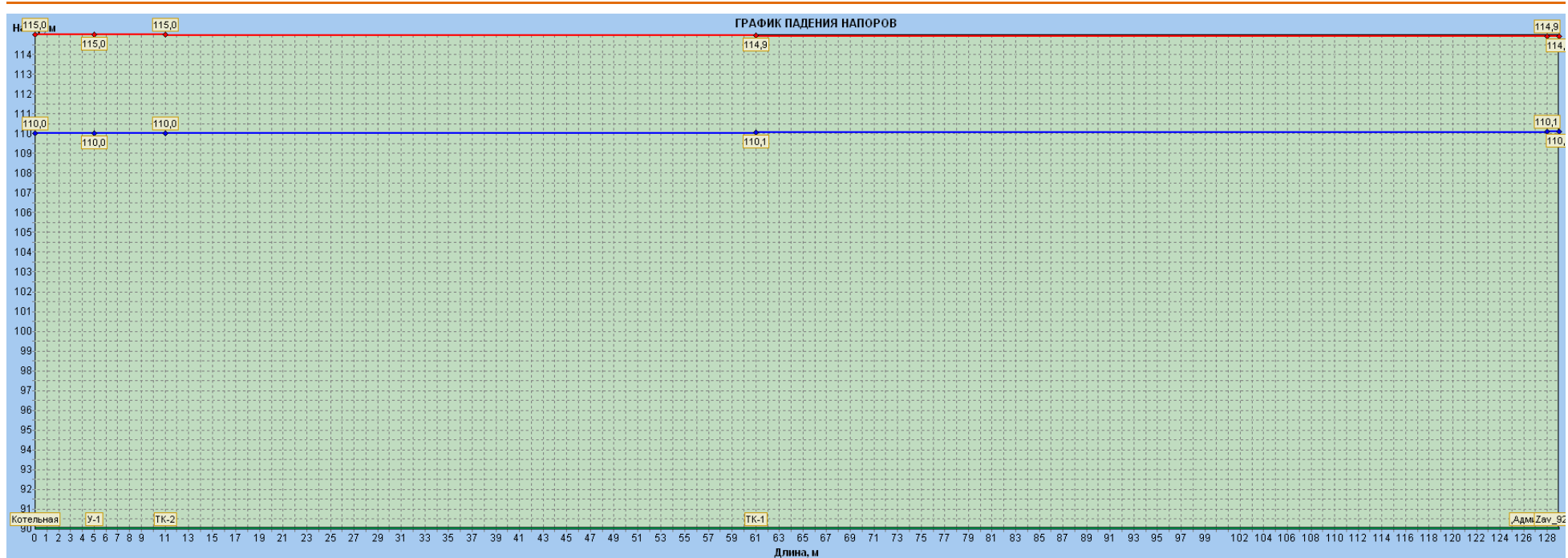


Рисунок 6.6.3 – Существующее положение системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Администрация»



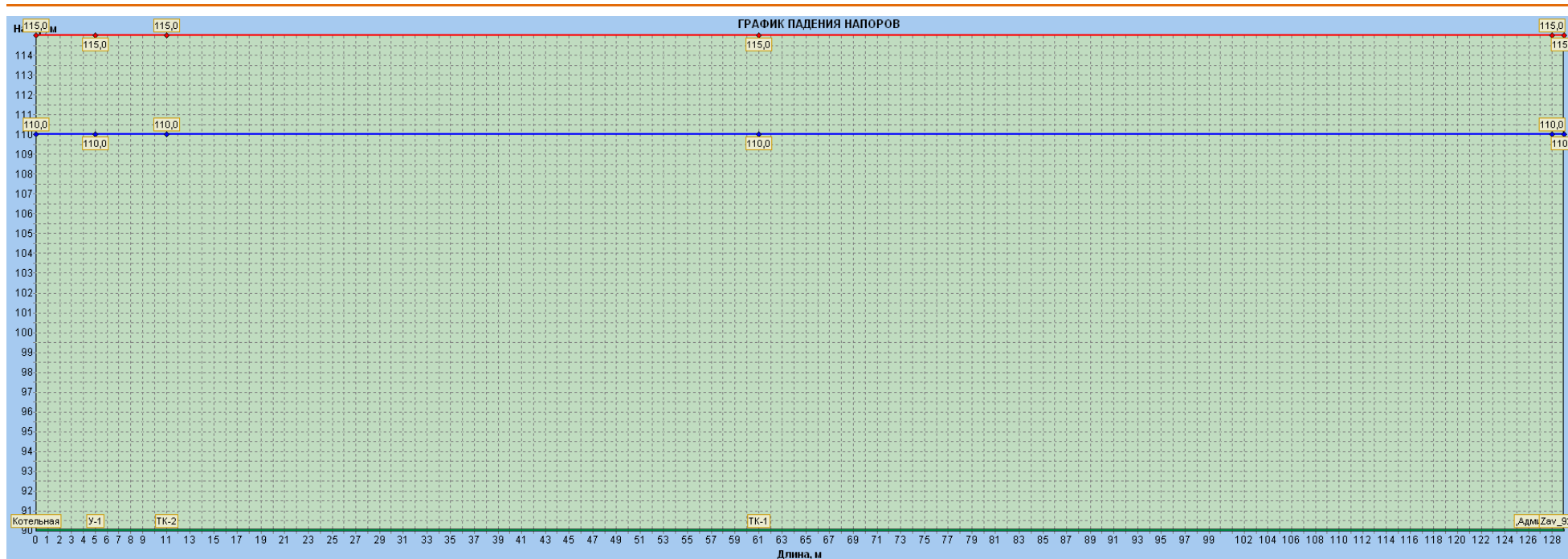


Рисунок 6.6.4 - Результаты наладочного расчета системы теплоснабжения. Пьезометрический график «Котельная – Администрация»

