

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

институт

Теплотехники и гидрогазодинамики

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ В. А. Кулагин

подпись      инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Проектирование тепловой сети  
в коттеджном поселке Английский парк

тема

13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

13.04.01.01 – Энергетика теплотехнологий

код – наименование магистерской программы

Руководитель

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

доцент, канд. техн. наук

должность, ученая степень

\_\_\_\_\_

М.В. Колосов

инициалы, фамилия

Выпускник

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

Ю.А. Кулешова

инициалы, фамилия

Рецензент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

профессор, д-р техн. наук

должность, ученая степень

\_\_\_\_\_

Ю.Л. Липовка

инициалы, фамилия

Красноярск 2024

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Проектирование тепловых сетей в коттеджном поселке Английский парк» содержит 100 страниц текстового документа, 30 иллюстраций, 14 таблиц, 36 использованных источников.

**СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ, ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ОПТИМУМ, МИНИМУМ ЗАТРАТ, ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, ДИАМЕТР ТРУБОПРОВОДОВ.**

Объект исследования - наружные тепловые сети различной конфигурации.

Цель ВКР: разработка оптимального по суммарным затратам метода проектирования наружных тепловых сетей.

Задачи ВКР: разработка методики по оптимизации характеристик и параметров тепловой сети по экономическим показателям; разработка математической модели структуры тепловой сети с помощью ПО ZuluGIS2021; выполнение гидравлического расчета схемы теплоснабжения с построением графика давлений сети; выполнение экономического расчета по двум видам затрат – капитальным и эксплуатационным; анализ работы оптимизационной модели.

В результате проведения работы был проведен анализ системы теплоснабжения в г. Красноярске. Исследована зависимость технико-экономических показателей с 2020 по 2024 гг. Предложена методика оптимизации диаметров трубопроводов тепловых сетей, которая учитывает индивидуальные особенности и экономические характеристики каждого проектируемого объекта с целью экономии энергетических ресурсов. Произведен расчет с использованием предложенного алгоритма системы теплоснабжения поселка в г. Красноярске и предложен вариант реконструкции для повышения ее эффективности.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 4  |
| 1. Анализ исследуемого объекта .....   | 7  |
| 1.1 Структура и состояние российских систем теплоснабжения и пути их модернизации..... | 7  |
| 1.2 Методы технико-экономических расчетов и проектирования тепловых сетей.....         | 15 |
| 1.3 Общая характеристика системы теплоснабжения г. Красноярска .....                   | 21 |
| 2. Методика повышения эффективности тепловых сетей .....                               | 28 |
| 2.1 Экономическая модель оптимизации.....  | 28 |
| 2.2 Результаты расчета модели экономической оптимизации .....                          | 35 |
| 3. Существующая схема теплоснабжения .....   | 50 |
| 3.1 Подготовка исходной информации .....   | 50 |
| 3.2 Проведение гидравлического расчета.....  | 58 |
| 3.2.1 Методика гидравлического расчета тепловых сетей .....                            | 58 |
| 3.2.2 Результаты гидравлического расчета.....  | 62 |
| 3.3 Расчет стоимости строительства тепловой сети .....                                 | 74 |
| 4. Применение методики экономической оптимизации тепловых сетей.....                   | 77 |
| Заключение .....   | 94 |
| Список используемых источников.....  | 97 |

## ВВЕДЕНИЕ

Тепловое хозяйство России в течение долгого времени развивалось по пути концентрации тепловых нагрузок, централизации теплоснабжения и комбинированной выработки тепловой и электрической энергии. Широкое распространение получила теплофикация, являющаяся наиболее рациональным методом использования топливных ресурсов для тепло- и электроснабжения. Развитие теплофикации способствует решению многих проблем, таких, как повышение тепловой и общей экономичности электроэнергетического производства, обеспечение экономического и качественного теплоснабжения жилищно-коммунальных и промышленных комплексов, снижение трудозатрат в тепловом хозяйстве.

Темой научно-исследовательской работы является Проектирование тепловых сетей в коттеджном поселке Английский парк.

Целью работы является разработка оптимального метода проектирования наружных тепловых сетей.

В достижение обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- Анализ известных способов расчета и проектирования систем теплоснабжения;
- Анализ способов оптимизации характеристик и параметров систем теплоснабжения;
- Разработка методики по оптимизации характеристик и параметров тепловой сети по экономическим показателям;
- Разработка математической модели структуры тепловой сети с помощью ПО ZuluGIS2021;
- Выполнение гидравлического расчета схемы теплоснабжения с построением графика давлений сети;
- Выполнение экономического расчета по двум видам затрат – капитальным и эксплуатационным;

- Анализ работы оптимизационной модели.

Объектом исследования являются наружные тепловые сети различной конфигурации.

Актуальность темы определяется большим интересом к современным системам теплоснабжения, перспективностью развития данной отрасли в рамках повышения эффективности, экологичности и экономичности теплоснабжающего оборудования. Современные тепловые сети представляют собой сложные инженерные сооружения. Протяженность городских тепловых сетей от источника тепла до потребителей может достигать десятков километров. Системы централизованного теплоснабжения включают большое число объектов инфраструктуры, таких как насосные станции, тепловые пункты, абонентские вводы и т.д. При проектировании тепловых сетей новых районов важно создание системы централизованного теплоснабжения, которая способна решить задачи теплоснабжения абонентов на высоком уровне, обеспечить максимально низкие цены для потребителей и минимизировать вредное влияние на окружающую среду.

Научная новизна исследования заключается в совершенствовании организации системы теплоснабжения на стадии проектирования. Предложен метод выбора конструктивных параметров, а именно диаметров трубопроводов тепловых сетей, позволяющий проводить оптимизацию тепловых сетей с максимальной экономической эффективностью. Практическая значимость состоит в том, что предложенный метод оптимизации параметров новых и реконструируемых тепловых сетей, позволяющий уже на стадии проектирования точнее и наиболее полно учитывать индивидуальные особенности каждого конкретного объекта с целью улучшения технико-экономических характеристик тепловой сети и экономии энергетических ресурсов.

Первым этапом проектирования системы теплоснабжения новых районов является выбор схемы теплоснабжения, структуры и трассы тепловой сети от источника тепла до потребителей. Этот этап оказывает определяющее влияние

на строительство и функционирование тепловых сетей в целом. Оптимизация процесса выбора структуры и трассы тепловой сети играет важнейшую роль в снижении финансовых и материальных затрат на сооружение и последующую эксплуатацию сети.

Современные вычислительные технологии дают возможность учитывать всю совокупность пространственных, технических и экономических данных для выбора структуры тепловой сети. В целях эффективного использования инновационного потенциала этих технологий для определения оптимальной трассы и структуры тепловой сети необходима разработка математической модели структуры тепловой сети, а также создание новых и совершенствование существующих методов и алгоритмов, позволяющих производить моделирование и оптимизацию структуры тепловой сети.

Таким образом, определение оптимальной структуры тепловых сетей является актуальной научно-технической задачей.

## **1. АНАЛИЗ ИССЛЕДУЕМОГО ОБЪЕКТА**

### **1.1 СТРУКТУРА И СОСТОЯНИЕ РОССИЙСКИХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ПУТИ ИХ МОДЕРНИЗАЦИИ**

Одной из приоритетных задач долгосрочной энергетической политики России является рациональное использование топливно-энергетических ресурсов и создание необходимых условий для перевода экономики страны на энергосберегающий путь развития.

В настоящее время экономика России характеризуется высокой энергоемкостью, в 2 - 3 раза превышающей удельную энергоемкость экономик развитых стран. Причинами такого положения, кроме более суровых климатических условий и территориального фактора, является сформировавшаяся в течение длительного периода времени структура промышленного производства и нарастающая технологическая отсталость энергоемких отраслей промышленности и ЖКХ, а также недооценка стоимости энергоресурсов, прежде всего, газа, не стимулирующая энергосбережения.

Россия обладает уникальным потенциалом энергосбережения, который оценивается в 39 - 47 % существующего годового потребления энергии. Почти третья часть его сосредоточена в топливно-энергетических отраслях (в том числе четверть – в электроэнергетике и теплоснабжении), еще 35 - 37 % в промышленности и 25 - 27 % в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Суровые климатические условия в России определяют теплоснабжение как наиболее социально значимый и в тоже время наиболее топливоёмкий сектор экономики: в нем потребляется примерно 40 % энергоресурсов, используемых в стране, а более половины этих ресурсов приходится на коммунально-бытовой сектор.

В настоящее время около 72 % всей тепловой энергии производится централизованными источниками (мощностью более 20 Гкал/ч), остальные 28 % производятся децентрализованными источниками, в том числе 18 % –

автономными и индивидуальными источниками. Кроме того, незначительная часть спроса на тепловую энергию (4,5 %) удовлетворяется за счет утилизации сбросного тепла от технологических установок, а доля тепла, получаемого от возобновляемых источников энергии, очень мала.

В большинстве крупных городов (более 100 тыс. чел.) централизованным теплоснабжением обеспечено 70 - 95 % жилого фонда. Ключевая проблема жилищно-коммунального хозяйства – повышение надёжности и экономичности теплоснабжения, поскольку 20 % всех тепловых источников находится в этом секторе экономики и 20 - 30 % расходной части бюджетов муниципальных образований используется на нужды теплоснабжения. Около 50 % объектов коммунального теплоснабжения и инженерных сетей требуют замены, не менее 15 % находятся в аварийном состоянии. На каждые 100 километров тепловых сетей ежегодно регистрируется в среднем 70 повреждений. Потери в тепловых сетях достигают 30 %, а с утечками теплоносителя ежегодно теряется более 0,25 кубических километров воды, 82 % общей протяженности тепловых сетей требуют капитального ремонта или полной замены.

Что касается повышенных тепловых потерь, то они объясняются не только тем, что в России в основном (90 %) трубопроводы тепловых сетей имеют тепловую изоляцию из минеральной ваты, которая к тому же в 30 – 50% случаев повреждена или вообще разрушена, а также постоянным или периодическим затоплением каналов, т.к. при увлажненной тепловой изоляции в несколько раз повышается величина тепловых потерь.

Система теплоснабжения является важной инфраструктурой для обеспечения комфортных условий проживания и работы населения. Однако, с течением времени, многие системы теплоснабжения в России стали устаревать и нуждаются в модернизации. Строить новую систему теплоснабжения можно двумя способами – модернизировать существующую сеть от теплоцентралей или внедрять малые котельные.



Лучшие результаты дает ТЭЦ с экономической точки зрения и со стороны экологии. Суммарные выбросы котельных, вырабатывающих такое же количество тепла, как одна ТЭЦ, наносят природе больший ущерб (при условии, что станция оборудована современно, опираясь на стандарты). КПД централизованного производства тепловой энергии из-за когенерации значительно выше, чем КПД обычной котельной. За счет масштабов производства тепла ТЭЦ работает в более экономичных термодинамических режимах, позволяющих генерировать тепло с большей эффективностью. К тому же централизованная логистика крупной ТЭЦ, меньшие накладные расходы, меньшая отапливаемая площадь (относительно объемов генерации) позволяют говорить о том, что себестоимость тепловой энергии, произведенной ТЭЦ, ниже, чем у автономного теплогенерирующего пункта.

Но существует важный недостаток – распределительные сети. Их плачевное состояние, неэффективная теплоизоляция делают потери тепла катастрофическими – в ряде случаев они достигают 60 %. Потребитель вынужден по завышенному тарифу оплачивать не только ушедшие в атмосферу гигакалории, но и модернизацию теплосетей, их замену и строительство. Однако стоимость модернизации и прокладки новых теплосетей такова, что нецелевых средств, полученных через повышенные тарифы, едва ли хватает на поддержание теплоцентрали в рабочем состоянии. А целевые инвестиции на данные нужды энергетики получают крайне редко. По различным экспертным оценкам, стоимость прокладки одного километра современной теплотрассы составляет 250 – 300 тыс. долларов США. При этом в России сегодня нуждаются в замене более 60% тепловых сетей, а это около 120 тыс. км трубопровода.

Анализ зарубежного опыта показывает, что проблема российского теплоснабжения — не в централизованной системе, а в неэффективной распределительной сети. Для сравнения была рассмотрена система центрального отопления России и Дании.

Принципиальных отличия заключаются в следующем:

- регулировка объема поставляемого тепла производится не за счет изменения температуры теплоносителя, а за счет изменения скорости циркуляции (применение частотных регуляторов на циркуляционных насосах). Это также является фактором, определяющим экономичность системы в целом;

- принцип организации отопления помещений. Радиаторное отопление, наиболее распространенное в России, постепенно уступает свое место различным видам воздушного отопления. Радиаторы не позволяют создать эффективную конвекцию в помещении, такие системы инерционны и недостаточно комфортны для человека.

Для того, чтобы избежать упомянутые проблемы и эффективно использовать центральное теплоснабжение – возможна установка тепловых насосов. Тепло подается к тепловому насосу, который с помощью кольцевого контура передает энергию в те помещения, где требуется обогрев. Притом подача тепла прекращается, как только в кольцевом контуре его становится достаточно. Фактически это классическая система центрального воздушного отопления, построенная на базе кольцевой теплонасосной системы. Главным плюсом в такой системе достаточно является экономичность. По словам генерального директора ООО «Тепловые насосы» И. Сеськина, в среднем обслуживание насоса для частного дома площадью в 150 - 200 кв. м обходится в разы дешевле других источников отопления — 20 тысяч рублей в год.

Российский опыт применения подобных систем в крупных зданиях (например, в Красноярске тепловые контуры установлены на нескольких десятках зданий, в основном это частные коттеджи. Есть пример установки на большой площади торгового центра в Ачинске. На севере Москвы располагается гостиница «Ирис Конгресс Отель», построенная в 1991 году по проекту французской фирмы «БУИГ») показывает, что подача тепла в систему требуется всего несколько раз в год – в периоды сильных морозов. В остальное время года внутри здания производится достаточно тепла, чтобы покрывать

потребности в отоплении – необходимо лишь утилизировать эту теплоту и передать ее в другие зоны.

Пока российский опыт в данном направлении микроскопичен. Но в странах Скандинавии, где климатические условия можно сравнивать с российскими, тепловые насосы являются фактически приоритетным направлением развития. Также в Стокгольме функционирует крупнейшая теплонасосная станция. Ее выходная тепловая мощность составляет 320 МВт. Станция перекачивает тепло Балтийского моря, температура воды которого практически круглогодично составляет 4°C. Охлаждая воду до 2°C, станция поставляет тепло, стоимость которого на 20% ниже, чем у любой другой ТЭЦ или котельной.

Другим путем пошли власти Шотландии, реализуя программу строительства доступного жилья. Они субсидируют граждан, желающих установить в строящейся квартире тепловые насосы. Единовременные затраты на установку оборудования позволяют снизить расходы на отопление дома до 10 – 15 фунтов в год. Во-первых, окупаемость такого решения составляет не более трех лет, во-вторых, оно позволяет снизить нагрузку на котельные и тепловые станции.

Широкое распространение тепловых насосов характеризуется следующими цифрами:

- в Швеции до 70 % всего отопления обеспечивают тепловые насосы;
- в Швейцарии эксплуатируется свыше 60 000 тепловых насосов, что экономит 150000 л жидкого топлива;
- в Германии в эксплуатации находятся сотни тысяч теплонасосных установок, которые используются в водяных, а также в воздушных системах отопления и кондиционирования воздуха;
- в Японии ежегодно производится около 3 млн. тепловых насосов;
- в США ежегодно производится около 1 млн. тепловых насосов. Около 30 % административных и жилых зданий оборудованы тепловыми насосами. При

строительстве новых общественных зданий используются исключительно геотермальные тепловые насосы. Эта норма была закреплена Федеральным законодательством США.

Таким образом, проанализировав опыт западных стран, необходимо учитывать следующие условия:

- требуется модернизация тепловых сетей с применением новых энергоэффективных технологий. Строительство новых сетей, ремонт старого трубопровода должны осуществляться с применением новых полимерных материалов, с использованием качественной теплоизоляции;

- требуется поэтапный уход от практики применения радиаторного отопления. Важно снижать инерционность работы отопительного оборудования и в то же время повышать его комфортабельность;

- задача теплоцентрали – доставить тепловую энергию к зданию. И уже от собственника зависит, насколько эффективно он использует это тепло. Подрядчик, внедривший в своем здании теплонасосную систему, может эффективно обогревать его, даже если температура в теплоцентрали опустилась до 30 – 40 °С. Кольцевая система будет нормально функционировать, пусть даже с меньшей эффективностью, даже если температура в сети упадет до 0 °С;

- необходимо повсеместное внедрение счетчиков и систем учета расхода тепловой энергии.

Развитие Российских крупных городов требует строительства новых и реконструкции действующих систем теплоснабжения. Ужесточаются требования к качеству услуг. Возрастает актуальность энерго- и ресурсосбережения.

Строительство новых и реконструкция действующих тепловых сетей с использованием новейших технологий позволяет повысить эффективность и надежность системы теплоснабжения, в частности, снизить удельный расход воды благодаря уменьшению частоты «отказов», а, следовательно, и удельную выработку электроэнергии на привод сетевых насосов. Применение

современных теплоизоляционных материалов позволяет уменьшить тепловые потери в окружающую среду, а, следовательно, уменьшить расход топлива, что влечет за собой уменьшение количества выбросов вредных веществ.

На строительство новых магистральных и распределительных тепловых сетей, для обеспечения перспективных приростов тепловой нагрузки под жилищную или комплексную застройку во вновь осваиваемых районах города, влияют факторы в основном градостроительного характера. Так проектирование тепловых сетей внутри площадки комплексной застройки необходимо вести совместно с прочими сетями с учетом всех сопутствующих нюансов.

К числу основных проблем в существующих тепловых сетях относятся:

- неудовлетворительное состояние систем теплоснабжения, характеризующееся высоким износом основных фондов, особенно теплосетей, недостаточной надежностью функционирования, большими энергетическими потерями и негативным воздействием на окружающую среду;

- потребность в крупных инвестициях для обеспечения надежного теплоснабжения при необходимости одновременного ограничения роста стоимости услуг этой сферы;

- организационная разобщенность объектов и систем теплоснабжения - отсутствие единой государственной политики в этом секторе, прежде всего научно-технической и инвестиционной;

- необходимость институциональной перестройки всей системы теплоснабжения для вывода ее из кризиса и успешного функционирования в рыночных условиях.

Так стратегическими целями развития теплоснабжения применительно Энергетической стратегии России до 2030 года от 13 ноября 2009 года являются [10]:

- достижение высокого уровня комфорта в жилых, общественных и производственных помещениях, включая количественный и качественный рост комплекса услуг по теплоснабжению (отопление, хладоснабжение, вентиляция,

кондиционирование, горячее водоснабжение), высокий соответствующий ведущим европейским странам уровень обеспеченности населения и отраслей экономики страны этим комплексом услуг при доступной их стоимости;

- кардинальное повышение технического уровня систем теплоснабжения на основе инновационных, высокоэффективных технологий и оборудования;

- сокращение непроизводительных потерь тепла и расходов топлива;

- обеспечение управляемости, надежности, безопасности и экономичности теплоснабжения;

- снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Данные эксплуатирующих организаций тепловых сетей показывают, что в большинстве случаев фактическое значение параметра потока отказов существенно превышает нормативные показатели. Это значит, что надежность этих сетей не удовлетворяет нормам и требует повышения. В последнее время остро ставятся вопросы реконструкции тепловых сетей для оптимизации теплоснабжения потребителей, особенно снабжаемых теплотой от тупиковых систем. Многие существующие жилые здания подключены к таким сетям без технико-экономического обоснования длины ответвлений от основной магистрали и не входят в оптимальный радиус действия данного источника теплоснабжения.

Для достижения стратегических целей развития тепловых сетей, необходимо тщательно подходить к строительству новых и реконструкции действующих систем теплоснабжения.

Также основными направлениями в сфере энергосбережения в соответствии с «Федеральным законом РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [11] являются следующие:

- в производстве тепловой энергии - повышение коэффициента полезного действия котлоагрегатов, теплофикационных и других установок на основе современных технологий сжигания топлива, когенерационной выработки

тепловой и электрической энергии, увеличение коэффициента использования тепловой мощности, развитие систем распределенной генерации тепла с вовлечением в теплоснабжение возобновляемых источников энергии, повышение технического уровня, автоматизации и механизации мелких теплоисточников, оснащение их системами учета и регулирования отпуском тепловой энергии, а также обоснованное разделение сферы централизованного и децентрализованного теплоснабжения;

– в системах транспорта тепловой энергии - сокращение тепловых потерь и утечек теплоносителя в результате реконструкции тепловых сетей на основе применения теплопроводов заводской готовности, эффективных способов их прокладки, современных запорно-регулирующих устройств, автоматизированных узлов и систем управления режимами, а также организация оптимальных режимов функционирования тепловых сетей, теплоисточников и потребителей.

## **1.2 МЕТОДЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

Одним из ключевых вопросов строительства новых и реконструкции существующих тепловых сетей является технико-экономическое обоснование эффективности инвестиций в повышение надежности теплоснабжения потребителей. Повышение надежности достигается различными путями:

– прокладываются дополнительные перемычки, если возможно закольцевать существующую тупиковую систему трубопроводов;

– перекладываются проблемные участки подземной сети трубопроводов, ранее подверженные местному ремонту, затоплениям, с выявленными коррозионными дефектами поверхности;

– изменяются условия прокладки трубопроводов: ветки тепловой сети подземной прокладки, не выдерживающие параметров надежности,

переключаются надземным способом, т.к. срок службы (надежность) воздушных прокладок значительно выше;

– при недостаточной мощности источника теплоснабжения (причинами могут выступать досрочный выход из строя оборудования, снижение тепловой мощности из-за несбалансированной работы, подключение абонентов, тепловая нагрузка которых превышает фактическую свободную тепловую мощность источника, и т.п.) – демонтаж существующей ветки с переводом потребителя на автономное теплоснабжение, что исключает зависимость снабжения потребителя теплоносителем от надежности работы тепловой сети.

Методы экономической оптимизации проектных решений по реконструкции и новому строительству тепловых сетей к настоящему времени получили достаточно глубокое развитие. Системный подход к оптимизации вариантов проектных решений в теплоэнергетике стал интенсивно развиваться в результате создания с 40-х - 50-х годов крупных и сложных по конфигурации и элементной структуре тепловых систем, а также в результате открытия и совершенствования методов математического программирования. Решающий вклад в разработку современных оптимизационных методов в теплоэнергетике внесли ученые иркутской, киевской, кишиневской школ. Среди них следует назвать таких ученых-энергетиков, как Ионин А.А., Каганович Б.М. Макаров А.А., Мелентьев А.А., Меренков А.П., Монахов Г.В., Сеннова Е.В., Смирнов И.А., Хасилев В.Я., Хрилев Л.С., Юфа А.И. и других.

Большое значение оказали методы технико-экономических расчетов теплоснабжающих систем В.Я. Хасилева [20] и Б.Л. Шифринсона. [37] При оптимизации тепловых сетей в качестве исходных независимых переменных были приняты не диаметры трубопроводов, а потери давления на участках сети. Это позволило поставить задачи применительно к разветвленным тепловым сетям (но без колец, с одним источником теплоты). Были рассмотрены следующие задачи технико-экономического расчета тепловых сетей:

- выбор оптимального напора на выходе из источника:



- выбор наивыгоднейшей конфигурации сети;
- определение диаметров трубопроводов разветвленных тепловых сетей при заданном падении давления.

В качестве технико-экономического критерия ученые рассматривали функцию, задающую суммарные затраты:

$$Z = Z_{\text{соор.}} + Z_{\text{тепл.}}, \quad (1)$$

где  $Z_{\text{соор.}}$  и  $Z_{\text{тепл.}}$  – соответственно затраты на сооружение, эксплуатацию сети и стоимость теплопотерь.

Определение диаметров с экономической точки зрения свелось к задаче выбора оптимального распределения потерь напора между участками сети при заданном напоре на выходе из источника.

Выбор «выгодной» конфигурации тепловых сетей Б.Л. Шифринсон решал на основе перебора и сопоставления различных вариантов (когда потеря напора в сети не задана). Расчет производился исходя из экономически выгодного напора, получаемого при решении задачи для каждого варианта конфигурации сети. При этом использовалась расширенная функция расчетных затрат:

$$Z = Z_{\text{соор.}} + Z_{\text{тепл.}} + Z_{\text{нас.}} + Z_{\text{экспл.}}, \quad (2)$$

где  $Z_{\text{соор.}}$ ,  $Z_{\text{тепл.}}$ ,  $Z_{\text{нас.}}$ ,  $Z_{\text{экспл.}}$  - соответственно суммарные расчетные затраты, затраты на сооружение и эксплуатацию сети, стоимость теплопотерь, затраты на сооружение и эксплуатацию насосной установки источника тепла, затраты на перекачку теплоносителя.

Но решение этой задачи оказалось не совсем верным, из-за некоторых распространенных правил проектирования, таких, как снабжение потребителей по наикратчайшему пути, создание сети минимальной протяженности, имеющую таким образом, наибольшую линейную теплоплотность. Не во всех случаях наиболее выгодный внешний вариант конфигурации сети оказывается

выгодным с точки зрения технико-экономических требований. Интересно, что в число рассматриваемых вариантов может и не попасть оптимальный вариант. Однако техника ручного счета не позволяла развивать многовариантные модели и методы с целью исследования более широких областей выбора экономически оптимальных решений.

По работе Е.Я. Соколова [20] также приходится учитывать зависимости капитальных затрат и издержек производства от производственных и технических параметров. При чем капитальные затраты в объект должны включать капитальные затраты, имеющие место на всех этапах расчетного периода, т.е. на предынвестиционной, инвестиционной и эксплуатационной стадиях.

Ученый ввел понятие материальной характеристики тепловой сети, которая определяется как сумма произведений диаметров на их длину:  $M = \sum_1^c dL$ , м. Таким образом, капитальные затраты в тепловые сети рассчитываются по формуле (3).

$$K_{т.с.} = a \sum_1^c L + bM, \quad (3)$$

где  $\sum_1^c L$  – суммарная длина всех трубопроводов сети;

$a, b$  – постоянные коэффициенты, зависящие от типа и конструкции теплопровода, а также от состояния грунта.

Такая тактика работает при наличии проведенного гидравлического расчета, с помощью которого и определяется материальная характеристика. В противном случае, определяется  $M_{л}$  каждой линии тепловой сети, как произведение удельной  $M_{уд}$ , отнесенной к единице расчетного расхода теплоносителя, на расчетный расход теплоносителя в этой линии. Тогда материальная характеристика сети при всех вариантах может быть определена пересчетом.

Соколов Е.Я. выделил еще один критерий выбора оптимального варианта при решении задач оптимизации параметров теплоснабжающих - максимум ЧДД

или минимум приведенных затрат. Использование «доходных» критериев применяют для решения задач по оптимизации параметров теплоснабжающих систем, таких как расчетная температура воды в подающей линии тепловой сети, удельное падение давления, уровень теплопотерь в теплосети.

Однако при расчете ЧДД следует рассчитывать не только затраты по вариантам, но и выручку от реализации продукции и прочие составляющие притока реальных денег, что осложняет расчеты, так как определить, как изменится поток реальных денег при изменении, например, удельного падения давления в тепловой сети, достаточно трудно.

Настоящие методы регулирования систем теплоснабжения рассматривались многими авторами: Гершковичем В.Ф., Панферовым В.И., Шараповым В.И., Ротовым П.В. и др. Но во всех современных методах расчёта качественно-количественного регулирования основной нагрузкой является отопление, при этом не проводится расчёт переменных режимов совместной работы систем отопления и горячего водоснабжения. В то же время нагрузка горячего водоснабжения в общей доле тепловой мощности системы теплоснабжения выросла от 20 % от отопительной нагрузки до 40 – 80 %. Это приводит к снижению эффективности систем теплоснабжения.

Все приводимые теории оптимизации тепловых сетей соответствовали уровню техники транспорта тепла 30-х годов. Поэтому достаточно хорошо зарекомендовавшие себя методы расчёта были отработаны только для высокотемпературных графиков при качественном способе центрального регулирования и не проверялись для других способов регулирования.

Со временем начиная с 60-х годов в процессе развития и реконструкции теплоснабжающих систем существенно изменились их количественные и качественные характеристики, соответственно усложнились и требования к их проектированию, условия их оптимизации. Теплофикационные сети все более приобрели многоконтурную конфигурацию, что в принципе изменило структуру их моделей и свойства соответствующих оптимизационных задач. Стали

появляться и развиваться методы математического программирования, началось применение вычислительной техники, что подготовило основу для решения усложнившихся оптимизационных задач.

Большую роль в социально-экономической трансформации играют системы централизованного теплоснабжения (СЦТ). В настоящее время высокие затраты на системы централизованного теплоснабжения требуют высокой плотности спроса на тепло для экономичного расширения сети [38]. До недавнего времени, существовала сильная конкуренция в виде дешевого индивидуального отопления за счет нефти и газа. Кроме того, длительные периоды амортизации часто препятствуют экономической целесообразности расширения без субсидий. Одной из возможностей снижения инвестиционных затрат на сети централизованного теплоснабжения является детальная оптимизация топологии, позволяющая оптимизировать прокладку с идеальным размером труб и оптимальными рабочими параметрами [39].

Проектирование современных СЦТ является сложной задачей из-за необходимости подключения источников тепла с разным уровнем температуры с учетом множества различных потребностей в тепле, начиная от крупных коммерческих зданий и заканчивая частными. Интенсивность капитальных затрат (CAPEX), особенно на земляные работы и трубопроводы, часто является узким местом для осуществимости проекта развития. Поэтому важно оптимизировать ключевые характеристики сети, такие как топология сети (маршрутизация), размеры труб и мощности производителей тепла на ранних этапах проектирования. Здесь инструменты оптимизации и автоматизированного проектирования помогают повысить энергоэффективность и снизить затраты на сеть. Они также могут помочь в оценке жизнеспособности проектов теплосетей и снизить неопределенность для инвесторов, в конечном итоге способствуя более широкому внедрению этой технологии.

Таким образом, в последние годы все большее количество исследований сосредоточено на оптимизации конструкции СЦТ. Проектирование

современных систем требует детального понимания будущей работы сети. Оптимизация топологии сети на основе физической модели, которая имитирует будущую гидравлическую и тепловую эксплуатацию, представляет собой смешанную целочисленную нелинейную программу. Альтернативой линеаризованных способов повышения управляемости является использование подхода к оптимизации топологии на основе плотности, который сохраняет нелинейное представление физики сети. Изначально ослабив ограничение на размещение трубопроводов, можно эффективно решить задачу нелинейного программирования, и при этом практически достичь дискретного проектирования. Этот метод был официально представлен Бломмартом и др. [40] и Ваком и др. [41].

### **1.3 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ Г. КРАСНОЯРСКА**

Все существующие в России системы — централизованного теплоснабжения можно разделить на две группы. К первой группе относятся теплофикационные системы, в которых базовая нагрузка теплоснабжения покрывается за счет теплоты отбора пара или отработанных в газотурбинных установках (ГТУ) газов при комбинированной выработке теплоты и электроэнергии. Пиковая часть нагрузки в таких системах покрывается, как правило, от паровых котлов низкого давления или водогрейных котлов, осуществляющих отдельную выработку дополнительного количества теплоты в пиковом режиме. Ко второй группе относятся системы с теплоснабжением от районных котельных с паровыми или водогрейными котлами большой или средней мощности.

Системы централизованного теплоснабжения представляют собой сложный комплекс взаимосвязанных элементов, который включает в себя генерирующие мощности тепловой энергии (ТЭЦ, ТЭС АЭС, котельные), элементы системы транспорта теплоты от источника теплоснабжения к

потребителю (магистральные и квартальные тепловые сети, индивидуальные и центральные тепловые пункты, насосные станции и проч.) и системы внутреннего теплоснабжения потребителей (отопительные и нагревательные приборы различных типов). [17]

В г. Красноярске также преобладает централизованное теплоснабжение потребителей коммунально-бытового сектора от ТЭЦ, угольных и электродкотельных. Централизация выработки тепла увеличивается из-за стремления подключения застройщиков к подключению к существующим теплоисточникам. На энергоисточниках с комбинированной выработкой тепла и электрической энергии увеличивается тепловая нагрузка. В тоже время, за счет закрытия угольных котельных и снижения использования тепловой мощности электродкотельных как менее экономичных теплоисточников, снижается доля отпускаемого тепла от существующих котельных. Их нагрузка переключается на Красноярские ТЭЦ.

Теплоснабжение жилищного фонда и объектов социальной сферы города обеспечивается работой 18 теплоисточников, из которых 6 входят в группу компаний Красноярского филиала ООО «СГК» (без учета двух резервных объектов теплоснабжения (в резерве) – Электродкотельные «Зеленая» и «Правобережная»): 3 ТЭЦ; котельная ЭК Левобережная (пиковая); котельная Западная (пиковая); котельная ТЭЦ-3 (пиковая). 6 котельных находятся в муниципальной собственности и эксплуатируются ООО «КрасТЭК». 6 котельных находятся в собственности прочих организаций. [10]

Помимо теплоснабжения общественного и жилищного фонда в городе к централизованным системам подключены промышленные потребители, получающие тепловую энергию, как в паре, так и в горячей воде. [11] Расположение источников тепловой энергии и их зоны действия представлены на рисунке 1. При этом границы зон действия Красноярских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, ТЭЦ-1 и ТЭЦ-3 не являются стационарными (зоны действия не секционированы задвижками), а определяются режимами работы насосного оборудования

станции и тепловых сетей (плавающая точка водораздела) и меняются в том числе при организации режимов в неотапительный период. Котельная Красноярской ТЭЦ-3 работает в пиковом режиме совместно с ТЭЦ-3. [12]

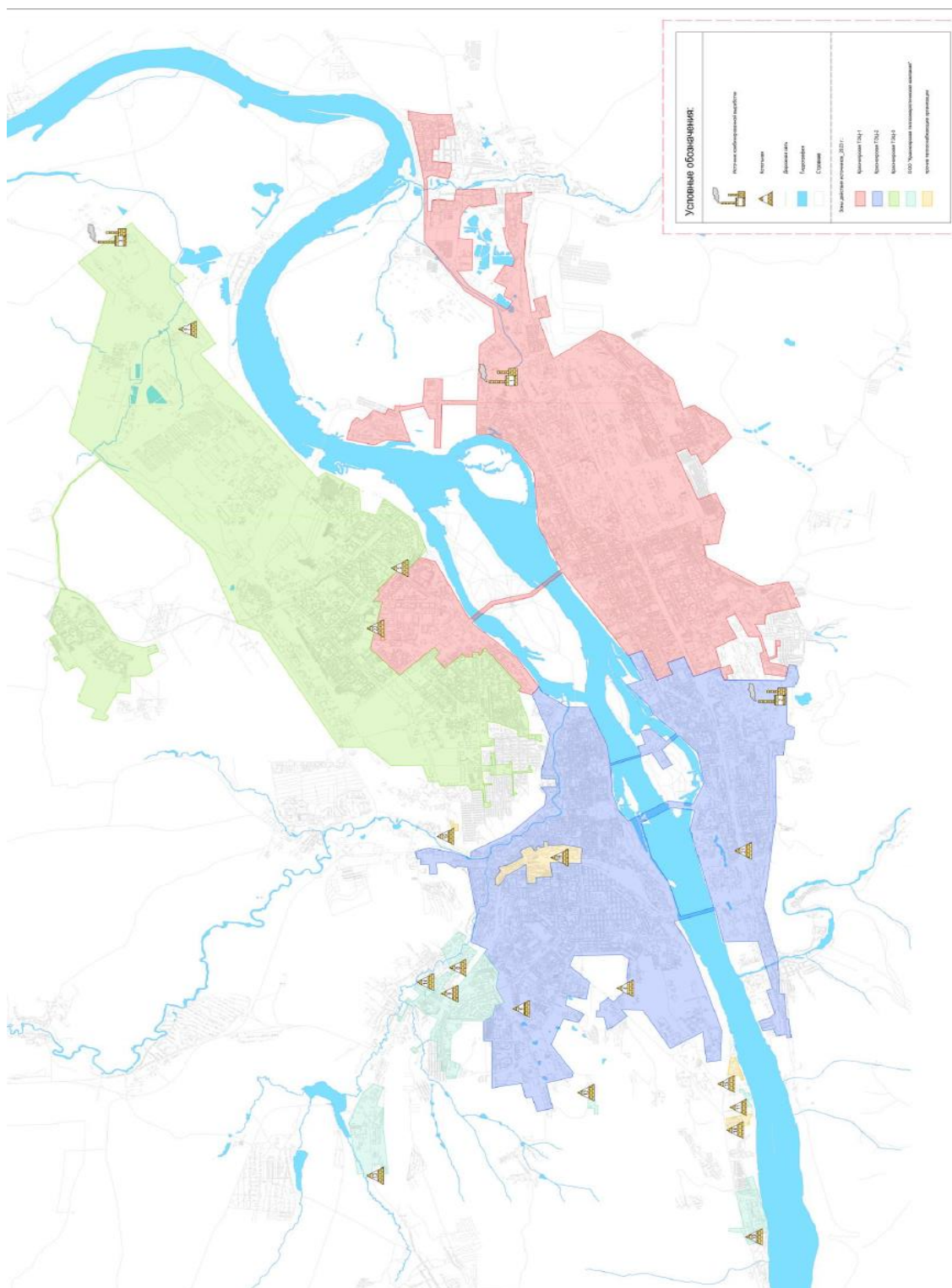


Рисунок 1 – Расположение источников тепловой энергии и их существующие зоны действия на территории города Красноярска

Система теплоснабжения города Красноярска и части административных образований Березовского района представляет собой тепловые сети, имеющие кольца и технологические связи между несколькими источниками теплоснабжения – ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3 (в т.ч. котельная), э/котельные «Левобережная», «Западная». Имеющиеся связи магистральных тепловых сетей позволяют обеспечивать наиболее экономичные режимы работы тепловых сетей и оборудования за счет оптимального распределения нагрузки между источниками тепловой энергии.

Сложности в обеспечении гидравлического режима ряда потребителей возникают вследствие большой разности геодезических отметок (более 200 метров), а также протяженности (радиуса действия) тепловых сетей до наиболее удаленных потребителей тепловой энергии (ТЭЦ-1 – 13,9 км; ТЭЦ-2 – 20,3 км; ТЭЦ-3 – 24,8 км).

В таблицах 1, 2 представлены данные по режимам работы источников тепла и данные по присоединенной нагрузке потребителей по годам.

Таблица 1 - Располагаемые мощности теплоисточников г. Красноярска в отопительно-зимнем периоде (ОЗП) с 2020-2021 гг. по 2023-2024 гг.

| Наименование теплоисточника      | Располагаемая тепловая мощность $N_{расп}$ , Гкал/ч |                   |                   |                   |
|----------------------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                  | ОЗП 2020-2021 гг.                                   | ОЗП 2021-2022 гг. | ОЗП 2022-2023 гг. | ОЗП 2023-2024 гг. |
| Красноярская ТЭЦ-1               | 1257  | 1257              | 1257              | 1099              |
| Красноярская ТЭЦ-2               | 1290  | 1235              | 1235              | 1096              |
| Красноярская ТЭЦ-3               | 650   | 644               | 640               | 632               |
| Котельная ТЭЦ-3                  | 349   | 334               | 356               | 356               |
| Электрокотельная «Левобережная»  | 144   | 144               | 131               | 131               |
| Электрокотельная «Западная»      | 120   | 120               | 138               | 138               |
| Электрокотельная «Правобережная» | 98  | 98                | 99                |                   |



Продолжение таблицы 1

| Наименование теплоисточника  | Располагаемая тепловая мощность $N_{расп}$ , Гкал/ч |                   |                   |                   |
|------------------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|
|                              | ОЗП 2020-2021 гг.                                   | ОЗП 2021-2022 гг. | ОЗП 2022-2023 гг. | ОЗП 2023-2024 гг. |
| Электростанция «Зеленая»     | 124   | 124               | 129               |                   |
| Электростанция «Восточная»   | 21  |                   |                   |                   |
| Электростанция «Березовская» | 69  |                   |                   |                   |
| Итого по городу              | 4122  | 3956              | 3985              | 3452              |

Таблица 2 – Присоединенная тепловая нагрузка потребителей г. Красноярска по годам ( $Q_{гвс}$  – тепловая нагрузка на горячее водоснабжение по открытой схеме взята с учетом фактических расходов на подпитку по ТЭЦ-1, 2, 3, котельной ТЭЦ-3)

| Вид тепловой нагрузки | Присоединенная тепловая нагрузка потребителей $Q_{присоед.}$ , Гкал/ч |                                  |                                  |                                  |
|-----------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|                       | ОЗП 2020-2021 гг.   | ОЗП 2021-2022 гг.                | ОЗП 2022-2023 гг.                | ОЗП 2023-2024 гг.                |
| $Q_{отоп.}$           | 2783  | 2822                             | 2874                             | 2415                             |
| $Q_{вент.}$           | 233   | 235                              | 237                              | 222                              |
| $Q_{гвс}$             | 408 (в т. ч. по закр. схеме 107)                                      | 415 (в т. ч. по закр. схеме 118) | 424 (в т. ч. по закр. схеме 118) | 518 (в т. ч. по закр. схеме 118) |
| Итого                 | 3424  | 3472                             | 3672                             | 3154                             |

Таблица 3 – Расчет резерва тепловой мощности (рассчитывается, как  $Q_{резерв} = N_{расп} - Q_{присоед.} - q_{норм.}$ )

| Показатель                                       | ОЗП 2020-2021 гг. | ОЗП 2021-2022 гг. | ОЗП 2022-2023 гг. | ОЗП 2023-2024 гг. |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Нормативные тепловые потери $q_{норм.}$ , Гкал/ч | 301               | 311               | 230               | 216               |
| Резерв тепловой мощности $Q_{резерв.}$ , Гкал/ч  | 383               | 173               | 83                | 82                |

Согласно выше приведенных данных, дефицита тепловой мощности теплоисточников по отношению к присоединенной нагрузке потребителей нет.

Изменение тепловой мощности связано с изменением температуры наружного воздуха. Так, на рисунке 2 показана динамика среднемесячной температуры воздуха по годам в г. Красноярске в зимние месяцы.

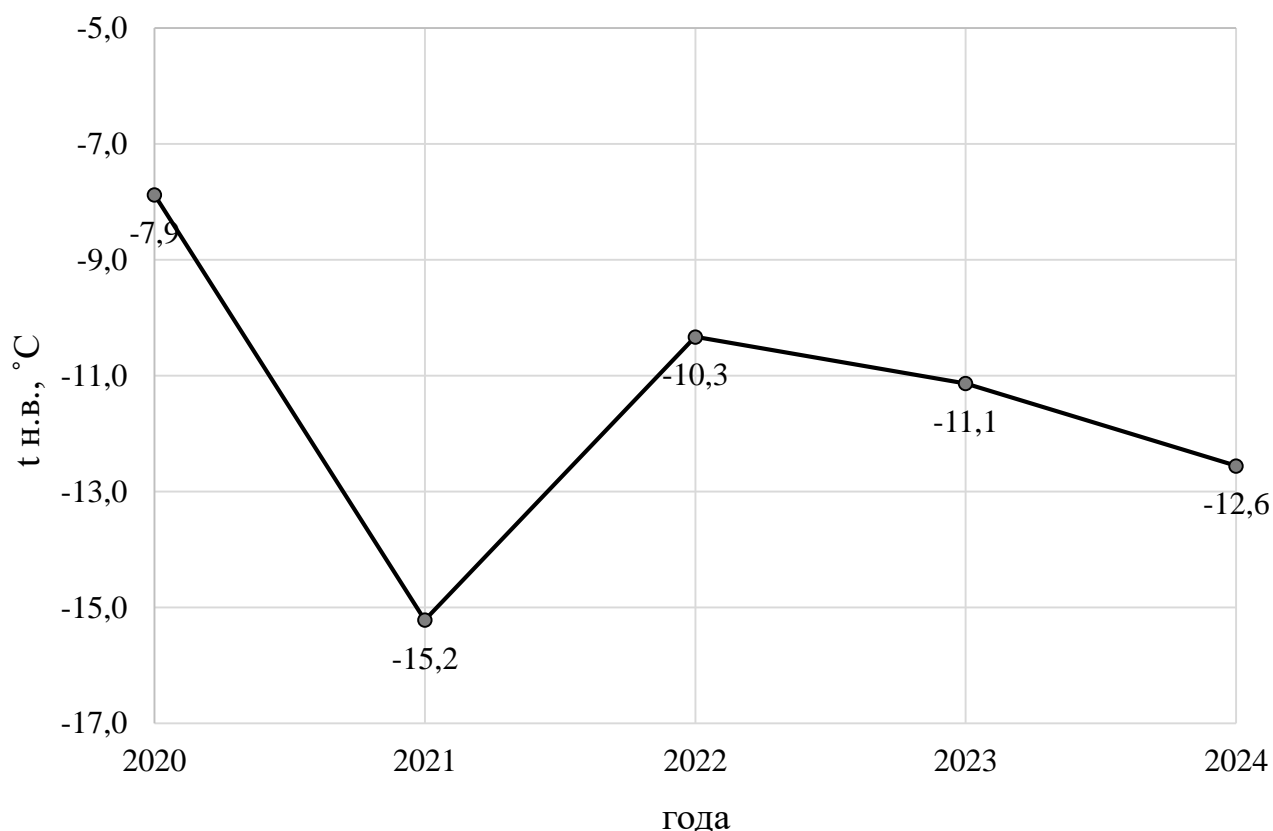


Рисунок 3 – Изменение температуры наружного воздуха в г. Красноярске

В г. Красноярске принят отопительный температурный график качественного регулирования. Расчётная температура наружного воздуха для построения графика  $t_{н.в.} = -37^{\circ}\text{C}$ . Расчётная температура отапливаемых помещений  $T_{в.} = 20^{\circ}\text{C}$ . Отпуск тепла от ТЭЦ осуществляется по температурным графикам:

- ТМ-1 ТЭЦ-1 – 150/70 °C;
- ТМ-2 ТЭЦ-1 – 160/70 °C;
- ТМ-3 ТЭЦ-2 – 150/70 °C;
- ТМ-6 ТЭЦ-2 – 150/70 °C;
- ТМ-21 ТЭЦ-3 – 150/70 °C;
- ТМ «новый вывод» ТЭЦ-3 – 150/70 °C.

На котельных регулирование осуществляется в соответствии с температурными графиками 150/70 °C, 130/70 °C, 120/70 °C, 115/70 °C, 110/70 °C, 95/70 °C.

При отсутствии дефицита тепла, наличие «срезок» на температурных графиках объясняется требованиями СанПиН к температуре теплоносителя в системах отопления потребителей. Температура сетевой воды должна быть не выше 95 °С для жилья старой застройки и не выше 105 °С для жилья новой застройки. В городе Красноярске большой процент жилья старой застройки со старыми системами отопления, с ухудшенным теплообменом и повышенным гидравлическим сопротивлением. Средний коэффициент смешения элеваторов по городу низкий, что при отсутствии срезок на температурных графиках может привести к превышению температуры теплоносителя после элеваторных узлов выше допустимых по санитарным нормам (выше 95 °С и выше 105 °С).

## **2. МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

### **2.1 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ**

Целью централизованной системы теплоснабжения является обеспечение качественного, надёжного теплоснабжения за минимальную цену.

Минимальная цена – это минимальная стоимость жизненного цикла системы централизованного теплоснабжения (СЦТ).

Энергоэффективность тепловых сетей следует обеспечивать за счет разработки схем теплоснабжения, в том числе реализации следующих мероприятий: [1]

- оптимизации гидравлических режимов;
- оптимизации диаметров тепловых сетей;
- оптимизации температуры теплоносителя;
- гидравлической балансировки теплосетей.

Оптимизация включает многовариантный перебор решений. Поэтому, чем больше область возможного выбора решений, тем больше эффект оптимизации.

В области теплофикации и централизованного теплоснабжения есть задачи, в которых трудно или невозможно установить аналитическую зависимость затрат и результатов от искомого параметра. Если затраты и результаты связаны аналитически с искомым параметром, то задача может быть решена аналитически по правилу нахождения максимума или минимума функции.

Задача оптимизации систем теплоснабжения представляет методическую сложность в связи с тем, что эти системы непрерывно развиваются во времени и характеризуются зависимостью экономических показателей как от схемы, типа оборудования и режима работы системы централизованного теплоснабжения, так и от структуры оборудования и режима работы энергетической системы в целом. Изменение основных исходных показателей по годам расчетного периода

еще больше усложняет задачу и делает необходимым проведение многовариантных расчетов, что практически возможно только при применении методов математического моделирования с помощью компьютерных программ.

При решении этих задач необходимо учитывать следующие особенности:  
[20]

1) дискретность и целочисленность результатов оптимизационного расчета;

2) нелинейность, вызываемую наличием многих нелинейных зависимостей, например, значения капиталовложений в тепловые сети от тепловой мощности источника теплоты и плотности тепловой нагрузки;

3) динамику, т.е. развитие системы теплоснабжения с учетом роста тепловых нагрузок.

С развитием компьютерных методов оптимизационных расчетов развиваются и совершенствуются более простые методы для предварительной оценки ожидаемых результатов и для осмысливания характера влияния взаимодействующих факторов.

Важно проводить анализ результатов комплексных технико-экономических расчетов, что позволяет вывести общие выводы и во многих случаях уменьшить объем оптимизационных расчетов теплофикационных систем без ущерба для принимаемых решений.

Математическое моделирование гидравлических режимов тепловых сетей при работе в нормальных и аварийных условиях требует применения общих методов расчета потокораспределения в гидравлических цепях. [21, 22, 23]

Гидравлическая цепь определяется как математическая модель гидравлической системы, в которой места соединения и разделения потоков заменены узловыми точками, а участки трубопроводной сети – ветвями. Такое моделирование распространяется на различные задачи, которые возникают при

расчете трубопроводных сетей в проектной и эксплуатационной деятельности.  
[23]

Математическая модель системы теплоснабжения представляет собой систему уравнений математического описания, которые воспроизводят описание с большими или меньшими упрощениями при достижении компромисса между точностью воспроизведения и сложностью модели.

Актуализированная схема теплоснабжения содержит обоснование и выбор на основе технико-экономических сопоставлений нескольких вариантов, типов и составов основного оборудования тепловых сетей: температурных графиков, способов прокладки, диаметров трубопроводов, закрытой или открытой системы ТС, сроков строительства и/или реконструкции. Рассматриваются различные варианты структуры системы ТС, отличающихся степенью централизации и видами источников. Оптимальный вариант определяется по минимуму определенных затрат. Системный анализ является основным методологическим принципом внесения изменений в элементы системы, который заключается в том, что любая частная задача рассматривается с учётом влияния на критерии оптимальности всей системы.

Критерием сравнительной экономической эффективности вариантов является показатель минимума приведённых затрат, соизмеряющий единовременные капитальные и текущие затраты. При этом предполагается, что сравниваемые объекты одинаковой производительности сооружаются независимо в течение одного года, вводятся в эксплуатацию сразу на всю одинаковую проектную мощность (т. е. сразу выходят на режим нормальной эксплуатации) и весь срок службы эксплуатируются с неизменными ежегодными издержками. Так как в состав ежегодных издержек включены амортизационные отчисления, обеспечивающие восстановление (реновацию) сопоставляемых объектов, период их нормальной эксплуатации в течение срока службы может условно рассматриваться как бесконечный период простого воспроизводства.

Сопоставление различных вариантов системы ЦТС по минимуму приведенных затрат допустимо при обеспечении следующих условий:

- наибольшей экономичности – все сравниваемые варианты должны быть поставлены в оптимальные условия;
- приведения к одинаковому энергетическому эффекту – одинаковым мощности и полезному отпуску тепловой энергии потребителям;
- равной надёжности энергоснабжения – обеспечение вариантов с более высокой аварийностью дополнительными резервами мощности источников или пропускной способности сетей для обеспечения нормативного уровня надёжности системы в целом (или ее элементов), либо учёта дополнительного ущерба от пониженной надёжности – все варианты должны отвечать требованиям охраны окружающей среды, в частности санитарно-гигиеническим нормам по максимально допустимым концентрациям в воздухе окислов азота, серы, углерода, золы и др.;
- экологического эффекта,
- одинаковой конъюнктуры – расчёты должны проводиться при едином уровне действующих цен на топливо, оборудование, материалы и другие производственные фонды (как основные, так и оборотные).

При создании экономически эффективной системы можно записать общую модель оптимизации так:

$$\begin{cases} Z \rightarrow \min \\ Z = f(d_i) \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_{\Sigma} = \sum Z_K + \sum Z_{\text{Э}} \\ \min Z = \\ \sum Z_{\text{кап.тр.}}(d_i) + \sum Z_{\text{кап.нас.}}(\Delta H(d_i)) + \sum Z_{\text{экспл.ЭЭ}}(N(\Delta H(d_i))) + \sum Z_{\text{экспл.ТП}}(d_i) \end{array} \right\}$$

где  $d_i$  – диаметры трубопроводов тепловой сети, м;

$\Delta H$  – напор, развиваемый насосом, м;

$N$  – мощность насосов, зависящая от напорно-расходной характеристики тепловой сети, Вт;

$Z_{\text{кап.тр.}}$  - капиталовложения в линейные участки, руб.;

$Z_{\text{кап.нас.}}$  - капиталовложения в насосные станции, руб.;

$Z_{\text{экспл.ЭЭ}}$  - затраты на электроэнергию, которые пропорциональны потерям давления на участках, руб.;

$Z_{\text{экспл.ТП}}$  - затраты на теплопотери, руб.

Особенностями предлагаемой модели являются:

- Оптимизация по экономическим критериям;
- Рассмотрение сетей разветвленного типа.

Для решения задачи были введены следующие граничные условия: [1]

- Должны выполняться соотношения по гидротехническим параметрам на участках тепловой сети. На каждом участке - выполнение квадратичного закона гидравлического сопротивления:  $S(d) = h + H$ .
- Должны выполняться ограничения по пропускной способности на участках тепловой сети:  $G_i \leq G_{\text{max}}$ .
- Должны выполняться ограничения по удельным линейным потерям давления при максимальной пропускной способности на участках тепловой сети:  $R_i \leq R_{\text{max}}$ .
- Должны выполняться условия не отрицательности переменных:

$$d_i \geq 0, \Delta H_i \geq 0.$$

- Диаметры подающего и обратного трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при совместной подаче теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение при отсутствии обосновывающих разные диаметры расчетов следует принимать одинаковыми;
- Наименьший внутренний диаметр труб должен приниматься в тепловых сетях не менее 32 мм, а для циркуляционных трубопроводов горячего водоснабжения - не менее 25 мм;



- Давление воды в подающих трубопроводах водяных тепловых сетей при работе сетевых насосов должно приниматься, исходя из условий нескипания воды при ее максимальной температуре в любой точке подающего трубопровода, в оборудовании источника теплоты и в приборах систем потребителей, непосредственно присоединенных к тепловым сетям;
- Давление воды в обратных трубопроводах водяных тепловых сетей при работе сетевых насосов должно быть избыточным (не менее 0,05 МПа) и не превышать допустимого давления в системах теплоиспользования потребителей;
- Напор сетевых насосов следует принимать равным сумме потерь напора в установках на источнике теплоты, в подающем и обратном трубопроводах от источника теплоты до наиболее удаленного потребителя и в системе потребителя (включая потери в тепловых пунктах и насосных) при суммарных расчетных расходах воды;
- При проектировании тепловых сетей срок службы трубопроводов принимать не менее 30 лет.

Итак, оптимальные решения находятся по минимуму приведенных затрат, которые определяются по формуле (4).

$$Z_{\Sigma} = \sum Z_K + \sum Z_{\text{Э}}, \quad (4)$$

где  $Z_{\Sigma}$  - суммарные расчетные затраты по тепловой сети, руб.;

$\sum Z_K$  – суммарные капитальные затраты с учетом амортизации, руб.;

$\sum Z_{\text{Э}}$  - суммарные эксплуатационные затраты с учетом времени эксплуатации, руб.

В свою очередь, капитальные и эксплуатационные затраты определяются как:

$$\sum Z_K = \sum Z_{i \text{ тр}} + Z_{\text{нас}}, \quad (5)$$

где  $\sum Z_{i\text{тр}}$  – капиталовложения в линейные участки, руб. Выбираются на основании нормативных документов (ФЕР 81-02-24-2001 Часть 24. Теплоснабжение и газопроводы – наружные сети).

$Z_{\text{нас}}$  – капиталовложения в насосные станции, руб. Рассчитываются согласно мощности насосов.

$$\sum Z_{\text{э}} = \sum Z_{i\text{ээ}} + \sum Z_{i\text{тп}}, \quad (6)$$

где  $\sum Z_{i\text{ээ}}$  – затраты на электроэнергию, которые пропорциональны потерям давления на участках, руб. Определяются по тарифу на электроэнергию, как:

$$\sum Z_{i\text{ээ}} = N * T * \text{tarif e/e}, \quad (7)$$

В свою очередь потребная мощность (Вт) на валу электродвигателя насоса:

$$N = \frac{\Delta P * Q}{\eta}, \quad (8)$$

где  $\Delta P$  – гидравлический напор, развиваемый насосом, м;

$Q$  – объемный расход теплоносителя через насос,  $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ ;

$\eta$  – коэффициент полезного действия насосного агрегата, определяемый по характеристике соответствующего насоса %.

$\sum Z_{i\text{тп}}$  – затраты на теплопотери, руб. Определяются по тарифу на тепловую энергию, как:

$$\sum Z_{i\text{тп}} = q_l * T * K * l * \text{tarif t/e}, \quad (9)$$

где согласно СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов выбираются норма плотности теплового потока для трубопроводов  $q_l$ , Вт/м, и коэффициент  $K$ , зависящий от способа прокладки трубопроводов и района строительства.

Срок эксплуатации трубопроводов Т принимается по СП Тепловые сети п.17.6 – 30 лет.

## **2.2 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА МОДЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ**

Рассматривая задачу экономической оптимизации СЦТ, в первую очередь, необходимо обратить внимание на такие экономические показатели, как стоимость (ценность) энергоресурсов и индексы изменения сметной стоимости. Последние используются для перевода базисного уровня цен в уровень цен, сложившийся ко времени составления сметной документации. Они применяются для пересчёта:

- сметной стоимости строительных (ремонтных) и монтажных работ;
- сметных затрат на оплату труда;
- сметной стоимости эксплуатации машин и механизмов;
- сметной стоимости материалов, изделий и конструкций;
- сметной стоимости оборудования;
- сметной стоимости прочих видов работ и затрат.

В данной работе используются индексы к ФЕР-2001 по объектам строительства – внешние инженерные сети теплоснабжения: материалы, изделия и конструкции.

Важен анализ изменения приведенных «параметров», ведь по их динамике определяется необходимость в оптимизации.

На рисунках 4, 5 приведена динамика изменения тарифов тепловой, электрической энергии и индекса пересчета сметной стоимости в г. Красноярске с 2022 по 2024 г.

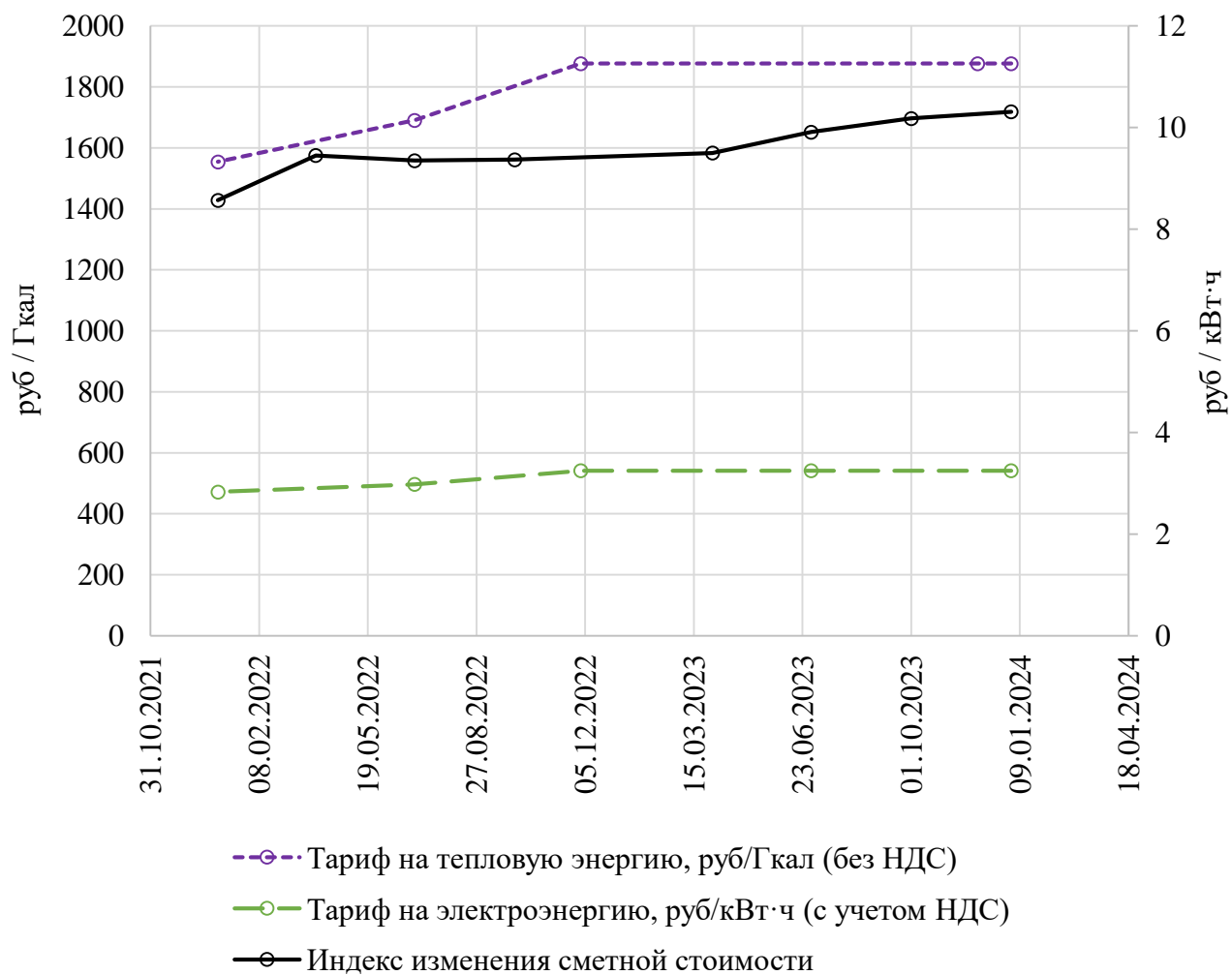


Рисунок 4 – Ценность энергоресурсов и индекса пересчета сметной стоимости

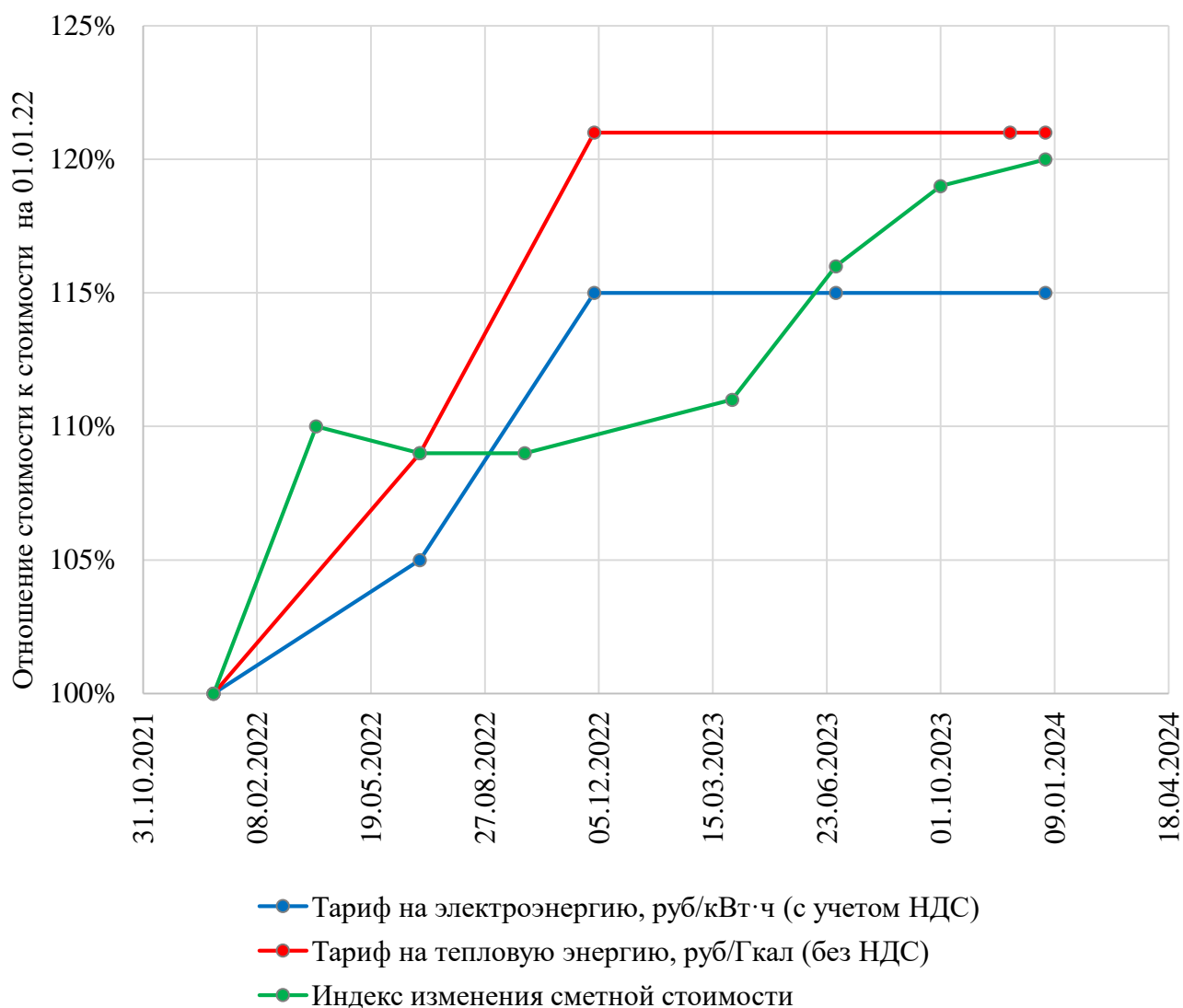


Рисунок 5 - Динамика изменения тарифов тепловой, электрической энергии и индекса пересчета сметной стоимости в г. Красноярске с 2022 по 2024 г.

Из графика видно, что по сравнению с 2022 г. тариф на электрическую энергию увеличился сначала на 5 %, затем на 15 %; тариф на тепловую энергию - на 9 % и 21 %; индекс пересчета менялся от 9 % до 20 % на уменьшение и увеличение.

Таким образом, из-за непропорционального изменения тарифов и индексов изменения сметной стоимости происходит смещение оптимума затрат и, следовательно, диаметров трубопроводов тепловых сетей! Это свидетельствует о том, что экономический оптимум выбора диаметров за рассмотренный период времени изменился и выбранные типоразмеры труб уже не актуальны.

В настоящее время при выборе оптимальных диаметров трубопроводов тепловых сетей чаще всего используется методика, предложенная В.И. Манюком в 1977 году. [27] В своем справочнике «Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей» ученый рассматривал пути экономии тепловой и электрической энергии с помощью нормирования и технико-экономических показателей. Эти показатели определяются расходом электроэнергии на перекачку сетевой воды, величинами тепловых потерь и утечек в сетях. Для каждой отдельной тепловой сети разрабатывают нормативные показатели, устанавливающие затраты электрической и тепловой энергии на транспортирование теплоносителя. Нормы расхода тепловой и электрической энергии систематически пересматривают с учетом планируемого развития и технического прогресса производства, достигнутых наиболее экономичных показателей использования теплоэнергетических ресурсов. В результате Манюком были выведены зависимости и получены монограммы по выбору основных параметров.

Тепловые потери являются важным показателем, характеризующим техническое состояние тепловых сетей, и в значительной степени влияют на эффективность работы системы теплоснабжения в целом. Тепловые потери в тепловых сетях зависят от протяженности и диаметров трубопроводов, вида прокладок сетей, типа и состояния тепловой изоляции трубопроводов, температурного режима работы сетей, метеорологических условий.

В действующих, на настоящее время, нормативных документах нет указаний на поддержание определенных удельных показателей, в каких-либо пределах, например, удельных линейных потерь напора. Раньше в СНиПе Тепловые сети (до СНиПа 2.04.07-86\* Тепловые сети) было указано, что удельные линейные потери напора на магистралях не должны превышать 80 Па/м, а на ответвлениях 250-300 Па/м. Сейчас говорится, что диаметры трубопроводов тепловой сети должны выбираться из технико-экономических соображений (приведенные затраты должны быть минимальными). С увеличением удельных линейных потерь напора капитальные затраты в

тепловые сети уменьшаются (уменьшаются диаметры трубопроводов), а приведенные затраты связанные с затратами электроэнергии на перекачку теплоносителя увеличиваются, в тоже время приведенные затраты, связанные с тепловыми потерями через изоляцию, уменьшаются. Эти факторы необходимо учитывать при подборе диаметров трубопроводов тепловой сети. [12]

Критерием оптимальности по настоящее время считается зона оптимальных удельных потерь напора  $R = 3 \div 7, \frac{\text{мм}}{\text{м}}$ . В таблице 4 приведены сводные данные с оптимальными характеристиками на 1977 г. для каждого типоразмера трубопровода.

Таблица 4 – Характерные параметры различных диаметров при традиционной методике расчета

| $D_y, \text{мм}$ | Максимально возможная пропускная способность $G_{\text{макс.}}, \frac{\text{т}}{\text{ч}}$ | Оптимальная пропускная способность при $R = 3 \div 7 \frac{\text{мм}}{\text{м}}$ , $G_{\text{оптим.}}, \frac{\text{т}}{\text{ч}}$ | Удельные линейные потери напора при $G_{\text{оптим.}}, R, \frac{\text{мм}}{\text{м}}$ | Средняя скорость теплоносителя при $G_{\text{оптим.}}, \omega, \frac{\text{м}}{\text{с}}$ |
|------------------|--|---|--|---|
| 40               | 6  | 1,3   | 4,8  | 0,30  |
| 50               | 15   | 2,4   | 5,0  | 0,37  |
| 70               | 20   | 5,7   | 4,8  | 0,45  |
| 80               | 30   | 9,1   | 4,7  | 0,50  |
| 100              | 40   | 15,3  | 5,6  | 0,62  |
| 125              | 70   | 29,0  | 5,4  | 0,70  |
| 150              | 150  | 45,0  | 4,7  | 0,73  |
| 175              | 200  | 73,5  | 4,7  | 0,82  |
| 200              | 300  | 100,0   | 4,7  | 0,87  |
| 250              | 500  | 185,5   | 4,9  | 1,13  |
| 300              | 1000   | 302,5   | 5,1  | 1,20  |
| 350              | 1000   | 445,5   | 4,7  | 1,28  |
| 400              | 1500   | 665,0   | 5,7  | 1,50  |

Продолжение таблицы 4

| $D_y, \text{ мм}$ | Максимально возможная пропускная способность $G_{\text{макс.}}$ , $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$ | Оптимальная пропускная способность при $R = 3 \div 7 \frac{\text{мм}}{\text{м}}$ , $G_{\text{оптим.}}$ , $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$ | Удельные линейные потери напора при $G_{\text{оптим.}}$ , $R$ , $\frac{\text{мм}}{\text{м}}$ | Средняя скорость теплоносителя при $G_{\text{оптим.}}$ , $\omega$ , $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ |
|-------------------|---|--|--|---|
| 450               | 2000  | 897,5  | 4,9  | 1,52  |
| 500               | 3000  | 1155,0   | 4,2  | 1,50  |
| 600               | 4000  | 1925,0   | 5,3  | 1,90  |
| 700               | 5000  | 2650,0   | 5,0  | 2,00  |
| 800               | 7000  | 3495,0   | 4,4  | 2,00  |
| 900               | 10000   | 4975,0   | 4,8  | 2,25  |
| 1000              | 10000   | 6550,0   | 4,7  | 2,45  |
| 1200              | 15000   | 10400,0  | 4,8  | 2,70  |

В данной работе предлагается методика, организованная главным образом на данных, существующих на данный момент времени.

Расчет предлагаемой оптимизационной модели выполнялся для следующих условий:

- Тариф на электрическую энергию в г. Красноярске ПАО «Красноярскэнергосбыт» на I полугодие 2024 г.  $\text{tarif } e/e = 3,25 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$  (с учетом НДС);
- Тариф на тепловую энергию в г. Красноярске АО «Енисейская ТГК (ТГК-13)» на I полугодие 2024 г.  $\text{tarif } t/e = 1876,34 \text{ руб/Гкал}$ ;
- Канальная прокладка трубопроводов в непроходном канале;
- Температурный график 150/70 °С регулирования температуры сетевой воды;
- Расчетная длина трубопровода 1 км.



В таблице 5 приведен пример расчета затрат при расходе теплоносителя 100 т/ч. Здесь, определив минимум суммарных затрат, определяем соответствующий диаметр:  $\min Z_{\Sigma} = 21872,446$  тыс. руб. приходится на  $D_y = 150$ .

По аналогии были рассчитаны данные на разные расходы. Был определен оптимальный диаметр по минимальным суммарным затратам при различных расходах теплоносителя. График минимума затрат показан на рисунке 6.

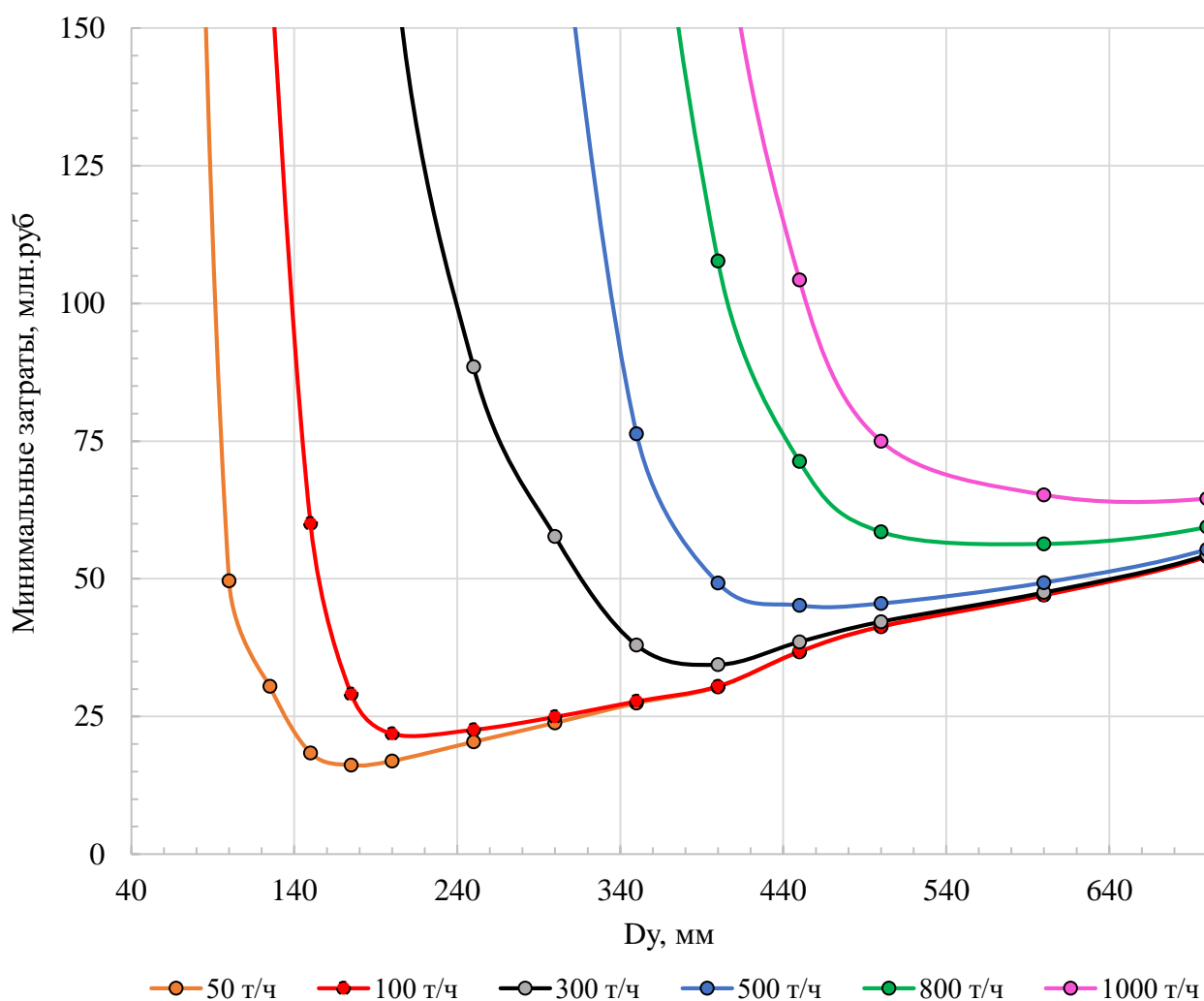


Рисунок – 6 График зависимости минимума затрат от различного расхода теплоносителя

Таблица – 5 Реализация методики экономической оптимизации тепловых сетей

| Ду, м | ФЕР,<br>млн. руб. | $\omega, \frac{м}{с}$ | $\lambda$ | S,<br>$\frac{Па}{(кг/с)^2}$ | R,<br>$\frac{мм}{м}$ | N, МВт  | q <sub>г</sub> , Вт/м | $\Sigma Z_{i\text{тп}}$ ,<br>млн. руб. | $\Sigma Z_{i\text{ээ}}$ ,<br>млн. руб. | $\Sigma Z_{\text{э}}$ ,<br>млн. руб. | $\Sigma Z_{\text{к}}$ ,<br>млн. руб. | $Z_{\Sigma}$ ,<br>млн. руб. |
|-------|-------------------|-----------------------|-----------|-----------------------------|----------------------|---------|-----------------------|--|--|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| 25    | 0,312             | 193,9                 | 0,041     | 3,2E+12                     | 3,0E+05              | 1,3E+02 | 24                    | 6,20                                   | 68591,51                               | 68597,71                             | 0,62                                 | 68598,33                    |
| 32    | 0,399             | 118,3                 | 0,039     | 8,6E+11                     | 8,1E+04              | 3,4E+01 | 26                    | 6,71                                   | 18774,56                               | 18781,28                             | 0,80                                 | 18782,08                    |
| 40    | 0,499             | 75,7                  | 0,037     | 2,7E+11                     | 2,5E+04              | 1,1E+01 | 28                    | 7,23                                   | 5820,74                                | 5827,97                              | 1,00                                 | 5828,97                     |
| 50    | 0,624             | 48,5                  | 0,035     | 8,3E+10                     | 7,8E+03              | 3,3E+00 | 30                    | 7,75                                   | 1804,89                                | 1812,63                              | 1,25                                 | 1813,88                     |
| 70    | 0,771             | 24,7                  | 0,032     | 1,4E+10                     | 1,3E+03              | 5,6E-01 | 36,60                 | 9,45                                   | 308,90                                 | 318,36                               | 1,54                                 | 319,90                      |
| 80    | 0,879             | 18,9                  | 0,031     | 7,1E+09                     | 659,9                | 2,8E-01 | 37                    | 9,55                                   | 153,34                                 | 162,90                               | 1,76                                 | 164,66                      |
| 100   | 1,054             | 12,1                  | 0,029     | 2,2E+09                     | 204,8                | 8,7E-02 | 40                    | 10,33                                  | 47,59                                  | 57,92                                | 2,11                                 | 60,03                       |
| 125   | 1,212             | 7,8                   | 0,028     | 6,8E+08                     | 63,6                 | 2,7E-02 | 46                    | 11,88                                  | 14,78                                  | 26,66                                | 2,42                                 | 29,08                       |
| 150   | 1,638             | 5,4                   | 0,026     | 2,6E+08                     | 24,5                 | 1,0E-02 | 50                    | 12,91                                  | 5,69                                   | 18,60                                | 3,28                                 | 21,87                       |
| 175   | 2,154             | 4,0                   | 0,025     | 1,2E+08                     | 10,9                 | 4,6E-03 | 61                    | 15,75                                  | 2,54                                   | 18,29                                | 4,31                                 | 22,60                       |
| 200   | 2,670             | 3,0                   | 0,025     | 5,8E+07                     | 5,4                  | 2,3E-03 | 71                    | 18,33                                  | 1,26                                   | 19,60                                | 5,34                                 | 24,94                       |
| 250   | 3,484             | 1,9                   | 0,023     | 1,8E+07                     | 1,7                  | 7,2E-04 | 79                    | 20,40                                  | 3,9E-01                                | 20,79                                | 6,97                                 | 27,76                       |
| 300   | 3,808             | 1,3                   | 0,022     | 7,0E+06                     | 0,7                  | 2,8E-04 | 88                    | 22,72                                  | 1,5E-01                                | 22,88                                | 7,62                                 | 30,49                       |
| 350   | 5,972             | 1,0                   | 0,022     | 3,1E+06                     | 0,3                  | 1,2E-04 | 96                    | 24,79                                  | 6,8E-02                                | 24,86                                | 11,94                                | 36,80                       |
| 400   | 7,227             | 0,8                   | 0,021     | 1,6E+06                     | 0,1                  | 6,2E-05 | 104                   | 26,86                                  | 3,4E-02                                | 26,89                                | 14,45                                | 41,34                       |
| 450   | 8,924             | 0,6                   | 0,020     | 8,5E+05                     | 7,9E-02              | 3,4E-05 | 113                   | 29,18                                  | 1,8E-02                                | 29,20                                | 17,85                                | 47,05                       |
| 500   | 10,358            | 0,5                   | 0,020     | 4,9E+05                     | 4,6E-02              | 1,9E-05 | 129                   | 33,31                                  | 1,1E-02                                | 33,32                                | 20,72                                | 54,04                       |
| 600   | 14,447            | 0,3                   | 0,019     | 1,9E+05                     | 1,8E-02              | 7,6E-06 | 144                   | 37,18                                  | 4,2E-03                                | 37,19                                | 28,89                                | 66,08                       |
| 700   | 16,597            | 0,2                   | 0,018     | 8,6E+04                     | 8,1E-03              | 3,4E-06 | 160                   | 41,32                                  | 1,9E-03                                | 41,32                                | 33,19                                | 74,51                       |
| 800   | 18,886            | 0,19                  | 0,0180    | 4,4E+04                     | 0,00                 | 0,00    | 176                   | 45,45                                  | 9,5E-04                                | 45,45                                | 37,77                                | 83,22                       |
| 900   | 21,136            | 0,15                  | 0,0176    | 2,4E+04                     | 0,00                 | 0,00    | 192                   | 49,58                                  | 5,2E-04                                | 49,58                                | 42,27                                | 91,85                       |
| 1000  | 23,850            | 0,12                  | 0,0173    | 1,4E+04                     | 0,00                 | 0,00    | 225                   | 58,10                                  | 3,0E-04                                | 58,10                                | 47,70                                | 105,80                      |
| 1200  | 30,904            | 0,08                  | 0,0169    | 5,6E+03                     | 0,00                 | 0,00    | 256                   | 66,11                                  | 1,2E-04                                | 66,11                                | 61,81                                | 127,92                      |

Далее приведены результаты по расчету оптимизационной модели на линии минимума затрат при различных расходах.

Таблица 6 – Результаты расчета оптимизационной модели

| $G, \frac{T}{ч}$ | Подземная канальная прокладка<br>Температурный график 150/70 °С |   |                       |
|------------------|---|---|-----------------------|
|                  | $D_y, мм$   | $R, \frac{кг}{м^2 * м} \left( \frac{мм}{м} \right)$ | $\omega, \frac{м}{с}$ |
| 1                | 25  | 29,6  | 1,94                  |
| 3                | 32  | 72,8  | 3,55                  |
| 5                | 40  | 62,7  | 3,79                  |
| 10               | 50  | 77,8  | 4,85                  |
| 15               | 80  | 14,9  | 2,84                  |
| 20               | 80  | 26,4  | 3,79                  |
| 30               | 125   | 5,7   | 2,33                  |
| 40               | 125   | 10,2  | 3,10                  |
| 50               | 125   | 15,9  | 3,88                  |
| 60               | 150   | 8,8   | 3,23                  |
| 80               | 150   | 15,7  | 4,31                  |
| 100              | 150   | 24,5  | 5,39                  |
| 110              | 175   | 13,2  | 4,35                  |
| 150              | 200   | 12,2  | 4,54                  |
| 180              | 250   | 3,5   | 5,50                  |
| 200              | 250   | 3,9   | 6,70                  |
| 250              | 250   | 5,5   | 3,49                  |
| 300              | 300   | 5,9   | 4,04                  |
| 400              | 300   | 10,4  | 5,39                  |
| 500              | 350   | 7,3   | 4,95                  |
| 600              | 400   | 5,2   | 4,54                  |
| 800              | 450   | 5,0   | 4,79                  |
| 1000             | 500   | 4,5   | 4,85                  |
| 2000             | 700   | 3,2   | 4,95                  |
| 3000             | 900   | 1,9   | 4,49                  |
| 4000             | 900   | 3,4   | 5,98                  |
| 5000             | 1000  | 3,1   | 6,06                  |
| 7000             | 1200  | 2,4   | 5,89                  |
| 8000             | 1200  | 3,1   | 6,73                  |
| 10000            | 1200  | 4,9   | 8,41                  |
| 15000            | 1200  | 11,0  | 12,62                 |

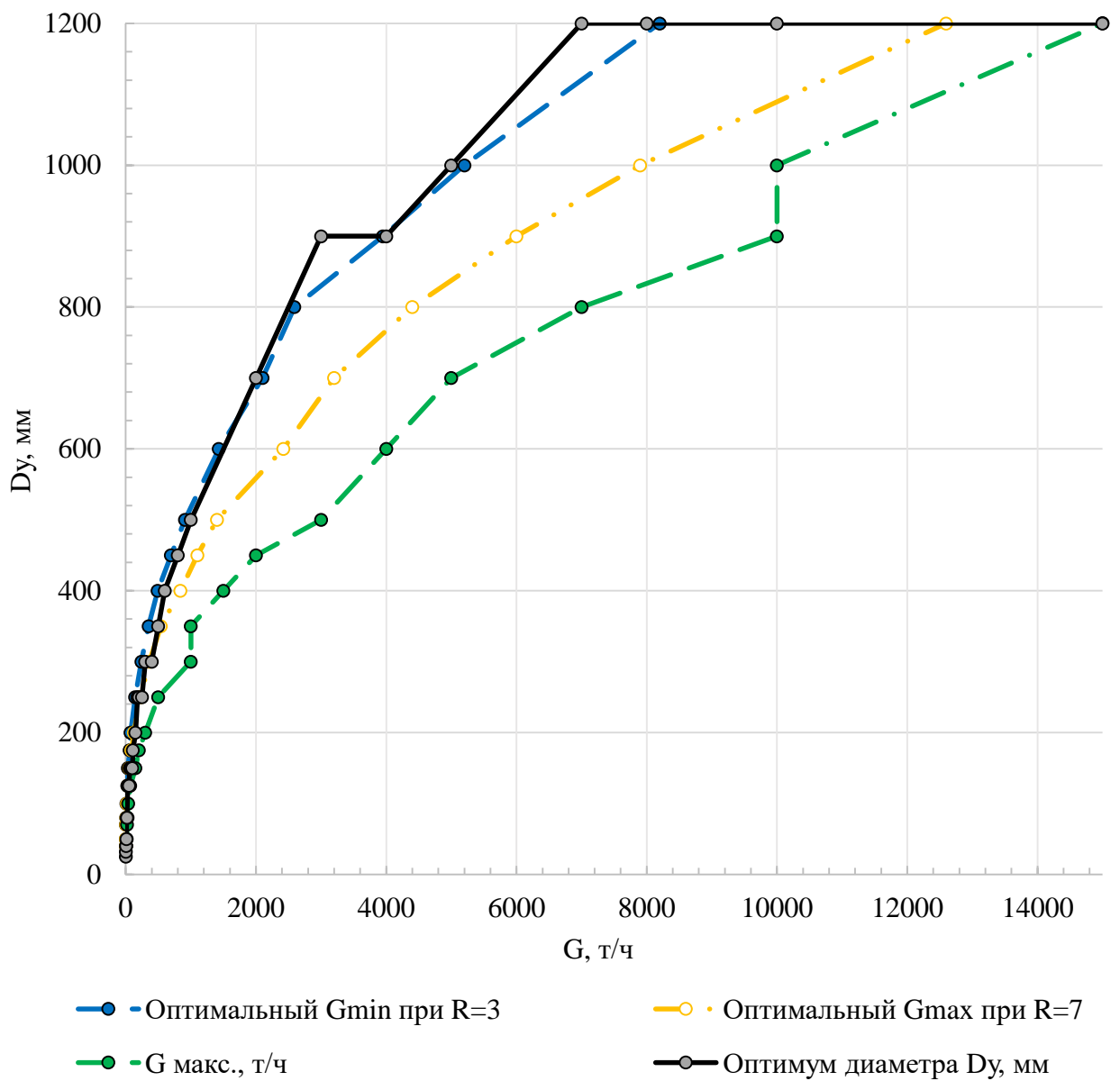


Рисунок 7 - График зависимости оптимального диаметра трубопровода (в пределах 40 ÷ 1200 мм) от расхода теплоносителя

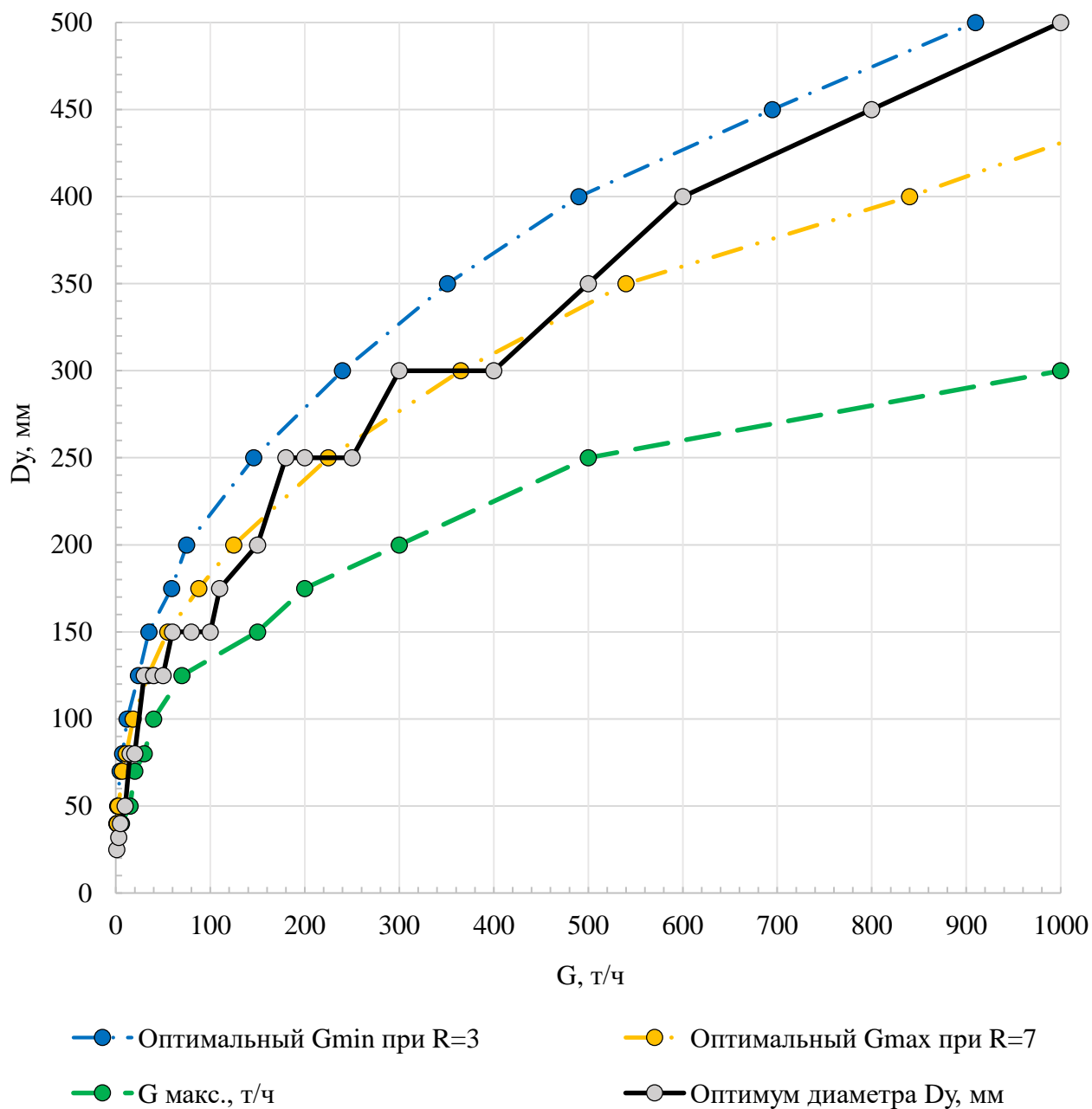


Рисунок 8 - График зависимости оптимального диаметра трубопровода (в пределах 40 ÷ 600 мм) от расхода теплоносителя

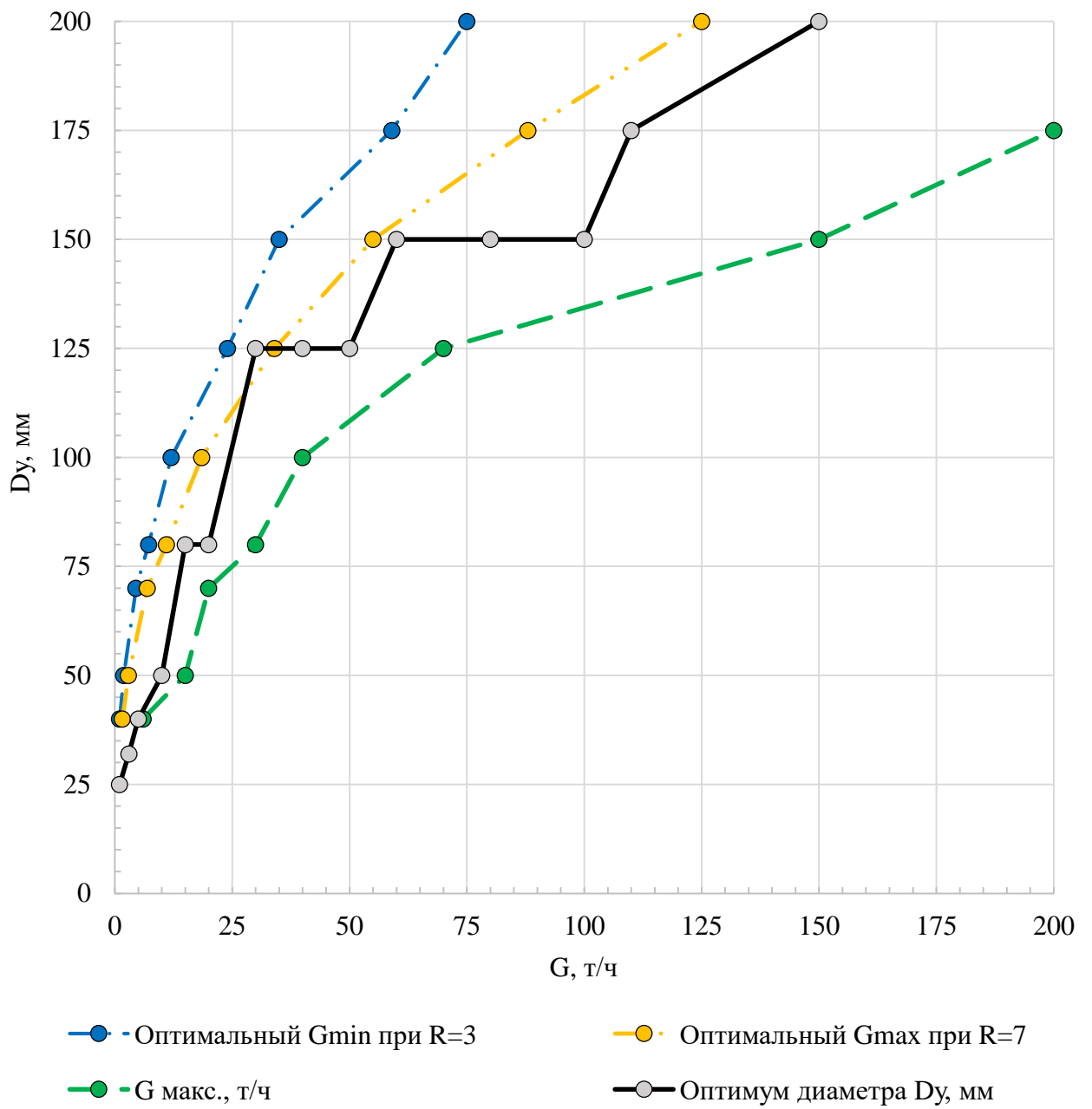


Рисунок 9 - График зависимости оптимального диаметра трубопровода (в пределах 40 ÷ 200 мм) от расхода теплоносителя

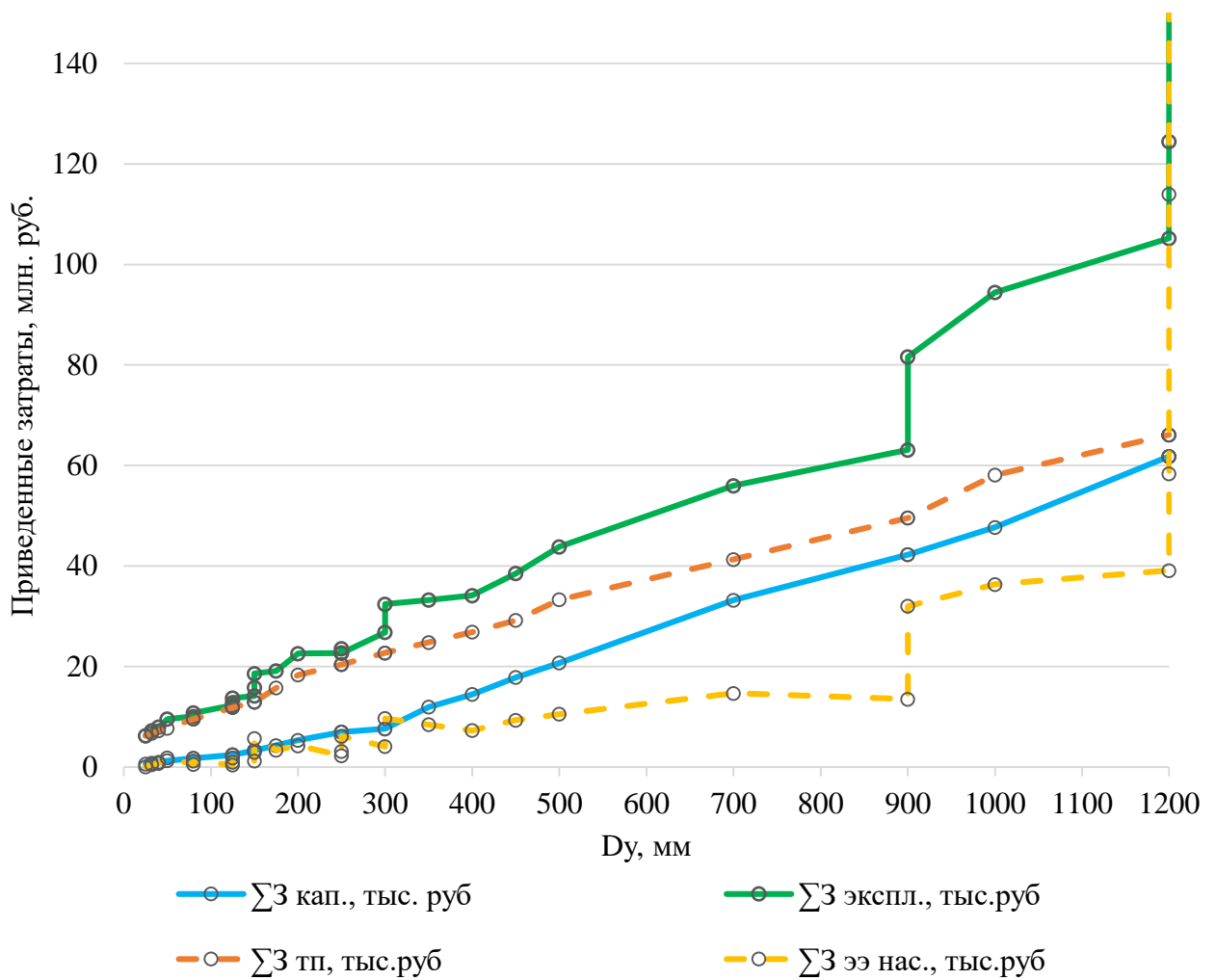


Рисунок 10 - График изменения затрат на различные типоразмеры трубопроводов

Проведенный анализ графиков показал, что расчетные диаметры труб по приведенной в данной работе методике оказались сдвинуты от оптимальной зоны выбора диаметров, рассчитанным по традиционной методике. Выбор оптимальных диаметров с минимальными затратами сдвигается на 1-2 типоразмера в сторону их уменьшения в диапазоне  $G = 0 \div 110 \frac{\text{т}}{\text{ч}}$ ,  $Dy = 25 \div 200$ , увеличения -  $G = 1000 \div 5000 \frac{\text{т}}{\text{ч}}$ ,  $Dy = 500 \div 1000$ , а в диапазоне  $G = 150 \div 800 \frac{\text{т}}{\text{ч}}$ ,  $Dy = 250 \div 450$  оба варианта трактуют одинаковые типоразмеры. При этом оптимизационные диаметры не превышают зону максимальной пропускной способности.

Таким образом, можно вывести новую оптимальную зону выбора диаметров трубопроводов по удельным потерям напора  $R = 3 \div 25 \frac{\text{мм}}{\text{м}}$  (рисунок 11). Но, при этом на каждом типоразмере будет определенное значение удельных потерь, преимущественно, чем больше  $D_u$ , тем меньше  $R$ . График можно считать справедливым, так как выполняется ограничение по максимальному расходу.

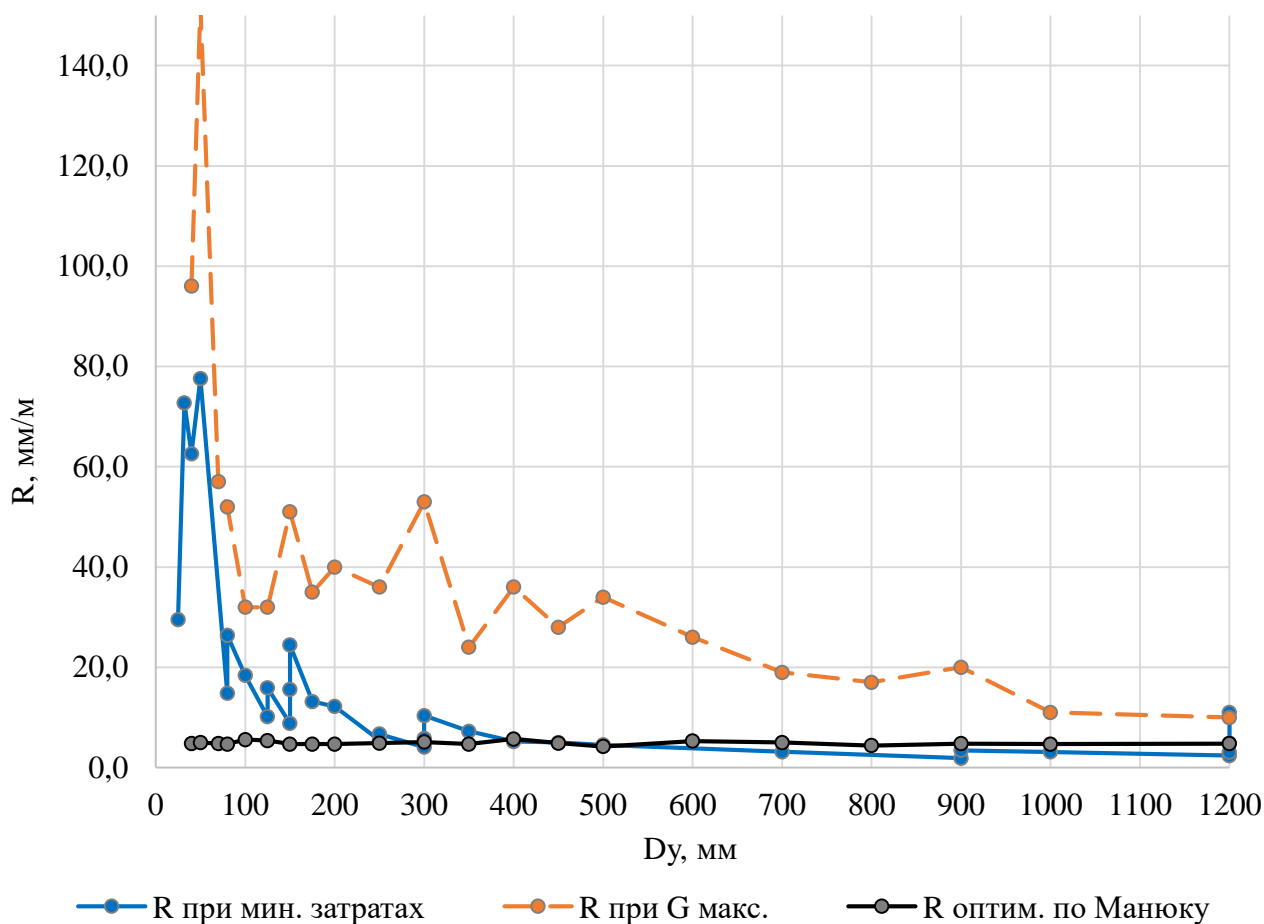


Рисунок 11 – Сравнение методик по зависимости удельных потерь давления от диаметров

Также, проанализировав изменение скорости теплоносителя (рисунок 12), видно, что среднее значение при расчете оптимизационной модели превышает значение при традиционном расчете в 3,7 раза.

Увеличение среднего значения скорости говорит о том, что в настоящее время эффективнее использовать в больших объемах электрическую энергию, нежели тепловую, что и показывает рисунок 5 - динамика повышения тарифа



электроэнергии в 1,4 раза меньше динамики – тепловой энергии. Поэтому выгоднее использовать трубопроводы меньших типоразмеров. На них скорость будет больше по сравнению с большими диаметрами, соответственно, на маленьких трубах потери давления будут увеличены.

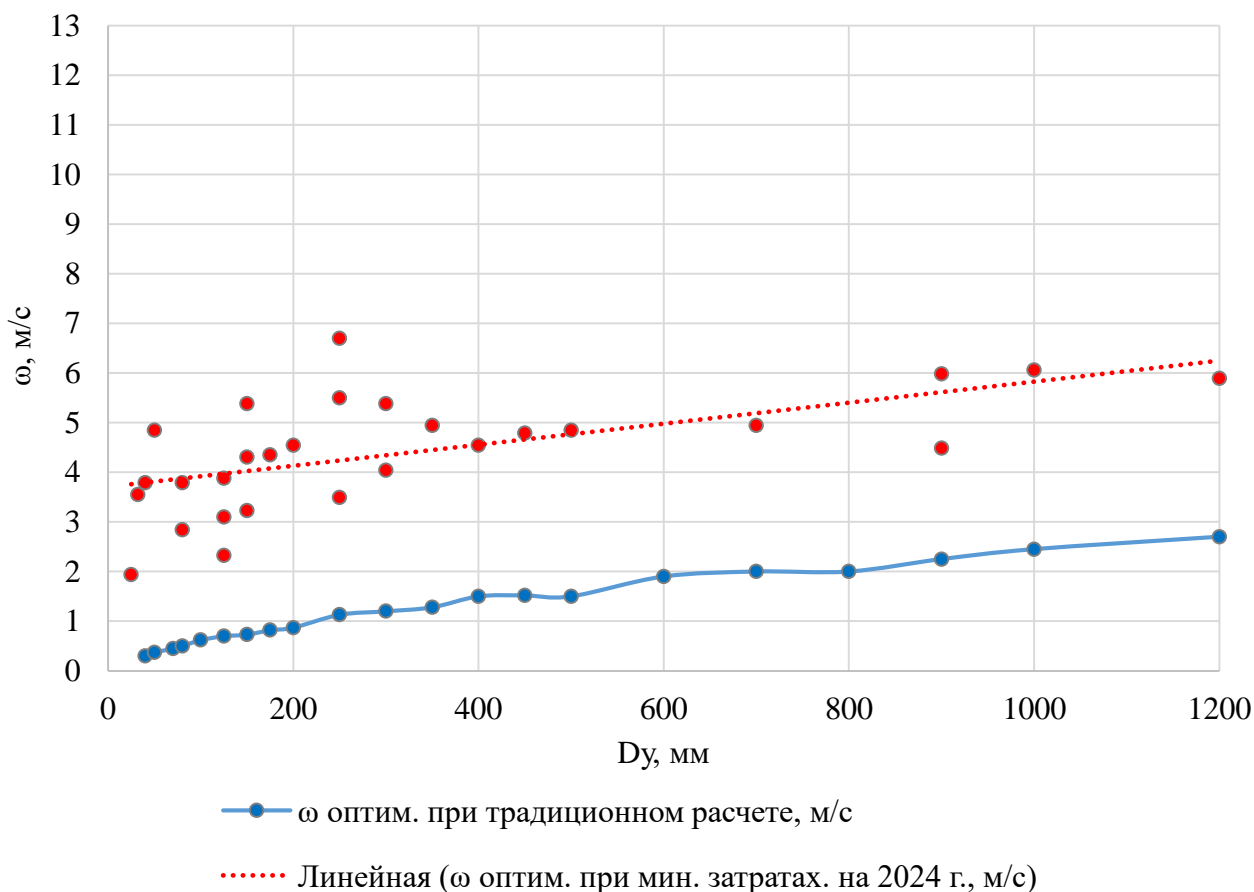


Рисунок 12 – График зависимости скорости теплоносителя от диаметра трубопровода при различных вариантах расчета

### 3. СУЩЕСТВУЮЩАЯ СХЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

#### 3.1 ПОДГОТОВКА ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Для анализа работы система теплоснабжения был рассмотрен коттеджный поселок «Английский парк» в Свердловском районе г. Красноярска, план которого показан на рисунке 13.



Рисунок 13 – План поселка «Английский парк» в г. Красноярске

В поселке построены такие объекты социальной инфраструктуры, как общественно-досуговый центр, два теннисных корта, бассейн, велосипедные дорожки, парк, минимаркет, элинг. Основные характеристики:

- Расстояние от города: 1 км
- Площадь: 7 гектар
- Общая площадь коттеджа или таунхауса: 150-400 м<sup>2</sup>

- Число земельных участков в поселке: 33
- Площадь земельного участка: 13-15 соток

Участок строительства представляет собой застройку жилыми и общественными зданиями с наличием подземных инженерных коммуникаций, воздушных линий электропередачи, автомобильных дорог.

Плановое и высотное положение тепловой магистрали должно учитывать нормативные расстояния от зданий и сооружений. Участок расположен на слегка приподнятой равнине. В настоящее время рельеф вторичный. Участок особых природно-климатических условий не имеет.

Подземные воды установились на глубине 4,0-5,0 м на период изысканий. Питание осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, а также незначительную роль играет искусственная подпитка за счет утечек из водонесущих инженерных коммуникаций.

Теплоснабжение жилого микрорайона подключено к контрольно-распределительному пункту «Английский парк», схема и график параметров которого показана на рисунках 14, 15. Система предназначена для нужд отопления. КРП работает по температурному графику 95/70 °С по 2-х трубной схеме. Давление сетевой воды второго контура  $P = 6,0-5,5 / 3,5-3,0$  кгс/см<sup>2</sup>. В работе находятся два насоса на обратном трубопроводе: Wilo W100140-2-F188LI  $Q=32$  м<sup>3</sup>/ч  $H=18$  м.в.ст.  $\eta=84,2$  %.

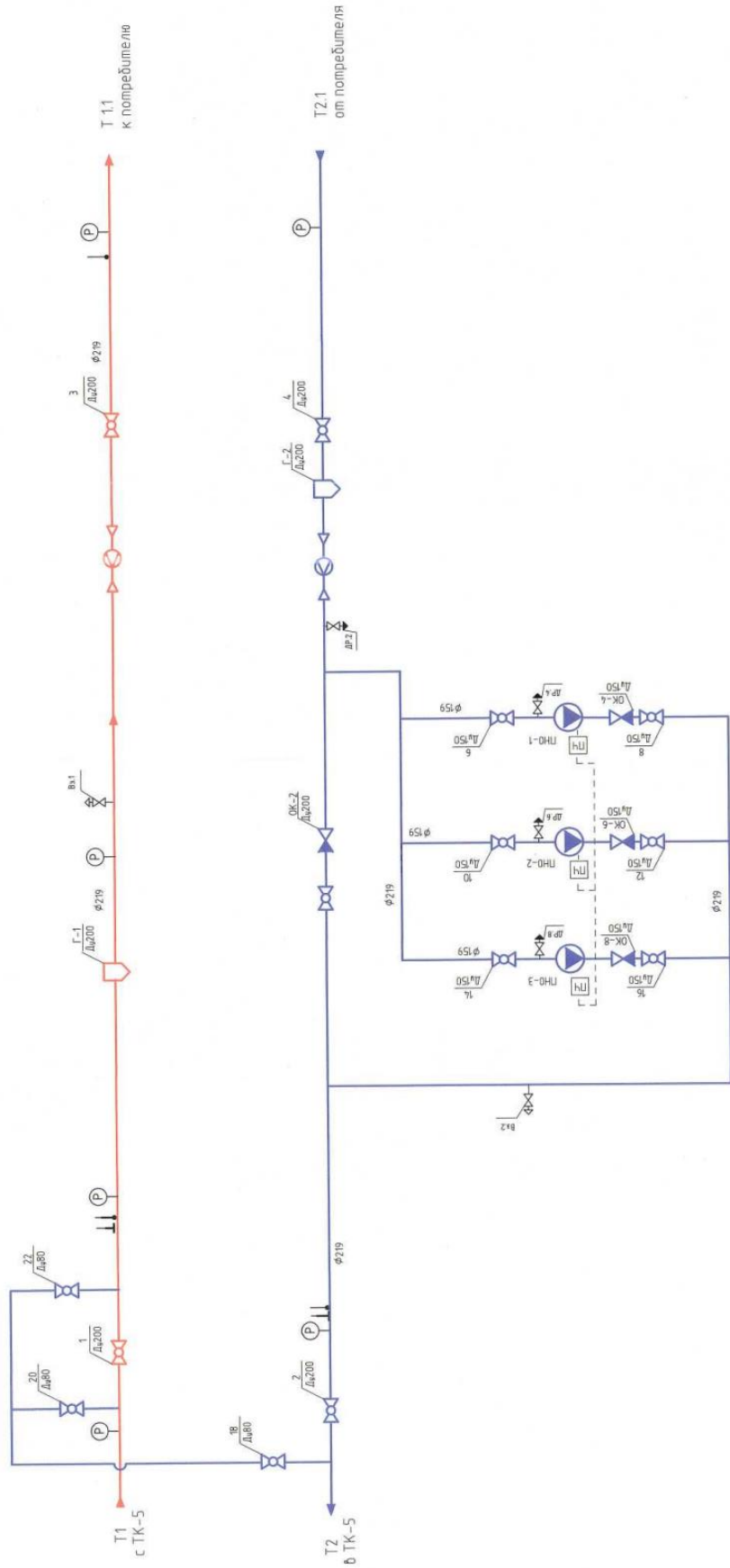


Рисунок 14 – Технологическая схема КРП Английский парк

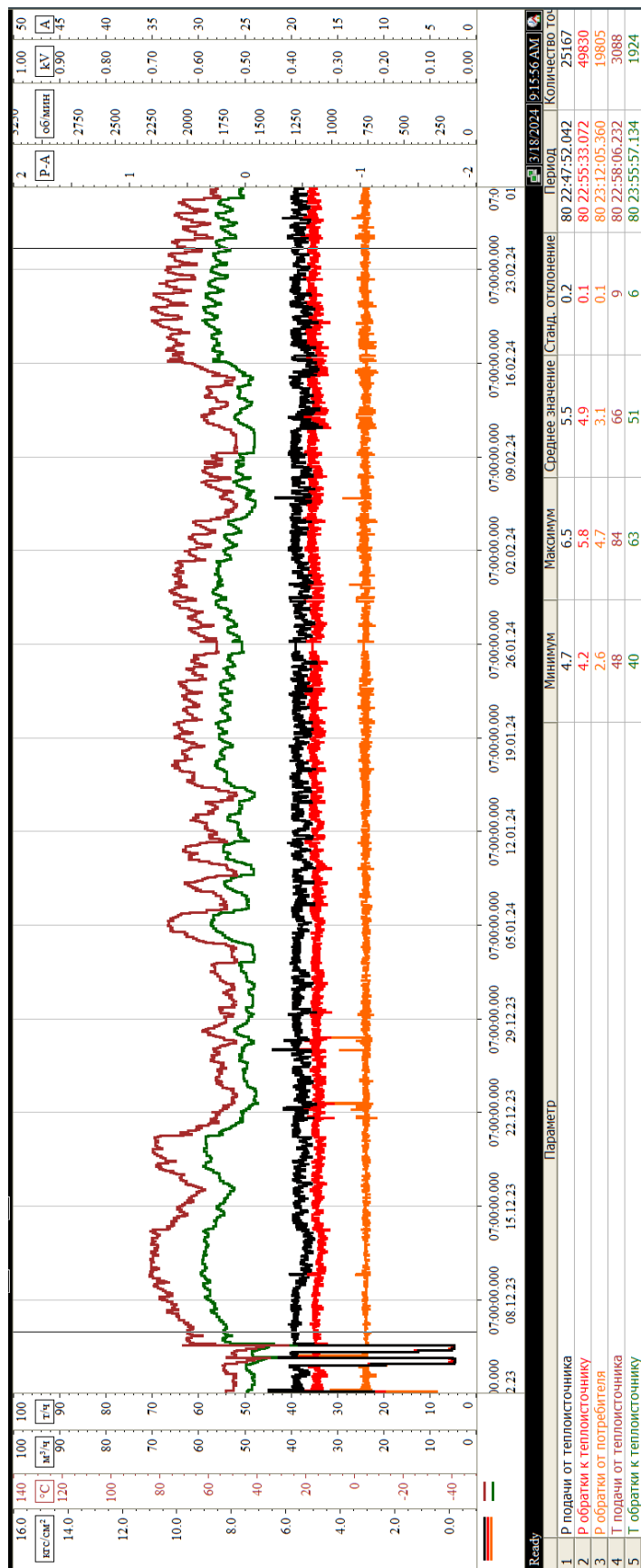


Рисунок 15 – График основных параметров на КРП  
в период с 01.12.2023 по 29.02.2024

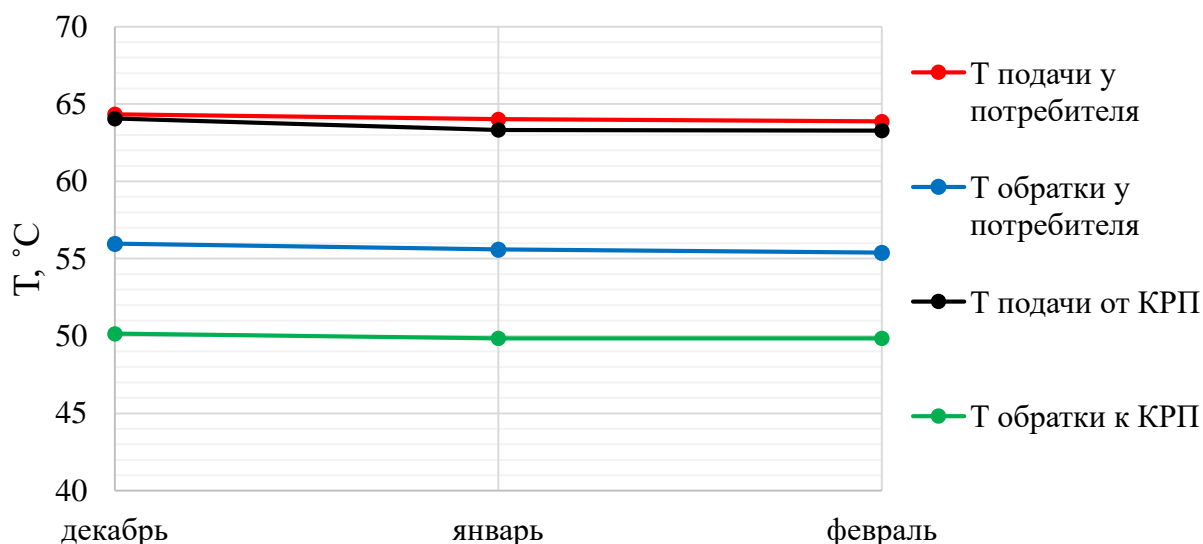
Для тепловой сети выбрана подземная канальная и подвальная прокладка. Уклон при прокладке трубопроводов в независимости от скорости и направления движения теплоносителя должен составлять не менее 0,002.

В нижних точках трубопроводов тепловых сетей установлена запорная арматура для слива теплоносителя (дренажные краны). Компенсация температурных деформаций в трубопроводах тепловых сетей обеспечивается компенсаторами - сильфонными, сальниковыми или радиальными, а также самокомпенсацией - на участках поворотов тепловой сети.

Для анализа системы теплоснабжения поселка было проведено исследование тепло-гидравлического режима в тепловой сети (рисунки 16, 17).

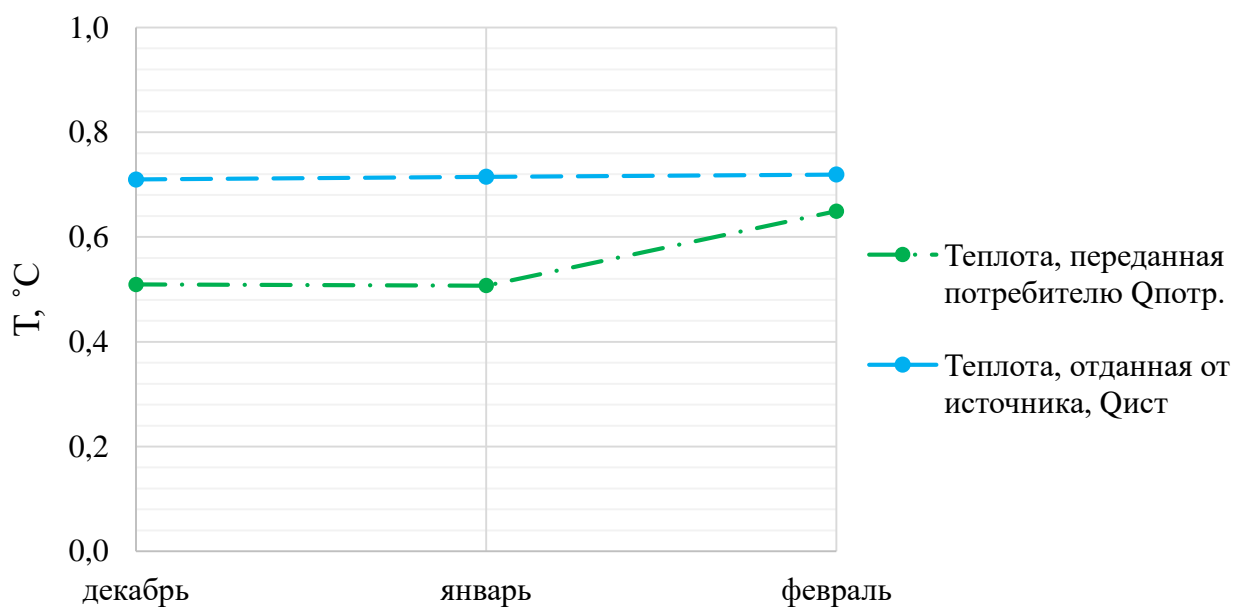
Энергоэффективность тепловых сетей характеризуется следующими показателями: [1]

- потери и затраты теплоносителя в процессе передачи и распределения тепловой энергии;
- потери тепловой энергии, обусловленные потерями теплоносителя;
- потери тепловой энергии теплопередачей через изоляционные конструкции трубопроводов тепловых сетей;
- объем подпитки тепловых сетей;
- расход тепловой энергии (тепловой поток) в тепловой сети;
- температура теплоносителя в подающем трубопроводе тепловой сети на источнике тепла;
- температура теплоносителя в обратном трубопроводе тепловой сети на источнике тепла;
- расход теплоносителя в подающем трубопроводе тепловой сети;
- затраты электроэнергии на передачу тепловой энергии, включая затраты насосными группами источников теплоснабжения;
- удельные затраты электроэнергии на передачу тепловой энергии, включая затраты насосными группами источников теплоснабжения.



Зимние месяцы в ОЗП 2023-2024 гг.

Рисунок 16 – Средняя за ОЗП 2023-2024 гг. температура теплоносителя в тепловой сети



Зимний месяц в ОЗП 2023-2024 гг.

Рисунок 17 - Средняя за ОЗП 2023-2024 гг. тепловая нагрузка в тепловой сети

Энергоэффективность тепловых сетей характеризуется отношением тепловой энергии, полученной всеми потребителями (на входных отключающих устройствах) к тепловой энергии, выданной от источника (на выходных отключающих устройствах). Таким образом, к.п.д. тепловой сети составляет:

$$\eta = \frac{\sum Q_{\text{потр.}}}{\sum Q_{\text{ист.}}} = 78\%$$

Результаты замеров и построения графиков показали неравномерность и несбалансированность потокораспределения теплоносителя.

Итак, исходными данными по тепловой сети являются:

- Схема тепловой сети (рисунок 18) от КРП до камер присоединения потребителей, потребителей непосредственно.
- Гидравлические характеристики всех участков тепловой сети до присоединенных потребителей. По каждому участку: длина и наружный диаметр трубопроводов, коэффициенты местных сопротивлений, значение эквивалентной шероховатости.



Рисунок 18 – Схема тепловой сети



Потребителями тепла являются жилые, административные здания.

Система горячего водоснабжения – отсутствует (индивидуальная у потребителей при помощи водонагревателей).

Потребители тепловой энергии подключены по зависимой схеме (непосредственное присоединение системы отопления). На рисунке 19 показана схема подключения.

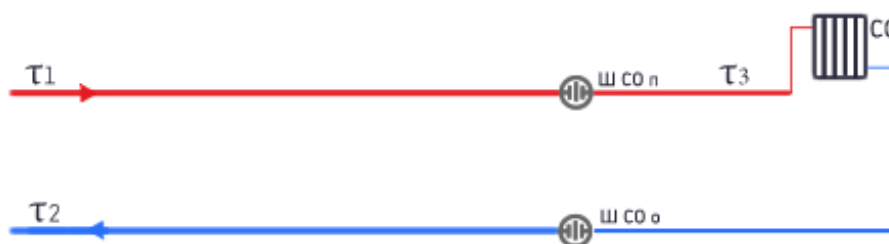


Рисунок 19 – Схема подключения потребителей

Расчетный расход сетевой воды на систему отопления (т/ч), присоединенную по зависимой схеме, можно определить по формуле (7).

$$G_{с.р.} = \frac{Q_{о.р.} * 1000}{c * (T_{1.р.} - T_{2.р.})}, \quad (7)$$

где  $Q_{о.р.}$  - расчетная нагрузка на систему отопления, Гкал/ч;

$T_{1.р.}$  - температура воды в подающем трубопроводе тепловой сети при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления, °С;

$T_{2.р.}$  - температура воды в обратном трубопроводе системы отопления при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления, °С.

Для расчетов принимаем:

- Расчетная температура воды на входе в потребитель 95 °С;
- Расчетная температура воды на входе в систему отопления 95 °С;
- Расчетная температура воды на выходе в систему отопления 70 °С;
- Расчетный располагаемый напор в системе отопления 0,2 м;
- Текущая температура холодной воды 5 °С.

Также согласно СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий принимаем:

- климатический район – сухая зона;

- влажностный режим помещений здания - нормальный;
- условия эксплуатации – Б.

В соответствии с СП 131.13330.2018 Строительная климатология выбираем климатические параметры холодного периода года:

- Температура воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98 -  $-41\text{ }^{\circ}\text{C}$ , обеспеченностью 0,92 -  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98 -  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ , обеспеченностью 0,92 -  $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Температура воздуха обеспеченностью 0,94 -  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Продолжительность и средняя температура воздуха периода со средней суточной температурой воздуха  $\leq 8\text{ }^{\circ}\text{C}$  соответственно: 235 сут;  $-6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Нагрузки и расчетные расходы теплоносителя отопления приведены в таблице 1.

## **3.2 ПРОВЕДЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА**

### **3.2.1 МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

В соответствии с требованиями Федерального закона ФЗ-190 «О теплоснабжении» должны быть созданы схемы и электронные модели систем теплоснабжения. Электронная схема не может обойтись без расчетов, одним из которых является гидравлический расчет систем теплоснабжения. Данный расчет включает в себя следующие задачи: определение диаметра трубопровода, расчет падения напора давления, а также их определение в разных точках системы, систематизация всех узлов системы в динамическом, а также статическом режимах для обеспечения допустимого давления и необходимых напоров в системе. По результатам можно решить следующие задачи:

- Определение капитальных затрат, расхода металла (труб) и основного объема работ по прокладке тепловой сети.
- Определение характеристик циркуляционных и подпиточных насосов.
- Определение условий работы тепловой сети и выбора схем присоединения абонентов.
- Выбор автоматики для тепловой сети и абонентов.
- Разработка режимов эксплуатации.

При течении теплоносителя в протяженных тепловых сетях систем теплоснабжения потери напора складываются из потерь напора в местных сопротивлениях и потерь напора, происходящих по длине трубопроводов (линейных потерь напора). Запорная и регулирующая арматура, участки изгиба трубопроводов, компенсаторы, сужения и расширения трубопроводов и другие местные сопротивления являются причиной падения напора в трубопроводах.

Падение напора (давления) на линейном участке трубопровода:

$$\Delta H_{л} = h_{л}l; \Delta p_{л} = R_{л}l, \quad (8)$$

где  $h_{л}$  – удельное падение напора, м/м;

$R_{л}$  – удельное падение давления, Па/м;

По формуле Дарси:

$$h_{л} = \lambda \frac{\omega^2}{2gd} = 6,35 * 10^{-9} \lambda \frac{V^2}{d^5}; R_{л} = \lambda \frac{\omega^2 \rho}{2d} = 0,812 \lambda \frac{G^2}{d^5 \rho}, \quad (9)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения (безразмерная величина);

$\omega$  – скорость движения жидкости, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$d$  – внутренний диаметр трубы, м;

$V$  – объемный расход теплоносителя, м<sup>3</sup>/ч;

$\rho$  – плотность теплоносителя, кг/м<sup>3</sup>;

$G$  – массовый расход теплоносителя, кг/с.

Коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  зависит от режима движения жидкости и степени шероховатости стенки трубы. Режим движения жидкости характеризуется числом Рейнольдса и бывает ламинарными ( $Re \leq 2300$ ) и турбулентным ( $Re \geq 2300$ ).

С увеличением числа  $Re$  коэффициент гидравлического сопротивления  $\lambda$  монотонно уменьшается. При превышении некоторого числа  $Re_{пр}$  коэффициент гидравлического сопротивления  $\lambda$  остается постоянным. В этом случае коэффициент гидравлического трения зависит только от относительной эквивалентной шероховатости определяется по формуле Б. Л. Шифринсона:

$$\lambda = 0,11(k_e/d)^{0,25}, \quad (10)$$

При  $Re \geq Re_{пр}$  в трубопроводах зависимость падения давления от расхода воды подчиняется квадратичному закону. Режимы движения жидкости в тепловых сетях, как правило, являются турбулентными и характеризуются числами  $Re \geq Re_{пр}$ . Потери напора (давления) в сети описываются следующим уравнением:

$$\Delta H = SV^2; \Delta p = S_p V^2, \quad (11)$$

где  $S_p = SG\rho$  – характеристика сопротивления сети, выраженная через единицы давления (падение давления при  $V=1$ ), Па·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>;

$S$  – характеристика сопротивления сети, выраженная через единицы напора (потеря напора при  $V=1$ ).

Сопротивление сети зависит от ее геометрических характеристик (длина и диаметр), абсолютной шероховатости внутренней поверхности труб, эквивалентной длины местных сопротивлений. Гидравлическая характеристика сопротивления сети не зависит от расхода воды, что позволяет определять

величину сопротивления сети по режиму, для которого известен расход воды и соответствующее этому расходу падение давления.

Расчет считается удовлетворительным, если гидравлические сопротивления не превышают располагаемый перепад давлений и отличаются от него не более чем на 10 %. В этом случае расчетный расход теплоносителя будет обеспечен с ошибкой не более 3,5 %.

Требования к режиму давления в тепловой сети:

1. Давление в непосредственно присоединяемых к сети абонентских системах не должно превышать допускаемого как при статическом, так и при динамическом режиме. Для радиаторов систем отопления максимальное избыточное давление должно быть не более 0,6 МПа, что соответствует примерно напору в 60 м.

2. Максимальный напор в подающих трубопроводах ограничивается прочностью труб и всех водоподогревательных установок.

3. Напор в подающих трубопроводах, по которым перемещается вода с температурой более 100 °С, должен быть достаточным для исключения парообразования. В связи с неравномерным нагреванием воды в отдельных трубках водогрейных котлов температуру воды в них для определения давления, обеспечивающего не вскипание, следует принимать на 30 °С выше расчетной температуры сетевой воды.

4. Для предупреждения кавитации напор во всасывающей патрубке сетевого насоса должен быть не меньше 5 м.

5. В точках присоединения абонентов следует обеспечить достаточный напор для создания циркуляции воды в местных системах. При элеваторном смешении на абонентском вводе располагаемый напор должен быть, не меньше 10 – 15 м. Наличие подогревателей горячего водоснабжения при двухступенчатой схеме требует увеличения напора до 20 – 25 м.

6. Уровни пьезометрических линий как при статическом, так и при динамическом режиме следует устанавливать с учетом возможности

присоединения большинства абонентских систем по наиболее дешевым зависимым схемам. Статическое давление также не должно превышать допускаемого давления для всех элементов системы теплоснабжения. При определении статического давления возможность вскипания воды в подающих трубопроводах, как правило, можно не учитывать.

### **3.2.2 РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА**

В соответствии с требованиями Федерального закона ФЗ-190 «О теплоснабжении» должны быть созданы схемы и электронные модели систем теплоснабжения. Электронная схема не может обойтись без расчетов, одним из которых является гидравлический расчет систем теплоснабжения.

Современные вычислительные технологии дают возможность учитывать всю совокупность пространственных, технических и экономических данных для выбора структуры тепловой сети. В целях эффективного использования инновационного потенциала этих технологий для определения оптимальной трассы и структуры тепловой сети необходима разработка математической электронной модели структуры тепловой сети. Под электронной моделью системы теплоснабжения понимается математическая модель этой системы, привязанная к топографической основе города, предназначенная для имитационного моделирования всех процессов, протекающих в ней.

Для расчета была построена электронная модель тепловой сети посредством базы расчетно-программного комплекса ZuluGIS, при этом сразу формировалась её расчетная математическая модель. Под электронной моделью системы теплоснабжения понимается математическая модель этой системы, привязанная к топографической основе города, предназначенная для имитационного моделирования всех процессов, протекающих в ней.

Ход выполнения работы в программе Zulu Thermo:

- Создание растровых слоев на основе проекта тепловой сети, существующей схемы;

- Создание векторного слоя зданий (потребителей);
- Создание векторного слоя тепловой трассы;
- Создание и наполнение семантических баз потребителей, участков, узлов, тепловых камер;
- Задание начальных параметров для\ расчета;
- Расчет гидравлического режима без учета тепловых потерь, утечек теплоносителя;
- Расчет гидравлического режима с учетом тепловых потерь, утечек теплоносителя;
- Расчет гидравлического режима с учетом тепловых потерь, утечек теплоносителя при существующем располагаемом
- Экспорт данных, оформление пьезометрических графиков;
- Расчет необходимых балансиров.

В таблицах 7, 8 приведены результаты гидравлического расчета.

Таблица 7 - Расчет гидравлического режима у потребителей

| Sys    | Адрес узла ввода        | Геодезическая отметка, м | Высота здания потребителя, м | Расчетная нагрузка на отопление (факт), ккал/час | Располагаемый напор на вводе потребителя, м | Напор в подающем трубопроводе, м | Напор в обратном трубопроводе, м | Давление в подающем трубопроводе, м | Давление в обратном трубопроводе, м |
|--------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|--|---|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 180283 | ул. Дивногорская. 15/12 | 138,2                    | 6                            | 14,3   | 19,5  | 194,7                            | 175,2                            | 56,5                                | 37,0                                |
| 180281 | ул. Дивногорская. 15/11 | 138,1                    | 6                            | 14,5   | 19,2  | 194,6                            | 175,4                            | 56,5                                | 37,3                                |
| 180279 | ул. Дивногорская. 15/10 | 138,1                    | 6                            | 14,5   | 18,9  | 194,5                            | 175,5                            | 56,3                                | 37,4                                |
| 180277 | ул. Дивногорская. 15/9  | 138,1                    | 6                            | 14,5   | 18,6  | 194,3                            | 175,7                            | 56,1                                | 37,6                                |
| 180275 | ул. Дивногорская. 15/8  | 138,2                    | 6                            | 14,6   | 18,3  | 194,1                            | 175,8                            | 56,0                                | 37,7                                |
| 180273 | ул. Дивногорская. 15/7  | 138,2                    | 6                            | 14,6   | 18,0  | 194,0                            | 176,0                            | 55,8                                | 37,8                                |
| 180271 | ул. Дивногорская. 15/6  | 138,2                    | 6                            | 14,6   | 17,8  | 193,9                            | 176,1                            | 55,6                                | 37,9                                |
| 180269 | ул. Дивногорская. 15/5  | 138,3                    | 6                            | 14,5   | 17,5  | 193,8                            | 176,2                            | 55,5                                | 38,0                                |

Продолжение таблицы 7

| Sys    | Адрес узла ввода        | Геодезическая отметка, м | Высота здания потребителя, м | Расчетная нагрузка на отопление (факт), ккал/час | Располагаемый напор на вводе потребителя, м | Напор в подающем трубопроводе, м | Напор в обратном трубопроводе, м | Давление в подающем трубопроводе, м | Давление в обратном трубопроводе, м |
|--------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|--|---|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 180267 | ул. Дивногорская. 15/4  | 138,3                    | 6                            | 16,4   | 17,3  | 193,7                            | 176,3                            | 55,4                                | 38,0                                |
| 180265 | ул. Дивногорская. 15/3  | 138,3                    | 6                            | 16,3   | 17,2  | 193,6                            | 176,4                            | 55,3                                | 38,1                                |
| 180263 | ул. Дивногорская. 15/2  | 138,3                    | 6                            | 16,4   | 17,0  | 193,5                            | 176,5                            | 55,2                                | 38,2                                |
| 180261 | ул. Дивногорская. 15/1  | 138,4                    | 6                            | 16,3   | 16,9  | 193,4                            | 176,5                            | 55,1                                | 38,2                                |
| 180253 | ул. Дивногорская. 13/12 | 138,5                    | 6                            | 16,4   | 16,4  | 193,2                            | 176,8                            | 54,7                                | 38,3                                |
| 180251 | ул. Дивногорская. 13/11 | 138,5                    | 6                            | 16,4   | 16,0  | 193,0                            | 177,0                            | 54,5                                | 38,5                                |
| 180249 | ул. Дивногорская. 13/10 | 138,5                    | 6                            | 16,3   | 15,6  | 192,8                            | 177,2                            | 54,3                                | 38,7                                |
| 180247 | ул. Дивногорская. 13/9  | 138,5                    | 6                            | 16,2   | 15,2  | 192,6                            | 177,4                            | 54,0                                | 38,9                                |
| 180245 | ул. Дивногорская. 13/8  | 138,6                    | 6                            | 20,9   | 14,9  | 192,5                            | 177,5                            | 53,9                                | 39,0                                |
| 180241 | ул. Дивногорская. 13/7  | 138,6                    | 6                            | 20,9   | 14,7  | 192,3                            | 177,7                            | 53,7                                | 39,1                                |
| 180239 | ул. Дивногорская. 13/6  | 138,6                    | 6                            | 20,8   | 14,4  | 192,2                            | 177,8                            | 53,6                                | 39,2                                |
| 180237 | ул. Дивногорская. 13/5  | 139,0                    | 6                            | 21,0   | 13,9  | 191,9                            | 178,0                            | 53,0                                | 39,1                                |
| 180235 | ул. Дивногорская. 13/4  | 139,4                    | 6                            | 20,9   | 13,6  | 191,8                            | 178,2                            | 52,4                                | 38,8                                |
| 180233 | ул. Дивногорская. 13/3  | 139,5                    | 6                            | 20,9   | 13,4  | 191,7                            | 178,3                            | 52,2                                | 38,8                                |
| 180231 | ул. Дивногорская. 13/2  | 140,1                    | 6                            | 21,0   | 13,3  | 191,6                            | 178,3                            | 51,6                                | 38,3                                |
| 180377 | ул. Дивногорская, 17    | 139,5                    | 6                            | 81,6   | 22,2  | 196,1                            | 173,9                            | 56,6                                | 34,4                                |
| 180259 | ул. Дивногорская, 13/13 | 138,4                    | 6                            | 16,5   | 16,5  | 193,3                            | 176,7                            | 54,8                                | 38,3                                |
| 180243 | ул. Дивногорская, 13/1  | 140,6                    | 6                            | 21,6   | 13,3  | 191,6                            | 178,4                            | 51,0                                | 37,7                                |
| 95204  | пер. Заповедный, 15     | 138,7                    | 6                            | 32,5   | 16,2  | 193,1                            | 176,9                            | 54,4                                | 38,2                                |
| 95161  | пер. Заповедный, 14     | 138,6                    | 6                            | 32,5   | 20,4  | 195,2                            | 174,8                            | 56,6                                | 36,3                                |
| 95159  | пер. Заповедный, 12     | 138,7                    | 6                            | 32,6   | 20,4  | 195,2                            | 174,8                            | 56,5                                | 36,2                                |
| 95202  | пер. Заповедный, 11     | 138,9                    | 6                            | 32,4   | 16,2  | 193,1                            | 176,9                            | 54,2                                | 38,0                                |
| 95156  | пер. Заповедный, 10     | 138,9                    | 6                            | 45,6   | 19,7  | 194,8                            | 175,2                            | 55,9                                | 36,3                                |
| 95189  | пер. Заповедный, 9      | 139,4                    | 3                            | 15,9   | 14,0  | 192,0                            | 178,0                            | 52,6                                | 38,6                                |
| 95154  | пер. Заповедный, 8      | 138,6                    | 6                            | 26,6   | 19,7  | 194,9                            | 175,1                            | 56,2                                | 36,5                                |
| 95187  | пер. Заповедный, 7      | 138,9                    | 6                            | 18,7   | 14,0  | 192,0                            | 178,0                            | 53,1                                | 39,1                                |
| 95151  | пер. Заповедный, 6      | 138,4                    | 6                            | 32,5   | 18,6  | 194,3                            | 175,7                            | 55,9                                | 37,3                                |
| 95177  | пер. Заповедный, 5      | 138,6                    | 6                            | 27,3   | 12,2  | 191,1                            | 178,9                            | 52,5                                | 40,4                                |
| 95149  | пер. Заповедный, 4      | 138,4                    | 6                            | 37,5   | 18,6  | 194,3                            | 175,7                            | 55,9                                | 37,3                                |
| 95168  | пер. Заповедный, 3      | 138,3                    | 6                            | 39,8   | 11,8  | 190,9                            | 179,1                            | 52,6                                | 40,8                                |



## Окончание таблицы 7

| Sys   | Адрес узла ввода   | Геодетическая отметка, м | Высота здания потребителя, м | Расчетная нагрузка на отопление (факт), ккал/час | Располагаемый напор на вводе потребителя, м | Напор в подающем трубопроводе, м | Напор в обратном трубопроводе, м | Давление в подающем трубопроводе, м | Давление в обратном трубопроводе, м |
|-------|--------------------|--------------------------|------------------------------|--|---|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 95140 | пер. Заповедный, 2 | 138,0                    | 6                            | 38,2   | 18,6  | 194,3                            | 175,7                            | 56,3                                | 37,7                                |
| 95166 | пер. Заповедный, 1 | 138,4                    | 6                            | 32,8   | 11,3  | 190,6                            | 179,4                            | 52,2                                | 41,0                                |
| 95245 | пер. Дружный, 15   | 139,0                    | 6                            | 30,3   | 15,2  | 192,6                            | 177,4                            | 53,6                                | 38,4                                |
| 95199 | пер. Дружный, 14   | 138,9                    | 6                            | 34,8   | 16,9  | 193,4                            | 176,6                            | 54,6                                | 37,7                                |
| 95197 | пер. Дружный, 12   | 139,0                    | 6                            | 39,2   | 16,8  | 193,4                            | 176,6                            | 54,4                                | 37,6                                |
| 95243 | пер. Дружный, 11   | 139,0                    | 6                            | 33,0   | 15,2  | 192,6                            | 177,4                            | 53,6                                | 38,4                                |
| 95194 | пер. Дружный, 10   | 139,1                    | 6                            | 34,8   | 14,3  | 192,1                            | 177,8                            | 53,0                                | 38,8                                |
| 95230 | пер. Дружный, 9    | 139,0                    | 6                            | 27,7   | 13,1  | 191,5                            | 178,5                            | 52,5                                | 39,5                                |
| 95192 | пер. Дружный, 8    | 139,2                    | 6                            | 29,2   | 14,2  | 192,1                            | 177,9                            | 52,9                                | 38,7                                |
| 95228 | пер. Дружный, 7    | 139,0                    | 6                            | 32,8   | 13,1  | 191,6                            | 178,4                            | 52,6                                | 39,4                                |
| 95182 | пер. Дружный, 6    | 140,1                    | 6                            | 36,5   | 12,8  | 191,4                            | 178,6                            | 51,3                                | 38,5                                |
| 95220 | пер. Дружный, 5    | 140,0                    | 6                            | 23,7   | 11,0  | 190,5                            | 179,5                            | 50,5                                | 39,5                                |
| 95180 | пер. Дружный, 4    | 140,8                    | 6                            | 33,6   | 11,7  | 190,8                            | 179,1                            | 50,1                                | 38,4                                |
| 95218 | пер. Дружный, 3    | 140,9                    | 6                            | 33,6   | 10,9  | 190,5                            | 179,5                            | 49,5                                | 38,6                                |
| 95184 | пер. Дружный, 2    | 139,1                    | 3                            | 110,2  | 11,0  | 190,5                            | 179,5                            | 51,4                                | 40,3                                |
| 95207 | пер. Дружный, 1    | 139,4                    | 6                            | 41,6   | 10,7  | 190,3                            | 179,7                            | 51,0                                | 40,3                                |
| 95240 | пер. Бобровый, 12  | 139,3                    | 6                            | 42,3   | 15,1  | 192,5                            | 177,4                            | 53,3                                | 38,2                                |
| 95238 | пер. Бобровый, 10  | 139,0                    | 6                            | 33,8   | 15,1  | 192,6                            | 177,4                            | 53,5                                | 38,4                                |
| 95235 | пер. Бобровый, 8   | 139,0                    | 6                            | 33,8   | 14,0  | 192,0                            | 178,0                            | 53,0                                | 39,0                                |
| 95233 | пер. Бобровый, 6   | 139,2                    | 6                            | 39,8   | 13,8  | 191,9                            | 178,1                            | 52,7                                | 38,9                                |
| 95225 | пер. Бобровый, 4   | 139,6                    | 6                            | 39,8   | 10,8  | 190,4                            | 179,6                            | 50,8                                | 40,0                                |
| 95223 | пер. Бобровый, 2   | 139,9                    | 6                            | 34,0   | 10,9  | 190,4                            | 179,5                            | 50,6                                | 39,7                                |

Таблица 8 - Расчет гидравлического режима трубопроводов тепловых сетей

| Sys   | Длина участка, м | Внутренний диаметр подающего трубопровода, м | Внутренний диаметр обратного трубопровода, м | Вид прокладки тепловой сети | Расход воды в подающем трубопроводе, т/ч | Расход воды в обратном трубопроводе, т/ч | Потери напора в подающем трубопроводе, м | Потери напора в обратном трубопроводе, м | Удельные линейные потери напора в под-тр-де, мм/м | Удельные линейные потери напора в обр-тр-де, мм/м | Скорость движения воды в под-тр-де, м/с | Скорость движения воды в обр-тр-де, м/с |
|-------|------------------|--|--|-----------------------------|--|--|--|--|---|---|---|---|
| 95136 | 56,8             | 0,125  | 0,125  | Подземная канальная         | 27,49                                    | -27,42                                   | 0,41                                     | 0,41                                     | 6,6   | 6,5   | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 95137 | 121,9            | 0,100  | 0,100  | Подземная канальная         | 21,76                                    | -21,71                                   | 1,82                                     | 1,82                                     | 13,6  | 13,5  | 0,8                                     | -0,8                                    |
| 95138 | 94,1             | 0,082  | 0,082  | Подземная канальная         | 9,55                                     | -9,53                                    | 0,79                                     | 0,79                                     | 7,6   | 7,6   | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95139 | 30,5             | 0,069  | 0,069  | Подземная канальная         | 5,73                                     | -5,72                                    | 0,23                                     | 0,23                                     | 7,0   | 6,9   | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 95141 | 24,9             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,92                                     | -0,92                                    | 0,27                                     | 0,27                                     | 9,8   | 9,7   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95142 | 64,3             | 0,069  | 0,069  | Подземная канальная         | 4,27                                     | -4,26                                    | 0,28                                     | 0,27                                     | 3,9   | 3,9   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95144 | 65,4             | 0,050  | 0,050  | Подземная канальная         | 2,60                                     | -2,59                                    | 0,59                                     | 0,58                                     | 8,2   | 8,1   | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 95146 | 74,3             | 0,050  | 0,050  | Подземная канальная         | 0,92                                     | -0,91                                    | 0,09                                     | 0,08                                     | 1,0   | 1,0   | 0,1                                     | -0,1                                    |
| 95148 | 29,0             | 0,040  | 0,040  | Подземная канальная         | 1,68                                     | -1,68                                    | 0,37                                     | 0,36                                     | 11,5  | 11,4  | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 95150 | 4,4              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,90                                     | -0,90                                    | 0,05                                     | 0,05                                     | 9,4   | 9,4   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95152 | 6,7              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,78                                     | -0,78                                    | 0,05                                     | 0,05                                     | 7,1   | 7,1   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95153 | 31,5             | 0,040  | 0,040  | Подземная канальная         | 1,68                                     | -1,67                                    | 0,40                                     | 0,39                                     | 11,4  | 11,4  | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 95155 | 6,7              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,63                                     | -0,63                                    | 0,03                                     | 0,03                                     | 4,6   | 4,6   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95157 | 4,6              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 1,05                                     | -1,05                                    | 0,06                                     | 0,06                                     | 12,7  | 12,7  | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95158 | 36,9             | 0,040  | 0,040  | Подземная канальная         | 1,46                                     | -1,45                                    | 0,35                                     | 0,35                                     | 8,6   | 8,6   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95160 | 5,4              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,73                                     | -0,73                                    | 0,04                                     | 0,04                                     | 6,2   | 6,2   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95162 | 5,4              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,73                                     | -0,73                                    | 0,04                                     | 0,04                                     | 6,2   | 6,1   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95164 | 36,0             | 0,082  | 0,082  | Подземная канальная         | 12,20                                    | -12,18                                   | 0,49                                     | 0,49                                     | 12,4  | 12,4  | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 95165 | 31,6             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,79                                     | -0,79                                    | 0,25                                     | 0,25                                     | 7,2   | 7,2   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95167 | 4,0              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,79                                     | -0,79                                    | 0,03                                     | 0,03                                     | 7,2   | 7,2   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95169 | 15,0             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,96                                     | -0,95                                    | 0,17                                     | 0,17                                     | 10,6  | 10,5  | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95170 | 2,5              | 0,082  | 0,082  | Подземная канальная         | 10,52                                    | -10,50                                   | 0,03                                     | 0,03                                     | 9,2   | 9,2   | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 95172 | 67,6             | 0,069  | 0,069  | Подземная канальная         | 6,70                                     | -6,69                                    | 0,61                                     | 0,61                                     | 8,2   | 8,2   | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95174 | 7,4              | 0,069  | 0,069  | Подземная канальная         | 5,83                                     | -5,82                                    | 0,05                                     | 0,05                                     | 6,2   | 6,2   | 0,4                                     | -0,4                                    |

Продолжение таблицы 8

| Sys   | Длина участка, м | Внутренний диаметр подающего трубопровода, м | Внутренний диаметр обратного трубопровода, м | Вид прокладки тепловой сети | Расход воды в подающем трубопроводе, т/ч | Расход воды в обратном трубопроводе, т/ч | Потери напора в подающем трубопроводе, м | Потери напора в обратном трубопроводе, м | Удельные линейные потери напора в под-тр-де, мм/м | Удельные линейные потери напора в обр-тр-де, мм/м | Скорость движения воды в под-тр-де, м/с | Скорость движения воды в обр-тр-де, м/с |
|-------|------------------|--|--|-----------------------------|--|--|--|--|---|---|---|---|
| 95176 | 27,6             | 0,040  | 0,040  | Подземная канальная         | 1,61                                     | -1,61                                    | 0,32                                     | 0,32                                     | 10,5  | 10,5  | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 95178 | 7,5              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,65                                     | -0,65                                    | 0,04                                     | 0,04                                     | 5,0   | 5,0   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95181 | 8,0              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,80                                     | -0,79                                    | 0,07                                     | 0,07                                     | 7,4   | 7,3   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95183 | 24,6             | 0,040  | 0,040  | Подвальная                  | 0,87                                     | -0,87                                    | 0,08                                     | 0,08                                     | 3,1   | 3,1   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95185 | 47,4             | 0,050  | 0,050  | Подвальная                  | 2,64                                     | -2,63                                    | 0,38                                     | 0,37                                     | 7,2   | 7,2   | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 95186 | 26,2             | 0,040  | 0,040  | Подземная канальная         | 0,83                                     | -0,83                                    | 0,08                                     | 0,08                                     | 2,8   | 2,8   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95188 | 5,6              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,45                                     | -0,45                                    | 0,02                                     | 0,02                                     | 2,4   | 2,4   | 0,2                                     | -0,1                                    |
| 95190 | 9,0              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,38                                     | -0,38                                    | 0,02                                     | 0,02                                     | 1,7   | 1,7   | 0,1                                     | -0,1                                    |
| 95191 | 25,4             | 0,082  | 0,082  | Подземная канальная         | 1,51                                     | -1,51                                    | 0,01                                     | 0,01                                     | 0,2   | 0,2   | 0,1                                     | -0,1                                    |
| 95193 | 11,9             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,70                                     | -0,70                                    | 0,08                                     | 0,08                                     | 5,7   | 5,7   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95195 | 7,0              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,81                                     | -0,81                                    | 0,06                                     | 0,06                                     | 7,6   | 7,6   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95196 | 27,0             | 0,082  | 0,082  | Подземная канальная         | 1,68                                     | -1,68                                    | 0,01                                     | 0,01                                     | 0,2   | 0,2   | 0,1                                     | -0,1                                    |
| 95198 | 7,3              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,89                                     | -0,89                                    | 0,07                                     | 0,07                                     | 9,2   | 9,2   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95200 | 8,3              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,79                                     | -0,79                                    | 0,07                                     | 0,07                                     | 7,3   | 7,3   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95201 | 33,1             | 0,040  | 0,040  | Подземная канальная         | 1,47                                     | -1,47                                    | 0,32                                     | 0,32                                     | 8,8   | 8,8   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95203 | 5,4              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,74                                     | -0,74                                    | 0,04                                     | 0,04                                     | 6,3   | 6,3   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95205 | 5,0              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,73                                     | -0,73                                    | 0,04                                     | 0,04                                     | 6,3   | 6,3   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95206 | 40,4             | 0,082  | 0,082  | Подземная канальная         | 9,55                                     | -9,53                                    | 0,34                                     | 0,34                                     | 7,6   | 7,6   | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95208 | 15,7             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,90                                     | -0,90                                    | 0,14                                     | 0,14                                     | 7,9   | 7,9   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95209 | 31,5             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,90                                     | -0,90                                    | 0,27                                     | 0,27                                     | 7,9   | 7,9   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95211 | 71,8             | 0,050  | 0,050  | Подземная канальная         | 3,73                                     | -3,72                                    | 1,13                                     | 1,13                                     | 14,3  | 14,3  | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95213 | 14,0             | 0,050  | 0,050  | Подземная канальная         | 5,04                                     | -5,03                                    | 0,40                                     | 0,40                                     | 26,1  | 26,0  | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 95215 | 67,8             | 0,069  | 0,069  | Подземная канальная         | 6,62                                     | -6,60                                    | 0,60                                     | 0,59                                     | 8,0   | 8,0   | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95217 | 27,3             | 0,040  | 0,040  | Подземная канальная         | 1,24                                     | -1,24                                    | 0,19                                     | 0,19                                     | 6,2   | 6,2   | 0,3                                     | -0,3                                    |

Продолжение таблицы 8

| Sys    | Длина участка, м | Внутренний диаметр подающего трубопровода, м | Внутренний диаметр обратного трубопровода, м | Вид прокладки тепловой сети | Расход воды в подающем трубопроводе, т/ч | Расход воды в обратном трубопроводе, т/ч | Потери напора в подающем трубопроводе, м | Потери напора в обратном трубопроводе, м | Удельные линейные потери напора в под.тр-де, мм/м | Удельные линейные потери напора в обр.тр-де, мм/м | Скорость движения воды в под.тр-де, м/с | Скорость движения воды в обр.тр-де, м/с |
|--------|------------------|--|--|-----------------------------|--|--|--|--|---|---|---|---|
| 95219  | 12,5             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,73                                     | -0,72                                    | 0,08                                     | 0,08                                     | 6,1   | 6,1   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95221  | 10,6             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,51                                     | -0,51                                    | 0,04                                     | 0,04                                     | 3,1   | 3,1   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95222  | 19,6             | 0,040  | 0,040  | Подземная канальная         | 1,59                                     | -1,59                                    | 0,22                                     | 0,22                                     | 10,3  | 10,3  | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 95224  | 10,5             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,73                                     | -0,73                                    | 0,07                                     | 0,07                                     | 6,3   | 6,3   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95226  | 11,5             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,86                                     | -0,86                                    | 0,11                                     | 0,11                                     | 8,6   | 8,6   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95227  | 35,7             | 0,040  | 0,040  | Подземная канальная         | 1,31                                     | -1,30                                    | 0,27                                     | 0,27                                     | 7,0   | 6,9   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95229  | 2,4              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,71                                     | -0,71                                    | 0,02                                     | 0,02                                     | 5,8   | 5,8   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95231  | 10,8             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,60                                     | -0,60                                    | 0,05                                     | 0,05                                     | 4,2   | 4,2   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95232  | 20,0             | 0,040  | 0,040  | Подземная канальная         | 1,58                                     | -1,58                                    | 0,22                                     | 0,22                                     | 10,1  | 10,1  | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 95234  | 17,1             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,86                                     | -0,86                                    | 0,16                                     | 0,16                                     | 8,6   | 8,6   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95236  | 4,5              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,72                                     | -0,72                                    | 0,03                                     | 0,03                                     | 6,0   | 6,0   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95237  | 23,5             | 0,040  | 0,040  | Подземная канальная         | 1,58                                     | -1,58                                    | 0,26                                     | 0,26                                     | 10,2  | 10,2  | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 95239  | 6,7              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,71                                     | -0,70                                    | 0,04                                     | 0,04                                     | 5,8   | 5,8   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95241  | 6,1              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,88                                     | -0,88                                    | 0,06                                     | 0,06                                     | 8,9   | 8,9   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95242  | 28,9             | 0,040  | 0,040  | Подземная канальная         | 1,35                                     | -1,35                                    | 0,24                                     | 0,24                                     | 7,4   | 7,4   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95244  | 5,3              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,70                                     | -0,70                                    | 0,03                                     | 0,03                                     | 5,8   | 5,8   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95246  | 9,4              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,65                                     | -0,65                                    | 0,05                                     | 0,05                                     | 4,9   | 4,9   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 180194 | 7,2              | 0,050  | 0,050  | Подвальная                  | 4,99                                     | -4,99                                    | 0,24                                     | 0,24                                     | 30,0  | 29,9  | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 180196 | 13,5             | 0,040  | 0,040  | Подвальная                  | 1,02                                     | -1,02                                    | 0,05                                     | 0,05                                     | 3,6   | 3,6   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 180197 | 12,9             | 0,040  | 0,040  | Подвальная                  | 0,52                                     | -0,52                                    | 0,01                                     | 0,01                                     | 1,0   | 1,0   | 0,1                                     | -0,1                                    |
| 180202 | 6,5              | 0,050  | 0,050  | Подвальная                  | 3,90                                     | -3,89                                    | 0,13                                     | 0,13                                     | 18,3  | 18,3  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 180204 | 10,6             | 0,040  | 0,040  | Подвальная                  | 2,00                                     | -2,00                                    | 0,16                                     | 0,16                                     | 13,7  | 13,7  | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 180206 | 9,1              | 0,040  | 0,040  | Подвальная                  | 1,51                                     | -1,51                                    | 0,08                                     | 0,08                                     | 7,9   | 7,9   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 180209 | 7,2              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 6,08                                     | -6,07                                    | 0,06                                     | 0,06                                     | 7,8   | 7,8   | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 180211 | 8,7              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 6,44                                     | -6,43                                    | 0,08                                     | 0,08                                     | 8,8   | 8,8   | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 180213 | 7,6              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 6,80                                     | -6,79                                    | 0,08                                     | 0,08                                     | 9,8   | 9,8   | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 180215 | 7,7              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 7,16                                     | -7,15                                    | 0,09                                     | 0,09                                     | 10,9  | 10,8  | 0,5                                     | -0,5                                    |

Окончание таблицы 8

| Sys    | Длина участка, м | Внутренний диаметр подающего трубопровода, м | Внутренний диаметр обратного трубопровода, м | Вид прокладки тепловой сети | Расход воды в подающем трубопроводе, т/ч | Расход воды в обратном трубопроводе, т/ч | Потери напора в подающем трубопроводе, м | Потери напора в обратном трубопроводе, м | Удельные линейные потери напора в под-тр-де, мм/м | Удельные линейные потери напора в обр-тр-де, мм/м | Скорость движения воды в под-тр-де, м/с | Скорость движения воды в обр-тр-де, м/с |
|--------|------------------|--|--|-----------------------------|--|--|--|--|---|---|---|---|
| 180217 | 8,9              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 7,48                                     | -7,47                                    | 0,12                                     | 0,12                                     | 11,8  | 11,8  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 180219 | 8,5              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 7,80                                     | -7,79                                    | 0,12                                     | 0,12                                     | 12,9  | 12,8  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 180221 | 9,4              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 8,12                                     | -8,10                                    | 0,14                                     | 0,14                                     | 13,9  | 13,9  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 180223 | 8,6              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 8,44                                     | -8,42                                    | 0,14                                     | 0,14                                     | 15,1  | 15,0  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 180225 | 9,4              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 8,75                                     | -8,74                                    | 0,17                                     | 0,17                                     | 16,2  | 16,1  | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 180227 | 7,9              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 9,07                                     | -9,05                                    | 0,15                                     | 0,15                                     | 17,4  | 17,3  | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 180229 | 7,0              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 9,38                                     | -9,36                                    | 0,14                                     | 0,14                                     | 18,6  | 18,5  | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 180255 | 7,3              | 0,050  | 0,050  | Подвальная                  | 4,63                                     | -4,62                                    | 0,21                                     | 0,21                                     | 25,8  | 25,7  | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 180256 | 23,3             | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 5,72                                     | -5,71                                    | 0,18                                     | 0,18                                     | 6,9   | 6,9   | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 180257 | 7,4              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 5,36                                     | -5,35                                    | 0,05                                     | 0,05                                     | 6,1   | 6,1   | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 180285 | 7,8              | 0,050  | 0,050  | Подвальная                  | 4,26                                     | -4,26                                    | 0,19                                     | 0,19                                     | 21,9  | 21,8  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 180286 | 8,2              | 0,050  | 0,050  | Подвальная                  | 3,43                                     | -3,42                                    | 0,13                                     | 0,13                                     | 14,2  | 14,2  | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 180288 | 11,0             | 0,050  | 0,050  | Подвальная                  | 2,96                                     | -2,95                                    | 0,13                                     | 0,13                                     | 10,6  | 10,5  | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 180289 | 10,8             | 0,040  | 0,040  | Подвальная                  | 2,48                                     | -2,48                                    | 0,25                                     | 0,25                                     | 21,1  | 21,1  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 180376 | 62,5             | 0,069  | 0,069  | Подземная канальная         | 9,69                                     | -9,67                                    | 1,36                                     | 1,36                                     | 19,8  | 19,8  | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 180383 | 66,6             | 0,069  | 0,069  | Подземная канальная         | 9,05                                     | -9,03                                    | 1,27                                     | 1,26                                     | 17,3  | 17,2  | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 180385 | 8,2              | 0,069  | 0,069  | Подземная канальная         | 7,53                                     | -7,52                                    | 0,11                                     | 0,11                                     | 12,0  | 12,0  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 180387 | 25,3             | 0,050  | 0,050  | Подземная канальная         | 4,22                                     | -4,21                                    | 0,51                                     | 0,51                                     | 18,3  | 18,2  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 192162 | 87,2             | 0,125  | 0,125  | Подземная канальная         | 38,87                                    | -38,76                                   | 0,48                                     | 0,47                                     | 5,0   | 4,9   | 0,6                                     | -0,6                                    |

Были построены пьезометрические графики тепловой сети (рисунок 20-23). Для удобства тепловая сеть была разделена на тупиковые направления.

Пьезометрический график представляет собой графическое изображение напоров в тепловой сети относительно местности, на которой она проложена.

Таким образом, расчетный располагаемый напор на выходе из КРП равен 23 м, к самым отдаленным потребителям приходит 9-17 м.

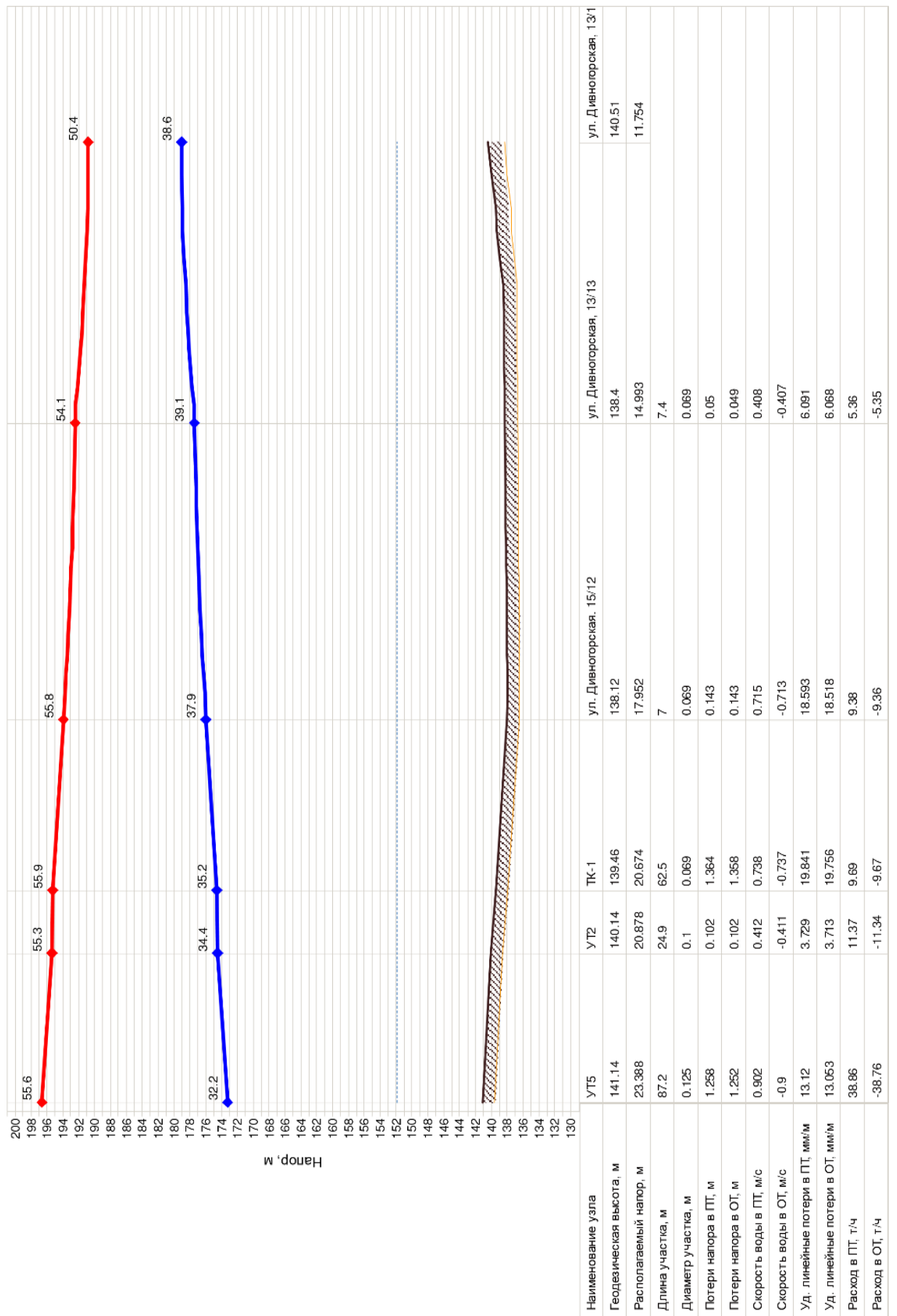


Рисунок 20 – Пьезометрический график по направлению №1

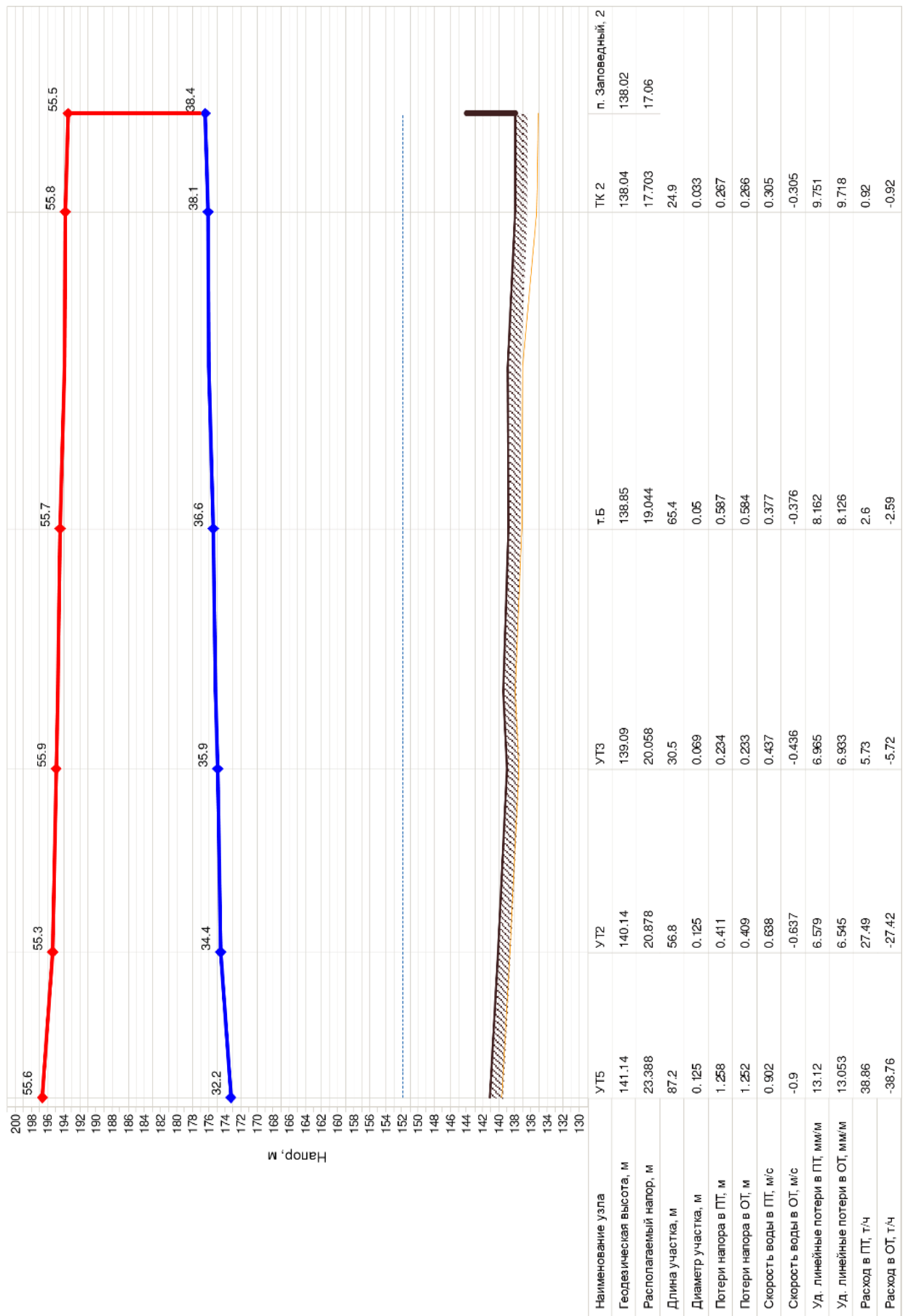


Рисунок 21 – Пьезометрический график по направлению №2

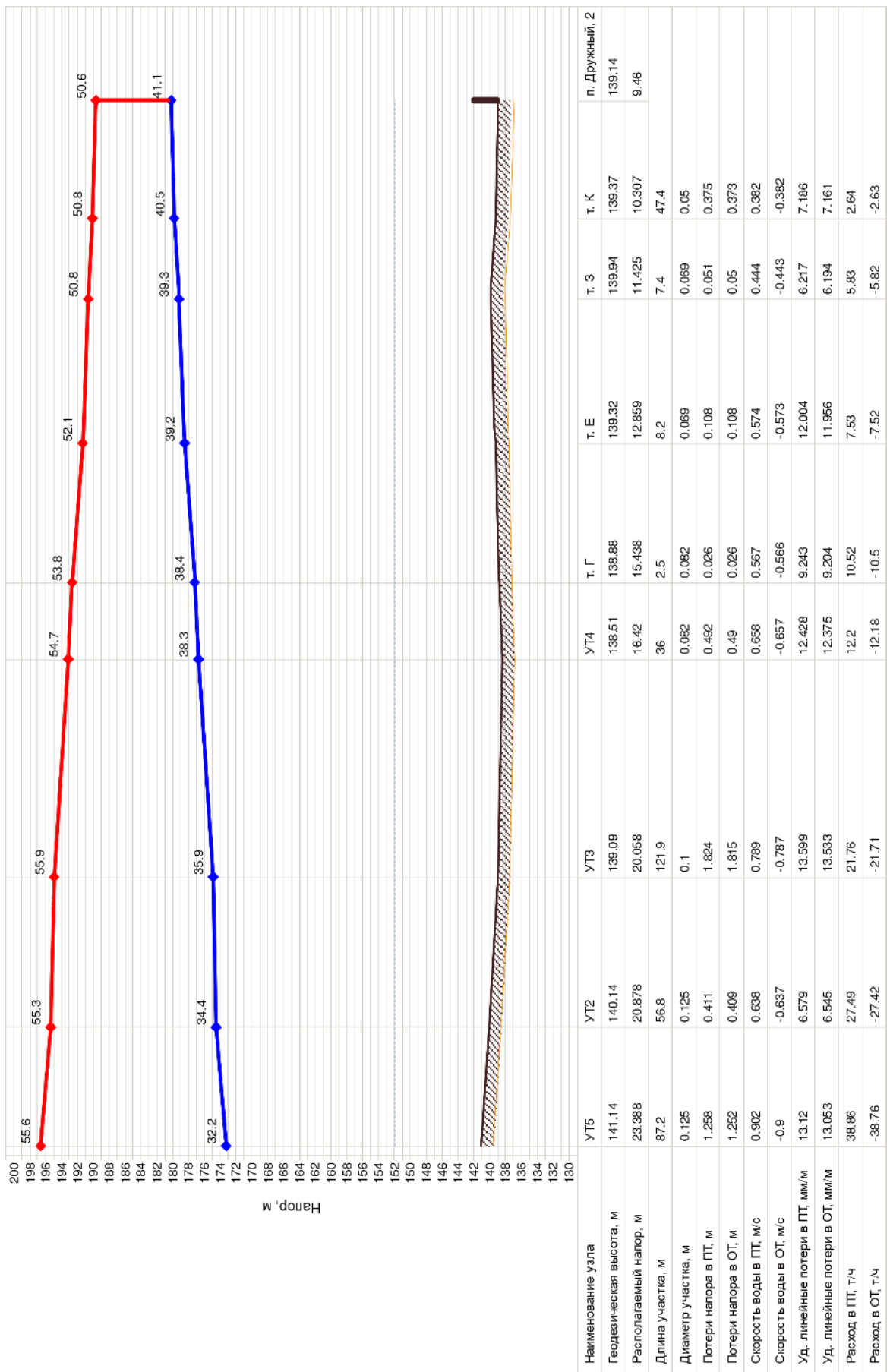


Рисунок 22 – Пьезометрический график по направлению №3



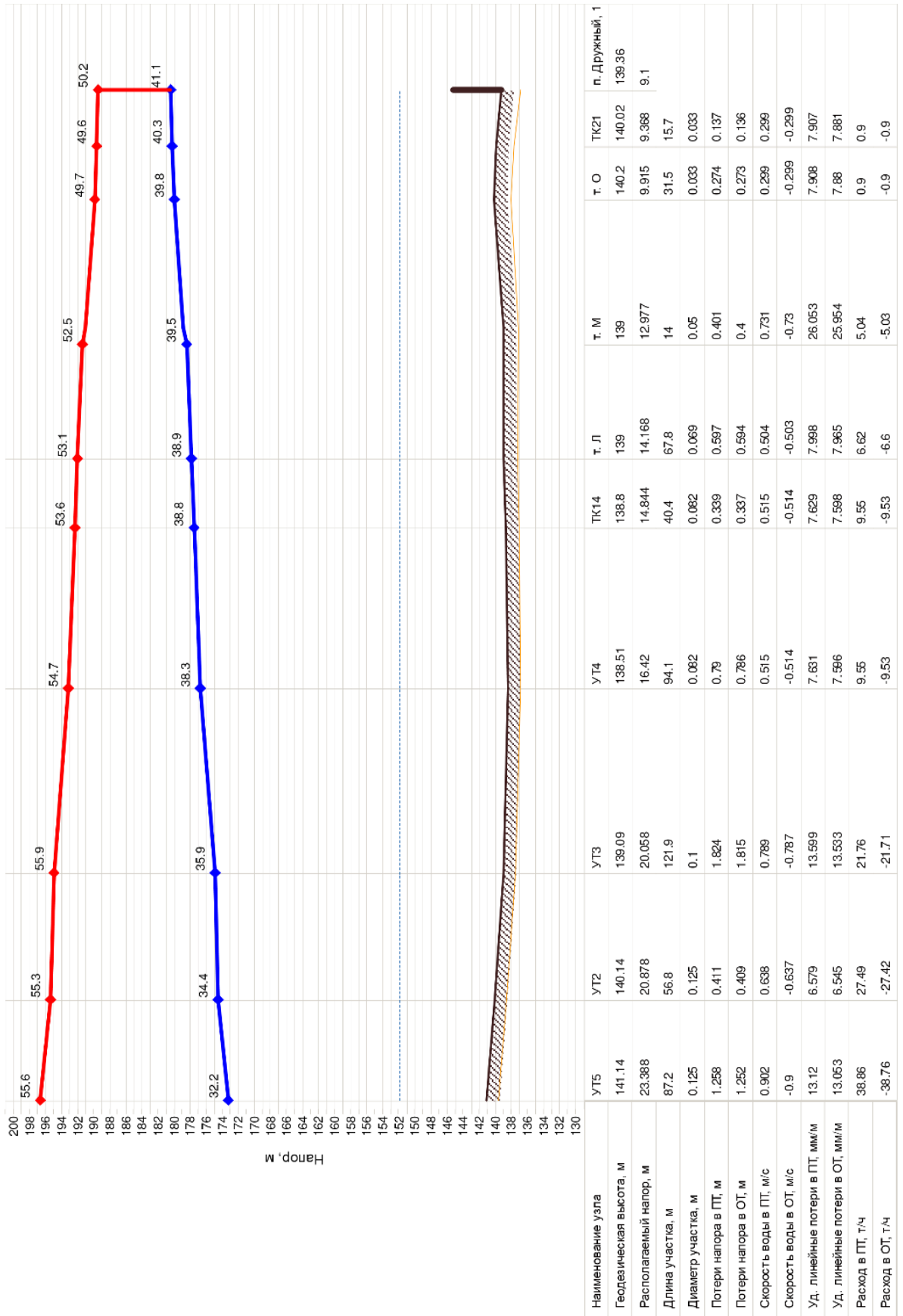


Рисунок 23 – Пьезометрический график по направлению №4

### 3.3 РАСЧЕТ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

По приведенной методике экономического расчета (в главе 2) была рассчитана стоимость мероприятий, необходимых для реализации теплоснабжения поселка. При этом учитывалась стоимость насосов: 1 шт. - 87470 рублей.

В таблице 9 приведены расчетные данные затрат.

Таблица 9 – Расчет стоимости наружной системы теплоснабжения поселка в однострубно́м исполнении

| № участка | Ду, м | l, м | ФЕР,<br>тыс. руб. | $\frac{мм}{м}$<br>R, | q <sub>т</sub> , Вт/м | Σ Z <sub>к</sub> ,<br>тыс.руб. | Σ Z <sub>тп</sub> ,<br>тыс. руб | Σ Z <sub>ээ</sub> ,<br>тыс.руб. | Σ Z <sub>э</sub> ,<br>тыс. руб. | Z <sub>Σ</sub> , тыс. руб. |
|-----------|-------|------|-------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 1         | 0,125 | 87,7 | 106,287           | 2,81                 | 39                    | 212,574                        | 883,218                         | 356,01                          | 1239,22                         | 1451,8                     |
| 2         | 0,1   | 24,9 | 26,249            | 0,25                 | 34                    | 52,497                         | 218,616                         | 9,305                           | 227,921                         | 280,418                    |
| 3         | 0,07  | 0,5  | 0,262             | 0,01                 | 29                    | 0,525                          | 3,744                           | 0,038                           | 3,782                           | 4,307                      |
| 4         | 0,07  | 62,5 | 48,202            | 2,48                 | 29                    | 96,404                         | 468,039                         | 78,752                          | 546,790                         | 643,194                    |
| 5         | 0,07  | 90,9 | 47,684            | 3,32                 | 29                    | 95,367                         | 680,716                         | 101,916                         | 782,631                         | 877,998                    |
| 6         | 0,07  | 7,0  | 3,672             | 0,34                 | 29                    | 7,344                          | 52,420                          | 10,000                          | 62,420                          | 69,764                     |
| 7         | 0,07  | 7,9  | 4,123             | 0,34                 | 29                    | 8,246                          | 58,861                          | 9,708                           | 68,569                          | 76,815                     |
| 8         | 0,07  | 9,4  | 4,931             | 0,36                 | 29                    | 9,862                          | 70,393                          | 9,858                           | 80,251                          | 90,113                     |
| 9         | 0,07  | 8,6  | 4,511             | 0,31                 | 29                    | 9,023                          | 64,402                          | 8,196                           | 72,598                          | 81,620                     |
| 10        | 0,07  | 9,4  | 4,931             | 0,30                 | 29                    | 9,862                          | 70,393                          | 7,724                           | 78,117                          | 87,979                     |
| 11        | 0,07  | 8,5  | 4,459             | 0,26                 | 29                    | 8,918                          | 63,653                          | 6,301                           | 69,955                          | 78,872                     |
| 12        | 0,07  | 8,9  | 4,669             | 0,25                 | 29                    | 9,337                          | 66,649                          | 5,694                           | 72,342                          | 81,680                     |
| 13        | 0,07  | 7,7  | 4,039             | 0,20                 | 29                    | 8,078                          | 57,662                          | 4,373                           | 62,035                          | 70,114                     |
| 14        | 0,07  | 7,6  | 3,987             | 0,18                 | 29                    | 7,973                          | 56,914                          | 3,662                           | 60,576                          | 68,549                     |
| 15        | 0,07  | 7,2  | 3,777             | 0,15                 | 29                    | 7,554                          | 53,918                          | 2,949                           | 56,867                          | 64,421                     |
| 16        | 0,07  | 23,3 | 12,223            | 0,35                 | 29                    | 24,445                         | 174,485                         | 6,395                           | 180,880                         | 205,325                    |
| 17        | 0,07  | 7,4  | 3,882             | 0,16                 | 29                    | 7,764                          | 55,416                          | 3,245                           | 58,660                          | 66,424                     |
| 18        | 0,05  | 7,2  | 3,295             | 0,52                 | 25                    | 6,589                          | 46,481                          | 8,330                           | 54,811                          | 61,401                     |
| 19        | 0,05  | 7,3  | 3,340             | 0,45                 | 25                    | 6,681                          | 47,127                          | 6,651                           | 53,778                          | 60,459                     |
| 20        | 0,05  | 7,6  | 3,478             | 0,39                 | 25                    | 6,955                          | 49,063                          | 5,322                           | 54,386                          | 61,341                     |
| 21        | 0,05  | 6,5  | 2,974             | 0,29                 | 25                    | 5,949                          | 41,962                          | 3,583                           | 45,545                          | 51,494                     |
| 22        | 0,05  | 8,2  | 3,752             | 0,28                 | 25                    | 7,504                          | 52,937                          | 3,039                           | 55,975                          | 63,480                     |
| 23        | 0,05  | 11,0 | 5,033             | 0,25                 | 25                    | 10,067                         | 71,013                          | 2,311                           | 73,324                          | 83,391                     |
| 24        | 0,04  | 10,8 | 4,238             | 0,53                 | 22                    | 8,476                          | 61,355                          | 4,102                           | 65,457                          | 73,933                     |
| 25        | 0,04  | 10,6 | 4,159             | 0,33                 | 22                    | 8,319                          | 60,219                          | 2,074                           | 62,293                          | 70,612                     |
| 26        | 0,04  | 9,1  | 3,571             | 0,17                 | 22                    | 7,142                          | 51,697                          | 0,776                           | 52,473                          | 59,615                     |

Продолжение таблицы 9

| № участка | Dy, м | L, м  | ФЕР, тыс.руб | R, $\frac{мм}{м}$ | q <sub>п</sub> , Вт/м | ΣЗ <sub>к</sub> , тыс.руб. | ΣЗ <sub>гп</sub> , тыс. руб. | ΣЗ <sub>гэ</sub> , тыс.руб. | ΣЗ <sub>э</sub> , тыс. руб. | З <sub>Σ</sub> , тыс. руб. |
|-----------|-------|-------|--------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 27        | 0,04  | 13,5  | 5,297        | 0,11              | 22                    | 10,595                     | 76,694                       | 0,331                       | 77,025                      | 87,620                     |
| 28        | 0,04  | 12,9  | 5,062        | 0,03              | 22                    | 10,124                     | 73,285                       | 0,042                       | 73,327                      | 83,451                     |
| 29        | 0,125 | 56,8  | 68,838       | 0,90              | 39                    | 137,676                    | 572,027                      | 79,954                      | 651,981                     | 789,657                    |
| 30        | 0,07  | 30,5  | 23,523       | 0,41              | 29                    | 47,045                     | 228,403                      | 7,471                       | 235,874                     | 282,919                    |
| 31        | 0,04  | 36,9  | 18,410       | 0,63              | 22                    | 36,821                     | 209,630                      | 3,003                       | 212,633                     | 249,453                    |
| 32        | 0,032 | 5,4   | 1,418        | 0,09              | 21                    | 2,836                      | 29,283                       | 0,208                       | 29,491                      | 32,326                     |
| 33        | 0,032 | 5,4   | 1,418        | 0,09              | 21                    | 2,836                      | 29,283                       | 0,210                       | 29,493                      | 32,328                     |
| 34        | 0,07  | 64,3  | 49,590       | 0,45              | 29                    | 99,180                     | 481,518                      | 5,940                       | 487,459                     | 586,639                    |
| 35        | 0,04  | 31,5  | 15,716       | 0,66              | 22                    | 31,432                     | 178,952                      | 3,520                       | 182,473                     | 213,905                    |
| 36        | 0,032 | 4,6   | 1,208        | 0,15              | 21                    | 2,416                      | 24,945                       | 0,504                       | 25,448                      | 27,864                     |
| 37        | 0,032 | 11,3  | 4,510        | 0,11              | 21                    | 9,021                      | 61,278                       | 0,216                       | 61,493                      | 70,514                     |
| 38        | 0,05  | 65,4  | 40,787       | 0,94              | 25                    | 81,574                     | 422,203                      | 7,489                       | 429,693                     | 511,267                    |
| 39        | 0,04  | 29,0  | 14,469       | 0,58              | 22                    | 28,938                     | 164,750                      | 2,967                       | 167,716                     | 196,654                    |
| 40        | 0,032 | 6,7   | 1,759        | 0,10              | 21                    | 3,518                      | 36,333                       | 0,248                       | 36,581                      | 40,099                     |
| 41        | 0,032 | 4,4   | 0,951        | 0,10              | 21                    | 1,902                      | 23,860                       | 0,271                       | 24,131                      | 26,033                     |
| 42        | 0,05  | 74,3  | 46,338       | 0,13              | 25                    | 92,675                     | 479,659                      | 0,376                       | 480,035                     | 572,711                    |
| 43        | 0,032 | 24,9  | 9,939        | 0,47              | 21                    | 19,877                     | 135,028                      | 1,329                       | 136,356                     | 156,233                    |
| 44        | 0,1   | 121,9 | 128,523      | 3,67              | 34                    | 257,047                    | 1070,428                     | 260,914                     | 1331,343                    | 1588,390                   |
| 45        | 0,08  | 36,0  | 31,659       | 1,07              | 31                    | 63,319                     | 288,183                      | 40,961                      | 329,144                     | 392,463                    |
| 46        | 0,08  | 27,0  | 23,745       | 0,02              | 31                    | 47,489                     | 216,137                      | 0,094                       | 216,231                     | 263,720                    |
| 47        | 0,032 | 8,3   | 2,179        | 0,14              | 21                    | 4,358                      | 45,009                       | 0,366                       | 45,376                      | 49,734                     |
| 48        | 0,032 | 7,3   | 1,917        | 0,16              | 21                    | 3,833                      | 39,586                       | 0,468                       | 40,055                      | 43,888                     |
| 49        | 0,08  | 2,5   | 2,199        | 0,13              | 31                    | 4,397                      | 20,013                       | 4,120                       | 24,133                      | 28,530                     |
| 50        | 0,04  | 33,1  | 16,514       | 0,56              | 22                    | 33,029                     | 188,042                      | 2,682                       | 190,724                     | 223,753                    |
| 51        | 0,032 | 5,0   | 1,996        | 0,08              | 21                    | 3,991                      | 27,114                       | 0,195                       | 27,309                      | 31,301                     |
| 52        | 0,032 | 5,4   | 2,155        | 0,09              | 21                    | 4,311                      | 29,283                       | 0,206                       | 29,489                      | 33,800                     |
| 53        | 0,07  | 66,6  | 51,348       | 2,03              | 29                    | 102,697                    | 498,592                      | 56,681                      | 555,273                     | 657,970                    |
| 54        | 0,08  | 25,4  | 22,329       | 0,01              | 31                    | 44,657                     | 203,249                      | 0,058                       | 203,307                     | 247,964                    |
| 55        | 0,032 | 7,0   | 1,838        | 0,12              | 21                    | 3,676                      | 37,960                       | 0,316                       | 38,276                      | 41,952                     |
| 56        | 0,032 | 11,9  | 4,750        | 0,14              | 21                    | 9,500                      | 64,531                       | 0,299                       | 64,830                      | 74,329                     |
| 57        | 0,07  | 8,2   | 7,211        | 0,23              | 31                    | 14,423                     | 65,642                       | 5,346                       | 70,987                      | 85,410                     |
| 58        | 0,04  | 26,2  | 13,072       | 0,13              | 22                    | 26,144                     | 148,843                      | 0,327                       | 149,170                     | 175,313                    |
| 59        | 0,032 | 9,0   | 3,592        | 0,03              | 21                    | 7,185                      | 48,805                       | 0,038                       | 48,843                      | 56,027                     |
| 60        | 0,032 | 5,6   | 2,235        | 0,03              | 21                    | 4,470                      | 30,368                       | 0,041                       | 30,409                      | 34,879                     |
| 61        | 0,07  | 67,6  | 52,135       | 1,13              | 29                    | 104,270                    | 506,231                      | 23,298                      | 529,529                     | 633,799                    |
| 62        | 0,04  | 24,6  | 9,653        | 0,13              | 22                    | 19,306                     | 139,753                      | 0,362                       | 140,115                     | 159,421                    |

Продолжение таблицы 9

| № участка | Dy, м | L, м | ФЕР, тыс.руб | $R, \frac{мм}{м}$ | q <sub>г</sub> , Вт/м | ΣZ <sub>к</sub> , тыс.руб. | ΣZ <sub>гп</sub> , тыс. руб. | ΣZ <sub>гэ</sub> , тыс.руб. | ΣZ <sub>э</sub> , тыс. руб. | Z <sub>Σ</sub> , тыс. руб. |
|-----------|-------|------|--------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 63        | 0,07  | 7,4  | 5,707        | 0,13              | 29                    | 11,414                     | 55,416                       | 2,309                       | 57,725                      | 69,139                     |
| 64        | 0,04  | 7,5  | 3,742        | 0,16              | 22                    | 7,484                      | 42,608                       | 0,779                       | 43,386                      | 50,870                     |
| 65        | 0,032 | 15,0 | 3,243        | 0,15              | 21                    | 6,485                      | 81,342                       | 0,302                       | 81,644                      | 88,129                     |
| 66        | 0,032 | 22,5 | 5,908        | 0,47              | 21                    | 11,815                     | 122,013                      | 1,364                       | 123,377                     | 135,192                    |
| 67        | 0,05  | 25,3 | 15,778       | 1,02              | 25                    | 31,557                     | 163,329                      | 13,207                      | 176,536                     | 208,093                    |
| 68        | 0,032 | 8,0  | 3,193        | 0,13              | 21                    | 6,386                      | 43,382                       | 0,319                       | 43,702                      | 50,088                     |
| 69        | 0,032 | 31,6 | 12,613       | 0,44              | 21                    | 25,226                     | 171,360                      | 1,058                       | 172,418                     | 197,644                    |
| 70        | 0,032 | 4,0  | 1,597        | 0,07              | 21                    | 3,193                      | 21,691                       | 0,168                       | 21,860                      | 25,053                     |
| 71        | 0,05  | 47,4 | 21,681       | 0,72              | 25                    | 43,361                     | 305,871                      | 5,868                       | 311,739                     | 355,101                    |
| 72        | 0,08  | 94,1 | 82,754       | 1,96              | 31                    | 165,508                    | 753,278                      | 64,454                      | 817,731                     | 983,239                    |
| 73        | 0,08  | 40,4 | 35,529       | 0,89              | 31                    | 71,058                     | 323,405                      | 29,124                      | 352,529                     | 423,587                    |
| 74        | 0,04  | 23,5 | 11,725       | 0,56              | 22                    | 23,449                     | 133,504                      | 3,121                       | 136,625                     | 160,075                    |
| 75        | 0,032 | 6,1  | 2,435        | 0,16              | 21                    | 4,869                      | 33,079                       | 0,504                       | 33,583                      | 38,453                     |
| 76        | 0,032 | 6,7  | 2,674        | 0,11              | 21                    | 5,348                      | 36,333                       | 0,279                       | 36,612                      | 41,961                     |
| 77        | 0,04  | 28,9 | 14,424       | 0,47              | 22                    | 28,848                     | 164,238                      | 2,188                       | 166,427                     | 195,275                    |
| 78        | 0,032 | 9,4  | 2,032        | 0,12              | 21                    | 4,064                      | 50,974                       | 0,270                       | 51,244                      | 55,308                     |
| 79        | 0,032 | 5,3  | 1,392        | 0,09              | 21                    | 2,783                      | 28,741                       | 0,214                       | 28,955                      | 31,738                     |
| 80        | 0,07  | 67,8 | 52,305       | 1,36              | 29                    | 104,610                    | 507,878                      | 30,669                      | 538,547                     | 643,156                    |
| 81        | 0,04  | 20,0 | 12,473       | 0,45              | 25                    | 24,946                     | 129,114                      | 2,434                       | 131,548                     | 156,495                    |
| 82        | 0,032 | 4,5  | 0,973        | 0,08              | 21                    | 1,946                      | 24,403                       | 0,202                       | 24,604                      | 26,550                     |
| 83        | 0,032 | 17,1 | 6,825        | 0,36              | 21                    | 13,651                     | 92,730                       | 1,054                       | 93,783                      | 107,434                    |
| 84        | 0,05  | 14,0 | 8,731        | 1,04              | 22                    | 17,462                     | 79,534                       | 17,879                      | 97,414                      | 114,876                    |
| 85        | 0,04  | 35,7 | 17,802       | 0,52              | 22                    | 35,603                     | 202,699                      | 2,335                       | 205,034                     | 240,637                    |
| 86        | 0,032 | 10,8 | 2,335        | 0,11              | 21                    | 4,669                      | 58,566                       | 0,234                       | 58,800                      | 63,469                     |
| 87        | 0,032 | 2,4  | 0,630        | 0,05              | 21                    | 1,260                      | 13,015                       | 0,117                       | 13,132                      | 14,392                     |
| 88        | 0,05  | 71,8 | 44,803       | 2,62              | 25                    | 89,607                     | 463,778                      | 33,295                      | 497,073                     | 586,680                    |
| 89        | 0,04  | 19,6 | 9,794        | 0,44              | 22                    | 19,588                     | 111,518                      | 2,412                       | 113,931                     | 133,518                    |
| 90        | 0,032 | 11,5 | 3,019        | 0,25              | 21                    | 6,039                      | 62,362                       | 0,732                       | 63,094                      | 69,133                     |
| 91        | 0,032 | 10,5 | 2,757        | 0,17              | 21                    | 5,514                      | 56,939                       | 0,421                       | 57,360                      | 62,874                     |
| 92        | 0,04  | 27,3 | 13,621       | 0,36              | 22                    | 27,241                     | 155,092                      | 1,538                       | 156,630                     | 183,872                    |
| 93        | 0,032 | 10,6 | 2,292        | 0,17              | 21                    | 4,583                      | 57,482                       | 0,410                       | 57,891                      | 62,474                     |
| 94        | 0,032 | 12,5 | 3,282        | 0,10              | 21                    | 6,564                      | 67,785                       | 0,167                       | 67,952                      | 74,516                     |
| 95        | 0,032 | 31,5 | 12,573       | 0,70              | 21                    | 25,146                     | 170,818                      | 2,148                       | 172,966                     | 198,112                    |
| 96        | 0,032 | 15,7 | 6,266        | 0,36              | 21                    | 12,533                     | 85,138                       | 1,111                       | 86,249                      | 98,782                     |
| Всего     |       |      |              |                   |                       | 2873,83                    | 15345,66                     | 1393,85                     | 16739,51                    | 19613,34                   |

Итого в двухтрубном исчислении  $Z_{\Sigma} = 39358,000$  тыс. руб.

#### 4. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Поскольку у рассматриваемого для анализа поселка температурный график 95/70 °С, то приведем расчет оптимизационной модели для данного графика.

Итак, исходными условиями являются:

- Температурный график 95/70 °С;
- Подземная канальная, подвальная прокладка трубопроводов.

В итоге был определен оптимальный диаметр по минимальным суммарным затратам при различных расходах теплоносителя. Результаты расчета приведены на рисунках 24, 25 и в таблице 10.

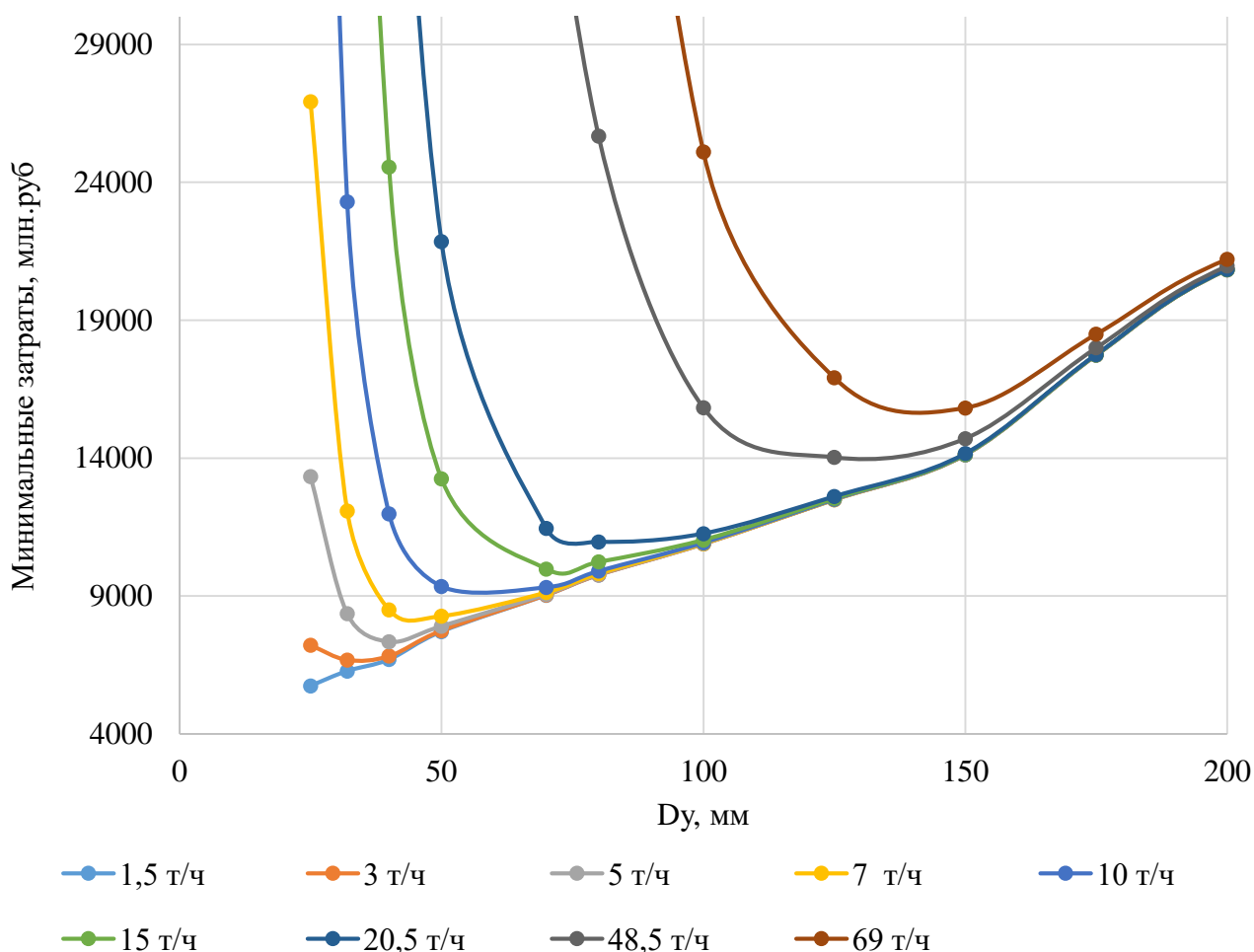


Рисунок 24 - График зависимости минимума затрат от различного расхода теплоносителя при темп. графике 95/70 °С

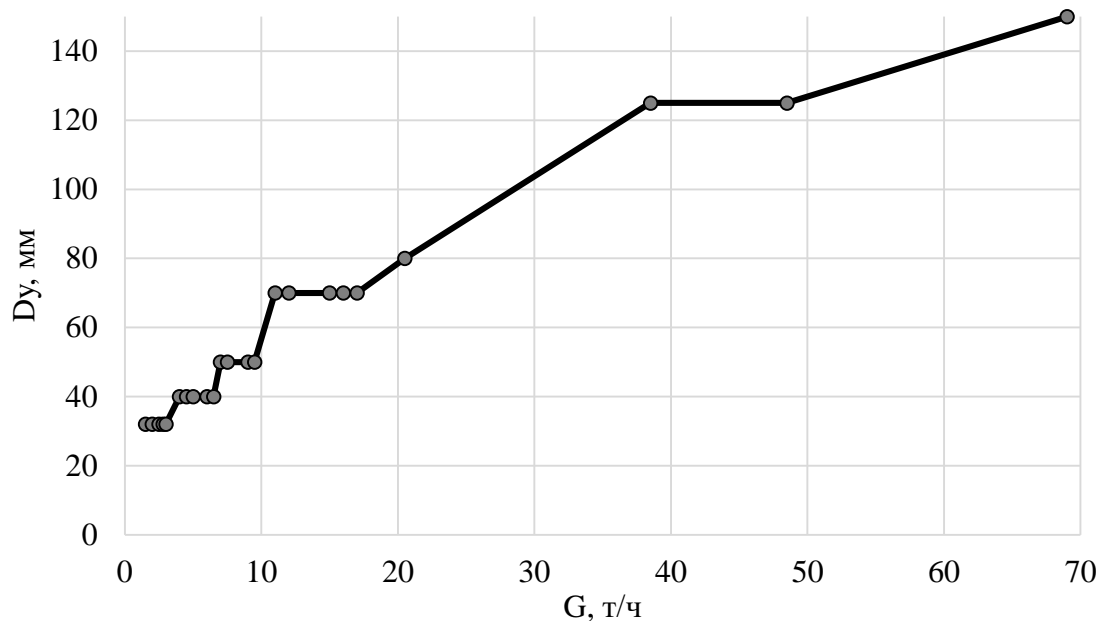


Рисунок 25 – График зависимости оптимального диаметра трубопровода от расхода теплоносителя при температурном графике 95/70 °C

Таблица 10 - Линия минимума затрат при температурном графике 95/70 °C

| G, т/ч | Dy, мм | $\omega$ , м/с | R, кг/м <sup>2</sup> *м |
|--------|--------|----------------|-------------------------|
| 1,5    | 32     | 1,7            | 17,44                   |
| 2      | 32     | 2,3            | 30,95                   |
| 2,5    | 32     | 2,8            | 48,32                   |
| 2,8    | 32     | 3,2            | 60,58                   |
| 3      | 32     | 3,4            | 69,53                   |
| 4      | 40     | 2,9            | 38,34                   |
| 4,5    | 40     | 3,2            | 48,51                   |
| 5      | 40     | 3,6            | 59,87                   |
| 6      | 40     | 4,3            | 86,17                   |
| 6,5    | 40     | 4,7            | 101,11                  |
| 7      | 50     | 3,2            | 36,40                   |
| 7,5    | 50     | 3,5            | 41,77                   |
| 9      | 50     | 4,2            | 60,12                   |
| 9,5    | 50     | 4,4            | 66,98                   |
| 11     | 70     | 2,6            | 15,39                   |
| 12     | 70     | 2,8            | 18,31                   |
| 15     | 70     | 3,5            | 28,59                   |
| 16     | 70     | 3,8            | 32,52                   |
| 17     | 70     | 4,0            | 36,71                   |
| 20,5   | 80     | 3,7            | 26,50                   |
| 38,5   | 125    | 2,8            | 9,01                    |
| 48,5   | 125    | 3,6            | 14,29                   |
| 69     | 150    | 3,5            | 11,12                   |

Таким образом, был выбран вариант замены труб, отличающихся в существующей сети. Схема тепловой сети с указанием реконструируемых участков показана на рисунке 26.



Рисунок 26 – Схема тепловой сети с указанием реконструируемых участков

Для оценки работы новой тепловой сети после оптимизации диаметров трубопроводов был проведен гидравлический расчет сети, представленный в таблицах 11, 12 и на рисунках 27-30.

Таблица 11 - Расчет гидравлического режима у потребителей

| Sys    | Адрес узла ввода        | Геодезическая отметка, м | Высота здания потребителя, м | Расчетная нагрузка на отопление (факт),<br>ккал/час | Располагаемый напор на вводе<br>потребителя, м | Напор в подающем трубопроводе, м | Напор в обратном трубопроводе, м | Давление в подающем трубопроводе, м | Давление в обратном трубопроводе, м |
|--------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|---|--|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 180283 | ул. Дивногорская. 15/12 | 138,2                    | 6                            | 14,3  | 22,1   | 194,6                            | 172,4                            | 56,3                                | 34,2                                |
| 180281 | ул. Дивногорская. 15/11 | 138,1                    | 6                            | 14,5  | 21,8   | 194,4                            | 172,6                            | 56,3                                | 34,5                                |
| 180279 | ул. Дивногорская. 15/10 | 138,1                    | 6                            | 14,5  | 21,5   | 194,3                            | 172,7                            | 56,2                                | 34,6                                |
| 180277 | ул. Дивногорская. 15/9  | 138,1                    | 6                            | 14,5  | 21,2   | 194,1                            | 172,9                            | 56,0                                | 34,8                                |
| 180275 | ул. Дивногорская. 15/8  | 138,2                    | 6                            | 14,6  | 20,9   | 194,0                            | 173,0                            | 55,8                                | 34,9                                |
| 180273 | ул. Дивногорская. 15/7  | 138,2                    | 6                            | 14,6  | 20,6   | 193,8                            | 173,2                            | 55,6                                | 35,0                                |
| 180271 | ул. Дивногорская. 15/6  | 138,2                    | 6                            | 14,6  | 20,4   | 193,7                            | 173,3                            | 55,5                                | 35,1                                |
| 180269 | ул. Дивногорская. 15/5  | 138,3                    | 6                            | 14,5  | 20,2   | 193,6                            | 173,4                            | 55,3                                | 35,2                                |
| 180267 | ул. Дивногорская. 15/4  | 138,3                    | 6                            | 16,4  | 20,0   | 193,5                            | 173,5                            | 55,2                                | 35,2                                |
| 180265 | ул. Дивногорская. 15/3  | 138,3                    | 6                            | 16,3  | 19,8   | 193,4                            | 173,6                            | 55,1                                | 35,3                                |
| 180263 | ул. Дивногорская. 15/2  | 138,3                    | 6                            | 16,4  | 19,6   | 193,3                            | 173,7                            | 55,0                                | 35,3                                |
| 180261 | ул. Дивногорская. 15/1  | 138,4                    | 6                            | 16,3  | 19,5   | 193,3                            | 173,7                            | 54,9                                | 35,4                                |
| 180259 | ул. Дивногорская, 13/13 | 138,4                    | 6                            | 16,5  | 19,2   | 193,1                            | 173,9                            | 54,6                                | 35,5                                |
| 180253 | ул. Дивногорская. 13/12 | 138,5                    | 6                            | 16,4  | 19,1   | 193,0                            | 174,0                            | 54,6                                | 35,5                                |
| 180251 | ул. Дивногорская. 13/11 | 138,5                    | 6                            | 16,4  | 18,6   | 192,8                            | 174,2                            | 54,3                                | 35,7                                |
| 180249 | ул. Дивногорская. 13/10 | 138,5                    | 6                            | 16,3  | 18,2   | 192,6                            | 174,4                            | 54,1                                | 35,9                                |
| 180247 | ул. Дивногорская. 13/9  | 138,5                    | 6                            | 16,2  | 17,8   | 192,4                            | 174,6                            | 53,9                                | 36,0                                |
| 180245 | ул. Дивногорская. 13/8  | 138,6                    | 6                            | 20,9  | 17,5   | 192,3                            | 174,7                            | 53,7                                | 36,2                                |
| 180243 | ул. Дивногорская, 13/1  | 140,6                    | 6                            | 21,6  | 13,6   | 190,3                            | 176,7                            | 49,7                                | 36,1                                |
| 180241 | ул. Дивногорская. 13/7  | 138,6                    | 6                            | 20,9  | 16,7   | 191,8                            | 175,1                            | 53,2                                | 36,6                                |
| 180239 | ул. Дивногорская. 13/6  | 138,6                    | 6                            | 20,8  | 15,8   | 191,4                            | 175,6                            | 52,8                                | 36,9                                |
| 180237 | ул. Дивногорская. 13/5  | 139,0                    | 6                            | 21,0  | 15,3   | 191,2                            | 175,8                            | 52,2                                | 36,8                                |
| 180235 | ул. Дивногорская. 13/4  | 139,4                    | 6                            | 20,9  | 14,4   | 190,7                            | 176,3                            | 51,3                                | 36,9                                |
| 180233 | ул. Дивногорская. 13/3  | 139,5                    | 6                            | 20,9  | 14,0   | 190,5                            | 176,5                            | 51,0                                | 37,0                                |
| 180231 | ул. Дивногорская. 13/2  | 140,1                    | 6                            | 21,0  | 13,7   | 190,3                            | 176,6                            | 50,2                                | 36,6                                |
| 95245  | пер. Дружный, 15        | 139,0                    | 6                            | 30,3  | 19,8   | 193,4                            | 173,6                            | 54,4                                | 34,6                                |
| 95243  | пер. Дружный, 11        | 139,0                    | 6                            | 33,0  | 19,8   | 193,4                            | 173,6                            | 54,4                                | 34,6                                |
| 95240  | пер. Бобровый, 12       | 139,3                    | 6                            | 42,3  | 19,7   | 193,3                            | 173,7                            | 54,0                                | 34,4                                |
| 95238  | пер. Бобровый, 10       | 139,0                    | 6                            | 33,8  | 19,7   | 193,3                            | 173,7                            | 54,3                                | 34,6                                |
| 95235  | пер. Бобровый, 8        | 139,0                    | 6                            | 33,8  | 18,8   | 192,9                            | 174,1                            | 53,9                                | 35,1                                |



Продолжение таблицы 11

| Sys   | Адрес узла ввода    | Геодезическая отметка, м | Высота здания потребителя, м | Расчетная нагрузка на отопление (факт), ккал/час | Располагаемый напор на вводе потребителя, м | Напор в подающем трубопроводе, м | Напор в обратном трубопроводе, м | Давление в подающем трубопроводе, м | Давление в обратном трубопроводе, м |
|-------|---------------------|--------------------------|------------------------------|--|---|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 95233 | пер. Бобровый, 6    | 139,2                    | 6                            | 39,8   | 18,5  | 192,7                            | 174,2                            | 53,6                                | 35,1                                |
| 95230 | пер. Дружный, 9     | 139,0                    | 6                            | 27,7   | 17,6  | 192,3                            | 174,7                            | 53,3                                | 35,7                                |
| 95228 | пер. Дружный, 7     | 139,0                    | 6                            | 32,8   | 17,7  | 192,3                            | 174,7                            | 53,3                                | 35,7                                |
| 95225 | пер. Бобровый, 4    | 139,6                    | 6                            | 39,8   | 15,5  | 191,3                            | 175,7                            | 51,7                                | 36,2                                |
| 95223 | пер. Бобровый, 2    | 139,9                    | 6                            | 34,0   | 15,6  | 191,3                            | 175,7                            | 51,4                                | 35,8                                |
| 95220 | пер. Дружный, 5     | 140,0                    | 6                            | 23,7   | 15,9  | 191,4                            | 175,5                            | 51,5                                | 35,6                                |
| 95218 | пер. Дружный, 3     | 140,9                    | 6                            | 33,6   | 15,8  | 191,4                            | 175,6                            | 50,5                                | 34,7                                |
| 95207 | пер. Дружный, 1     | 139,4                    | 6                            | 41,6   | 16,2  | 191,6                            | 175,4                            | 52,2                                | 36,0                                |
| 95204 | пер. Заповедный, 15 | 138,7                    | 6                            | 32,5   | 20,6  | 193,8                            | 173,2                            | 55,1                                | 34,5                                |
| 95202 | пер. Заповедный, 11 | 138,9                    | 6                            | 32,4   | 20,6  | 193,8                            | 173,2                            | 54,8                                | 34,3                                |
| 95199 | пер. Дружный, 14    | 138,9                    | 6                            | 34,8   | 20,2  | 193,6                            | 173,4                            | 54,7                                | 34,5                                |
| 95197 | пер. Дружный, 12    | 139,0                    | 6                            | 39,2   | 20,1  | 193,6                            | 173,4                            | 54,6                                | 34,4                                |
| 95194 | пер. Дружный, 10    | 139,1                    | 6                            | 34,8   | 18,4  | 192,7                            | 174,3                            | 53,6                                | 35,2                                |
| 95192 | пер. Дружный, 8     | 139,2                    | 6                            | 29,2   | 18,3  | 192,7                            | 174,3                            | 53,5                                | 35,1                                |
| 95189 | пер. Заповедный, 9  | 139,4                    | 3                            | 15,9   | 19,3  | 193,1                            | 173,9                            | 53,7                                | 34,4                                |
| 95187 | пер. Заповедный, 7  | 138,9                    | 6                            | 18,7   | 19,3  | 193,1                            | 173,9                            | 54,2                                | 35,0                                |
| 95184 | пер. Дружный, 2     | 139,1                    | 3                            | 110,2  | 14,4  | 190,7                            | 176,3                            | 51,5                                | 37,2                                |
| 95182 | пер. Дружный, 6     | 140,1                    | 6                            | 36,5   | 18,0  | 192,5                            | 174,5                            | 52,4                                | 34,4                                |
| 95180 | пер. Дружный, 4     | 140,8                    | 6                            | 33,6   | 16,8  | 191,9                            | 175,1                            | 51,1                                | 34,4                                |
| 95177 | пер. Заповедный, 5  | 138,6                    | 6                            | 27,3   | 16,1  | 191,5                            | 175,4                            | 53,0                                | 36,9                                |
| 95168 | пер. Заповедный, 3  | 138,3                    | 6                            | 39,8   | 15,7  | 191,3                            | 175,6                            | 53,1                                | 37,4                                |
| 95166 | пер. Заповедный, 1  | 138,4                    | 6                            | 32,8   | 16,3  | 191,7                            | 175,3                            | 53,3                                | 36,9                                |
| 95161 | пер. Заповедный, 14 | 138,6                    | 6                            | 32,5   | 22,1  | 194,6                            | 172,4                            | 56,0                                | 33,9                                |
| 95159 | пер. Заповедный, 12 | 138,7                    | 6                            | 32,6   | 22,1  | 194,6                            | 172,4                            | 55,9                                | 33,8                                |
| 95156 | пер. Заповедный, 10 | 138,9                    | 6                            | 45,6   | 20,2  | 193,6                            | 173,4                            | 54,7                                | 34,5                                |
| 95154 | пер. Заповедный, 8  | 138,6                    | 6                            | 26,6   | 20,2  | 193,6                            | 173,4                            | 55,0                                | 34,8                                |
| 95151 | пер. Заповедный, 6  | 138,4                    | 6                            | 32,5   | 14,6  | 190,8                            | 176,2                            | 52,4                                | 37,8                                |
| 95149 | пер. Заповедный, 4  | 138,4                    | 6                            | 37,5   | 14,6  | 190,8                            | 176,2                            | 52,4                                | 37,8                                |
| 95140 | пер. Заповедный, 2  | 138,0                    | 6                            | 38,2   | 14,9  | 191,0                            | 176,0                            | 52,9                                | 38,0                                |

Таблица 12 - Расчет гидравлического режима трубопроводов тепловых сетей

| Sys   | Длина участка, м | Внутренний диаметр подающего трубопровода, м | Внутренний диаметр обратного трубопровода, м | Вид прокладки тепловой сети | Расход воды в подающем трубопроводе, т/ч | Расход воды в обратном трубопроводе, т/ч | Потери напора в подающем трубопроводе, м | Потери напора в обратном трубопроводе, м | Удельные линейные потери напора в под.тр-де, | Удельные линейные потери напора в обр.тр-де, | Скорость движения воды в под.тр-де, м/с | Скорость движения воды в обр.тр-де, м/с |
|-------|------------------|--|--|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|---|---|
| 95136 | 56,8             | 0,125  | 0,125  | Подземная канальная         | 27,45                                    | -27,38                                   | 0,41                                     | 0,41                                     | 6,6  | 6,5  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 95137 | 121,9            | 0,125  | 0,125  | Подземная канальная         | 21,73                                    | -21,68                                   | 0,55                                     | 0,55                                     | 4,1  | 4,1  | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95138 | 94,1             | 0,082  | 0,082  | Подземная канальная         | 9,56                                     | -9,54                                    | 0,79                                     | 0,79                                     | 7,6  | 7,6  | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95139 | 30,5             | 0,069  | 0,069  | Подземная канальная         | 5,72                                     | -5,71                                    | 0,23                                     | 0,23                                     | 6,9  | 6,9  | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 95141 | 24,9             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,92                                     | -0,92                                    | 0,27                                     | 0,27                                     | 9,8  | 9,7  | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95142 | 64,3             | 0,050  | 0,050  | Подземная канальная         | 4,27                                     | -4,26                                    | 1,55                                     | 1,54                                     | 21,9   | 21,8   | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 95144 | 65,4             | 0,040  | 0,040  | Подземная канальная         | 2,60                                     | -2,59                                    | 1,96                                     | 1,95                                     | 27,3   | 27,2   | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 95146 | 74,3             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,92                                     | -0,92                                    | 0,80                                     | 0,79                                     | 9,8  | 9,7  | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95148 | 29,0             | 0,032  | 0,032  | Подземная канальная         | 1,68                                     | -1,68                                    | 1,23                                     | 1,22                                     | 38,5   | 38,3   | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 95150 | 4,4              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,90                                     | -0,90                                    | 0,05                                     | 0,05                                     | 9,4  | 9,4  | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95152 | 6,7              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,78                                     | -0,78                                    | 0,05                                     | 0,05                                     | 7,1  | 7,1  | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95153 | 31,5             | 0,040  | 0,040  | Подземная канальная         | 1,67                                     | -1,67                                    | 0,39                                     | 0,39                                     | 11,3   | 11,3   | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 95155 | 6,7              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,62                                     | -0,62                                    | 0,03                                     | 0,03                                     | 4,6  | 4,5  | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95157 | 4,6              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 1,04                                     | -1,04                                    | 0,06                                     | 0,06                                     | 12,6   | 12,6   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95158 | 36,9             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 1,45                                     | -1,45                                    | 0,99                                     | 0,99                                     | 24,4   | 24,3   | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95160 | 5,4              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,73                                     | -0,73                                    | 0,04                                     | 0,04                                     | 6,2  | 6,2  | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95162 | 5,4              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,73                                     | -0,72                                    | 0,04                                     | 0,04                                     | 6,1  | 6,1  | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95164 | 36,0             | 0,082  | 0,082  | Подземная канальная         | 12,17                                    | -12,14                                   | 0,49                                     | 0,49                                     | 12,4   | 12,3   | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 95165 | 31,6             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,79                                     | -0,79                                    | 0,25                                     | 0,25                                     | 7,2  | 7,2  | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95167 | 4,0              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,79                                     | -0,79                                    | 0,03                                     | 0,03                                     | 7,2  | 7,2  | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95169 | 15,0             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,96                                     | -0,95                                    | 0,17                                     | 0,17                                     | 10,6   | 10,5   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95170 | 2,5              | 0,082  | 0,082  | Подземная канальная         | 10,51                                    | -10,49                                   | 0,03                                     | 0,03                                     | 9,2  | 9,2  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 95172 | 67,6             | 0,069  | 0,069  | Подземная канальная         | 6,71                                     | -6,69                                    | 0,61                                     | 0,61                                     | 8,2  | 8,2  | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95174 | 7,4              | 0,050  | 0,050  | Подземная канальная         | 5,83                                     | -5,82                                    | 0,28                                     | 0,28                                     | 34,9   | 34,7   | 0,8                                     | -0,8                                    |
| 95176 | 27,6             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 1,61                                     | -1,61                                    | 0,91                                     | 0,91                                     | 29,9   | 29,8   | 0,5                                     | -0,5                                    |

Продолжение таблицы 12

| Sys   | Длина участка, м | Внутренний диаметр подающего трубопровода, м | Внутренний диаметр обратного трубопровода, м | Вид прокладки тепловой сети | Расход воды в подающем трубопроводе, т/ч | Расход воды в обратном трубопроводе, т/ч | Потери напора в подающем трубопроводе, м | Потери напора в обратном трубопроводе, м | Удельные линейные потери напора в под.тр-де, мм/м | Удельные линейные потери напора в обр.тр-де, мм/м | Скорость движения воды в под.тр-де, м/с | Скорость движения воды в обр.тр-де, м/с |
|-------|------------------|--|--|-----------------------------|--|--|--|--|---|---|---|---|
| 95178 | 7,5              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,66                                     | -0,65                                    | 0,04                                     | 0,04                                     | 5,0   | 5,0   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95181 | 8,0              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,80                                     | -0,80                                    | 0,07                                     | 0,07                                     | 7,4   | 7,4   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95183 | 24,6             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,88                                     | -0,87                                    | 0,24                                     | 0,24                                     | 8,9   | 8,9   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95185 | 47,4             | 0,040  | 0,040  | Подвальная                  | 2,63                                     | -2,63                                    | 1,24                                     | 1,23                                     | 23,8  | 23,7  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 95186 | 26,2             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,83                                     | -0,83                                    | 0,23                                     | 0,23                                     | 8,0   | 8,0   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95188 | 5,6              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,45                                     | -0,45                                    | 0,02                                     | 0,02                                     | 2,4   | 2,4   | 0,2                                     | -0,1                                    |
| 95190 | 9,0              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,38                                     | -0,38                                    | 0,02                                     | 0,02                                     | 1,7   | 1,7   | 0,1                                     | -0,1                                    |
| 95191 | 25,4             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 1,49                                     | -1,49                                    | 0,72                                     | 0,72                                     | 25,7  | 25,6  | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95193 | 11,9             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,70                                     | -0,69                                    | 0,07                                     | 0,07                                     | 5,6   | 5,6   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95195 | 7,0              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,80                                     | -0,80                                    | 0,06                                     | 0,06                                     | 7,4   | 7,4   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95196 | 27,0             | 0,032  | 0,032  | Подземная канальная         | 1,66                                     | -1,66                                    | 1,12                                     | 1,11                                     | 37,5  | 37,4  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 95198 | 7,3              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,88                                     | -0,88                                    | 0,07                                     | 0,07                                     | 9,0   | 9,0   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95200 | 8,3              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,78                                     | -0,78                                    | 0,07                                     | 0,06                                     | 7,1   | 7,0   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95201 | 33,1             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 1,48                                     | -1,47                                    | 0,92                                     | 0,91                                     | 25,1  | 25,0  | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95203 | 5,4              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,74                                     | -0,74                                    | 0,04                                     | 0,04                                     | 6,4   | 6,3   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95205 | 5,0              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,74                                     | -0,73                                    | 0,04                                     | 0,04                                     | 6,3   | 6,3   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95206 | 40,4             | 0,082  | 0,082  | Подземная канальная         | 9,56                                     | -9,54                                    | 0,34                                     | 0,34                                     | 7,6   | 7,6   | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95208 | 15,7             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,90                                     | -0,90                                    | 0,14                                     | 0,14                                     | 7,9   | 7,9   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95209 | 31,5             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,90                                     | -0,90                                    | 0,27                                     | 0,27                                     | 7,9   | 7,9   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95211 | 71,8             | 0,050  | 0,050  | Подземная канальная         | 3,73                                     | -3,72                                    | 1,13                                     | 1,13                                     | 14,3  | 14,3  | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95213 | 14,0             | 0,050  | 0,050  | Подземная канальная         | 5,04                                     | -5,03                                    | 0,40                                     | 0,40                                     | 26,1  | 26,0  | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 95215 | 67,8             | 0,069  | 0,069  | Подземная канальная         | 6,62                                     | -6,61                                    | 0,60                                     | 0,60                                     | 8,0   | 8,0   | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95217 | 27,3             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 1,24                                     | -1,24                                    | 0,53                                     | 0,53                                     | 17,7  | 17,6  | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 95219 | 12,5             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,73                                     | -0,72                                    | 0,08                                     | 0,08                                     | 6,1   | 6,1   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95221 | 10,6             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,51                                     | -0,51                                    | 0,04                                     | 0,04                                     | 3,1   | 3,1   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95222 | 19,6             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 1,59                                     | -1,59                                    | 0,63                                     | 0,63                                     | 29,3  | 29,2  | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95224 | 10,5             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,73                                     | -0,73                                    | 0,07                                     | 0,07                                     | 6,3   | 6,3   | 0,2                                     | -0,2                                    |

Продолжение таблицы 12

| Sys    | Длина участка, м | Внутренний диаметр подающего трубопровода, м | Внутренний диаметр обратного трубопровода, м | Вид прокладки тепловой сети | Расход воды в подающем трубопроводе, т/ч | Расход воды в обратном трубопроводе, т/ч | Потери напора в подающем трубопроводе, м | Потери напора в обратном трубопроводе, м | Удельные линейные потери напора в под.тр-де, мм/м | Удельные линейные потери напора в обр.тр-де, мм/м | Скорость движения воды в под.тр-де, м/с | Скорость движения воды в обр.тр-де, м/с |
|--------|------------------|--|--|-----------------------------|--|--|--|--|---|---|---|---|
| 95226  | 11,5             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,86                                     | -0,86                                    | 0,11                                     | 0,11                                     | 8,6   | 8,6   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95227  | 35,7             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 1,31                                     | -1,30                                    | 0,77                                     | 0,77                                     | 19,7  | 19,7  | 0,4                                     | -0,4                                    |
| 95229  | 2,4              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,71                                     | -0,71                                    | 0,02                                     | 0,02                                     | 5,8   | 5,8   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95231  | 10,8             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,60                                     | -0,60                                    | 0,05                                     | 0,05                                     | 4,2   | 4,2   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95232  | 20,0             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 1,58                                     | -1,58                                    | 0,63                                     | 0,63                                     | 28,8  | 28,7  | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95234  | 17,1             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,86                                     | -0,86                                    | 0,16                                     | 0,16                                     | 8,6   | 8,6   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95236  | 4,5              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,72                                     | -0,72                                    | 0,03                                     | 0,03                                     | 6,1   | 6,0   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95237  | 23,5             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 1,59                                     | -1,58                                    | 0,75                                     | 0,75                                     | 29,1  | 29,0  | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95239  | 6,7              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,71                                     | -0,71                                    | 0,04                                     | 0,04                                     | 5,8   | 5,8   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95241  | 6,1              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,88                                     | -0,88                                    | 0,06                                     | 0,06                                     | 9,0   | 8,9   | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 95242  | 28,9             | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 1,35                                     | -1,35                                    | 0,67                                     | 0,67                                     | 21,2  | 21,1  | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 95244  | 5,3              | 0,033  | 0,033  | Подземная канальная         | 0,71                                     | -0,70                                    | 0,03                                     | 0,03                                     | 5,8   | 5,8   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 95246  | 9,4              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,65                                     | -0,65                                    | 0,05                                     | 0,05                                     | 4,9   | 4,9   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 180194 | 7,2              | 0,050  | 0,050  | Подвальная                  | 4,99                                     | -4,98                                    | 0,24                                     | 0,24                                     | 30,0  | 29,8  | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 180196 | 13,5             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 1,02                                     | -1,02                                    | 0,15                                     | 0,15                                     | 10,2  | 10,2  | 0,3                                     | -0,3                                    |
| 180197 | 12,9             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,52                                     | -0,52                                    | 0,04                                     | 0,04                                     | 2,7   | 2,7   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 180202 | 6,5              | 0,050  | 0,050  | Подвальная                  | 3,90                                     | -3,89                                    | 0,13                                     | 0,13                                     | 18,3  | 18,2  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 180204 | 10,6             | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 2,00                                     | -1,99                                    | 0,45                                     | 0,45                                     | 38,7  | 38,5  | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 180206 | 9,1              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 1,51                                     | -1,51                                    | 0,22                                     | 0,22                                     | 22,2  | 22,2  | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 180209 | 7,2              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 6,08                                     | -6,07                                    | 0,06                                     | 0,06                                     | 7,8   | 7,8   | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 180211 | 8,7              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 6,44                                     | -6,43                                    | 0,08                                     | 0,08                                     | 8,8   | 8,7   | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 180213 | 7,6              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 6,80                                     | -6,78                                    | 0,08                                     | 0,08                                     | 9,8   | 9,7   | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 180215 | 7,7              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 7,16                                     | -7,14                                    | 0,09                                     | 0,09                                     | 10,8  | 10,8  | 0,5                                     | -0,5                                    |
| 180217 | 8,9              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 7,48                                     | -7,46                                    | 0,12                                     | 0,12                                     | 11,8  | 11,8  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 180219 | 8,5              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 7,80                                     | -7,78                                    | 0,12                                     | 0,12                                     | 12,9  | 12,8  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 180221 | 9,4              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 8,11                                     | -8,10                                    | 0,14                                     | 0,14                                     | 13,9  | 13,9  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 180223 | 8,6              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 8,43                                     | -8,42                                    | 0,14                                     | 0,14                                     | 15,0  | 15,0  | 0,6                                     | -0,6                                    |
| 180225 | 9,4              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 8,75                                     | -8,73                                    | 0,17                                     | 0,17                                     | 16,2  | 16,1  | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 180227 | 7,9              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 9,06                                     | -9,04                                    | 0,15                                     | 0,15                                     | 17,3  | 17,3  | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 180229 | 7,0              | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 9,38                                     | -9,36                                    | 0,14                                     | 0,14                                     | 18,6  | 18,5  | 0,7                                     | -0,7                                    |
| 180232 | 2,0              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,50                                     | -0,50                                    | 0,01                                     | 0,01                                     | 3,0   | 3,0   | 0,2                                     | -0,2                                    |

## Окончание таблицы 12

| Sys    | Длина участка, м | Внутренний диаметр подающего трубопровода, м | Внутренний диаметр обратного трубопровода, м | Вид прокладки тепловой сети | Расход воды в подающем трубопроводе, т/ч | Расход воды в обратном трубопроводе, т/ч | Потери напора в подающем трубопроводе, м | Потери напора в обратном трубопроводе, м | Удельные линейные потери напора в под.тр-де, мм/м | Удельные линейные потери напора в обр.тр-де, мм/м | Скорость движения воды в под.тр-де, м/с | Скорость движения воды в обр.тр-де, м/с |
|--------|------------------|--|--|-----------------------------|--|--|--|--|---|---|---|---|
| 180234 | 2,2              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,49                                     | -0,49                                    | 0,01                                     | 0,01                                     | 2,8   | 2,8   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 180236 | 5,7              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,48                                     | -0,48                                    | 0,02                                     | 0,02                                     | 2,8   | 2,8   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 180238 | 2,4              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,48                                     | -0,48                                    | 0,01                                     | 0,01                                     | 2,7   | 2,7   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 180240 | 5,8              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,47                                     | -0,47                                    | 0,02                                     | 0,02                                     | 2,6   | 2,6   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 180242 | 2,2              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,47                                     | -0,47                                    | 0,01                                     | 0,01                                     | 2,6   | 2,6   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 180244 | 5,8              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,52                                     | -0,52                                    | 0,02                                     | 0,02                                     | 3,1   | 3,1   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 180246 | 4,6              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,47                                     | -0,47                                    | 0,01                                     | 0,01                                     | 2,6   | 2,6   | 0,2                                     | -0,2                                    |
| 180248 | 1,3              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,36                                     | -0,36                                    | 0,00                                     | 0,00                                     | 1,6   | 1,6   | 0,1                                     | -0,1                                    |
| 180250 | 4,6              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,36                                     | -0,36                                    | 0,01                                     | 0,01                                     | 1,6   | 1,6   | 0,1                                     | -0,1                                    |
| 180252 | 4,5              | 0,033  | 0,033  | Подвальная                  | 0,37                                     | -0,36                                    | 0,01                                     | 0,01                                     | 1,6   | 1,6   | 0,1                                     | -0,1                                    |
| 180256 | 23,3             | 0,069  | 0,069  | Подвальная                  | 5,72                                     | -5,71                                    | 0,18                                     | 0,18                                     | 6,9   | 6,9   | 0,4                                     | -0,4                                    |

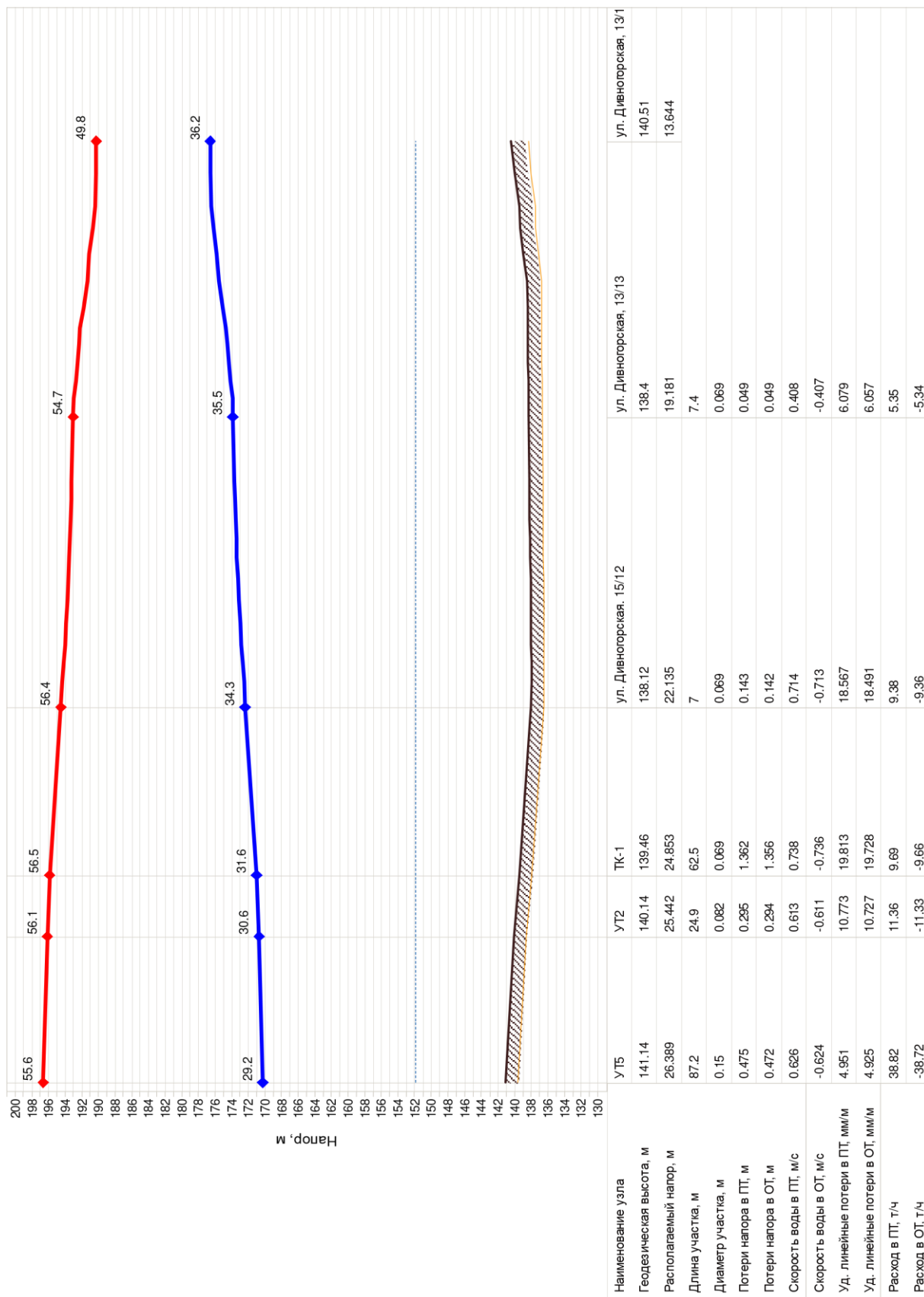


Рисунок 27 – Пьезометрический график по направлению №1  
после оптимизации

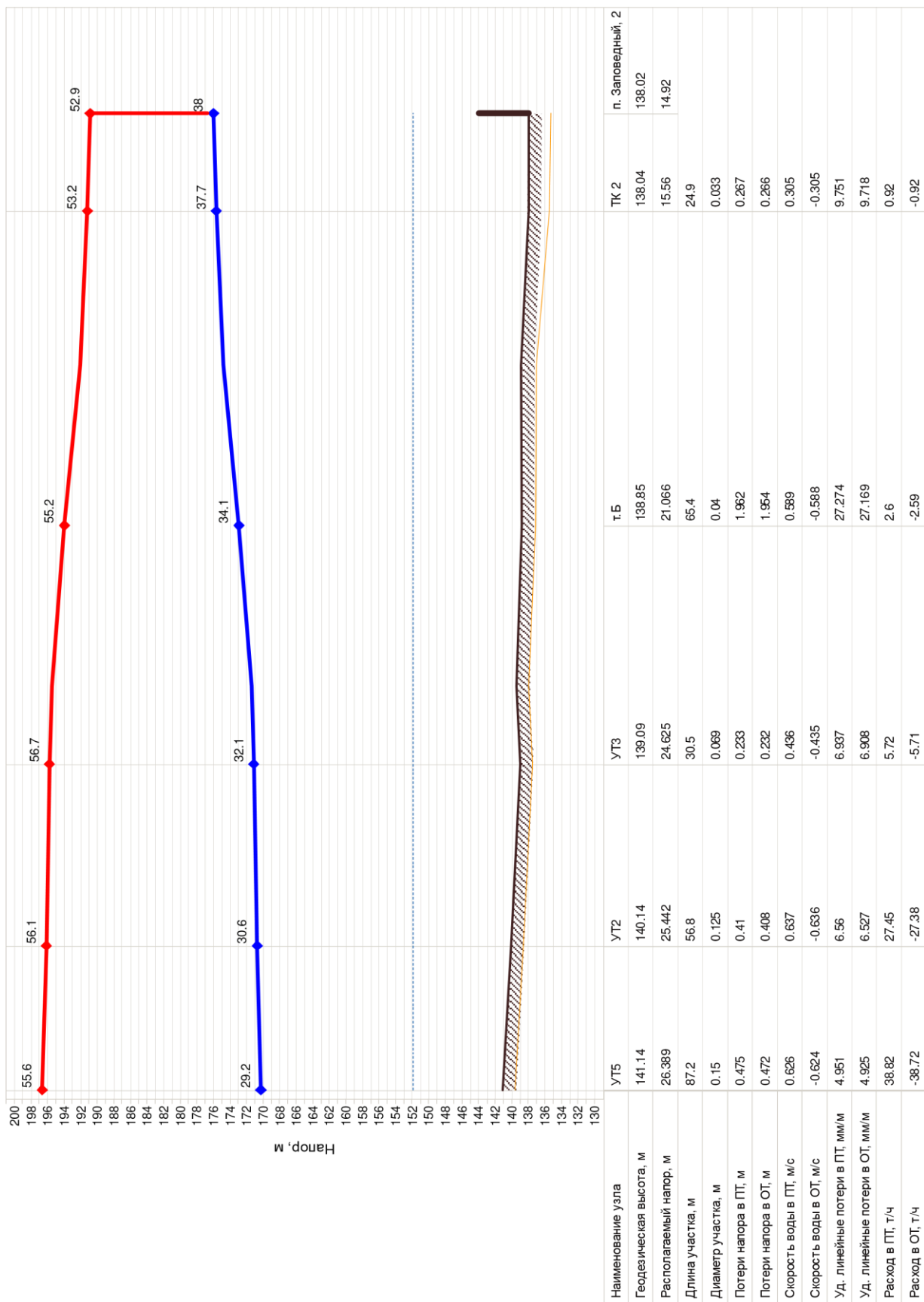


Рисунок 28 – Пьезометрический график по направлению №2 после оптимизации

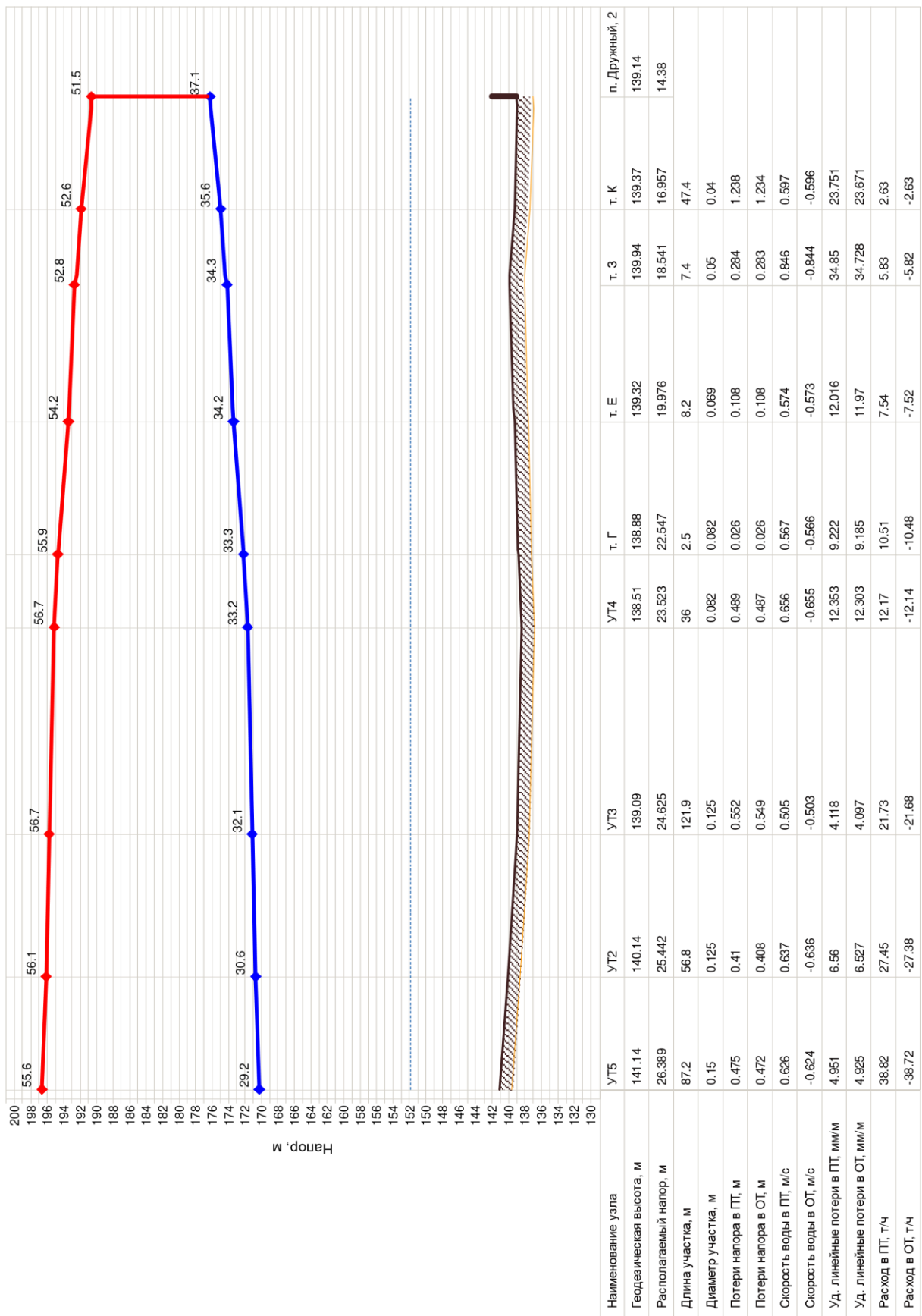


Рисунок 29 – Пьезометрический график по направлению №3  
после оптимизации



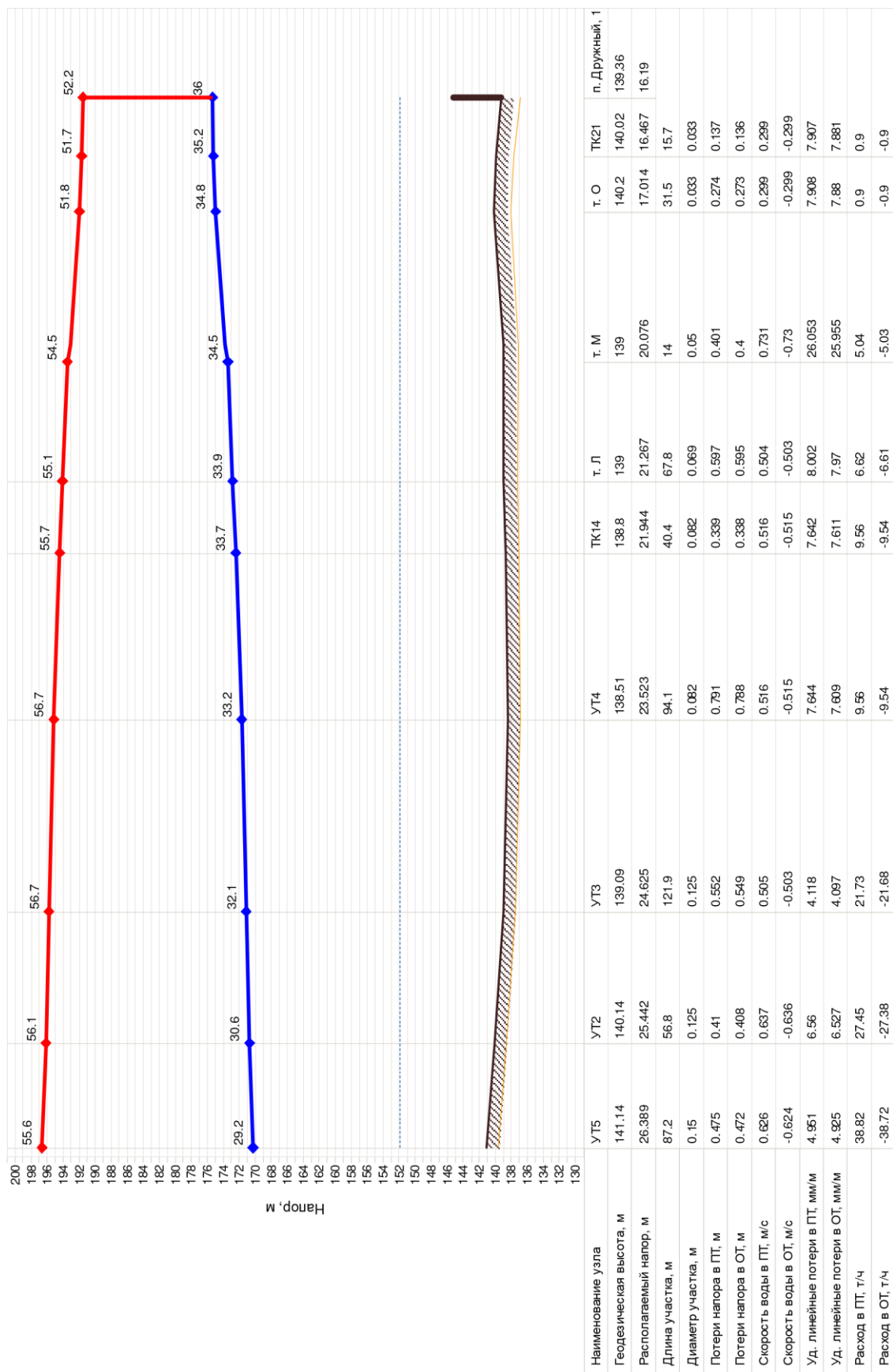


Рисунок 30 – Пьезометрический график по направлению №4  
после оптимизации

Реконструкция диаметров трубопроводов способствовала увеличению удельных линейных потерь, а, следовательно, уменьшению располагаемого напора. Для того, чтобы поддерживать требуемый напор у потребителей, а конкретно у самых дальних – не менее 10 м, увеличиваем напор на КРП: на выходе 26 м. Существующее насосное оборудование позволяет обеспечить данный напор.

Теперь определим стоимость мероприятий при строительстве новой схемы теплоснабжения. В таблице 13 приведены расчетные данные затрат.

Таблица 13 – Расчет стоимости наружной системы теплоснабжения поселка в однотрубном исполнении после реконструкции

| № участка | Dy, м | L, м | ФЕР, тыс.руб | $R, \frac{мм}{м}$ | q <sub>л</sub> , Вт/м | ΣZ <sub>к</sub> , тыс.руб. | ΣZ <sub>гп</sub> , тыс.руб. | ΣZ <sub>гээ</sub> , тыс.руб. | ΣZ <sub>э</sub> , тыс.руб. | Z <sub>Σ</sub> , тыс.руб. |
|-----------|-------|------|--------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1         | 0,15  | 87,7 | 143,620      | 1,107             | 39                    | 287,241                    | 883,218                     | 140,508                      | 1023,726                   | 1310,967                  |
| 2         | 0,08  | 24,9 | 21,898       | 0,761             | 34                    | 43,795                     | 218,616                     | 28,743                       | 247,359                    | 291,155                   |
| 3         | 0,032 | 0,5  | 0,131        | 0,169             | 29                    | 0,263                      | 3,744                       | 1,017                        | 4,762                      | 5,024                     |
| 4         | 0,07  | 62,5 | 48,202       | 2,479             | 29                    | 96,404                     | 468,039                     | 78,752                       | 546,790                    | 643,194                   |
| 5         | 0,07  | 90,9 | 47,684       | 3,318             | 29                    | 95,367                     | 680,716                     | 101,916                      | 782,631                    | 877,998                   |
| 6         | 0,07  | 7,0  | 3,672        | 0,337             | 29                    | 7,344                      | 52,420                      | 10,000                       | 62,420                     | 69,764                    |
| 7         | 0,07  | 7,9  | 4,123        | 0,340             | 29                    | 8,246                      | 58,861                      | 9,708                        | 68,569                     | 76,815                    |
| 8         | 0,07  | 9,4  | 4,931        | 0,358             | 29                    | 9,862                      | 70,393                      | 9,858                        | 80,251                     | 90,113                    |
| 9         | 0,07  | 8,6  | 4,511        | 0,310             | 29                    | 9,023                      | 64,402                      | 8,196                        | 72,598                     | 81,620                    |
| 10        | 0,07  | 9,4  | 4,931        | 0,305             | 29                    | 9,862                      | 70,393                      | 7,724                        | 78,117                     | 87,979                    |
| 11        | 0,07  | 8,5  | 4,459        | 0,259             | 29                    | 8,918                      | 63,653                      | 6,301                        | 69,955                     | 78,872                    |
| 12        | 0,07  | 8,9  | 4,669        | 0,245             | 29                    | 9,337                      | 66,649                      | 5,694                        | 72,342                     | 81,680                    |
| 13        | 0,07  | 7,7  | 4,039        | 0,199             | 29                    | 8,078                      | 57,662                      | 4,373                        | 62,035                     | 70,114                    |
| 14        | 0,07  | 7,6  | 3,987        | 0,176             | 29                    | 7,973                      | 56,914                      | 3,662                        | 60,576                     | 68,549                    |
| 15        | 0,07  | 7,2  | 3,777        | 0,150             | 29                    | 7,554                      | 53,918                      | 2,949                        | 56,867                     | 64,421                    |
| 16        | 0,07  | 23,3 | 12,223       | 0,348             | 29                    | 24,445                     | 174,485                     | 6,395                        | 180,880                    | 205,325                   |
| 17        | 0,07  | 7,4  | 3,882        | 0,161             | 29                    | 7,764                      | 55,416                      | 3,245                        | 58,660                     | 66,424                    |
| 18        | 0,05  | 7,2  | 3,295        | 0,521             | 25                    | 6,589                      | 46,481                      | 8,330                        | 54,811                     | 61,401                    |
| 19        | 0,05  | 7,3  | 3,340        | 0,450             | 25                    | 6,681                      | 47,127                      | 6,651                        | 53,778                     | 60,459                    |
| 20        | 0,05  | 7,6  | 3,478        | 0,392             | 25                    | 6,955                      | 49,063                      | 5,322                        | 54,386                     | 61,341                    |
| 21        | 0,05  | 6,5  | 2,974        | 0,290             | 25                    | 5,949                      | 41,962                      | 3,583                        | 45,545                     | 51,494                    |
| 22        | 0,04  | 8,2  | 3,218        | 0,849             | 25                    | 6,435                      | 52,937                      | 9,200                        | 62,137                     | 68,572                    |

Продолжение таблицы 13

| № участка | Dy, м | L, м  | ФЕР, тыс.руб | $R, \frac{мм}{м}$ | q <sub>п</sub> , Вт/м | Σ Z <sub>к</sub> , тыс.руб. | Σ Z <sub>гп</sub> , тыс. руб. | Σ Z <sub>гээ</sub> , тыс.руб. | Σ Z <sub>э</sub> , тыс. руб. | Z <sub>Σ</sub> , тыс. руб. |
|-----------|-------|-------|--------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 23        | 0,04  | 11,0  | 4,316        | 0,769             | 25                    | 8,633                       | 71,013                        | 7,152                         | 78,164                       | 86,797                     |
| 24        | 0,04  | 10,8  | 4,238        | 0,528             | 22                    | 8,476                       | 61,355                        | 4,102                         | 65,457                       | 73,933                     |
| 25        | 0,032 | 10,6  | 2,783        | 1,040             | 22                    | 5,566                       | 60,219                        | 6,467                         | 66,686                       | 72,252                     |
| 26        | 0,032 | 9,1   | 2,389        | 0,515             | 22                    | 4,779                       | 51,697                        | 2,407                         | 54,104                       | 58,883                     |
| 27        | 0,032 | 13,5  | 3,545        | 0,331             | 22                    | 7,089                       | 76,694                        | 1,038                         | 77,732                       | 84,821                     |
| 28        | 0,032 | 12,9  | 3,387        | 0,082             | 22                    | 6,774                       | 73,285                        | 0,130                         | 73,416                       | 80,190                     |
| 29        | 0,125 | 56,8  | 68,838       | 0,897             | 39                    | 137,676                     | 572,027                       | 79,954                        | 651,981                      | 789,657                    |
| 30        | 0,07  | 30,5  | 23,523       | 0,413             | 29                    | 47,045                      | 228,403                       | 7,471                         | 235,874                      | 282,919                    |
| 31        | 0,032 | 36,9  | 14,728       | 1,996             | 22                    | 29,456                      | 209,630                       | 9,572                         | 219,202                      | 248,659                    |
| 32        | 0,032 | 5,4   | 1,418        | 0,087             | 21                    | 2,836                       | 29,283                        | 0,208                         | 29,491                       | 32,326                     |
| 33        | 0,032 | 5,4   | 1,418        | 0,087             | 21                    | 2,836                       | 29,283                        | 0,210                         | 29,493                       | 32,328                     |
| 34        | 0,05  | 64,3  | 40,101       | 2,564             | 29                    | 80,202                      | 481,518                       | 34,078                        | 515,596                      | 595,799                    |
| 35        | 0,032 | 31,5  | 12,573       | 2,107             | 22                    | 25,146                      | 178,952                       | 11,205                        | 190,158                      | 215,303                    |
| 36        | 0,032 | 4,6   | 1,208        | 0,150             | 21                    | 2,416                       | 24,945                        | 0,504                         | 25,448                       | 27,864                     |
| 37        | 0,032 | 11,3  | 4,510        | 0,110             | 21                    | 9,021                       | 61,278                        | 0,216                         | 61,493                       | 70,514                     |
| 38        | 0,04  | 65,4  | 32,630       | 3,003             | 25                    | 65,259                      | 422,203                       | 23,937                        | 446,140                      | 511,399                    |
| 39        | 0,032 | 29,0  | 11,575       | 1,829             | 22                    | 23,150                      | 164,750                       | 9,433                         | 174,182                      | 197,333                    |
| 40        | 0,032 | 6,7   | 1,759        | 0,104             | 21                    | 3,518                       | 36,333                        | 0,248                         | 36,581                       | 40,099                     |
| 41        | 0,032 | 4,4   | 1,756        | 0,098             | 21                    | 3,512                       | 23,860                        | 0,271                         | 24,131                       | 27,643                     |
| 42        | 0,032 | 74,3  | 29,656       | 1,365             | 25                    | 59,312                      | 479,659                       | 3,840                         | 483,499                      | 542,812                    |
| 43        | 0,032 | 24,9  | 9,939        | 0,472             | 21                    | 19,877                      | 135,028                       | 1,329                         | 136,356                      | 156,233                    |
| 44        | 0,125 | 121,9 | 147,759      | 1,155             | 34                    | 295,519                     | 1070,428                      | 82,007                        | 1152,435                     | 1447,954                   |
| 45        | 0,08  | 36,0  | 31,659       | 1,074             | 31                    | 63,319                      | 288,183                       | 40,961                        | 329,144                      | 392,463                    |
| 46        | 0,032 | 27,0  | 10,777       | 1,909             | 31                    | 21,554                      | 216,137                       | 10,405                        | 226,542                      | 248,096                    |
| 47        | 0,032 | 8,3   | 2,179        | 0,143             | 21                    | 4,358                       | 45,009                        | 0,366                         | 45,376                       | 49,734                     |
| 48        | 0,032 | 7,3   | 1,917        | 0,162             | 21                    | 3,833                       | 39,586                        | 0,468                         | 40,055                       | 43,888                     |
| 49        | 0,08  | 2,5   | 2,199        | 0,126             | 31                    | 4,397                       | 20,013                        | 4,120                         | 24,133                       | 28,530                     |
| 50        | 0,032 | 33,1  | 13,212       | 1,786             | 22                    | 26,423                      | 188,042                       | 8,539                         | 196,581                      | 223,004                    |
| 51        | 0,032 | 5,0   | 1,996        | 0,082             | 21                    | 3,991                       | 27,114                        | 0,195                         | 27,309                       | 31,301                     |
| 52        | 0,032 | 5,4   | 2,155        | 0,086             | 21                    | 4,311                       | 29,283                        | 0,206                         | 29,489                       | 33,800                     |
| 53        | 0,07  | 66,6  | 51,348       | 2,031             | 29                    | 102,697                     | 498,592                       | 56,681                        | 555,273                      | 657,970                    |
| 54        | 0,032 | 25,4  | 10,134       | 1,347             | 31                    | 20,268                      | 203,249                       | 6,350                         | 209,599                      | 229,867                    |
| 55        | 0,032 | 7,0   | 1,838        | 0,123             | 21                    | 3,676                       | 37,960                        | 0,316                         | 38,276                       | 41,952                     |
| 56        | 0,032 | 11,9  | 4,750        | 0,139             | 21                    | 9,500                       | 64,531                        | 0,299                         | 64,830                       | 74,329                     |
| 57        | 0,07  | 8,2   | 6,324        | 0,231             | 31                    | 12,648                      | 65,642                        | 5,346                         | 70,987                       | 83,636                     |

Продолжение таблицы 13

| № участка | Dy, м | L, м | ФЕР, тыс.руб | $R, \frac{мм}{м}$ | q <sub>п</sub> , Вт/м | ΣЗ <sub>к</sub> , тыс.руб. | ΣЗ <sub>пт</sub> , тыс. руб. | ΣЗ <sub>ээ</sub> , тыс.руб. | ΣЗ <sub>э</sub> , тыс. руб. | З <sub>Σ</sub> , тыс. руб. |
|-----------|-------|------|--------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 58        | 0,032 | 26,2 | 10,457       | 0,407             | 22                    | 20,915                     | 148,843                      | 1,037                       | 149,880                     | 170,795                    |
| 59        | 0,032 | 9,0  | 3,592        | 0,032             | 21                    | 7,185                      | 48,805                       | 0,038                       | 48,843                      | 56,027                     |
| 60        | 0,032 | 5,6  | 2,235        | 0,030             | 21                    | 4,470                      | 30,368                       | 0,041                       | 30,409                      | 34,879                     |
| 61        | 0,07  | 67,6 | 52,135       | 1,129             | 29                    | 104,270                    | 506,231                      | 23,298                      | 529,529                     | 633,799                    |
| 62        | 0,032 | 24,6 | 6,459        | 0,426             | 22                    | 12,918                     | 139,753                      | 1,146                       | 140,899                     | 153,817                    |
| 63        | 0,05  | 7,4  | 4,615        | 0,672             | 29                    | 9,230                      | 55,416                       | 12,065                      | 67,481                      | 76,711                     |
| 64        | 0,032 | 7,5  | 2,994        | 0,485             | 22                    | 5,987                      | 42,608                       | 2,400                       | 45,007                      | 50,994                     |
| 65        | 0,032 | 15,0 | 3,938        | 0,150             | 21                    | 7,877                      | 81,342                       | 0,302                       | 81,644                      | 89,520                     |
| 66        | 0,032 | 22,5 | 5,908        | 0,465             | 21                    | 11,815                     | 122,013                      | 1,364                       | 123,377                     | 135,192                    |
| 67        | 0,05  | 25,3 | 15,778       | 1,015             | 25                    | 31,557                     | 163,329                      | 13,207                      | 176,536                     | 208,093                    |
| 68        | 0,032 | 8,0  | 3,193        | 0,129             | 21                    | 6,386                      | 43,382                       | 0,319                       | 43,702                      | 50,088                     |
| 69        | 0,032 | 31,6 | 12,613       | 0,438             | 21                    | 25,226                     | 171,360                      | 1,058                       | 172,418                     | 197,644                    |
| 70        | 0,032 | 4,0  | 1,597        | 0,070             | 21                    | 3,193                      | 21,691                       | 0,168                       | 21,860                      | 25,053                     |
| 71        | 0,04  | 47,4 | 18,592       | 2,298             | 25                    | 37,183                     | 305,871                      | 18,653                      | 324,524                     | 361,707                    |
| 72        | 0,08  | 94,1 | 82,754       | 1,961             | 31                    | 165,508                    | 753,278                      | 64,454                      | 817,731                     | 983,239                    |
| 73        | 0,08  | 40,4 | 35,529       | 0,886             | 31                    | 71,058                     | 323,405                      | 29,124                      | 352,529                     | 423,587                    |
| 74        | 0,032 | 23,5 | 9,380        | 1,766             | 22                    | 18,760                     | 133,504                      | 9,897                       | 143,401                     | 162,160                    |
| 75        | 0,032 | 6,1  | 2,435        | 0,162             | 21                    | 4,869                      | 33,079                       | 0,504                       | 33,583                      | 38,453                     |
| 76        | 0,032 | 6,7  | 2,674        | 0,112             | 21                    | 5,348                      | 36,333                       | 0,279                       | 36,612                      | 41,961                     |
| 77        | 0,032 | 28,9 | 11,539       | 1,492             | 22                    | 23,078                     | 164,238                      | 6,957                       | 171,195                     | 194,273                    |
| 78        | 0,032 | 9,4  | 2,468        | 0,121             | 21                    | 4,936                      | 50,974                       | 0,270                       | 51,244                      | 56,180                     |
| 79        | 0,032 | 5,3  | 1,392        | 0,088             | 21                    | 2,783                      | 28,741                       | 0,214                       | 28,955                      | 31,738                     |
| 80        | 0,07  | 67,8 | 52,305       | 1,357             | 29                    | 104,610                    | 507,878                      | 30,669                      | 538,547                     | 643,156                    |
| 81        | 0,032 | 20,0 | 7,983        | 1,420             | 25                    | 15,966                     | 129,114                      | 7,699                       | 136,813                     | 152,779                    |
| 82        | 0,032 | 4,5  | 1,182        | 0,081             | 21                    | 2,363                      | 24,403                       | 0,202                       | 24,604                      | 26,967                     |
| 83        | 0,032 | 17,1 | 6,825        | 0,359             | 21                    | 13,651                     | 92,730                       | 1,054                       | 93,783                      | 107,434                    |
| 84        | 0,05  | 14,0 | 8,731        | 1,041             | 22                    | 17,462                     | 79,534                       | 17,879                      | 97,414                      | 114,876                    |
| 85        | 0,032 | 35,7 | 14,241       | 1,669             | 22                    | 28,483                     | 202,699                      | 7,439                       | 210,138                     | 238,621                    |
| 86        | 0,032 | 10,8 | 2,836        | 0,114             | 21                    | 5,671                      | 58,566                       | 0,234                       | 58,800                      | 64,471                     |
| 87        | 0,032 | 2,4  | 0,630        | 0,048             | 21                    | 1,260                      | 13,015                       | 0,117                       | 13,132                      | 14,392                     |
| 88        | 0,05  | 71,8 | 44,803       | 2,617             | 25                    | 89,607                     | 463,778                      | 33,295                      | 497,073                     | 586,680                    |
| 89        | 0,032 | 19,6 | 7,835        | 1,403             | 22                    | 15,670                     | 111,518                      | 7,626                       | 119,145                     | 134,815                    |
| 90        | 0,032 | 11,5 | 3,019        | 0,250             | 21                    | 6,039                      | 62,362                       | 0,732                       | 63,094                      | 69,133                     |
| 91        | 0,032 | 10,5 | 2,757        | 0,168             | 21                    | 5,514                      | 56,939                       | 0,421                       | 57,360                      | 62,874                     |
| 92        | 0,032 | 27,3 | 10,897       | 1,158             | 22                    | 21,793                     | 155,092                      | 4,886                       | 159,978                     | 181,771                    |

## Окончание таблицы 13

| № участка | Dy, м | L, м | ФЕР,<br>тыс.руб | $\frac{MM}{R},$<br>м | q <sub>л</sub> , Вт/м | $\Sigma Z_{к},$<br>тыс.руб. | $\Sigma Z_{лт},$<br>тыс. руб. | $\Sigma Z_{ээ},$<br>тыс.руб. | $\Sigma Z_{э},$<br>тыс. руб. | $Z_{\Sigma},$<br>тыс. руб. |
|-----------|-------|------|-----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 93        | 0,032 | 10,6 | 2,783           | 0,165                | 21                    | 5,566                       | 57,482                        | 0,410                        | 57,891                       | 63,457                     |
| 94        | 0,032 | 12,5 | 3,282           | 0,096                | 21                    | 6,564                       | 67,785                        | 0,167                        | 67,952                       | 74,516                     |
| 95        | 0,032 | 31,5 | 12,573          | 0,701                | 21                    | 25,146                      | 170,818                       | 2,148                        | 172,966                      | 198,112                    |
| 96        | 0,032 | 15,7 | 6,266           | 0,363                | 21                    | 12,533                      | 85,138                        | 1,111                        | 86,249                       | 98,782                     |
| Всего:    |       |      |                 |                      |                       | 2765,607                    | 15345,667                     | 1185,042                     | 16530,708                    | 19296,315                  |

Итого в двухтрубном исчислении  $Z_{\Sigma} = 38730,600$  тыс. руб.

Итак, оптимизация тепловой сети проводилась по экономическому критерию с оценкой минимально возможных затрат. В таблице 14 представлено сравнение стоимости тепловой сети при различных вариантах ее конфигурации.

Из таблицы видно, что капитальные затраты при реконструкции для получения оптимальной тепловой сети близки к капитальным затратам на создание новой сети, так как диаметры в большинстве случаев в оптимальном варианте и в существующей сети различны.

Таблица 14 – Сравнение варианта реконструкции тепловой сети поселка «Английский парк» в г. Красноярске

| Система теплоснабжения<br>(в двухтрубном исполнении)           | Существующая<br>система | Система после<br>экономической<br>оптимизации |
|--|-------------------------|---|
| Капитальные затраты на сооружение<br>тепловой сети, млн. руб.  | 5,923                   | 5,706   |
| Эксплуатационные затраты тепловой<br>сети за 30 лет, млн. руб. | 33,435                  | 33,024  |
| Суммарные затраты тепловой сети за 30<br>лет, млн. руб.        | 39,358                  | 38,731  |

Таким образом, строительство тепловой сети поселка с выбором диаметров трубопроводов с учетом технико-экономических показателей на 2024 г. позволило бы сэкономить 627,400 тыс. руб., что на 1,6% меньше стоимости существующей системы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системы теплоснабжения характеризуются непрерывным развитием во времени и зависимостью экономических показателей как от схемы, типа оборудования и режима работы системы централизованного теплоснабжения, так и от структуры оборудования и режима работы энергетической системы в целом. Изменение основных исходных показателей по годам расчетного периода еще больше усложняет задачу оптимизации и делает необходимым проведение многовариантных расчетов.

Важно проводить анализ результатов комплексных технико-экономических расчетов, что позволяет вывести общие выводы и во многих случаях уменьшить объем оптимизационных расчетов теплофикационных систем без ущерба для принимаемых решений.

В данной работе был проведен анализ изменения основных экономических показателей, как стоимость энергоресурсов и индексы изменения сметной стоимости рисунок 5). Так, по сравнению с 2022 г. тариф на электрическую энергию увеличился сначала на 5 %, затем на 15 %; тариф на тепловую энергию - на 9 % и 21 %; индекс пересчета менялся от 9 % до 20 % на уменьшение и увеличение. Из-за неравномерной динамики тарифов и индексов изменения сметной стоимости происходит смещение оптимума затрат и, следовательно, диаметров трубопроводов тепловых сетей! Это свидетельствует о том, что экономический оптимум выбора диаметров за рассмотренный период времени изменился и выбранные типоразмеры труб уже не актуальны.

В действующих, на настоящее время, нормативных документах нет указаний на поддержание определенных удельных показателей, в каких-либо пределах, например, удельных линейных потерь напора. В СП Тепловые сети говорится, что диаметры трубопроводов тепловой сети должны выбираться из технико-экономических соображений (приведенные затраты должны быть минимальными). С увеличением удельных линейных потерь напора

капитальные затраты в тепловые сети уменьшаются (уменьшаются диаметры трубопроводов), а приведенные затраты связанные с затратами электроэнергии на перекачку теплоносителя увеличиваются, в тоже время приведенные затраты, связанные с тепловыми потерями через изоляцию, уменьшаются. Все эти факторы необходимо учитывать при подборе диаметров трубопроводов тепловой сети.

Для определения оптимизационного варианта был определен критерий сравнительной экономической эффективности - показатель минимума приведённых затрат, соизмеряющий единовременные капитальные и текущие затраты:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_{\Sigma} = \sum Z_K + \sum Z_{Э} \\ \min Z = \\ = \min \left\{ \sum Z_{\text{кап.тр.}}(d_i) + \sum Z_{\text{кап.нас.}}(\Delta H(d_i)) + \sum Z_{\text{экспл.ЭЭ}}(N(\Delta H(d_i))) + \sum Z_{\text{экспл.ТП}}(d_i) \right\} \end{array} \right.$$

где  $Z_{\text{кап.тр.}}$  - капиталовложения в линейные участки, руб.;

$Z_{\text{кап.нас.}}$  - капиталовложения в насосные станции, руб.;

$Z_{\text{экспл.ЭЭ}}$  - затраты на электроэнергию, которые пропорциональны потерям давления на участках, руб.;

$Z_{\text{экспл.ТП}}$  - затраты на теплопотери, руб.

По предложенной методике был реализован расчет экономической оптимизации, на основании которого определен оптимальный диаметр по минимальным суммарным затратам при различных расходах теплоносителя (рисунок 6).

Анализ показал, что расчетные диаметры труб по приведенной в данной работе методике оказались сдвинуты от оптимальной зоны выбора диаметров, рассчитанным по традиционной методике. Соответственно была определена оптимальная зона выбора диаметров трубопроводов по удельным потерям напора  $R = 3 \div 25 \frac{\text{мм}}{\text{м}}$  (рисунок 11). Но, при этом на каждом типоразмере будет определенное значение удельных потерь. Также по анализу изменения скорости

теплоносителя (рисунок 12), получено превышение среднего значения в 3,7 раза, чем при традиционном расчете. Это говорит о том, что в настоящее время эффективнее использовать в больших объемах электрическую энергию, нежели тепловую. К тому же, как было выяснено, динамика повышения тарифа электроэнергии в 1,4 раза меньше динамики тарифа тепловой энергии.

Далее по приведенной методике выбора диаметров трубопроводов была проведена оптимизация системы теплоснабжения поселка «Английский парк» в г. Красноярске с определением реконструируемых участков. В результате расчета двух вариантов – существующей системы и системы после реконструкции - получилось сэкономить 627,400 тыс. руб., что на 1,6% меньше стоимости существующей сети.

Таким образом, был разработан оптимальный по капитальным затратам метод расчета наружных тепловых сетей с учетом технико-экономических показателей. Полученные зависимости и алгоритмы применимы к дальнейшей разработке и внедрению в работу.

Рассмотренный пример оптимизации показывает, что действительно требуется актуализация критерия выбора оптимальных диаметров трубопроводов тепловой сети. Со временем происходит смещение оптимума затрат и полученные расчетные зависимости подтверждают эту необходимость. Ведь традиционный метод выбора диаметров, по тем же монограммам, рассчитан для всех разветвленных сетей без конкретных данных. Представленная в данной работе методика учитывает изменившееся отношение цен, температурный график теплоносителя и способ прокладки трубопроводов. Развитие такой методики при учете многих других параметров может привести к повышению эффективности систем теплоснабжения



## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СП 124.13330.2012. Тепловые сети/ Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003.
2. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 : дата введения 01.01.2013. – Москва, 2012. – 100 с.
3. СП 131.13330.2018. Строительная климатология : дата введения 29.05.2019. – Москва, 2018. – 110 с.
4. СП 117.13330.2011. Система нормативных документов в строительстве. Строительные нормы и правила РФ. Общественные здания административного назначения. Актуализированная редакция СНиП 31-05-2003. Взамен СНиП 02.08.02 : дата введения 01.09.2003. - Москва, 2003. – 34 с.
5. СП 30.13330.2016. Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.4.01-85 : дата введения 17.06.2017. – Москва, 2016. – 81 с.
6. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 24-01-2003 : дата введения 01.01.2013. – Москва, 2012. – 81 с.
7. СНиП 31-05-2003. Общественные здания административного назначения. Взамен СНиП 2.08.02-89 : дата введения 01.09.2003. - Москва, 2003. – 34 с.
8. СТО НОП 2.1-2014. Требования по составу и содержанию энергетического паспорта жилого и общественного здания : дата введения 04.06.2014. – Москва, 2014. – 125 с.
9. ТКП 45-1.04-208-2010 (02250). Здания и сооружения. Техническое состояние и обслуживание строительных конструкций и инженерных систем и оценка их пригодности к эксплуатации : дата введения 15.07.2010. – Минск, 2011. – 27 с.

10. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. Москва, 2009.
11. ФЗ РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации". Москва, 2009. – 52 с.
12. СТС Красноярск до 2042 года 04401.СТ-ПСТ.000.000. Утв. часть. Красноярск, 2023. – 203 с.
13. МДС 41-6.2000 по подготовке к проведению отопительного периода и повышению надежности систем коммунального теплоснабжения в городах и населенных пунктах РФ. Москва, 2000.
14. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника: Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1980.
15. Богословский, В.Н. Внутренние санитарно-технические устройства : Справочное издание: в 3 ч / И. Г. Староверов, Б. А. Крупнов, А. Н. Сканави. – Москва: Стройиздат, 1990. – 344 с.
16. Зингер, Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем : 2-е издание, переработанное. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 335 с.
17. Козин, В.Е. Теплоснабжение / В.Е. Козин М.: Высш. школа, 1980. — 409 с.
18. Каганович, Б.М. Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей / [В.Я. Хасилев, А.П. Меренков, Б.М. Каганович и др.]; Под общ. ред. В.Я. Хасилева и А.П. Меренкова. - Москва : Энергия, 1978. - 176 с.
19. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям : под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е издание, перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1992. – 672 с.
20. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети : Учебник для вузов. - 7-е издание, стереотипное. – Москва : издательство МЭИ, 2001. – 472 с.

- 21.Меренков, А.П. Дифференциация методов расчета тепловых сетей / А.П.Меренков // Журнал вычислительной математики и математической физики.№5, Москва, 1973.
- 22.Хасилев, В.Я. Элементы теории гидравлических цепей / В.Я. Хасилев // Энергетика и транспорт. №1, Москва, 1964.
- 23.Хасилев, В.Я. О применении математических методов при проектировании и эксплуатации трубопроводных систем / В.Я. Хасилев // Энергетика и транспорт. №2, Москва, 1971.
- 24.Кобелев Н. С. Энергосберегающие технологии, трубопроводы и оборудование систем теплогазоснабжения и вентиляции : монография / Н. С. Кобелев, Э. В. Котенко, А. Е. Полозов. - Курск : КурскГТУ, 2005. – 200
- 25.Сухов, В. В. Инженерные сети : Учебное пособие / В. В.Сухов, М.С. Морозов : под общ. ред. В. В. Сухова. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2019. – 179 с.
- 26.Руководство Grundfos: Системы отопления частных домов.: 2008.– 86 с.
- 27.Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник / В.И. Манюк, Я.И. Каплинский, Э.Б. Хиж и др. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1988. - 432 с.
- 28.Аксенов А.Н., Рабенко В.С., Трухачев В.Н.: Справочник свойств воды и водяного пара/ИГЭУ; каф. АЭС 1999 г.
- 29.Ершов Ю.Г., Проектирование теплоэнергетических систем промышленных предприятий: учеб. пособие/ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» - Иваново, 2007. - 356 с.
- 30.Авдолимов Е.М. Реконструкция водяных тепловых сетей. — М.: Стройиздат, 1990.
- 31.Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М. и др. Теплоизоляционные материалы и конструкции: Учебник для техникумов. — М.: 2003.
- 32.Ионин А.А. Надежность систем тепловых сетей. — М.: Стройиздат, 1989.

33. Шумов В.В. Компенсаторы для трубопроводов тепловых сетей. — Л.: Энергоатомиздат, 1990.
34. Гончар В.В. Теплоснабжение города [Электронный ресурс]: учебное пособие / сост.: В.В. Гончар, Д. М. Чудинов; Воронеж. гос. архит.-строит. ун-т. - Воронеж: [б. и.], 2015.
35. Подпоринов Б.Ф. Теплоснабжение [Электронный ресурс]: учебное пособие / Подпоринов Б.Ф. - Электрон. текстовые данные. - Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2011. — 267 с.
36. Сотникова О.А. Теплоснабжение: учеб. пособие: рек. УМО РФ. – М.: АСВ, 2005. – 288 с.
37. Шифринсон Б.Л. Основной расчет тепловых сетей: Теория и методы расчета / Б.Л. Шифринсон // Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1940.
38. Werner S. International review of district heating and cooling. Energy, 137 (2017), pp. 617-631
39. Jentsch A., Bohn K., Pohlig A., Dötsch C., Richter S., Manderfeld M. Handbuch zur entscheidungsunterstützung. Leitungsgebundene Wärmeversorgung im ländlichen Raum, Fernwärme in der Fläche (2008)
40. Morvaj B. *et al.* Optimising urban energy systems: Simultaneous system sizing, operation and district heating network layout. Energy (2016)
41. Ameri M. *et al.* Optimal design and operation of district heating and cooling networks with CCHP systems in a residential complex. Energy Build (2016)

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт

Теплотехники и гидрогазодинамики  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В. А. Кулагин

подпись инициалы, фамилия

«26» июня 2024 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Проектирование тепловой сети  
в коттеджном поселке Английский парк

тема

13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

13.04.01.01 – Энергетика теплотехнологий

код – наименование магистерской программы

Руководитель

Колосов 24.06.24  
подпись, дата

доцент каф. ТТиГТД ПИ СФУ, к.т.н.

должность, ученая степень

М.В. Колосов

инициалы, фамилия

Выпускник

Кулешова 24.06.24  
подпись, дата

Ю.А. Кулешова

инициалы, фамилия

Рецензент

Липовка  
подпись, дата

профессор каф. ИСЗиС ИСИ СФУ, д.т.н.

должность, ученая степень

Ю.Л. Липовка

инициалы, фамилия

Красноярск 2024