

На правах рукописи



КОЛОСОВ
Михаил Викторович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННО-
ГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Специальность 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск – 2011

Работа выполнена на кафедре «Тепловые электрические станции» ФГАОУ
ВПО «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук
профессор Михайленко Сергей Ананьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук
профессор Липовка Юрий Львович

кандидат технических наук
Бестолченко Владимир Георгиевич

Ведущая организация: ОАО «Сибирский энергетический научно-
технический центр» Красноярский филиал Си-
бирский теплотехнический научно-
исследовательский институт ВТИ, г. Красно-
ярск

Защита состоится «21» декабря 2011 года в 16 часов на заседании дис-
сертационного совета ДМ 212.099.07 при ФГАОУ ВПО «Сибирский феде-
ральный университет» по адресу: г. Красноярск, ул. Ленина, ауд. 204.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВПО «Си-
бирского федерального университета»

Автореферат разослан «21» ноября 2011 года

Ученый секретарь
диссертационного совета



Чупак Татьяна Михайловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одним из направлений энергосбережения в системах централизованного теплоснабжения является совершенствование схем и параметров тепловых сетей. Исследование режимов работы таких тепловых сетей, являющихся связующим звеном между источниками и потребителями теплоты, обеспечивает принятие конкретных проектных и технологических решений, способствующих экономии тепловой и электрической энергии. Поэтому совершенствование методики выбора новых и повышение эффективности существующих тепловых сетей является актуальной задачей, решение которой позволит повысить качество и надежность работы систем централизованного теплоснабжения в целом, что соответствует одному из стратегических направлений развития России – модернизации энергетики и повышению энергоэффективности систем теплоснабжения.

Объектом исследования являются кольцевые тепловые сети различной конфигурации.

Предметом исследования являются технико-экономических характеристики тепловых сетей.

Цель работы совершенствование методов расчета кольцевых тепловых сетей для улучшения их технико-экономических характеристик.

Для реализации основной цели исследования в диссертационной работе поставлены следующие **задачи**:

1. Выполнить анализ системы теплоснабжения (на примере Советского района г. Красноярск) и разработать функциональную модель тепловой сети для проведения эксергетического анализа и обоснования критерия оптимизации системы теплоснабжения;

2. Разработать математическую модель системы теплоснабжения, сформулировать и решить задачу оптимизации характеристик и параметров системы теплоснабжения по энергетическим и экономическим показателям;

3. Разработать рекомендации по увеличению пропускной способности тепловой сети и повышению эффективности ее работы.

Научная новизна работы:

1. Сформулирована математическая задача оптимизации характеристик тепловой сети, включающая критерий оптимизации по эксергетическому и экономическому критериям, математическая модель тепловой сети, а также технические ограничения тепловой сети;

2. Разработана математическая модель для исследования системы централизованного теплоснабжения, отличающаяся применением методов эксергетического анализа позволяющая получить сведения о потенциале проведения энергосберегающих мероприятий;

3. Разработана методика выбора реконструируемых трубопроводов тепловых сетей на основании методов экстремального анализа, позволяющая про-

водить мероприятия по повышению пропускной способности с максимальной экономической эффективностью.

Практическая значимость:

1. Предложена методика оптимизации диаметров и напоров расширяемых и реконструируемых тепловых сетей, позволяющая уже на стадии проектирования наиболее полно учитывать индивидуальные особенности и экономические характеристики каждого конкретного объекта с целью улучшения технико-экономических характеристик тепловой сети и экономии энергетических ресурсов.

2. Разработан программный продукт для определения оптимальных характеристик и конфигураций тепловых сетей при различных критериях оптимальности.

3. Научные и практические результаты работы используются при разработке технических решений по реконструкции тепловых сетей в ОАО «Енисейская территориальная генерирующая компания (ТГК-13)» филиале «Красноярская теплосеть», а также в Сибирском федеральном университете при обучении студентов по специальности «Промышленная теплоэнергетика» и направлению «Теплоэнергетика».

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием современных методов исследований в области анализа потокораспределения теплоносителя, а также сопоставлением результатов расчета с расчетами потокораспределения на основе геоинформационной системы ZuluThermo в ходе апробации расчетных моделей.

Личный вклад автора. Автор принимал участие в постановке задачи, разработке методик и проведении экспериментов, обработке и интерпретации полученных результатов, формулировании основных выводов по результатам выполненных работ по теме диссертации.

Апробация работы проводилась на Всероссийской научной конференции «Наука. Технологии. Инновации», Новосибирск, 2009; VI Всероссийской научно-технической конференции «Молодежь и наука», Красноярск, 2010; XI Международной научно-технической конференции «Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах» Пенза, 2010; Всероссийской научно-практической конференции «Технологии XXI века в энергетике и транспортных коммуникациях: проблемы и перспективы», Сочи, 2010; II Всероссийской конференции «Инновационная энергетика», Новосибирск, 2010; XI Всероссийской научно-практической конференции «Энергоэффективность систем жизнеобеспечения города», Красноярск, 2010

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 13 печатных работ, в том числе 2 из списка рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель исследований, выделены научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе дан обзор публикаций и анализ основных направлений исследований в области повышения эффективности системы централизованного теплоснабжения. Обсуждаются существующие методы оценки и показатели энергетической эффективности элементов теплоснабжения.

В настоящее время в рамках территориальных образований, крупных городов и мегаполисов все более актуальным становится системный подход к энергосбережению в коммунальном комплексе. При этом частные решения энергосбережения на источниках и у потребителей не дадут масштабного эффекта без сочетания их с общими мероприятиями на всех уровнях единого коммунального комплекса.

Для оценки эффективности работы источников теплоты и/или электроэнергии используются энергетический, действующий метод ОРГРЭС и эксергетический метод. Сопоставление теплового и эксергетического балансов приводит к переоценке представлений о термодинамической эффективности рассматриваемого объекта. Эксергетический анализ тепловых потерь учитывает существенную статью потерь – потерю от необратимости процессов. Исследованиям эффективности систем теплоснабжения посвящены работы: В.Я. Хасилева, А.П. Меренкова, Б.Л. Шифринсона, Л.А. Мелентьева, Н.М. Зингера, В.М. Журавлева, E. Guggenheim и др.

Тепловые сети как составная часть системы централизованного теплоснабжения, оказывают значительное влияние на эффективность работы всей системы теплоснабжения. Тепловые потери в окружающую среду, возникающие при транспорте теплоносителя в теплопроводах, представляют собой важный энергетический и экономический показатель эффективности работы тепловых сетей и являют собой предмет заинтересованности всех участников взаиморасчетов при выработке, транспорте и потреблении тепловой энергии. Все выше сказанное в той или иной степени соответствует системе теплоснабжения г. Красноярска.

Более трудными стали и традиционные задачи проектирования новых систем из-за резкого увеличения их масштабов. Большая протяженность и сложный рельеф местности приводят к необходимости установки в сети насосных и дроссельных подстанций для поддержания давлений в трубопроводах в допустимых пределах. Перечисленные задачи не могут быть обоснованно решены ни аналитическими методами, ни методами сравнения вариантов с равномерным распределением потерь давления на трение (линейным методом).

Таблица 1 – Объемы выработки электрической и тепловой энергии филиалами ОАО «Енисейская ТГК (ТГК-13)» в г. Красноярске за 2007 – 2010 года

Филиал	2007 г.		2008 г.		2009 г.		2010 г.	
	Электро-энергия, млн. кВтч	Тепловая энергия, тыс. Гкал	Электро-энергия, млн. кВтч	Тепловая энергия, тыс. Гкал	Электро-энергия, млн. кВтч	Тепловая энергия, тыс. Гкал	Электро-энергия, млн. кВтч	Тепловая энергия, тыс. Гкал
Красноярская ТЭЦ-1	2 083,5	4 624	2 374,384	4 526,1	2 161	4 538	1 997	4 316
Красноярская ТЭЦ-2	2 404,7	3 498	2 676,836	3 656,4	2 635	3 749	2 677	3 831
Красноярская ТЭЦ-3	-	1 556	-	1 658,0	-	1 753	-	1 792
Красноярская теплосеть	-	597	-	712,4	-	797	-	874
ВСЕГО	4488,2	10275	5051,22	10552,9	4797,075	10838,54	4 674	10 813

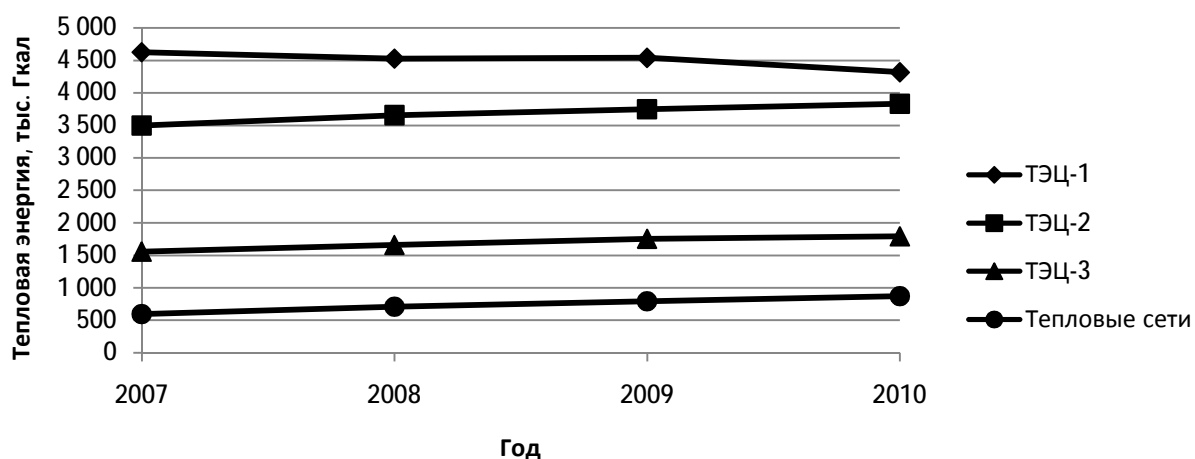


Рисунок 1 – График распределения тепловой энергии филиалами ОАО «Енисейская ТГК (ТГК-13)» в г. Красноярске по годам

Таблица 2 – Сравнение энергетического и эксергетического к.п.д. для тепловых станций г. Красноярска

Станция	Энергетический к.п.д.	Эксергетический к.п.д.
Красноярская ТЭЦ-1	0,592	0,32
Красноярская ТЭЦ-2	0,664	0,392
Красноярская ТЭЦ-3	0,882	0,221

Наиболее типичной становится проблема расширения и развития существующей сети для присоединения новых потребителей тепла. При этом приходится выбирать диаметры труб не только для вновь прокладываемых участков, но и для существующих, подлежащих реконструкции с целью увеличения пропускной способности. Реконструкция каждого из них в свою оче-

редь может быть осуществлена различным образом: заменой существующего диаметра на больший или прокладкой параллельной магистрали. Актуальной также стала задача оптимального выбора параметров сетей с несколькими источниками теплоснабжения.

Для анализа работы системы теплоснабжения был рассмотрен Советский район г. Красноярска. Для анализа системы теплоснабжения Советского района г. Красноярска было проведено исследование по соблюдению тепло-гидравлических режимов в тепловой сети (рисунки 1-6).

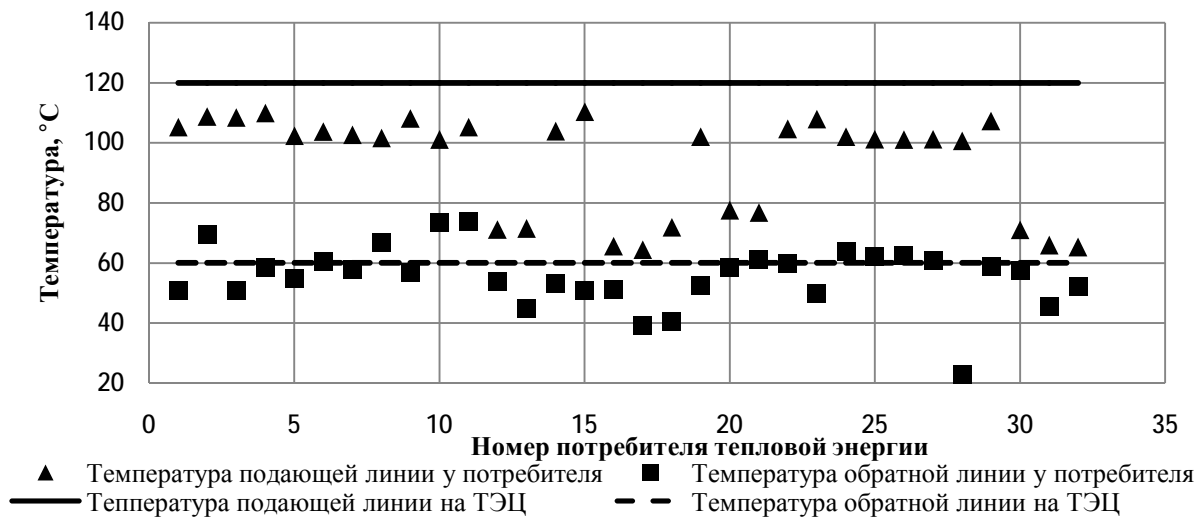


Рисунок 2 – Средняя температура теплоносителя за январь 2010 года на Красноярской ТЭЦ-3 в сравнении с температурами 32 тепловых пунктов

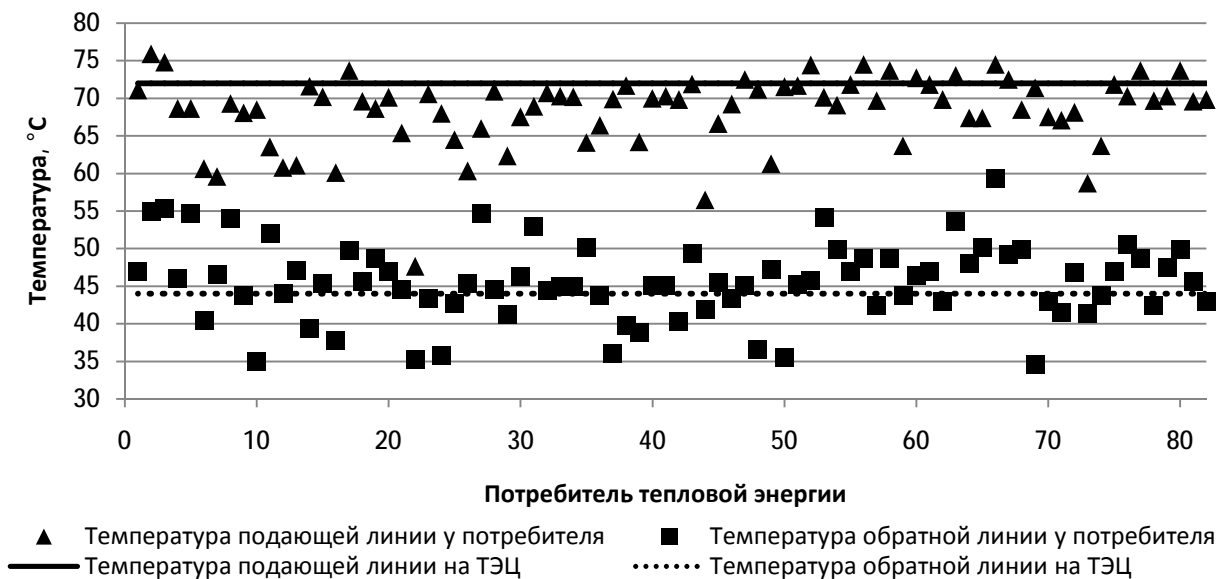


Рисунок 3 – Средняя температура теплоносителя за апрель 2010 года на Красноярской ТЭЦ-3 в сравнении с температурами 82 тепловых пунктов

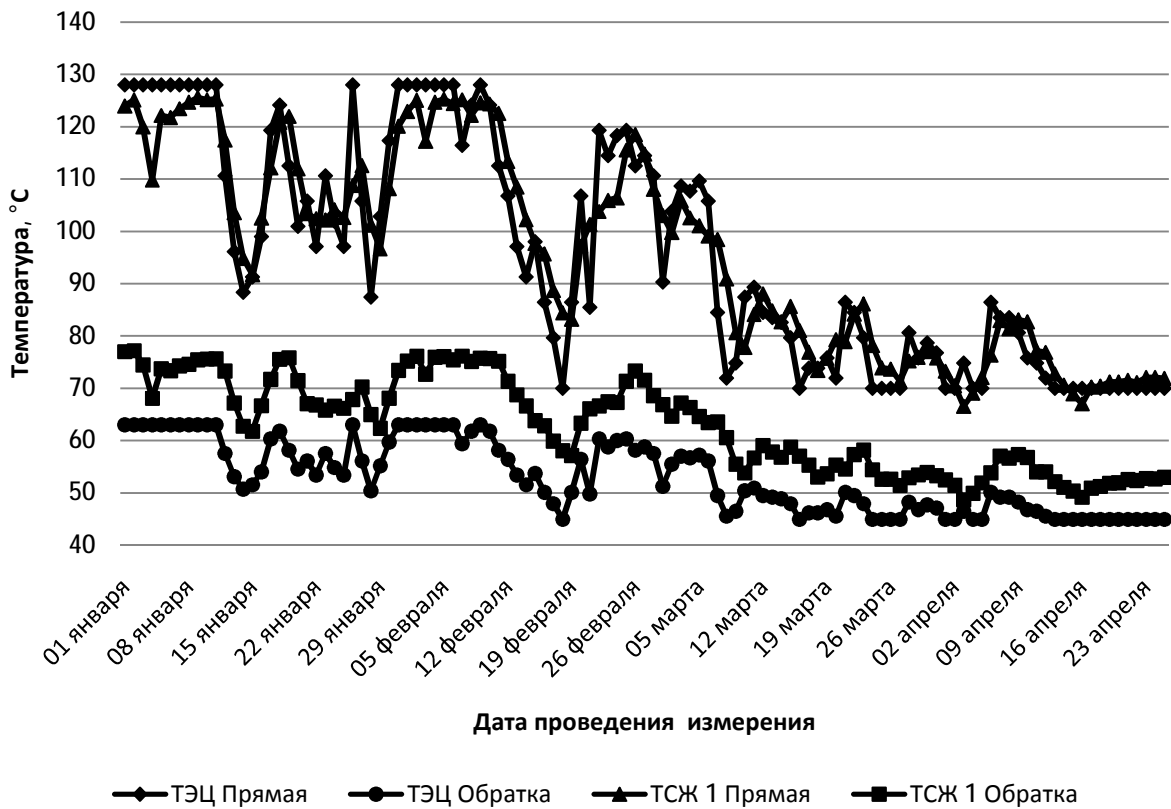


Рисунок 4 – Температура теплоносителя на Красноярской ТЭЦ-3 в сравнении с температурой ТСЖ в 2011 году, к.п.д.– 0.77



Рисунок 5 – Температура теплоносителя на Красноярской ТЭЦ-3 в сравнении с температурой ТСЖ 2, к.п.д.– 0.78



Рисунок 6 – Температура теплоносителя на Красноярской ТЭЦ-3 в сравнении с температурой ТСЖ 3, к.п.д.– 0.95



Рисунок 7 – Температура теплоносителя на Красноярской ТЭЦ-3 в сравнении с температурой ТСЖ 4, к.п.д.– 0.44

Результаты замеров температурных параметров и расходов показали сильную неравномерность и несбалансированность потокораспределения теплоносителя, из-за чего к.п.д. тепловой сети Советского района г. Красноярска в период обследования составило около 62.2%. Решением данной проблемы может стать применение методов математического моделирования при проектировании тепловых сетей.

Математическое моделирование гидравлических режимов сложных тепловых сетей требует применения общих методов расчета потокораспределения в гидравлических цепях.

Экстремальное описание потокораспределения имеет несомненное теоретическое и методическое значение. Наиболее интересным в этом плане является интерпретация задачи потокораспределения как нелинейной сетевой транспортной задачи. Проблема оптимизации параметров различных схем городского теплоснабжения в случае применения новых материалов, оборудования, технических предложений и схем, выбора способа теплоснабжения потребителей: централизованного и децентрализованного требует научного обоснования и технико-экономических расчетов на основе системного подхода. Значительный вклад в развитие математического моделирования тепловых сетей и процессов оптимизации внесли: В.Я. Хасилев, А.П. Меренков, Ю.М. Варфоломеев, Н.М. Зингер, А.А. Ионин, Ю.Л. Липовка, Б.Л. Шифринсон, Е.Я. Соколов, Е.Б. Триус, Ф.П. Васильев, Е.Г. Гольштейн и др.

Кроме того, анализ существующих подходов и методов исследования систем централизованного теплоснабжения и ее элементов, показал, что отсутствуют показатели энергетической эффективности систем централизованного теплоснабжения как единого комплекса. Причиной этого является то обстоятельство, что при определении к.п.д. системы неизвестно с чем производить сравнение, какое значение к.п.д. принимать за достижимый максимум. Поэтому оценка энергетической эффективности системы теплоснабжения в целом имеет лишь информативный характер, не позволяя с его помощью найти пути повышения эффективности системы.

На основании обзора литературы сформулированы основные задачи, решаемые в диссертации.

Во второй главе проводится структурный и функциональный анализ теплоэнергетического комплекса, дается описание энергетической эффективности систем теплоснабжения, а также описание разработанной модели для исследования системы централизованного теплоснабжения, которая включает модули, описывающие условия функционирования всех ее элементов на основе методов энергетического анализа.

Развитие и текущее функционирование энергосистем, как и любых других больших систем, обеспечивает выполнение большого числа самых разнообразных целей. Энергосистема должна быть экономичной, обеспечивать полное и надежное снабжение потребителей электрической и тепловой энергией, не оказывать вредного влияния на окружающую среду. При наличии

многих и часто противоречивых целей, а так же различных типов исходной информации об энергосистеме, появляются различные альтернативы решения.

Корректный анализ энергетической эффективности систем теплоснабжения базируется на подходе к системе теплоснабжения как к единому теплоэнергетическому комплексу, в котором все составные элементы функционально связаны и взаимно влияют друг на друга. Основными технологическими процессами являются: производство тепловой энергии в виде пара и горячей воды энергетическими источниками за счет исходных ресурсов, а также по возможности производство электроэнергии; транспорт энергоносителя, с соответствующими параметрами; а также потребление энергии. Модель транспорта тепловой энергии имеет множество связанных элементов, из-за чего усложняется анализ данной системы. Элементами системы транспорта тепловой энергии являются трубопроводы, насосные станции, а также теплообменные аппараты (рисунок 8).

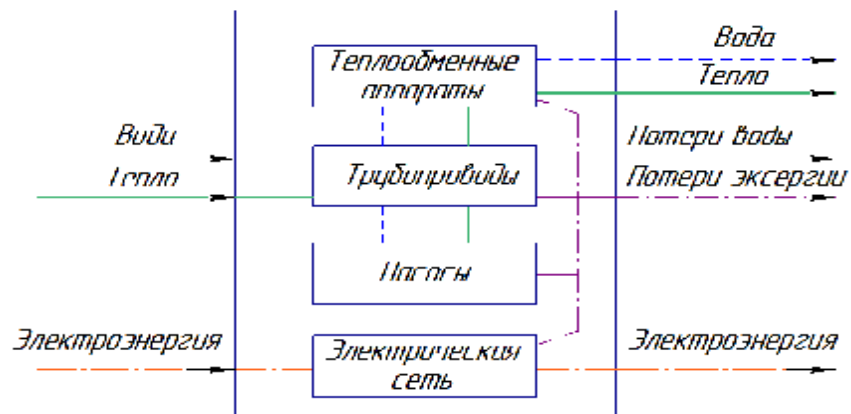


Рисунок 8 – Функциональная структура системы транспорта энергии

При исследовании системы теплоснабжения использовалось понятие эксергии в различных ситуациях для выявления непроизводительного использования природных ресурсов. Эксергия потока зависит не только от температурного режима тепловой сети, но и от непосредственного изменения температуры окружающего воздуха (рисунок 9), т.е. относительный термодинамический показатель качества энергии сетевой воды не является постоянной величиной (рисунок 10). На сегодняшний день цена тепловой энергии является величиной постоянной и не зависит от температуры наружного воздуха, что не отражает процесс ее производства.

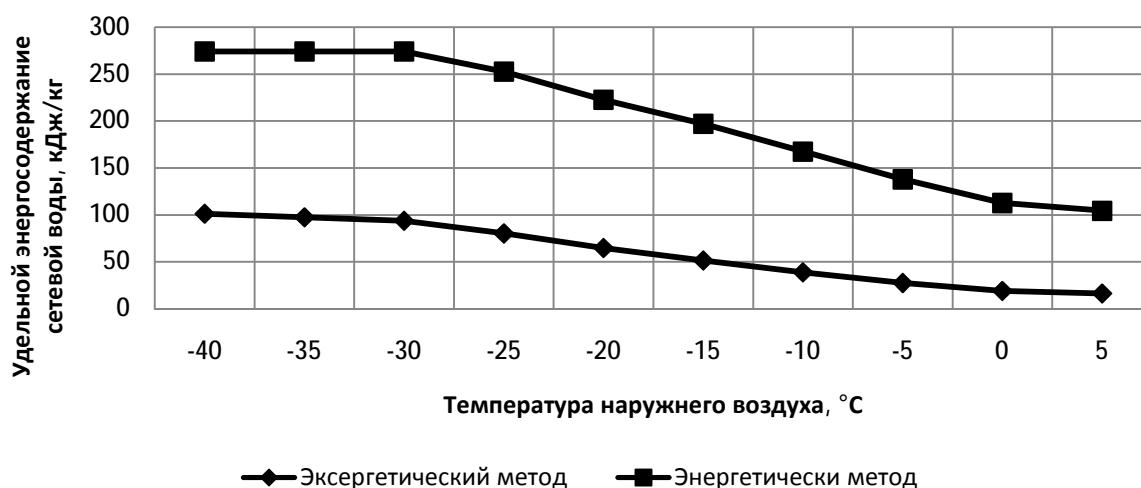


Рисунок 9 – График зависимости энергосодержания сетевой воды, рассчитанные по энергетическому и эксергетическому методам в соответствии с графиком температур сетевой воды

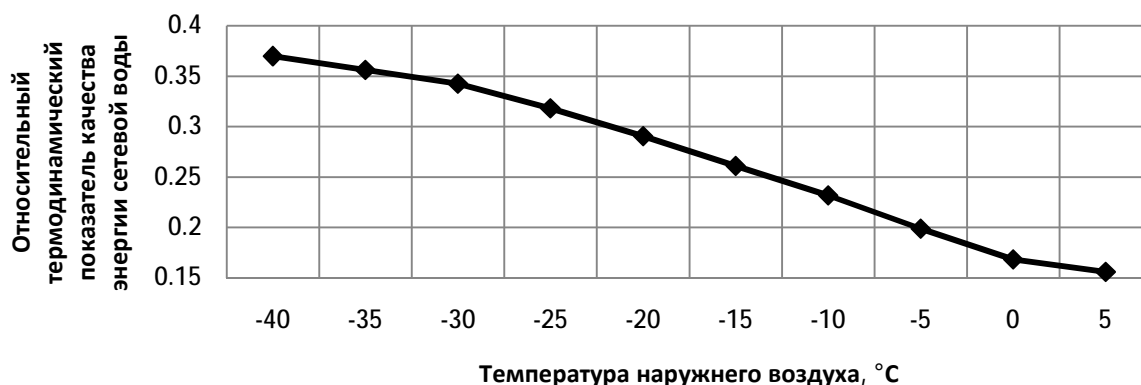


Рисунок 10–Зависимость относительного термодинамического показателя качества энергии сетевой воды от температуры наружного воздуха

Для анализа системы энергоснабжения необходимо учитывать все элементы совместно, т.е. для повышения эффективности работы системы необходимо найти возможности для снижения суммарных потерь эксергии как во всех элементах системы, так и в системе энергоснабжения в целом. Для повышения эффективности системы теплоснабжения необходимо найти пути снижения потерь эксергии также и в тепловых сетях. Самым очевидным решением является выбор наилучших с эксергетической точки зрения параметров тепловой сети.

В третьей главе дается описание математической модели расчета характеристик элементов тепловых сетей с использованием методов оптимизации проектных решений по реконструкции и новому строительству тепловых сетей. Рассмотрены вопросы повышения энергетической и экономической эффективности теплоснабжения.

Для проекта реконструкции или нового строительства теплоснабжающей сети необходимо выбрать такой вариант ее конфигурации и основных параметров, при котором ожидаемые в среднем энергетические результаты ее функционирования были бы наилучшими в смысле некоторого критерия оптимальности. Была создана физико-математическая модель, и разработаны методы и технология ее численной оптимизации.

Если непосредственно формулировать все основные проблемы строительства и эксплуатации системы теплоснабжения, то в простых обозначениях общую модель нелинейной оптимизации проектных параметров и схемы тепловой сети при энергетической оптимизации можно записать так:

$$\min_d F(\bar{d}, \bar{g}) = \min_d \left\{ k \sum_{ij} (n_{ij} + m_{ij} \cdot d_{ij}) l_{ij} + \sum_{ij} N(h_{ij}(g_{ij})) + M \min_{\omega, y_i(\omega) \in Y(\omega)} \varphi(d) \right\},$$

где d_{ij} – диаметры трубопроводов тепловой сети, м; k – относительный термодинамический показатель качества энергии сетевой воды от температуры наружного воздуха; l_{ij} – длины трубопроводов тепловой сети, м; n_{ij}, m_{ij} – эмпирические коэффициенты, N – мощность насосов, зависящая от напорно-расходной характеристики тепловой сети, Вт; h_{ij} – потери напора в трубопроводах тепловой сети, Па; g_{ij} – расход теплоносителя в трубопроводах тепловой сети, кг/с, φ – суммарные затраты электроэнергии и потери тепловой энергии тепловой сети при выходе элемента системы из строя при условии полного обеспечения потребителей тепловой энергии, Вт.

Для решения задачи были введены следующие ограничения:

1. Для любого потока распределения должны выполняться два «сетевых» закона Кирхгофа. С использованием матрицы соединений A , которая однозначно отображает структуру (топологию) системы, и вектора нагрузок Q записывается материальный баланс: $A\bar{g} = Q$.

Вводя матрицу контуров B , запишем компактную формулу суммарного нулевого изменения напора для любого контура системы: $B\bar{h} = 0$.

2. Выполнения соотношений по гидротехническим параметрам на участках сети, принимая, что на каждом участке имеет место квадратичный закон гидравлического сопротивления S , с учетом активного напора H :

$$\bar{h} + \bar{H} = S(\bar{d})|\bar{g}| \bar{g}.$$

3. Выполнения ограничений по пропускной способности (максимальному расходу теплоносителя) на участках сети: $g_{ij} \leq g_{\max}$.

Не превышение допустимых давлений в оборудовании источника теплоснабжения, тепловой сети и абонентских установок, а также условия не вскипания: $P_{\min} \leq P_i \leq P_{\max}$.

4. Выполнение условий обеспечения требуемых расходуемых напоров у потребителей: $\Delta P_i \geq \Delta P_{\text{потр}}$.

5. Выполнения условий неотрицательности переменных:

$$d_{ij} \geq 0, g_{ij} \geq 0, h_i \geq 0, P_i \geq 0, y_i(\omega) \geq 0.$$

В целевой функции минимизируются ожидаемые приведенные затраты эксергии на эксплуатацию теплосети, с учетом ущербов, вызываемых аварийными ситуациями в элементах сети. Такая задача оптимального потоко-распределения решается с помощью модифицированных функций Лагранжа и метода Ньютона.

Эмпирические коэффициенты n_{ij}, m_{ij} выбираются в зависимости от способа прокладки трубопроводов и вида теплоизоляции трубопроводов. Эмпирические коэффициенты n_{ij}, m_{ij} определялись, аппроксимируя зависимости норм плотности теплового потока для трубопроводов двухтрубных водяных сетей при подземной канальной и бесканальной прокладке (рисунок 11). Такие зависимости можно получить для любых вариантов прокладки и изоляции трубопроводов.

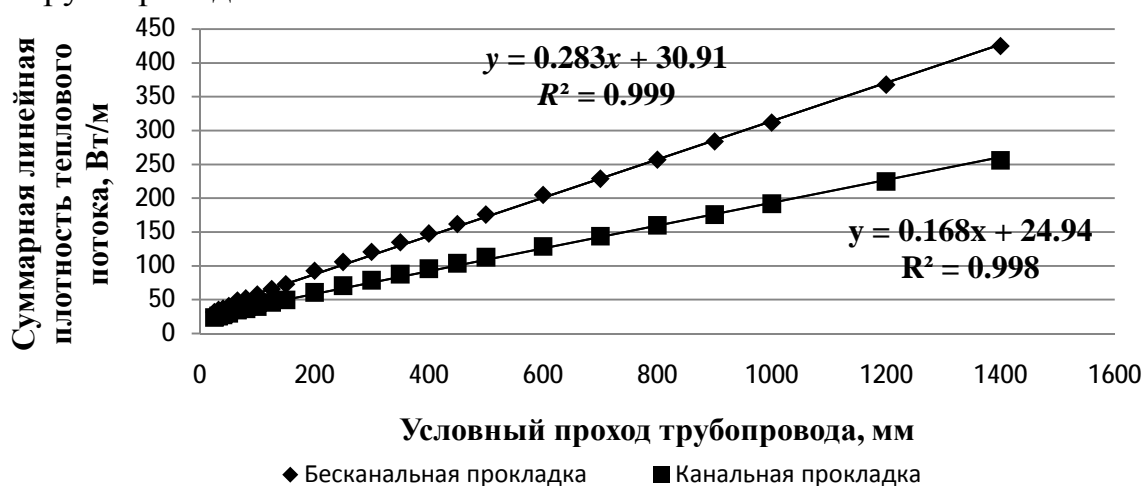


Рисунок 11 – Нормы плотности теплового потока для трубопроводов двухтрубных водяных сетей при подземной канальной и бесканальной прокладке

С практической точки зрения очень удобным представляется критерий энергетической эффективности η_{Θ} систем теплоснабжения с учетом ценности разного вида энергии для возможности непосредственного сравнения эффективности работы систем различной величины, и определения их максимальных потенциалов энергосбережения с использованием эксергетически оптимальных величин энергопотерь: $\eta_{\Theta} = \eta_{\text{сущ.}} / \eta_{\text{max.}}$, где $\eta_{\text{сущ.}}$ – показатель эффективности работы системы (можно рассматривать его как к.п.д. системы); $\eta_{\text{max.}}$ – показатель эффективности работы этой же системы полученный при ее эксергетической оптимизации.

Для проектирования экономически эффективной системы используется функция общих расчетных затрат. Затраты на теплопотери и электроэнергию рассчитываются по тарифам на электрическую энергию с учетом ее эксергетического перевода в стоимость тепловой энергии за период плановой эксплуатации трубопроводов тепловой сети. Затраты, пропорциональные капиталовложениям в линейные участки, можно рассчитывать по обобщенным формулам на основании нормативных документов (рисунок 12). Затраты, пропорциональные капиталовложениям в насосные станции, рассчитываются согласно их мощности.

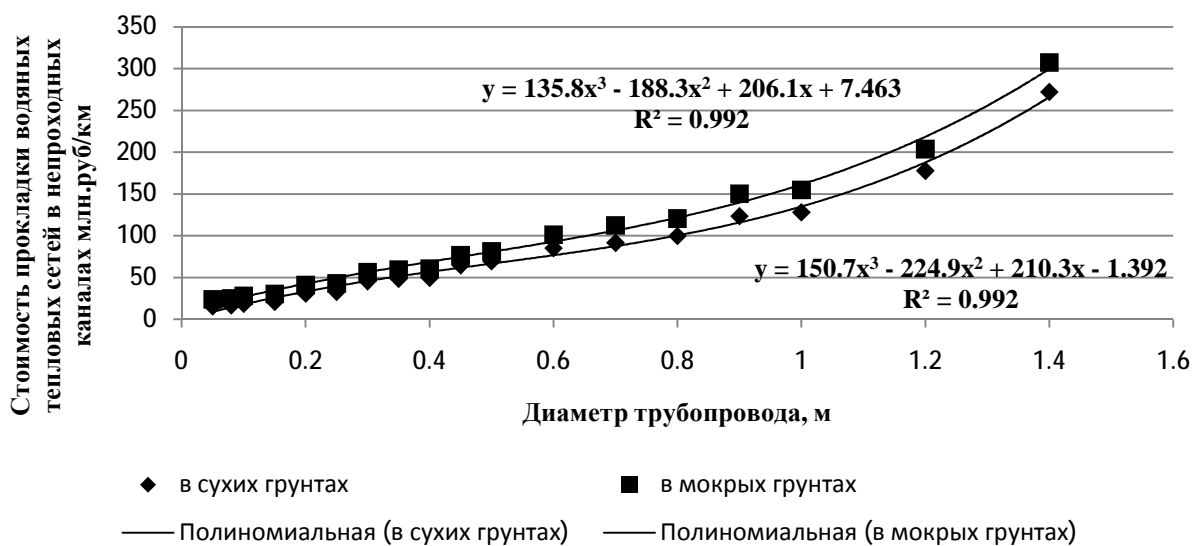


Рисунок 12 – Стоимость прокладки водяных тепловых сетей в непроходных каналах в зависимости от диаметра трубопровода в ценах на четвертый квартал 2010 года

Таким образом, разработка математических моделей систем энергетики представляет собой сложный творческий процесс, требующий совместных усилий высококвалифицированных энергетиков и математиков. В ходе этого процесса постоянно углубляются наши познания свойств систем и их основ-

ных связей, а это, в свою очередь, позволяет применять более совершенные математические модели, а также совершенствовать технологические процессы и повышать энергоэффективность таких систем.

В четвертой главе приводятся результаты расчетов, произведенные на разработанной математической модели системы централизованного теплоснабжения для климатических условий г. Красноярска. Показывается практическая реализуемость и эффективность предложенного инструментария для повышения эффективности вариантов реконструкции систем теплоснабжения.

Для обеспечения качественного и бесперебойного теплоснабжения потребителей Советского района г. Красноярска с учетом подключения к тепловым сетям ОАО «Енисейская ТГК (ТГК 13)» вновь создаваемых и реконструируемых зданий и сооружений жилого, производственного и прочего назначения с заявленной суммарной нагрузкой 1000т\час, требуется реконструкция существующих тепловых сетей протяженностью 67.2 км в двухтрубном исполнении с одновременным увеличением диаметров трубопроводов. В стесненных условиях инфраструктуры Советского районов г.Красноярска замена трубопроводов существующих участков тепловых сетей на трубопроводы большего диаметра является наиболее эффективным решением проблемы увеличения пропускной способности тепловых сетей с целью подключения новых потребителей.

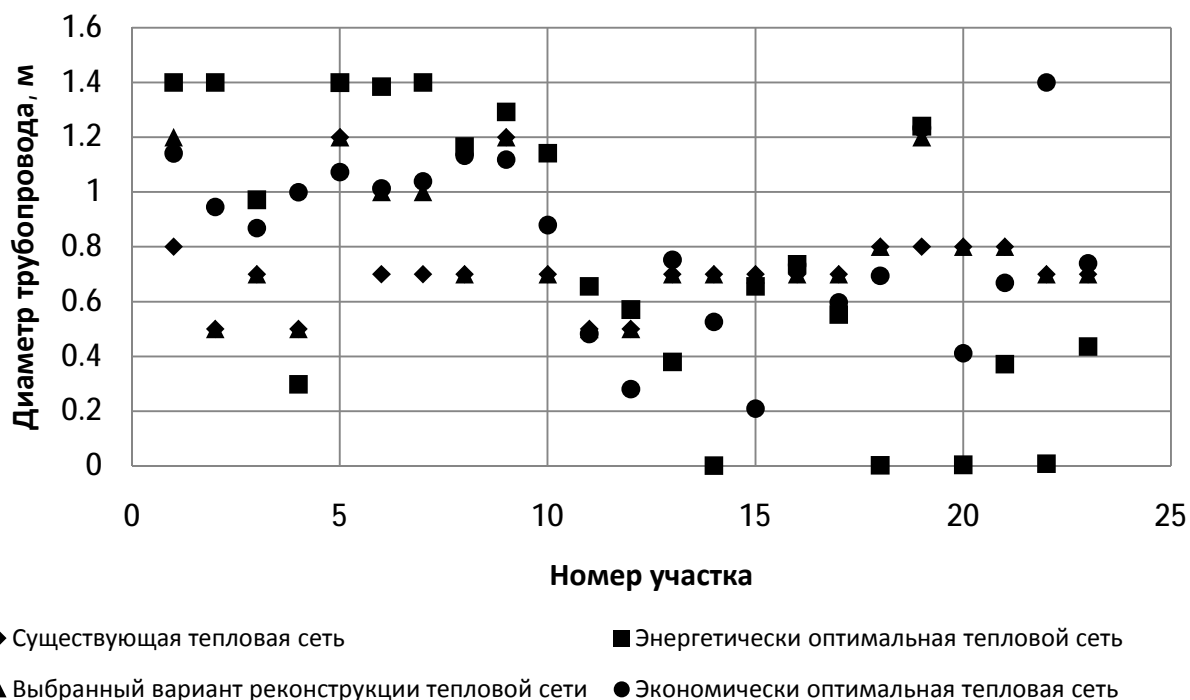


Рисунок 13 – Результаты работы программы

Программа, реализующая алгоритм решения задачи оптимального по-токораспределения, составлена в среде MathLAB. Результаты ее работы приведены на рисунке 13.

Оптимизация тепловой сети Советского района г. Красноярска проводилась по нескольким критериям: по энергетическому критерию, с последующей оценкой потенциала энергосбережения, по экономическому критерию, с оценкой минимально возможных затрат. Сравнение различных вариантов реконструкции тепловой сети Советского района г. Красноярска приведено в таблице 5. Продолжительность отопительного сезона принимается согласно СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» для г. Красноярска и составляет 234 суток. Ремонтный период составляет 21 сутки, в т.ч. 7 суток на гидравлические испытания.

Таблица 3 – Сравнение различных вариантов реконструкции тепловой сети Советского района г. Красноярска

Система теплоснабжения	Существующая система	Система после энергетической оптимизации	Система после экономической оптимизации	Система после энергетической оптимизации и выбора варианта реконструкции
Потери эксергии, МВт	6,86	3,25	4,40	4,91
Всего эксергии, МВт	126,03	122,69	124,09	124,6
К.п.д. системы	0,946	0,985	0,965	0,961
Критерий энергетической эффективности	0,960	1	0,980	0,975
Протяженность реконструируемых участков, км	-	39,6	39,6	5,954
Капитальные затраты на сооружение тепловой сети (при ее реконструкции), Млрд. руб	3,20 (-)	3,93 (3,93)	2,68 (2,68)	3,35 (0,672)
Эксплуатационные затраты тепловой сети за 30 лет, Млрд. руб	3,61	1,85	2,29	2,93
Суммарные затраты тепловой сети за 30 лет, Млрд. руб	6,81	5,78	4,97	6,28
Срок окупаемости с учетом подключения потребителей нагрузкой 1000 т/ч, лет	-	17	12	3

Из таблицы 3 видно, что максимально возможный к.п.д. тепловой сети составляет 98.5%, следовательно, теоретический потенциал энергосбережения составляет 4% или почти половину от существующих потерь энергии. Расхождение теоретического к.п.д. и к.п.д. полученного при натуральных измерениях

свидетельствуют о неравномерном потокораспределении, вследствие проектирования сети с учетом искаженных нагрузок из-за не достаточного оснащения потребителей приборами учета.

Капитальные затраты при реконструкции для получения оптимальной тепловой сети близки к капитальным затратам на создание новой сети, т.к. диаметры в большинстве случаев в оптимальных вариантах и в существующей сети различны.

Дальнейший анализ тепловой сети дал возможность выбора варианта реконструкции при минимальном изменении ее конфигурации, а следовательно, и минимальных капитальных вложениях. В этом случае минимизировались сроки окупаемости проекта при достижении требуемого значения пропускной способности, итерационно минимизируя общие расчетные затраты при уменьшении количества исследуемых трубопроводов. Минимальные общие расчетные затраты достигаются при замене четырех участков.

Для достижения требуемой пропускной способности необходимо заменить трубопроводы, представленные в таблице 4, остальные трубопроводы остаются без изменений.

Таблица 4 – Результаты оптимизации

Номер трубопровода	Длина участка, м	Диаметр, мм		Стоимость прокладки, млн. руб.
		старый	новый	
7	1000	800	1200	187,00
17	557	700	1000	74,80
34	200	700	1000	26,86
58	600	700	1200	112,20
70	627	800	1000	84,20
143	1000	800	1200	61,02
Сумма	3984			672,11

Схема тепловой сети с указанием реконструируемых участков показана на рисунке 14. Для подтверждения адекватности используемой методики были проведены расчеты тепловой сети Советского района г. Красноярска в пакете ZuluThermo. При сравнении варианта реконструкции тепловой сети с существующей схемой по удельным потерям давления и скорости движения теплоносителя видно, что максимальные отличия от оптимальных параметров наблюдаются в самых не благоприятных местах сети, что в свою очередь говорит о правильности решения.

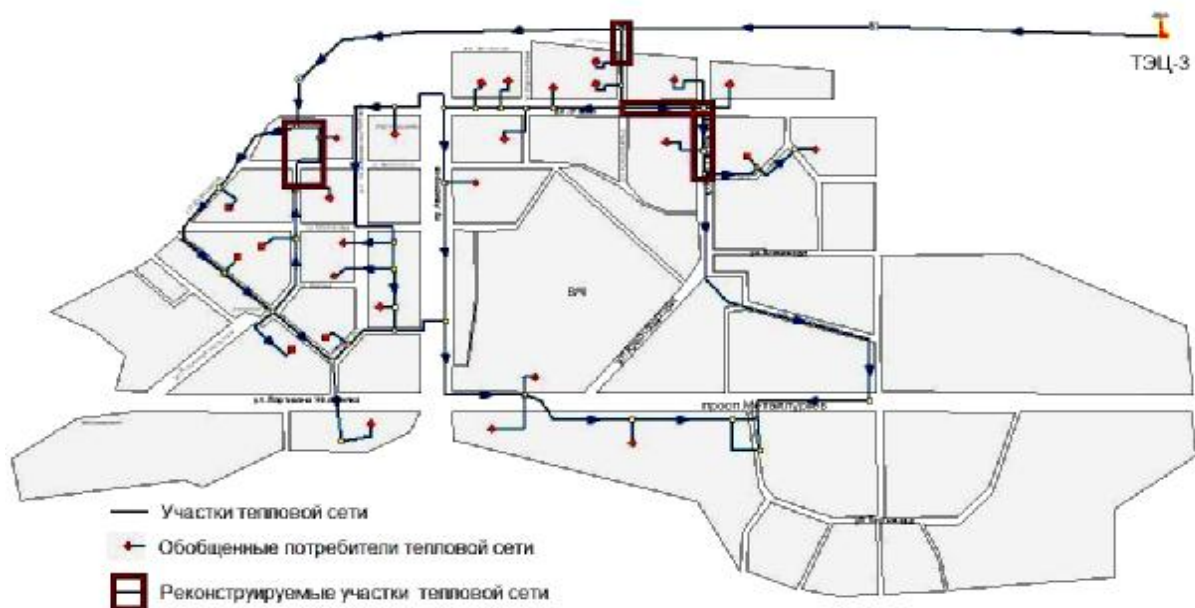


Рисунок 14 – Схема тепловой сети с указанием реконструируемых участков

Широкая автоматизация планирования, проектирования и управления, которая проводится в настоящее время во всех областях народного хозяйства, не может не захватить и практику проектирования и эксплуатации теплофикационных систем и систем централизованного теплоснабжения. Несомненно, что современные математические методы получат массовое и систематическое применение, прежде всего для оптимизации схем и параметров систем теплоснабжения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана математическая модель расчета характеристик элементов тепловых сетей для увеличения пропускной способности и повышения эффективности тепловых сетей, позволяющая производить оптимизацию диаметров и напоров в кольцевых тепловых сетях с учетом минимизации общих расчетных затрат;
2. Разработана математическая модель для исследования системы централизованного теплоснабжения, отличающаяся применением методов эксергетического анализа позволяющая получить сведения о потенциале проведения энергосберегающих мероприятий;
3. Предложена методика оптимизации диаметров и напоров расширяемых и реконструируемых тепловых сетей, позволяющая уже на стадии проектирования наиболее полно учитывать индивидуальные особенности и экономические характеристики каждого конкретного объекта с целью улучшения технико-экономических характеристик тепловой сети и экономии энергетических ресурсов.

4. Создан программно-вычислительный комплекс для исследования систем централизованного теплоснабжения. Произведен, расчет с использованием разработанной математической модели системы централизованного теплоснабжения для климатических условий г. Красноярск. Сформулированы рекомендации по замене трубопроводов тепловой сети Советского района г. Красноярск для увеличения пропускной способности сети с одновременным повышением ее эффективности.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

Статьи в ведущих рецензируемых журналах и изданиях

1. **Колосов, М.В.** Сравнительный анализ методов оптимизации параметров и конфигураций тепловых сетей / **М.В. Колосов, С.А. Михайленко** // Вестник КрасГАУ, №9, 2011 с. 266-269.

2. **Колосов, М.В.** Оптимизация параметров и конфигураций тепловых сетей / **М.В. Колосов, С.А. Михайленко** // Известия Томского политехнического института, №10. – Т. 319. – № 4., 2011с. 61-63.

Публикация в журналах и сборниках трудов и конференций

3. **Колосов, М.В.** Повышение эффективности энергоснабжения с использованием малой энергетики / **М.В. Колосов, Борисов А.Н.** // Наука. Технологии. Инновации. Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых в 7-ми частях. Новосибирск: изд-во НГТУ, 2009. – С. 53-54.

4. **Колосов, М.В.** Оценка энергетической эффективности источников теплоты в СЦТ / **М.В. Колосов, Борисов А.Н.** // VI-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука» Красноярск, 2010. – С. 78-81.

5. **Колосов, М.В.** Энерго- и ресурсосбережение в системах централизованного теплоснабжения / **М.В. Колосов, Борисов А.Н.** // 11-я Межд. НПК «Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах» Пенза, 2010. – С. 128-130.

6. **Колосов, М.В.** Энергосбережение в системах централизованного теплоснабжения / **М.В. Колосов, Борисов А.Н.** // Всероссийская научно-практическая конференция: «Технологии XXI века в энергетике и транспортных коммуникациях: проблемы и перспективы» Сочи, 2010. - С. 56-58.

7. **Колосов, М.В.** Эксергетический анализ – путь к реальной эффективности / **М.В. Колосов** // II Всероссийская конференция «Инновационная энергетика» (с международным участием) Новосибирск, Центр культуры НГТУ, 2010. – С. 161-163.

8. **Колосов, М.В.** Использование эксергетического анализа для поиска энергосберегающих решений / **М.В. Колосов, С.А. Михайленко** // XI Всерос-

сийская научно-практическая конференция «Энергоэффективность систем жизнеобеспечения города», Красноярск, 2010. С. 36-38.

9. **Колосов, М.В.** Повышение эффективности систем газоснабжения, при использовании давления природного газа / **М.В. Колосов, А.Ю. Суганова** // VII-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука», Красноярск, 2011. С. 124-125.

10. **Колосов М.В.**, Анализ методов расчета трубопроводов для увеличения пропускной способности/ **М.В. Колосов, С.А. Михайленко** // Вестник ассоциации выпускник КГТУ, Красноярск – 2011.

11. **Колосов М.В.**, Увеличение пропускной способности трубопроводов тепловых сетей/ **М.В. Колосов, С.А. Михайленко** // Вестник ассоциации выпускник КГТУ, Красноярск – 2011.

12. **Колосов М.В.**, Перспективы развития теплоснабжения / **М.В. Колосов** // VII Всероссийский семинар вузов по теплофизике и энергетике, Кемерово – 2011 г. С. 98-100.

13. **Колосов М.В.**, Экономическая оптимизация тепловых сетей/ **М.В. Колосов** // V международная заочная научно-практическая конференция «Энергетика в современном мире», Чита – 2011 г. С. 71-73.