На правах рукописи

КОЛОСОВ
Михаил Викторович

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

05.14.04 – промышленная теплоэнергетика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск – 2012

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Михайленко Сергей Ананьевич

Официальные оппоненты: **Липовка Юрий Львович,**
доктор технических наук, доцент
«Сибирский федеральный университет»
кафедра «Инженерных систем зданий
и сооружений», профессор

Бестолченко Владимир Георгиевич,
кандидат технических наук,
ООО «Технологии инженерных систем»,
г. Красноярск, директор

Ведущая организация: **ОАО «Сибирский энергетический научно-технический центр» Красноярский филиал Сибирский теплотехнический научно-исследовательский институт ВТИ г. Красноярск**

Защита состоится 28 марта 2012 года в $9^{\underline{30}}$ на заседании диссертационного совета ДМ 212.099.07 при ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу: г. Красноярск, ул. Ленина, ауд. 204.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Автореферат разослан 28 февраля 2012 года

Ученый секретарь
диссертационного совета **Чупак Татьяна Михайловна**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Большая изношенность оборудования и трубопроводов на существующих теплоэнергетических системах, интенсивная застройка новых жилых районов в городах и поселках, намечающиеся оживление и структурная перестройка отраслей экономики требуют больших объемов работ по реконструкции и новому строительству тепловых трасс и теплоэнергетических систем. В этой связи исключительную актуальность приобретает проблема оптимизации использования дефицитных инвестиционных и других ресурсов в современных процессах восстановления и развития теплоэнергетики страны в новых экономических условиях.

Одним из направлений энергосбережения в системах централизованного теплоснабжения является совершенствование схем и параметров тепловых сетей, являющихся связующим звеном между источниками и потребителями теплоты, на базе всесторонних исследований режимов их работы для обеспечения принятия научно обоснованных проектных и технологических решений, способствующих экономии тепловой и электрической энергии, минимизации энергетических потерь. Поэтому совершенствование методик выбора новых и повышения 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.

Методы проектирования кольцевых тепловых сетей в настоящее время еще далеки от совершенства, не достаточно учитывают как экономические показатели при выборе диаметров закладываемых в проект трубопроводов, так и возможности по проведению энергосберегающих мероприятий, что требует дополнительных исследований в этом направлении.

Объект исследования - кольцевые тепловые сети.

Предмет исследования - технико-экономических характеристики тепловых сетей различной конфигурации.

Цель работы заключается в развитии методов расчета кольцевых тепловых сетей с учетом повышения эффективности их функционирования.

Для достижения основной цели поставлены и решены следующие **задачи**:

структурный и функциональный анализ работы кольцевых тепловых сетей для обоснования критерия оптимизации системы теплоснабжения;

оптимизация характеристик и параметров системы теплоснабжения по энергетическим и экономическим показателям;

разработка рекомендаций по увеличению пропускной способности тепловой сети и повышению эффективности ее работы.

Научная новизна работы:

1. Впервые на базе структурного и функционального анализа и применения эксэргетического метода, предложен критерий оптимизации характеристик тепловой сети, позволяющий получить достоверную

информацию о потенциале энергосбережения эксплуатируемых кольцевых тепловых сетей.

2. На базе численных исследований решена задача оптимизации характеристик тепловой сети, отличающаяся от известных учетом технических ограничений и позволяющая повысить точность расчетов при проектировании систем теплоснабжения.

3. Предложен метод выбора конструктивных параметров реконструируемых трубопроводов тепловых сетей, позволяющий проводить мероприятия по повышению пропускной способности с максимальной экономической эффективностью.

Практическая значимость состоит в том, что предложенный метод оптимизации параметров новых и реконструируемых тепловых сетей, позволяющая 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.

Достоверность полученных результатов подтверждается удовлетворительным совпадением результатов расчета по предлагаемым методикам с расчетами потокораспределения на основе геоинформационной системы ZuluThermo в ходе апробации программного продукта.

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.

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.

Использование результатов работы. Разработанный программный продукт для определения оптимальных характеристик и конфигураций тепловых сетей используется 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».

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе две статьи из списка рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы из 96 наименований, 30 рисунков и 9 таблиц. Объем диссертационной работы 118 страниц.

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.

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 посвешены 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.

Более трудными по сравнению с разветвленными тепловыми сетями стали и традиционные задачи проектирования новых систем из-за резкого увеличения их масштабов и закольцованной структуры. 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.

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 очередь 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.

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 на основе методов эксергетического анализа.

При исследовании системы теплоснабжения использовалось понятие эксергии в различных ситуациях для выявления непроизводительного использования природных ресурсов. Для примера энергетический к.п.д. Красноярской ТЭЦ-3 работающей в режиме водогрейной котельной составляет почти 90% (Таблица 1). При эксергетическом анализе выясняется, что потери

составляют до 78% от сожженного топлива.

Таблица 1 – 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

Эксергия потока зависит не только от температурного режима тепловой сети, но и от непосредственного изменения температуры окружающего воздуха, т.е. относительный термодинамический показатель качества энергии сетевой воды *k* не является постоянной величиной (рисунок 3).

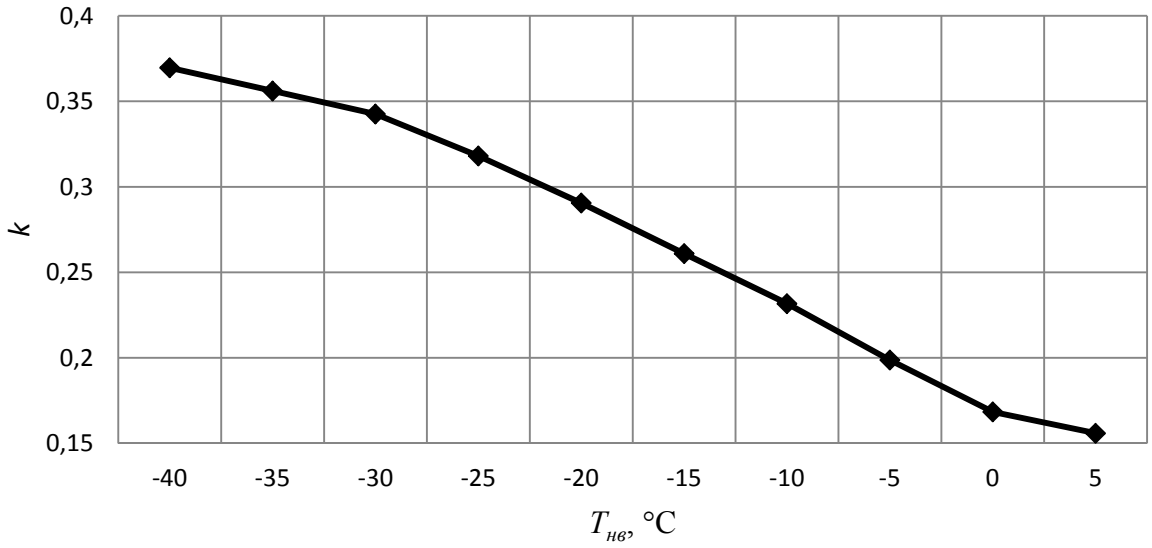

Рисунок 1–Зависимость относительного термодинамического показателя качества энергии сетевой воды *k* от температуры наружнего воздуха $T_{нв}$.

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 также 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 связных элементов, из-за чего усложняется анализ данной системы. Элементами системы транспорта тепловой энергии являются трубопроводы, насосные станции, а также теплообменные аппараты (рисунок 4).

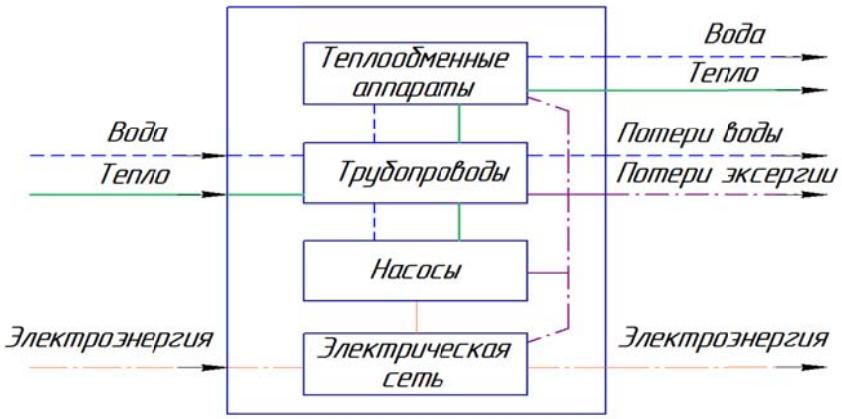

Рисунок 2 – Функциональная структура системы транспорта энергии

Для оценки эффективности работы любой системы, в том числе теплоэнергетической, обычно используется обобщенный физический показатель, – коэффициент полезного действия. Увеличения к.п.д. системы (а значит и повышения ее экономичности) можно достигнуть только снижением величины непроизводительных потерь, возникающих в процессе работы. Функциональная структура системы транспорта энергии позволила выявить наиболее крупные составляющие этих потерь:

- потери тепловой энергии по длине теплотрасс, связанные со способом укладки и изоляции трубопроводов;
- гидравлические потери и к.п.д. сетевых насосов, обеспечивающих движение теплоносителя по теплотрассе;
- периодически возникающими во время аварийных и нештатных ситуаций утечками теплоносителя.

Потери эксергии в трубопроводах обусловлены потерями тепла через ограждения, потерями теплоносителя в результате утечек, а также потерями на преодоление трения:

$$G_{вх}c_p\left(T_{вх}-T_0\left(1-\ln\left(\frac{T_{вх}}{T_0}\right)\right)\right)+\frac{G_{вх}}{\rho}\left(P_{вх}-P_0\right)=$$

$$=G_{вых}c_p\left(T_{вых}-T_0\left(1-\ln\left(\frac{T_{вых}}{T_0}\right)\right)\right)+\frac{G_{вых}}{\rho}\left(P_{вых}-P_0\right)+E_{потерь},$$

где $G_{вх}, G_{вых}$ – расходы теплоносителя на входе и выходе из трубопровода, кг/с; ρ – плотность теплоносителя, кг/м^3; $P_{вх}$, $P_{вых}$ – давление потока на входе и выходе из трубопровода, Па; P_0 – давление окружающей среды, Па; $T_{вх}$, $T_{вых}$ –

давление потока на входе и выходе из трубопровода, Па; T_0 – температура окружающей среды, К; $E_{потерь}$ – эксергия потерь, Вт; c_p – удельная изобарная теплоемкость, Дж/кг·К.

В насосе энергия, приходящая с электроэнергией, расходуется на повышение давления и тепловые потери:

$$G_{вх}c_p\left(T_{вх}-T_0\left(1-\ln\left(\frac{T_{вх}}{T_0}\right)\right)\right)+\frac{G_{вх}}{\rho}\left(P_{вх}-P_0\right)+Э=$$

$$=G_{вых}c_p\left(T_{вых}-T_0\left(1-\ln\left(\frac{T_{вых}}{T_0}\right)\right)\right)+\frac{G_{вых}}{\rho}\left(P_{вых}-P_0\right)+E_{потерь},$$

где $G_{вх}, G_{вых}$ – расходы теплоносителя на входе и выходе из насоса, кг/с; $P_{вх}$, $P_{вых}$ – давление потока на входе и выходе из насоса, Па; $T_{вх}$, $T_{вых}$ – давление потока на входе и выходе из насоса, Па; Э – эксергия электроэнергии затрачиваемой на привод насоса, Вт.

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 результаты анализа в качестве объектов подлежащих реконструкции, по составленной структурной схеме, принять трубопроводы и насосы, а в качестве оценочного параметра по составленной функциональной схеме выбраны экономические и эксергетические показатели.

В третьей главе дается описание сформулированной математической задачи оптимизации характеристик тепловой сети 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 тепловой сети необходимо выбрать такой вариант ее конфигурации и основных параметров, при котором потери эксергии при эксплуатации тепловой сети были бы минимальными. Общая модель нелинейной оптимизации проектных параметров и схемы тепловой сети при эксергетической оптимизации записывается:

$$\min_d F\left(\overline{d},\overline{g}\right)=\min_d\left\{k\sum_{ij}\left(n_{ij}+m_{ij}\cdot d_{ij}\right)l_{ij}+\sum_{ij}N\left(h_{ij}\left(g_{ij}\right)\right)+\underset{\omega}{M}\min\varphi\left(d_{ij}\right)\right\},$$

где i, j – номера узлов тепловой сети; 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:

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

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

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:

$$\overline{h} + \overline{H} = S\left(\overline{d}\right)\left|\overline{g}\right|\overline{g}.$$

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

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

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

5. Выполнения условий неотрицательности переменных:

$$d_{ij} \ge 0, g_{ij} \ge 0 \; h_i \ge 0, P_i \ge 0, \; y_i\left(\omega\right) \ge 0.$$

В целевой функции минимизируются ожидаемые приведенные затраты эксергии на эксплуатацию теплосети, с учетом ущербов, вызываемых аварийными ситуациями в элементах сети.

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 5). Такие зависимости можно получить для любых вариантов прокладки и изоляции трубопроводов.

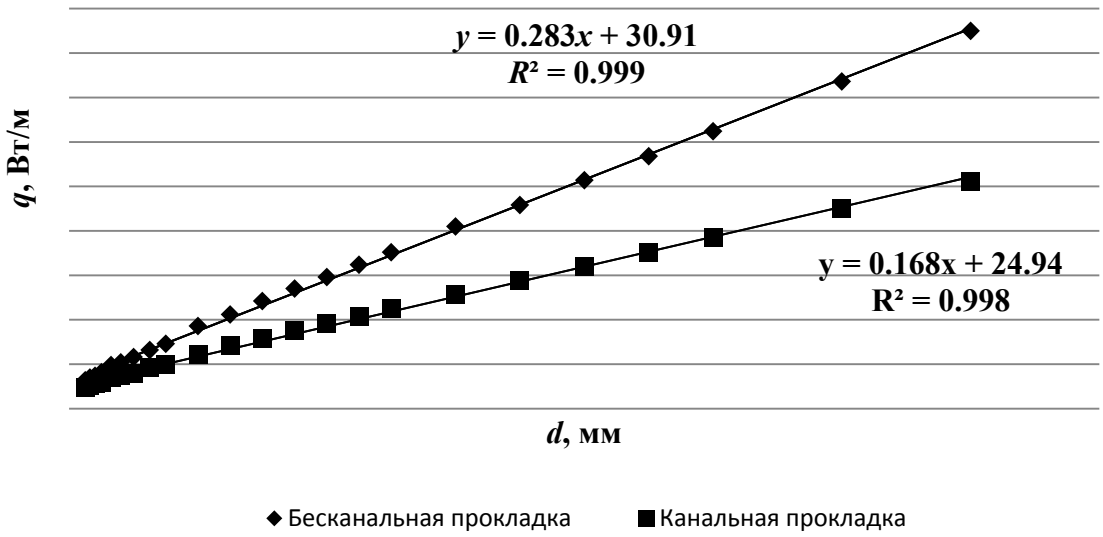

Рисунок 3 – Нормы плотности теплового потока *q* от внутреннего диаметра трубопровода *d* для трубопроводов двухтрубных водяных сетей при подземной канальной и бесканальной прокладке

С практической точки зрения очень удобным представляется критерий энергетической эффективности $\eta_Э$ 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: $\eta_Э = \eta_{сущ} / \eta_{max}$, где $\eta_{сущ}$ – показатель эффективности работы системы (можно рассматривать его как к.п.д. системы); $\eta_{max.}$ – показатель эффективности работы этой же системы полученный при ее эксергетической оптимизации.

Для проектирования экономически эффективной системы используется функция общих расчетных затрат, тогда задача оптимизации будет формулироваться следующим образом. Для проекта реконструкции или нового строительства тепловой сети необходимо выбрать такой вариант ее конфигурации и основных параметров, при котором были бы минимальными приведенные затраты тепловой сети. 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 формула на основании нормативных документов (рисунок 6). Затраты, пропорциональные капиталовложениям в насосные станции, рассчитываются согласно их мощности.

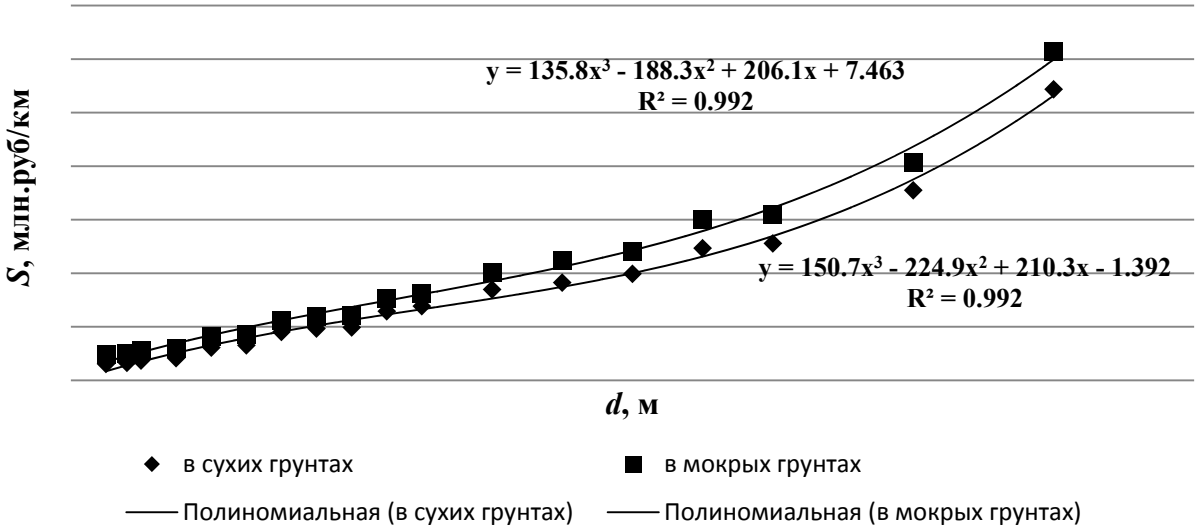

Рисунок 4 – Стоимость прокладки водяных тепловых сетей в непроходных каналах *S* в зависимости от диаметра трубопровода в ценах на четвертый квартал 2010 года

Таким образом, для нахождения оптимальной конфигурации тепловой сети необходимо:

1. Подготовить исходные данные. Для расчета оптимальных параметров тепловой сети должны быть заданы: расчетная схема сети с длинами участков, производительностями источников, расходами теплоносителя у потребителей с выделением вновь проектируемой и существующей частей, ограничения возможности реконструкции существующих участков, возможные площади для сооружения насосных подстанций и давления в узлах сети, технико-экономические показатели.
2. Выполнить теплогидравлический расчет. Провести анализ тепловой сети. В случае если параметры тепловой сети значительно отклоняются от нормативных, сделать вывод о необходимости реконструкции.
3. Провести анализ перспективы развития района. Необходимо учесть перспективу роста потребителей в результате роста числа жилищных и производственных комплексов, развитие новых тепловых мощностей (строительство котельных и ТЭЦ).
4. В качестве оценочного параметра выбрать экономические или энергетические показатели.
5. В качестве объектов подлежащих реконструкции принять трубопроводы и насосы.
6. В качестве искомой характеристики принять диаметр трубопровода.
7. В качестве параметров определяющих работоспособность тепловой сети принять нормативные скорости движения теплоносителя и напоры.
8. Составить оптимизационный функционал, а также учесть технические ограничения на основе исходных данных.
9. Произвести определение оптимальных диаметров трубопроводов тепловой сети и мест проведения реконструкции.

В четвертой главе приводятся результаты расчетов 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 1000 т\час (рисунок 5), 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.

Для анализа системы теплоснабжения Советского района г. Красноярска было проведено исследование по соблюдению тепло-гидравлических режимов в тепловой сети. Результаты замеров температурных параметров и расходов на приборах коммерческого учета за период с 01 января 2010 года по 01 мая 2010 года показали сильную неравномерность и несбалансированность потокораспределения теплоносителя (рисунки 6 и 7), из-за чего к.п.д. реально исследуемой тепловой сети Советского района г. Красноярска в период обследования составило 62.2%. Решением данной проблемы может стать применение методов математического моделирования при проектировании тепловых сетей.

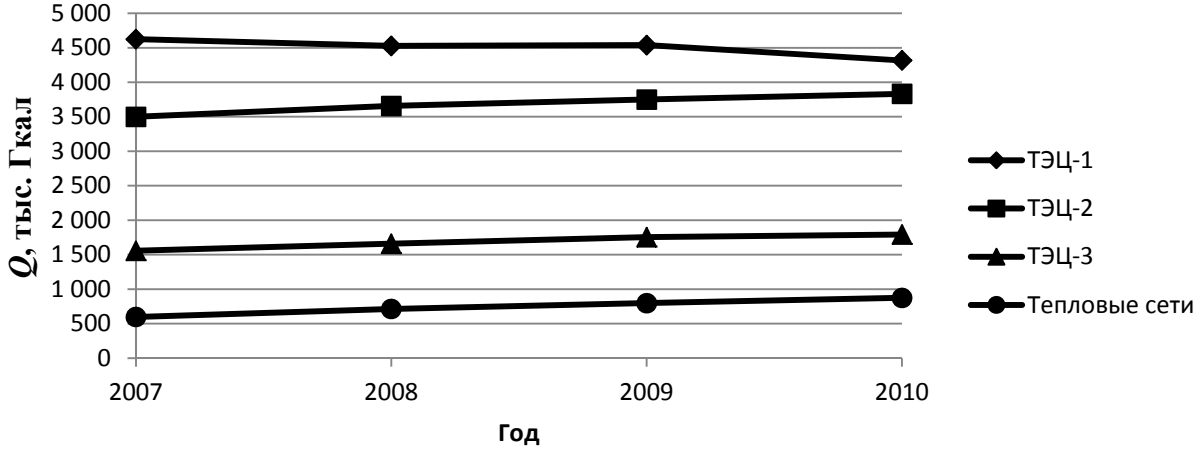

Рисунок 5 – График распределения тепловой энергии филиалами ОАО «Енисейская ТГК (ТГК-13)» в г. Красноярске по годам

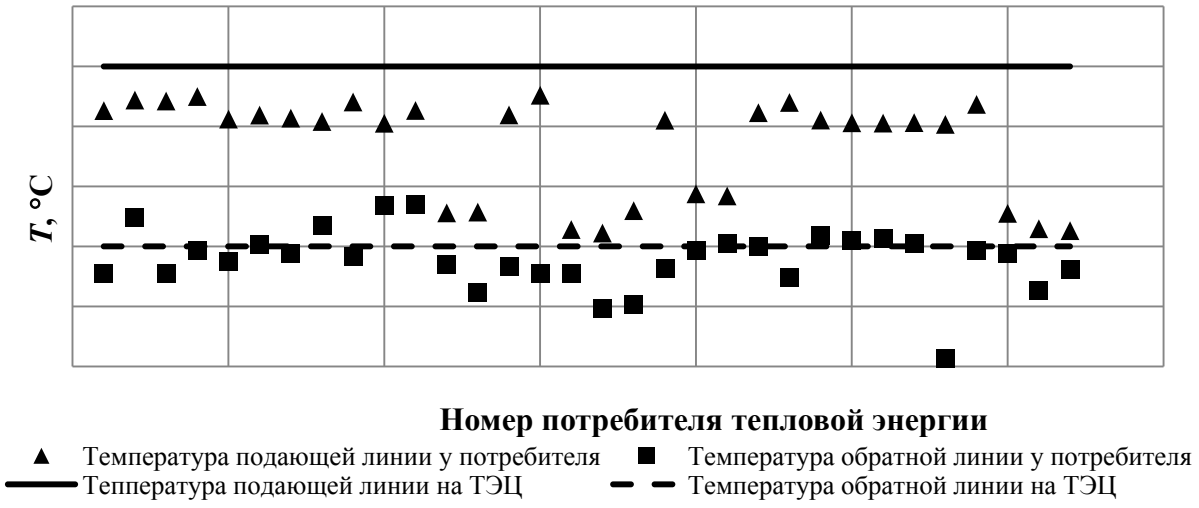

Рисунок 6 – Средняя температура теплоносителя *T* за январь 2010 года на Красноярской ТЭЦ-3 в сравнении с температурами 32 тепловых пунктов

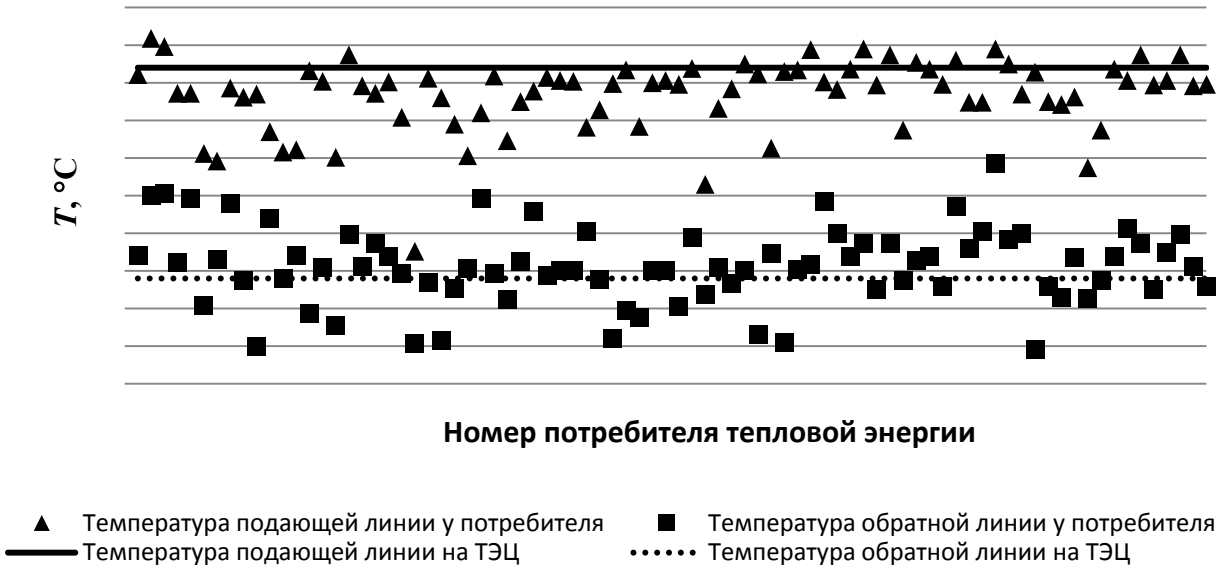

Рисунок 7 – Средняя температура теплоносителя за апрель 2010 года на Красноярской ТЭЦ-3 в сравнении с температурами 82 тепловых пунктов

Для проектирования реконструкции по созданной методике была составлена программа в среде Math LAB. Задача оптимального потокораспределения решается с помощью модифицированных функций Лагранжа и метода Ньютона.

Оптимизация тепловой сети Советского района г. Красноярска проводилась по нескольким критериям: наименьшим потерям эксергии при эксплуатации системы, 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 2. 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.

Из таблицы 2 видно, что максимально возможный к.п.д. тепловой сети составляет 98.5%, следовательно, теоретический потенциал энергосбрежения составляет 4% или почти половину от существующих потерь энергии. Расхождение теоретического к.п.д. и к.п.д. полученного при натурных измерениях происходят из-за не соблюдении температурного режима у потребителей, вследствие проектирования сети с учетом искаженных нагрузок.

Капитальные затраты при реконструкции для получения эксергетически 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.

Таблица 2 – Сравнение различных вариантов реконструкции тепловой сети Советского района г. Красноярска

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

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 в этом случае 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 8. Для подтверждения адекватности используемой методики были проведены расчеты тепловой сети Советского района г. Красноярска в пакете ZuluThermo. При подстановке найденных диаметров и выполнении поверочного расчета тепловой сети в ZuluThermo, получены значения расходов и удельных потерь давления в трубопроводах тепловой сети, которые совпадают с результатами, полученными по этим величинам на разработанной программе, что в свою очередь говорит о правильности решения.

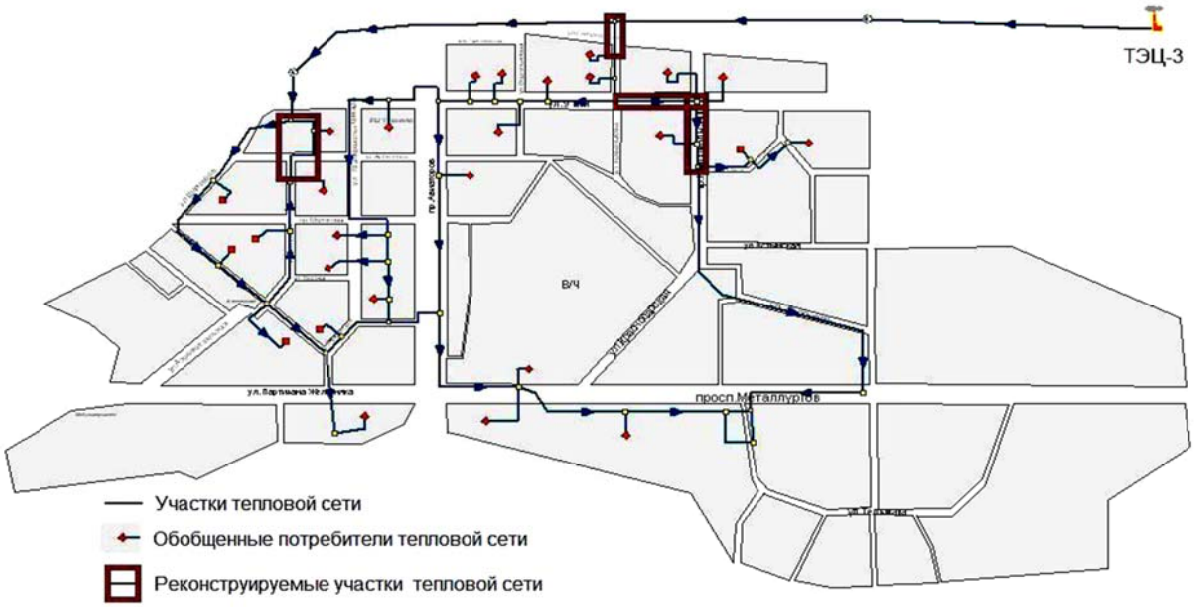

Рисунок 8 – Схема тепловой сети с указанием реконструируемых участков

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведен структурный и функциональный анализ системы теплоснабжения, отличающийся применением методов эксергетического

анализа позволяющий получить сведения о потенциале проведения энергосберегающих мероприятий;

2. 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.

3. Создан программный продукт для исследования систем централизованного теплоснабжения. Произведен, расчет с использованием разработанного программного продукта системы централизованного теплоснабжения для климатических условий г. Красноярска. Сформулированы рекомендации по замене трубопроводов тепловой сети Советского района г. Красноярска для увеличения пропускной способности сети с одновременным повышением ее эффективности.

Публикации по теме диссертации

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, 2011. - № 9. - 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., 2011. С. 61-63.

Публикация в журналах, 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 решении / **М.В. Колосов**, С.А. Михайленко // XI Всероссийская 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.

14. **Колосов М.В.,** Свидетельство № 2011619129 об официальной регистрации программы для ЭВМ "Программа для оптимизации потокораспределения в кольцевых тепловых сетях". Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. Дата регистрации 24 ноября 2011 г.