

На правах рукописи



Бузоверов Евгений Анатольевич

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ
НЕКОГЕНЕРАЦИОННЫХ ТЕПЛОИСТОЧНИКОВ ПРИ
РЕКОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Специальность 05.14.01 - Энергетические системы и комплексы

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Объединенном институте высоких температур Российской академии наук

Научный руководитель: Д.т.н., г.н.с. отдела № 2.1.1 - проблем теплоэнергетики
Зейгарник Юрий Альбертович
ФГБУН Объединенный институт высоких температур
Российской академии наук, г. Москва

Официальные оппоненты: Д.т.н., профессор, зав. кафедрой промышленной теплоэнергетики и систем теплоснабжения
Ваньков Юрий Витальевич,
ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический институт», г. Казань

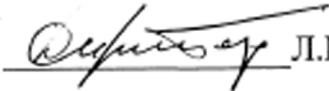
К.т.н., доцент кафедры энергетических установок и тепловых двигателей
Воеводин Андрей Геннадьевич,
ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт энергетических исследований
Российской академии наук (ИНЭИ РАН)
г. Москва

Защита состоится “_____” _____ 2017 г. в 11 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д - 002.110.03 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук по адресу: 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр. 2, экспозал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИВТ РАН и на сайте <http://jiht.ru/>

Автореферат разослан “_____” _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н.  Л.Б. Директор

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, 2017

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

В настоящее время системы централизованного теплоснабжения, особенно некогенерационного типа, в российских городах имеют значительный износ, сложившиеся схемы теплоснабжения в ряде случаев являются неоптимальными, что обуславливает низкий уровень надежности и качества теплоснабжения, а также рост затрат на обеспечение потребителей тепловой энергией. Это приводит к необходимости реновации систем теплоснабжения с применением современных технологий, обеспечивающих приемлемый уровень надежности, качества и экологичности систем централизованного теплоснабжения при минимальных издержках. Сегодня определение даже предварительных технико-экономических показателей будущей системы централизованного теплоснабжения требует привлечения специализированных организаций, большого объема инженерных расчетов, существенных затрат. Трудоемкость расчетных методик приводит к тому, что на практике проектанты сравнивают ограниченное количество альтернатив, что не всегда обеспечивает нахождение оптимального решения поставленной задачи. Разработанные алгоритмы позволяют, как правило, оценить интегральную экономическую эффективность системы централизованного теплоснабжения, в то время как в современной экономике субъекты процесса теплоснабжения имеют различные интересы, которые не всегда совпадают.

В сложившейся ситуации становится целесообразной разработка алгоритмов, позволяющих при использовании минимального объема исходной информации и простых инженерных расчетов провести предпроектные оптимизационные оценки систем теплоснабжения. В первую очередь, требуется определить мощности некогенерационных теплоисточников, как фактора, оказывающего определяющее влияние на технико-экономические характеристики системы теплоснабжения. Также необходимо выбрать критерии эффективности для каждой из сторон, вовлеченных в проект реконструкции, и обеспечить разумный компромисс их интересов.

Цели и задачи

Целью настоящей работы является разработка алгоритмов, позволяющих оптимизировать структуру и распределение мощности теплоисточников (котельных) реконструируемой системы централизованного теплоснабжения на стадии предпроектных проработок.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ и систематизация методов, используемых для выбора оптимальной мощности теплоисточников в системе теплоснабжения;
- определение целевых критериев и граничных условий выбора оптимальной мощности теплоисточников в системе централизованного теплоснабжения;
- вывод основных зависимостей для расчета длины, материальной характеристики тепловой сети и других технико-экономических показателей системы теплоснабжения как функций единичной мощности теплоисточников;
- обоснование и разработка алгоритма оценки оптимальной мощности теплоисточников реконструируемых систем некогенерационного централизованного теплоснабжения на базе фактических технико-экономических показателей существующей системы теплоснабжения;
- отработка методики и проведение оптимизационных расчетов с использованием разработанной модели применительно к системе теплоснабжения города-героя Волгограда;
- анализ полученных результатов и чувствительности технико-экономических показателей системы некогенерационного теплоснабжения к внешним факторам.

Научная новизна работы

В ходе исследований разработан алгоритм, позволяющий рассчитать технико-экономические показатели тепловой сети для различных вариантов реконструкции системы некогенерационного теплоснабжения при варьировании единичной мощности теплоисточников в системе. Показана возможность проведения эффективных предпроектных оценок систем теплоснабжения путем экстраполяции показателей существующей системы на проектные варианты, что существенно сокращает трудоемкость расчетов.

Особенностью предлагаемого подхода является отдельный расчет оптимумов мощности источников теплоснабжения для сторон, вовлеченных в проект реконструкции системы некогенерационного централизованного теплоснабжения (теплоснабжающей организации, муниципалитета и застройщиков), и выработка подхода, позволяющего найти компромиссные решения для участников проекта.

Определены и обоснованы корреляционные зависимости технико-экономических показателей систем некогенерационного централизованного теплоснабжения от мощности теплоисточников, позволяющие прогнозировать

капитальные затраты на их реконструкцию и эксплуатационные показатели при их последующей эксплуатации.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы заключается в создании алгоритма для определения оптимальной тепловой мощности неогенерационных теплоисточников в системах централизованного теплоснабжения, использование которого позволяет сократить временные и финансовые затраты на стадии предпроектных проработок, осуществить оценку инвестиций и эксплуатационных затрат с целью сокращения тарифной нагрузки на потребителя и достижения экономической эффективности системы теплоснабжения.

Положения, выносимые на защиту

1. Алгоритм, позволяющий оценить оптимальные мощности теплоисточников при реконструкции систем неогенерационного централизованного теплоснабжения.

2. Целевые критерии, позволяющие выполнить оптимизацию системы неогенерационного теплоснабжения для различных субъектов.

3. Алгоритм расчета удельной материальной характеристики и длины тепловых сетей в системе централизованного теплоснабжения при варьировании уровня централизации.

4. Корреляционные зависимости технико-экономических показателей неогенерационных систем централизованного теплоснабжения, в том числе капитальных затрат на их реконструкцию от мощности теплоисточников.

Апробация результатов

Основные положения диссертации докладывались на следующих конференциях: VI Международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции», Москва, МГСУ, 2015; Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Энергетика и информационные технологии», Благовещенск, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, 2017; научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии «XIX Бенардосовские чтения», Иваново, ИГЭИ, 2017.

Алгоритм расчетов, созданный на основании методики, реализован в формате интернет-калькулятора, доступного широкой аудитории заинтересованных специалистов.

Предложенный алгоритм был применен при разработке инвестиционной программы реконструкции системы теплоснабжения г. Волгограда в 2016 году.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 7 работ, отражающих основных положения исследования, в том числе – 4 публикации в журналах из перечня ВАК Минобрнауки России и 1 статья в журнале, входящем в реферативные базы Scopus и Web of Science.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения и списка литературы. Работа изложена на 122 страницах, содержит 24 рисунка и список литературы из 77 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы ее цели и задачи, научная новизна и практическая значимость, приведены основные положения, выносимые на защиту, и кратко описана структура диссертации.

В первой главе обоснована актуальность задачи оптимизации технико-экономических параметров систем некогенерационного теплоснабжения. Отмечено, что выбор направления развития теплоснабжения (когенерация, некогенерационные централизованные теплоисточники, индивидуальное теплоснабжение) активно дискутируется в литературе.

Рассмотрены предпосылки и факторы, оказавшие влияние на высокую степень концентрации тепловых нагрузок в СССР и на децентрализацию систем теплоснабжения в настоящее время.

Анализ структуры российской системы теплоснабжения (Рисунок 1) показал, что теплофикация (когенерация) является одним из наиболее эффективных направлений развития энергетики, особенно с учетом климатических и территориальных особенностей России.

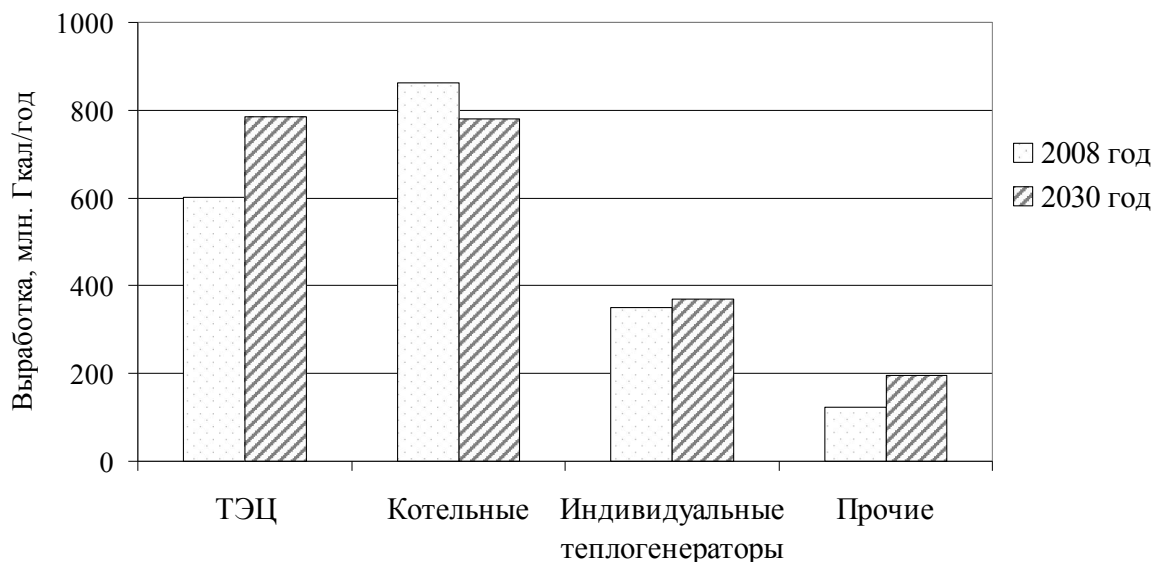


Рисунок 1 – Прогноз структуры производства тепла в РФ в соответствии с Энергетической стратегией 2030

С другой стороны современная ситуация в отечественной энергетике не является благоприятной для реализации проектов строительства новых теплофикационных источников. Результаты торгов на рынке конкурентного отбора мощности показывают, что избыток генерирующих мощностей в Единой энергосистеме РФ в перспективе достигнет 50 ГВт. (Рисунок 2).

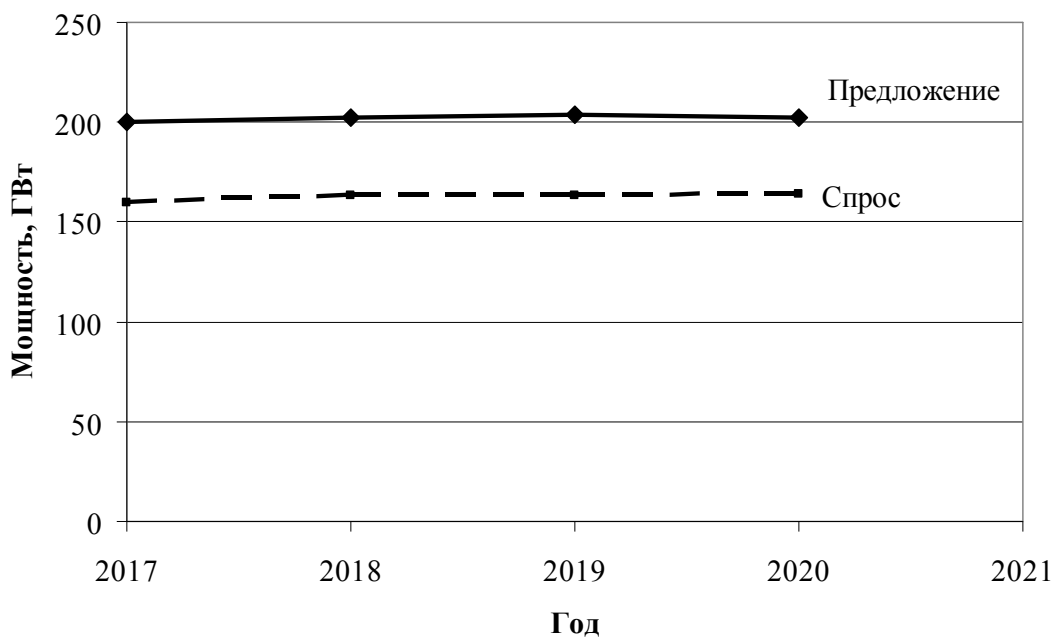


Рисунок 2 – Баланс спроса и предложения на рынке конкурентного отбора мощности (КОМ)

Это связано с низким темпом прироста потребления электроэнергии из-за стагнации промышленного производства в стране при запланированных масштабных вводах в рамках программы Договоров поставки мощности в ближайшей перспективе. Поэтому намеченное в рамках Энергетической стратегии¹ увеличение выработки тепла ТЭЦ будет идти по пути повышения загрузки существующих мощностей и реализации отдельных проектов, что не окажет существенного влияния на энергобаланс страны.

Применение систем индивидуального теплоснабжения будет существенно расширяться, но в области малоэтажного строительства, и не составит конкуренции централизованным системам.

Использование центральных котельных наиболее целесообразно в малых городах и поселках с численностью населения до 100 тыс. человек, поскольку в таких населенных пунктах для строительства ТЭЦ, как правило, тепловая нагрузка недостаточна. По данным Госкомстата в РФ насчитывается 2 166 городов и поселков городского типа с населением до 100 тыс. человек. Общая численность жителей, проживающих в этих населенных пунктах, составляет более 34 млн. человек или 24 % от общей численности населения РФ. Котельные могут эффективно использоваться также и в больших городах для теплоснабжения районов, находящихся вне зон действия тепловых сетей крупных ТЭЦ.

Одним из обстоятельств, которые могут способствовать привлечению инвестиций именно в сектор строительства и реконструкции центральных котельных, является их низкая стоимость и сжатые сроки строительства по сравнению с когенерационными источниками. Эти факторы в условиях ограниченного доступа к финансовым ресурсам, значительных инвестиционных рисков и высоких процентных ставок играют существенную роль в принятии решений в пользу выбора некогенерационных источников тепла.

Таким образом, база для модернизации и развития некогенерационного централизованного теплоснабжения достаточно велика. Поэтому в среднесрочной перспективе значительная доля тепла будет по-прежнему вырабатываться некогенерационными теплоисточниками – котельными установками. Это приводит к необходимости разработки методик оптимизации технико-экономических параметров в проектах реконструкции

¹ Об энергетической стратегии РФ на период до 2030 г.: [распоряжение: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 нояб. 2009 г.] - Собрание законодательных актов РФ, 2009. № 48, ст. 5836.

некогенерационных систем теплоснабжения с тем, чтобы осуществить реконструкцию наиболее рациональным путем.

Во второй главе рассмотрены современные подходы к выбору оптимальной мощности теплоисточников и других характеристик некогенерационных систем централизованного теплоснабжения, таких как удельное падение давления теплоносителя в тепловых сетях (выбор диаметров трубопроводов), температурного графика, толщины изоляции трубопроводов, способа подключения тепловых нагрузок к централизованной системе теплоснабжения (центральных или индивидуальных тепловых пунктов). Доказывается, что вопрос выбора оптимальной единичной мощности теплоисточников является определяющим и значимым в экономическом плане, поэтому должен решаться уже на предварительной стадии предпроектных проработок.

Дан анализ методик, позволяющих рассчитать оптимальную степень централизации производства тепла в системах теплоснабжения: использование геоинформационных систем, определение эффективного радиуса теплоснабжения, расчет эффективности подключения дополнительной нагрузки к действующему источнику теплоснабжения. Отмечается, что в практике проектирования широко используются обобщающие параметры системы теплоснабжения – удельная материальная характеристика и длина тепловых сетей, позволяющие рассчитать оптимальную степень централизации. Показано, что существующие методики и программные продукты не позволяют решить вопрос выбора оптимальной мощности теплоисточников в системе теплоснабжения на предпроектной стадии с достаточной степенью точности и минимальными затратами. Поэтому вопрос разработки алгоритмов, позволяющих при использовании минимального объема исходной информации с помощью простых инженерных вычислений провести соответствующий оптимизационный расчет, остается актуальным.

В третьей главе обоснован выбор критериев для оптимизации системы теплоснабжения – капитальных, эксплуатационных и приведенных затрат, связанных с реализацией проектов реконструкции системы теплоснабжения. Показано, что каждый участник проекта – теплоснабжающая организация, муниципалитет, инвестор-застройщик, как правило, имеет различные интересы и, в зависимости от ситуации, будет стремиться оптимизировать те или иные показатели (Таблица 1) в свою пользу.

Таблица 1 – Критерии оптимизации проектов строительства (реконструкции) систем централизованного теплоснабжения

Субъект	Целевой критерий
Муниципалитет	Суммарные приведенные затраты
Теплоснабжающая организация	Эксплуатационные затраты – при создании инфраструктуры сторонним инвестором
	Приведенные совокупные затраты – при финансировании проекта за счет собственных средств
Инвестор-застройщик	Капитальные затраты

В процессе оптимизации участники проекта могут выдвигать дополнительные граничные условия, такие как объем инвестиций, сроки реализации проекта, экологические характеристики системы теплоснабжения и др. Эти показатели при необходимости также должны учитываться в процессе подготовки предпроектных предложений.

Представлена технико-экономическая модель, позволяющая оптимизировать степень централизации системы теплоснабжения по заданным критериям.

Рассматриваемая подлежащая реконструкции система теплоснабжения делится на равные по тепловой мощности подсистемы, каждая из которых имеет свой теплоисточник (котельную) и тепловые сети (Рисунок 3). Количество подсистем (теплоисточников) варьируется. Состав теплоисточника (типы и количество котлов) на данной стадии разработки не детализируются.

Для каждого варианта рассчитываются технико-экономические показатели проекта ее реконструкции – нормы расхода ресурсов, капитальные и эксплуатационные затраты. Выполняется поиск оптимального варианта, которому соответствует определенная мощность единичного теплоисточника в некогенерационной системе теплоснабжения.

При выполнении расчетов приняты следующие допущения:

1. Существующая система централизованного теплоснабжения имеет значительный износ (типичная для нашего времени ситуация), что предполагает полную замену источников и сетей.

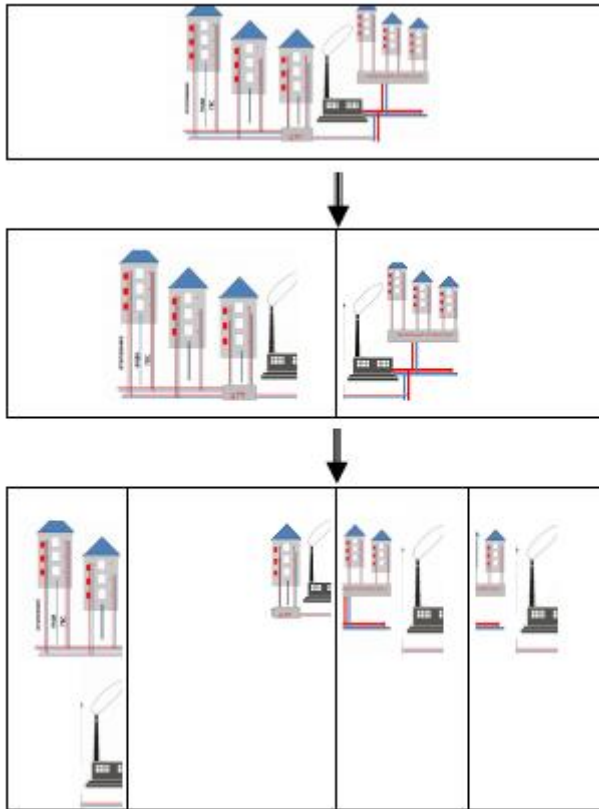


Рисунок 3 – Варианты разбивки существующей системы теплоснабжения на подсистемы

2. Населенный пункт, в котором действует существующая система централизованного теплоснабжения, полностью газифицирован. Предполагается, что подключение теплоисточника к сетям газоснабжения возможно в любой точке населенного пункта без существенных технологических ограничений.

3. После реконструкции все теплоисточники работают в водогрейном режиме.

4. Тепловые сети прокладываются в подземном исполнении.

5. Подключение нагрузки горячего водоснабжения к системе теплоснабжения осуществляется через тепловые пункты по закрытой схеме водоразбора.

В рамках алгоритма не рассматриваются вопросы конфигурации и детальной трассировки тепловых сетей, а рассчитываются два обобщающих показателя – удельная материальная характеристика и удельная длина тепловых сетей в целом по системе теплоснабжения. Они определяются на основании соотношений, полученных в результате выполненного в диссертации анализа:

$$M'_{y\partial} = M_{y\partial} (N'_{номп} / N_{номп})^{0,2}, \quad (1)$$

$$L'_{y\partial} = L_{y\partial} (N'_{номп} / N_{номп})^{0,08}, \quad (2)$$

где $M_{y\partial}$, м²/(Гкал/ч) и $L_{y\partial}$, м/(Гкал/ч) – удельная материальная характеристика и удельная протяженность тепловых сетей соответственно в существующей системе теплоснабжения, в которой средняя подключенная нагрузка к одному теплоисточнику составляет $N_{номп}$, Гкал/ч; $M'_{y\partial}$ и $L'_{y\partial}$ – удельная материальная характеристика и удельная протяженность тепловых сетей, соответственно, в реконструированной системе теплоснабжения, в которой средняя подключенная нагрузка к одному теплоисточнику составляет $N'_{номп}$, Гкал/ч.

На Рисунке 4 приведены характерные зависимости удельной материальной характеристики сетей от единичной мощности теплоисточника. Зная удельную материальную характеристику тепловых сетей от

существующего источника теплоснабжения, в соответствии с зависимостью (1) оценивается значение этого показателя для случая, когда вместо существующего источника в процессе реконструкции будет построено несколько источников меньшей мощности или произойдет укрупнение действующих источников (перемещение вдоль кривой 1). Информация об удельной материальной характеристике существующей системы позволяет избежать ошибок, связанных с некорректным определением плотности тепловых нагрузок и топологии сетей в реконструируемой системе теплоснабжения. Учетными оказываются и другие специфические особенности реконструируемой системы теплоснабжения. Аналогично, в соответствии с зависимостью (2) оценивается удельная длина тепловых сетей.

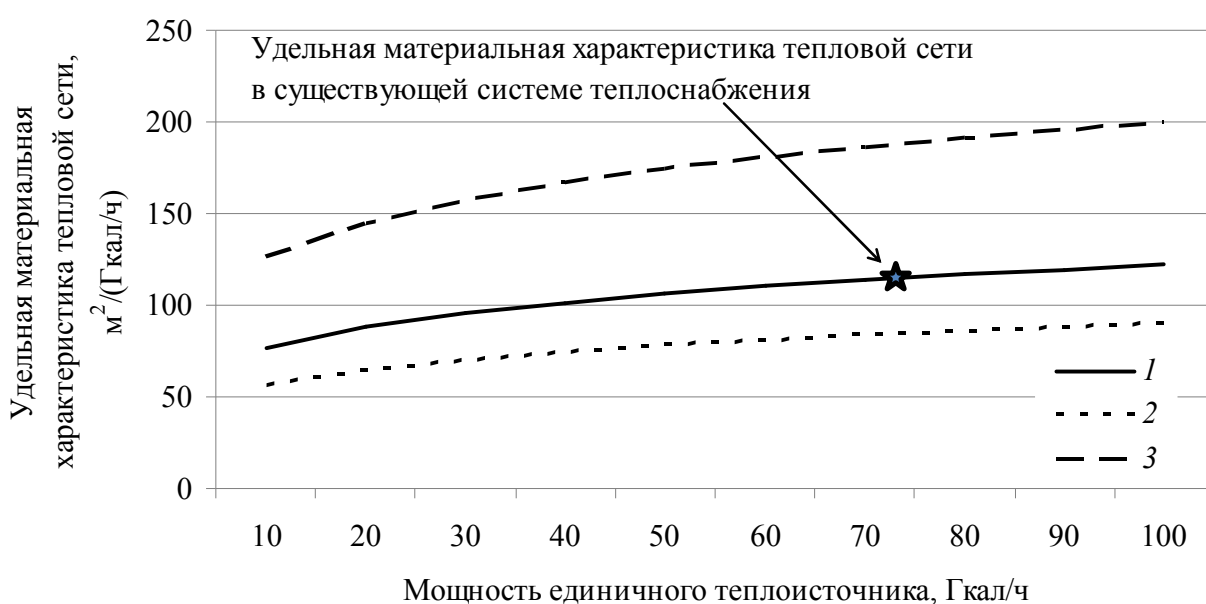


Рисунок 4 – Зависимость материальной характеристики от мощности теплоисточников: 1 – в существующей системе теплоснабжения, 2 и 3 – в системах теплоснабжения с большей и меньшей плотностью тепловых нагрузок, соответственно

Располагая зависимостью между удельной материальной характеристикой, длиной сетей и единичной мощностью теплоисточников, рассчитываются другие необходимые для предпроектной оценки технико-экономические параметры оптимизируемой системы теплоснабжения, они также находятся в функции единичной мощности источников. Рассчитывается годовая выработка тепла, расход топлива, электроэнергии и воды, нормативная численность персонала. Информация о фактических ценах на используемые ресурсы позволяет рассчитать эксплуатационные издержки при изменении мощности теплоисточников.

Таким образом, определяется зависимость между степенью централизации и эксплуатационными издержками.

На Рисунке 5 показаны типичные зависимости совокупных приведенных, эксплуатационных и капитальных затрат от мощности теплоисточника. При этом суммарная мощность системы теплоснабжения остается неизменной.

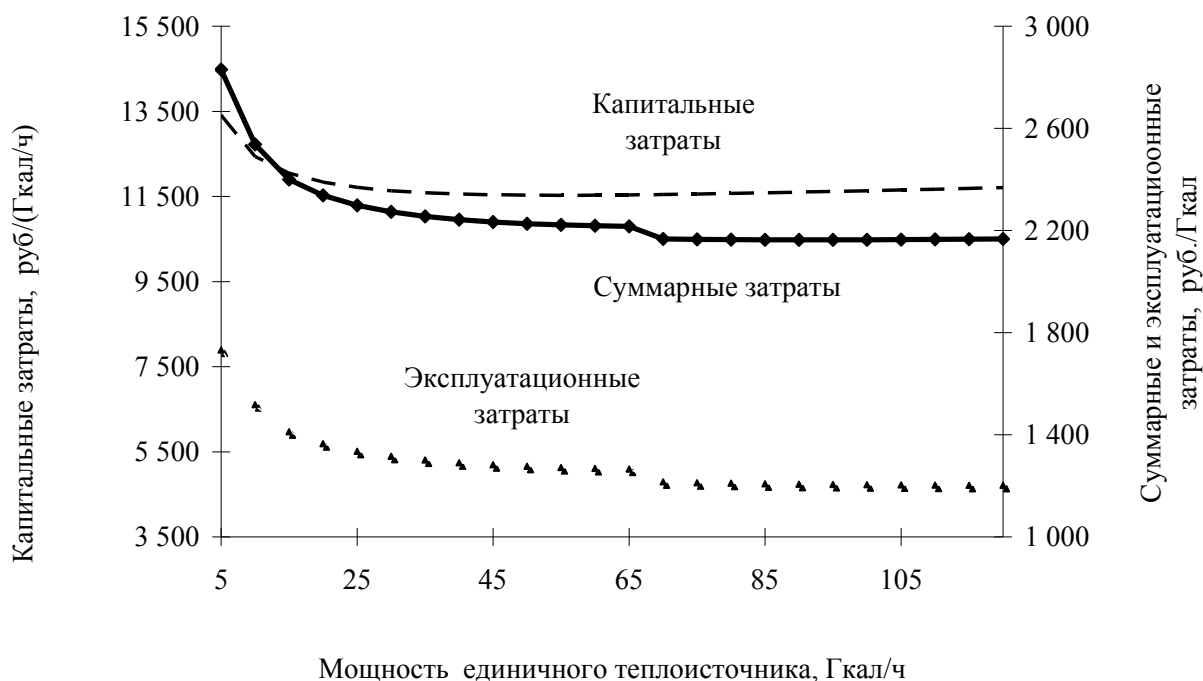


Рисунок 5 – Пример зависимости совокупных приведенных, эксплуатационных и капитальных затрат от мощности теплоисточника. Система теплоснабжения котельной ТДиН г. Волгограда

Анализ зависимости показывает, что высокие значения эксплуатационных затрат характерны для небольшой мощности теплоисточников в системе теплоснабжения. Несмотря на приемлемый расход энергоресурсов, при излишней децентрализации теплоисточников теплоснабжающая организация вынуждена содержать существенно большее количество обслуживающего и ремонтного персонала. Этот эффект характерен, хотя и в меньшей степени, и для полностью автоматизированных теплоисточников, поскольку, несмотря на отсутствие постоянного обслуживающего персонала, они нуждаются в определенном объеме сервисного обслуживания и ремонта.

Для расчета капитальных затрат на реконструкцию элементов системы теплоснабжения – котельных, тепловых сетей и тепловых пунктов были проанализированы как российские, так и зарубежные источники информации.

Среди них следует выделить как весьма ценную информацию с сайта государственных закупок и данные о реализованных проектах, представленных в материалах публикаций. На основании выполненного нами статистического анализа были получены следующие зависимости (Рисунки 6 – 8).

Удельная стоимость реконструкции котельных:

$$KZ_{\text{кот}}^{\text{уд}} = 13,3 \cdot 10^6 N_{\text{уст}}^{-0,3},$$

где $KZ_{\text{кот}}^{\text{уд}}$ – удельные капитальные затраты на реконструкцию котельной, млн. руб./(\text{Гкал/ч}); $N_{\text{уст}}$ – установленная мощность котельной, \text{Гкал/ч}.

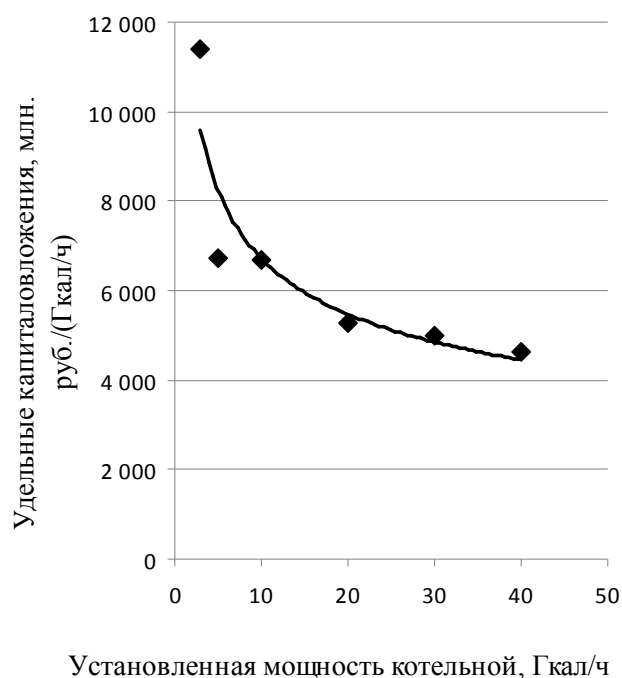


Рисунок 6 – Удельные капитальные затраты в реконструкцию котельных

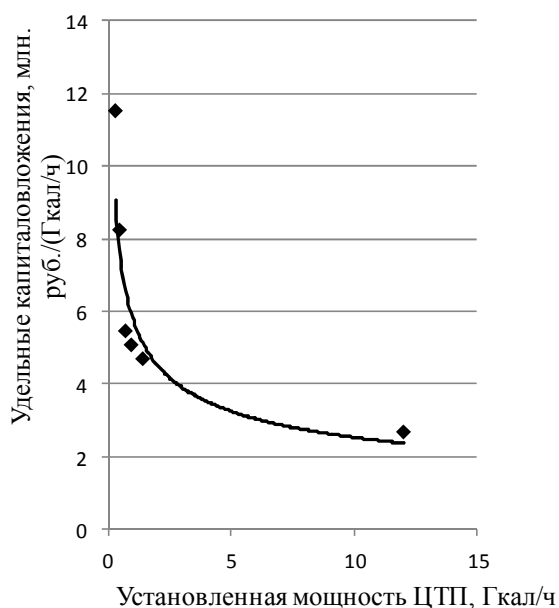


Рисунок 7 – Удельные капитальные затраты в реконструкцию ЦТП

Удельная стоимость реконструкции центральных тепловых пунктов:

$$KZ_{\text{ЦТП}}^{\text{уд}} = 5,8 \cdot 10^6 N_{\text{ЦТП}}^{-0,36},$$

где $KZ_{\text{ЦТП}}^{\text{уд}}$ – удельные капитальные затраты на реконструкцию центрального теплового пункта, млн. руб./(\text{Гкал/ч}); $N_{\text{ЦТП}}$ – установленная мощность центрального теплового пункта, \text{Гкал/ч}.

Удельная стоимость реконструкции тепловых сетей:

$$KZ_{\text{сеть}} = 5,1L + 52M,$$

где $KZ_{\text{сеть}}$ – капитальные затраты на реконструкцию теплосетей, тыс. руб.; M , м^2 и L , м – материальная характеристика и протяженность (в однострубно́м исчислении) тепловых сетей, соответственно.

Практика показывает, что в большинстве случаев основные капитальные затраты в реконструкцию систем теплоснабжения связаны

с заменой трубопроводов, длина и диаметр которых сильно зависят от мощности теплоисточника. Затраты на реконструкцию самих источников занимают вторую позицию.

Показатель суммарных приведенных затрат является обобщающей характеристикой – средневзвешенной величиной капитальных и эксплуатационных издержек и позволяет оценить эффективность системы теплоснабжения в целом. Для расчета приведенных затрат используется коэффициент возврата капитала CRF , являющийся производной величиной от рыночной стоимости привлеченных средств.

$$ПЗ = ЭЗ + CRF \cdot KZ,$$

где KZ – капитальные затраты, тыс. руб.; $ЭЗ$ – эксплуатационные затраты системы теплоснабжения, тыс. руб./год; $ПЗ$ – приведенные затраты, тыс. руб./год;

$$CRF = \frac{d}{1 - (1 + d)^{-n}},$$

где d – стоимость капитала, лет^{-1} ; n – горизонт расчета, лет.

Таким образом, зная технико-экономические показатели существующей системы теплоснабжения, можно построить зависимость капитальных, эксплуатационных и приведенных затрат от выбранной единичной мощности

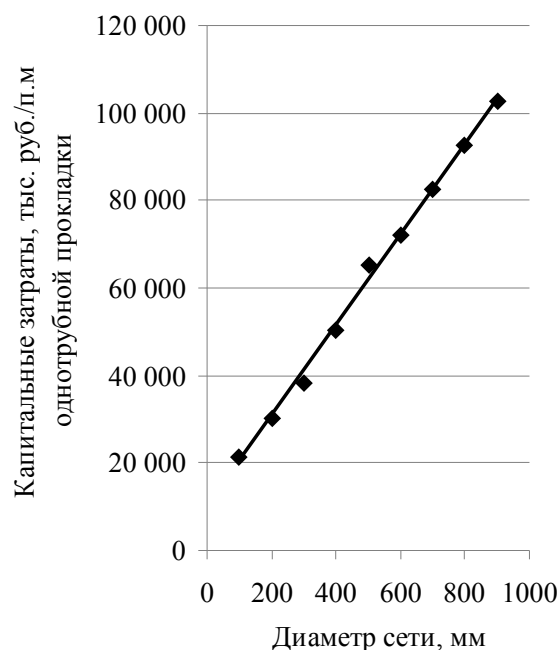


Рисунок 8 – Удельные капитальные затраты в реконструкцию тепловых сетей

теплоисточников в системе теплоснабжения (Рисунок 5) и затем выполнить их оптимизацию.

Для решения практических задач описанный алгоритм реализован в виде расчетных таблиц в MS EXCEL (Рисунок 9). Пользователю необходимо задать значения технико-экономических параметров существующей системы теплоснабжения, таких как потребление ресурсов, численность персонала, эксплуатационные затраты, материальную характеристику и протяженность сетей. Данные показатели, как правило, доступны для анализа в каждой теплоснабжающей организации. Система электронных таблиц определяет технико-экономические показатели реконструируемой системы для каждого варианта единичной мощности теплоисточников и находит оптимумы по критериям капитальных, эксплуатационных и приведенных затрат. Построенные функции отображаются в табличном и графическом виде.

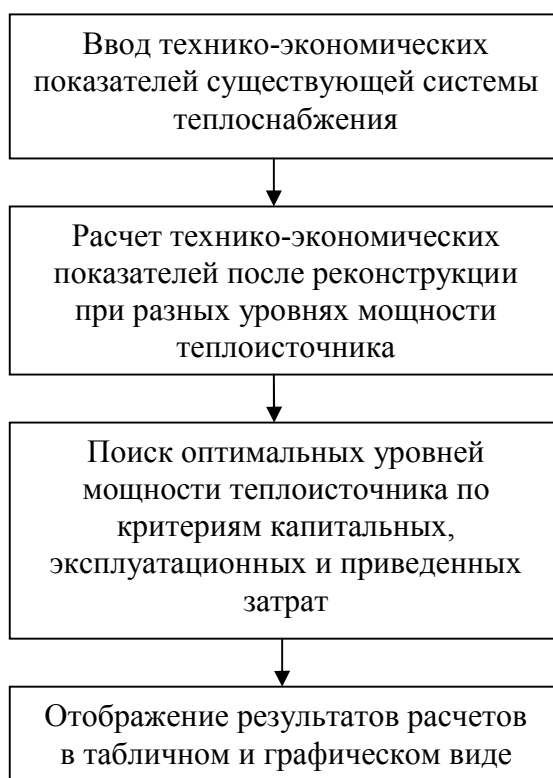


Рисунок 9 – Блок-схема расчетного алгоритма

Дополнительно разработан интернет-сервис, с помощью которого каждый заинтересованный пользователь может выполнить соответствующие расчеты в on-line режиме.

В четвертой главе приведены сведения о практическом апробировании и внедрении разработанного алгоритма. Расчеты выполнялись при подготовке инвестиционной программы реконструкции системы теплоснабжения в городе-герое Волгограде. В 2016 году муниципалитет города принял решение о

передаче теплоснабжающих активов в концессию, что создало условия для реализации масштабной инвестиционной программы по улучшению системы. Объем разработанной программы составил более 6 млрд. рублей на период 2016 – 2019 годов. Запланирована реконструкция 72 котельных, 87 ЦТП, 48 км тепловых сетей, создание автоматической системы учета и распределения ресурсов, предусмотрена реализация схемных мероприятий, позволяющих качественно улучшить теплоснабжение города.

Особенностью реализуемого проекта стал тот факт, что концессионер, привлекая заемное финансирование для реализации проекта реконструкции, был заинтересован в повышении эффективности системы теплоснабжения. Поэтому каждое мероприятие в рамках инвестиционной программы нуждалось в тщательном обосновании. Одним из инструментов для предварительных оценок издержек и эффектов, оценки эффективности реализации проекта для инвестора и муниципалитета послужил настоящий алгоритм.

В соответствии с разработанным алгоритмом были проведены модельные расчеты применительно к централизованным системам теплоснабжения города. Результаты расчетов показали, что мощность ряда действующих котельных не оптимальна. 17 источников малой мощности, находящихся в зоне плотной городской застройки, являются неэкономичными, их нагрузки целесообразно переключить на более мощные теплоисточники. Для крупных районных котельных целесообразной является децентрализация с уровня 100 – 150 Гкал/ч до 50 Гкал/ч. Однако поскольку районные котельные и сети обладают значительным остаточным ресурсом, было принято решение об их сохранении и подключении к ним нагрузок котельных небольшой мощности с консервацией последних при наличии схемных возможностей. Данный вывод является обоснованным, поскольку расчеты показали, что при увеличении мощности районных котельных их интегральная эффективность снижается незначительно. В то же время проекты переключения нагрузок котельных малой мощности являются экономически привлекательными.

Выполненные последующие детальные расчеты экономической эффективности проектов переключения котельных с использованием гидравлической модели, оценкой изменения потребления топлива, электроэнергии и воды, эксплуатационных затрат подтвердили корректность выводов, сделанных с применением разработанного алгоритма.

Помимо принятия практических инвестиционных решений, модель позволила провести анализ чувствительности целевых параметров к различным внутренним и внешним факторам. Проанализировано изменение оптимальной мощности теплоисточников при варьировании уровня банковской ставки по кредитам, капитальных затрат на реконструкцию системы теплоснабжения и

оплаты труда. Рисунок 10 иллюстрирует соответствующие данные для одной из систем теплоснабжения г. Волгограда.

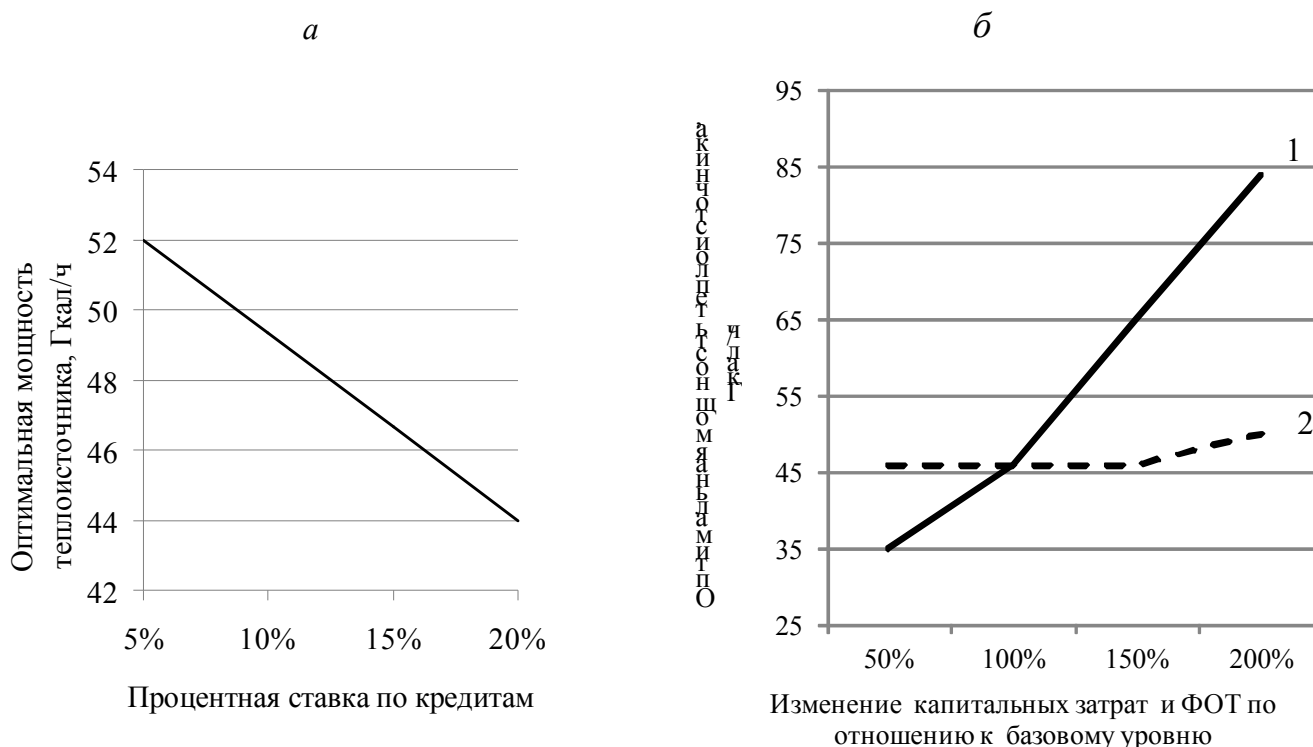


Рисунок 10 – Зависимость оптимальной мощности теплоисточников от процентной ставки по банковским кредитам (а) и уровня капитальных затрат (1) и фонда оплаты труда (2) по отношению к базовому уровню (б)

Наиболее чувствителен показатель оптимальной мощности теплоисточника к уровню капитальных затрат. Так, при снижении капитальных затрат до уровня 50 % от базового оптимальная мощность снижается с 46 до 36 Гкал/ч, при повышении до 200 % возрастает до 85 Гкал/ч. Столь существенное изменение оптимального уровня теплоисточников при изменении уровня цен на объекты строительства означает необходимость координальной смены стратегий развития системы централизованного теплоснабжения с переходом от строительства квартальных котельных к районным теплоисточникам, внесение существенных корректив в существующие схемы теплоснабжения городов.

Изменение процентных ставок по кредитам и уровня оплаты труда оказывает умеренное влияние на оптимальное значение мощности – в пределах 10 - 15 %.

Выводы

1. Выполнен анализ структуры российских систем централизованного теплоснабжения. Обоснована необходимость реконструкции систем некогенерационного теплоснабжения с применением наиболее рациональных технологий и оптимальных технико-экономических характеристик.

2. Проанализированы подходы, использующиеся для оптимизации технологического облика некогенерационных систем теплоснабжения, обоснована необходимость разработки эффективных алгоритмов для определения основных технических решений при реализации проектов такого рода и, в первую очередь, для определения оптимальной мощности теплоисточников.

3. Обоснованы целевые критерии, по которым целесообразно выполнять оптимизацию систем теплоснабжения.

4. Разработана технико-экономическая модель, позволяющая на предпроектной стадии реконструкции при минимальных временных и финансовых затратах провести экспресс-оценки оптимальной мощности и количества теплоисточников, как ключевых параметров эффективности системы теплоснабжения.

5. Результаты расчетов по разработанному алгоритму использованы при формировании инвестиционной программы реконструкции системы теплоснабжения города-героя Волгограда. В настоящее время проект находится в стадии реализации. Алгоритм расчетов реализован в формате интернет-калькулятора, доступного широкой аудитории заинтересованных специалистов.

Список публикаций по теме диссертации

1. Бузоверов, Е.А. Методика выбора оптимальной мощности теплоисточников при реконструкции централизованных систем теплоснабжения / Е.А. Бузоверов, М.В. Исаев, И.Д. Чернов, О.Н. Махов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. - 2017. - №3. - С. 20 – 29.
2. Бузоверов, Е.А. Об удельных капитальных затратах на строительство котельных и тепловых сетей / Е.А. Бузоверов, В.М. Островский // Промышленная энергетика. – 2015. - № 11. - С. 7 - 11.
3. Бузоверов, Е.А. О выборе оптимальных значений удельного падения давления теплоносителя в тепловых сетях / Е.А. Бузоверов, В.М. Островский // Промышленная энергетика. – 2015. - № 9. - С. 9 - 12.
4. Zhuk, A. Managing peak loads in energy grids: Comparative economic analysis / A. Zhuk, Yu. Zeigarnik, E. Buzoverov, A. Sheindlin // Energy Policy. - 2016. - № 88. - P. 39 - 44.

5. Жук, А.З. Сравнительный анализ технологий для покрытия пиковых нагрузок в энергосистеме / А.З. Жук, Ю.А. Зейгарник, Е.А. Бузоверов, А.Е. Шейндлин, Ю.Н. Кучеров // Электрические станции. - 2015. - № 4. - С. 20 - 28.
6. Бузоверов, Е.А. К вопросу об оптимальном значении удельных потерь давления теплоносителей в тепловых сетях / Е.А. Бузоверов // Сборник докладов на IV Международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». - 2015. - С. 259 - 263.
7. Бузоверов, Е.А. Анализ критериев эффективности проектов реконструкции для различных субъектов системы централизованного теплоснабжения / Е.А. Бузоверов, М.В. Исаев, И.Д. Чернов, О.Н. Махов // Сборник докладов Всероссийской международно-технической конференции «Энергетика и информационные технологии». ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ. - 2016. – С. 18 – 24.
8. Бузоверов, Е.А. Определение оптимальной мощности теплового источника централизованного теплоснабжения на основе экспресс-расчета с использованием критериев эффективности / Е.А. Бузоверов, М.В. Исаев, И.Д. Чернов, О.Н. Махов // Современные материалы, техника и технологии. – 2016. - № 5 (8). - С. 28 - 32.
9. Шевченко, И.С. Анализ эффективности строительства и эксплуатации автономных источников теплоснабжения / И.С. Шевченко, Е.А. Бузоверов // Проблемы энергосбережения. - 2001. - №2. - С. 21 - 24.

Бузоверов Евгений Анатольевич

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ НЕКОГЕНЕРАЦИОННЫХ ТЕПЛОИСТОЧНИКОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Автореферат

Подписано в печать....		Формат 60x84/16
Печать офсетная	Уч. изд.л. 1,1	Усл. печ.л. 1,0
Тираж 100 экз.	Заказ №....	Бесплатно

ОИВТ РАН. 125412, Москва, Ижорская ул., 13, стр. 2