



УДК 658.264

В.М. Боровков, Е.М. Михайлова

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Предложена система отпуска тепловой энергии от ТЭЦ и пиковой котельной. Дано обоснование тарифов на тепловую и электрическую энергию от Северо-Западной ТЭЦ г. С.-Петербурга.

Ключевые слова: теплоснабжение, электрическая и тепловая энергия, парогазовые станции, методы контроля.

Вопросы повышения эффективности теплоэнергетики требуют применения наиболее эффективных технологий сжигания, в первую очередь рационального использования природного газа. Перспективным направлением является и внедрение комбинированных парогазовых станций.

Мероприятия по повышению эффективности энергоснабжения необходимо разрабатывать применительно к конкретному мегаполису (городу). Функционирование того или иного мегаполиса сталкивается с проблемами теплоснабжения; выбором установки, генерирующей тепловую и электрическую энергию; экологическими.

Проблемы теплоснабжения подразделяют на технические и экономические.

Технические проблемы [14, 15]. К ним относятся:

значительная доля устаревшего оборудования на ТЭЦ и котельных;
низкое качество составляющих системы централизованного теплоснабжения в целом;

применение в ограниченном количестве эффективных методов контроля и диагностики состояния трубопроводов;

сложность, а порой и невозможность соблюдения требуемых тепловых гидравлических режимов при определенном дефиците топлива и опасение выхода из строя ненадежных участков тепловых сетей;

расточительность энергетических ресурсов вследствие потерь тепловой энергии и отсутствия действенных мер по энергосбережению во всех звеньях системы централизованного теплоснабжения;

значительная доля мелких неавтоматизированных котельных с низким КПД.

Экономические проблемы. Рынок теплоснабжения в России находится в переходном состоянии от естественной монополии к конкурентному. Это сопряжено с тем, что некоторые потребители отказываются или имеют намерение отказаться от услуг централизованных систем. В первую очередь уходят потребители, которые, не получая продукта требуемого качества, переплачивают за тепловую энергию по завышенным тарифам. Это имеет двойной негативный эффект: вследствие снижения объемов производ-

ства повышаются удельные затраты, кроме того, прекращается безвозмездное субсидирование. При этом рост тарифов для оставшихся абонентов может оказаться неподъемным, что чревато крахом системы в целом.

Повышение тарифов на тепловую энергию может ухудшить финансовое состояние теплоснабжающих организаций, а в ряде случаев привести к их полному или частичному развалу. В этой ситуации необходимо сочетать экономические меры привлечения и удержания потребителей с административными.

Потери тепловой энергии на этапе транспортировки порой достигают половины объема произведенной энергии. Но самое тревожное – отказ от покупки тепловой энергии, производимой на теплоэлектростанциях, где она является побочным продуктом производства электроэнергии.

К важнейшим факторам относится тарифное стимулирование потребления тепловой энергии, вырабатываемой ТЭЦ.

В последние годы темпы роста экономики С.-Петербурга в значительной мере опережали общероссийские. Рост промышленного производства в С.-Петербурге в 2002 г. в 2,3 раза превышал тот же показатель по России в целом. По существующим прогнозам правительства РФ и независимых аналитиков, эта тенденция будет сохраняться [1, 3, 6–10, 24].

Планы перспективного развития С.-Петербурга предполагают рост тепловых нагрузок в северо-западной части города в связи с увеличением объемов жилищного строительства. По данным комитета по градостроительству и архитектуре, в период 2003–2010 гг. в Приморском районе будет построено 2,2 млн м² нового жилья и других объектов. Расчеты показывают, что, несмотря на ввод в 2004 г. котла КВГМ-180 на Приморской котельной, дефицит мощностей в Приморском районе уже к 2010 г. превысит 500 Гкал/ч.

При возрастающем росте теплопотребления в северо-западной части (Приморский район) С.-Петербурга оптимальным вариантом является максимальное использование существующей Северо-Западной ТЭЦ (далее С-3 ТЭЦ) в покрытии тепловых нагрузок. Общая протяженность трассы от коллекторов ТЭЦ до коллекторов котельной составляет около 11,5 км (рис. 1).

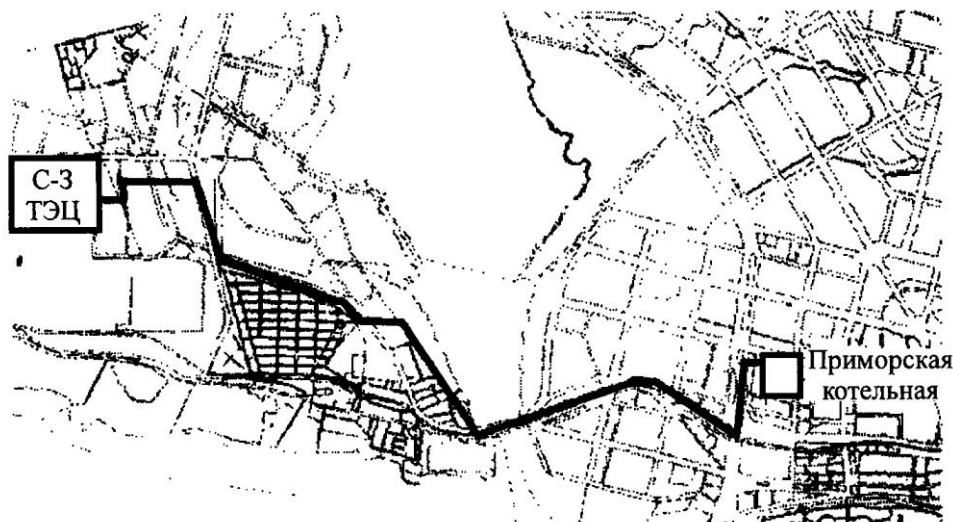


Рис. 1. Схема размещения С-3 ТЭЦ в Приморском районе С.-Петербурга

Объект рассмотрения данной статьи – мероприятия по повышению эффективности энергоснабжения Приморского района как наиболее проблематичного с точки зрения обеспеченности тепловой энергией.

Реализацию проектной схемы подпитки теплосети, когда теплоснабжение от С-3 ТЭЦ планировали производить по открытому варианту, потребовало бы строительства двух водоводов от городских магистральных трубопроводов. Кроме того, большой объем передаваемой от С-3 ТЭЦ прямой сетевой воды (до 25 тыс. м³/ч) в существующую распределительную сеть Приморского района вызовет определенные трудности при поддержании гидравлического режима в узловых точках этой сети. В связи с этим решено для С-3 ТЭЦ реализовать предложенную Академическим центром теплоэнергоэффективных технологий закрытую схему теплоснабжения. В этом случае основная подпитка теплосети должна быть организована на существующих котельных, там же должны быть установлены мощные теплообменные центры, обеспечивающие сьем тепловой энергии от нагретой на С-3 ТЭЦ сетевой воды.

Таким образом, имеем новую, не встречавшуюся ранее систему теплоснабжения: С-3 ТЭЦ–магистраль–Приморская котельная–абоненты–Приморская котельная–магистраль–С-3 ТЭЦ, где работа подсистемы С-3 ТЭЦ–магистраль–Приморская котельная–магистраль–С-3 ТЭЦ осуществляется по закрытой схеме, а работа подсистемы абоненты–Приморская котельная–абоненты – по открытой.

Для решения проблем функционирования теплоснабжения такой системы необходим комплексный подход, который учитывал бы не только режимы работы энергоснабжающих станций, но и сложившуюся систему взаимоотношений между энергогенерирующими организациями, функционирующую систему теплоснабжения, а также тарифную политику, которую необходимо выработать на основе всестороннего анализа существующих методик отчетности для удаленных источников теплоснабжения с учетом особенностей.

Для расчета и анализа системы теплоснабжения С-3 ТЭЦ–магистраль–Приморская котельная–магистраль–С-3 ТЭЦ, схематично представленной на рис. 2, из-за наличия большого количества теплотехнического оборудования и меняющихся в течение года режимов разработана математическая модель, включающая подробное описание процессов генерации и транспорта энергоносителей с учетом потерь в системах энергоснабжения.

Эта математическая модель включает подробное описание процессов генерации и транспорта энергоносителей с учетом потерь в системах энергоснабжения. В основе этой модели лежит комплекс балансовых уравнений, который позволяет за счет анализа исследуемого объекта и математических моделей отдельных его элементов (паротурбинная часть С-3 ТЭЦ – источник тепловой и электрической энергии, Приморская котельная,

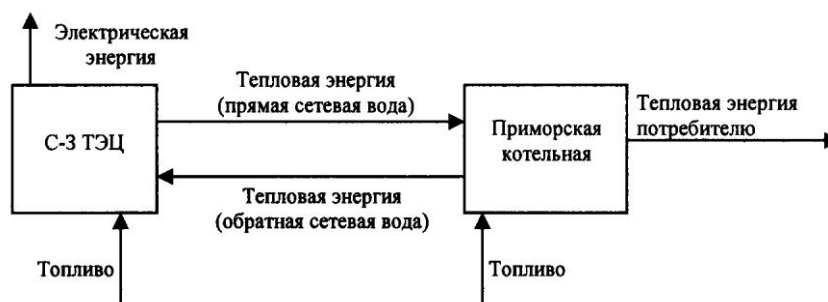


Рис. 2. Схема магистрали С-3 ТЭЦ–Приморская котельная

магистралах, потребители тепловой энергии) строить программу расчета данной системы теплоснабжения на объектно-ориентированном языке.

Разработанная модель включает три взаимосвязанных модуля:

паротурбинная часть С-3 ТЭЦ;

тепловая сеть;

Приморская котельная.

В основу модели заложены зависимости, позволяющие рассчитать гидравлические и тепловые потери при транспортировке теплоносителя к потребителю, а также мощность насоса, затрачиваемую на его перекачку. Методом перебора различных вариантов температурных графиков можно определить: минимальные затраты на прокладку тепловой сети от С-3 ТЭЦ до Приморской котельной; оптимальный диаметр трубопровода с учетом гидравлических потерь в магистрали; потери тепловой энергии в окружающую среду.

В процессе разработки были оценены факторы, влияющие на экономическую эффективность работы системы теплоснабжения в целом: тепловые и гидравлические потери в тепловой сети; возможная недовыработка электрической мощности на ТЭЦ; удельный перерасход топлива на котельной.

Результаты расчета показали, что при одинаковой, близкой к максимальной тепловой нагрузке на ТЭЦ недовыработка электрической энергии будет постоянной и близкой к мощности паровой турбины. При постоянной тепловой нагрузке и постоянной разности температур обратной и прямой сетевой воды гидравлические потери сети одинаковы и равны определенной величине, что обусловлено одинаковым количеством энергии, переносимым единицей массы теплоносителя. Однако нельзя не отметить, что работа насоса при повышенных температурах теплоносителя предъявляет более жесткие требования к составу оборудования, что, в свою очередь, требует более высоких капитальных и эксплуатационных затрат.

На выбор оптимального температурного графика влияют две величины: тепловые потери в магистральной теплотрассе и в меньшей степени гидравлические потери в котельной. Тенденция к снижению потерь при уменьшении температуры подающего трубопровода и неизменной разности температур прямой и обратной воды обусловлена более сильным падением тепловых потерь в магистрали при слабом росте гидравлических потерь в котельной. Минимум потерь будет наблюдаться при более низких значениях температур прямой и обратной воды, но они противоречат существующей нормативной документации. Понижение температуры подачи ниже 90 °С невозможно по соображениям эффективности теплоотдачи от отопительных радиаторов (классическая схема) внутри помещений, а ниже 65 °С – по санитарным нормам для горячей воды (при применении систем отопления «теплый пол»).

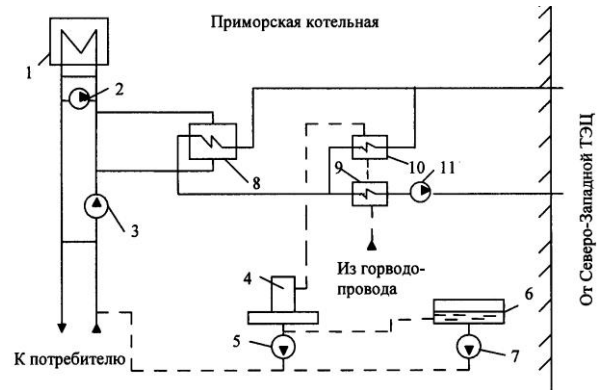
Следовательно, необходима работа С-3 ТЭЦ в базовом режиме при догреве прямой сетевой воды на Приморской котельной.

Принципиальная схема Приморской котельной приведена на рис. 3.

Изменения, способствующие уменьшению температуры обратной сетевой воды: вода из городского водопровода идет не последовательно, а параллельно в подогреватели 1-й и 2-й ступеней, откуда два потока с разными температурными потенциалами направляются в деаэрактор, а часть сетевой воды – в обход подогревателя 1-й ступени (рис. 4). При этом нагрузка на подогреватель 1-й ступени уменьшается, что снижает температурный потенциал обратной воды.

Для выбора оптимального режима теплоснабжения проведен сравнительный анализ различных температурных графиков выдачи тепловой энергии от С-3 ТЭЦ на Приморскую котельную. Имея сведения о параметрах прямой сетевой воды

Рис. 3. Принципиальная схема теплообменной подстанции с пиковыми котлами: 1 – котел водогрейный; 2 – насос рециркуляционный; 3 – насос сетевой; 4 – деаэратор подпиточный; 5 – насос подпиточный; 6 – аккумуляторный бак; 7 – насос регулировочный; 8 – водоводяной теплообменник; 9 – подогреватель подпитки теплосети 1-й ступени; 10 – подогреватель подпитки теплосети 2-й ступени; 11 – насос сетевой (1–7 – существующее оборудование, 8–11 – вновь устанавливаемое)



от станции и рассчитав теплообменную станцию Приморской котельной, рекомендовано выдавать тепло от ТЭЦ на теплообменную станцию в базовом режиме для температуры 130,0 ... 65,5 °С при диаметре трубопровода 1400 мм.

Строительство тепловой магистрали позволит оптимизировать систему теплоснабжения Приморского района, снизить потребление топлива и ликвидировать дефицит тепла при одновременном улучшении экологической ситуации, прежде всего, за счет снижения и исключения ряда вредных выбросов в атмосферу.

В связи с тем, что тарифное стимулирование потребления тепловой энергии, вырабатываемой ТЭЦ, является важнейшим фактором нормального функционирования системы теплоснабжения городов [2, 4, 5, 12, 13, 16–20, 22–26], выполнено следующее.

1) Проанализированы существующие методики отчетности для ТЭЦ (зарубежные методы разнесения затрат, физический метод, эксергетический метод, метод ОРГРЭС, метод относительных приростов, метод золотого сечения).

Представив графически результаты расчета по рассмотренным методикам и расположив их значения на так называемой функции полезности (рис. 5), можно сделать выводы, что все рассмотренные методы разделения топлива между производством электроэнергии и тепла являются одинаково условными и должны применяться с крайней осторожностью даже при оценке тепловой

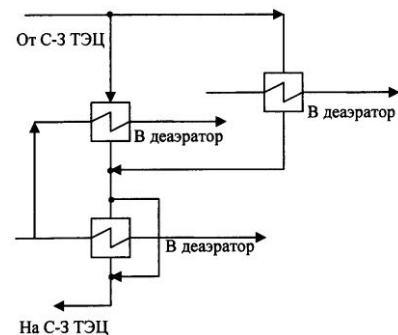
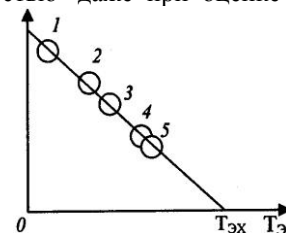


Рис. 4. Измененная схема тепловой станции

Рис. 5. Взаимозависимость параметров энергетической функции полезности: 1 – физический метод; 2 – метод ОРГРЭС; 3 – метод относительных приростов; 4 – метод золотого сечения; 5 – эксергетический метод



экономичности ТЭЦ; методы дают разные результаты, и поэтому ни один из них не может служить основой для формирования тарифов на ТЭЦ; зарубежный опыт и проведенный анализ убеждают в необходимости использования при формировании тарифов на электроэнергию и тепло, выработанных на ТЭЦ, исключительно экономических механизмов, отказавшись от попытки увязать ценообразование с проблемой разделения расхода топлива на выработку электро- и теплоэнергии.

2) Раскрыта проблематика определения тарифов по применяемой в настоящее время методике. При использовании существующей методики распределения расхода топлива по РД 34.08.552–95 на промышленных ТЭЦ могут быть получены заведомо неприемлемые результаты. Указанная методика искусственно занижает расход топлива на отпуск тепловой энергии и необоснованно завышается его расход на отпуск электрической.

3) При рассмотрении данной методики применительно для расчета тарифов С-3 ТЭЦ наглядно показано, что с учетом транспортировки тепловой энергии по тепловой магистрали длиной 11,6 км на тепловую энергию получен достаточно большой тариф (минимальный при работе С-3 ТЭЦ в режиме полной теплофикации для одного энергоблока – 285 р./Гкал (рис. 6), для двух – 197 р./Гкал), что может привести к резкому снижению объемов покупки тепловой энергии от С-3 ТЭЦ или даже к отказу от покупки тепловой энергии городом. Величина тарифа за тепловую энергию составляет 200 р./Гкал (данные 2003 г.).

4) Представлен новый подход к формированию тарифа по методу, предложенному В.А. Малафеевым [24], который позволит не только найти взаимосвязанные значения тарифов на ТЭЦ, но и гибко реагировать на состояние розничных рынков электрической и тепловой энергии и, прежде всего, на возможность появления конкурентов.

Затраты на производство электро- и тепловой энергии в комбинированном цикле можно распределить между двумя видами продукции любым способом, но поскольку сумма всех затрат от этого не меняется, то результаты от всех возможных вариантов разделения ложатся на одну прямую – так называемый треугольник Гинтера (рис. 7).

Рис. 7. Тарифы на тепло- и электроэнергию С-3 ТЭЦ (2003 г.): 1 – электроэнергия, 2 – тепловая энергия, 3 – себестоимость тепла на коллекторах Приморской котельной, 4 – утвержденный тариф на электроэнергию

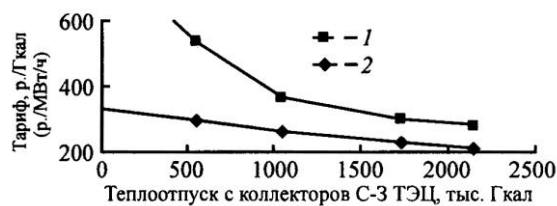
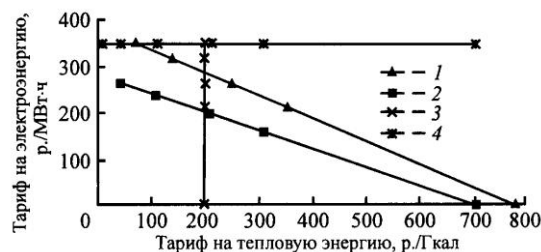


Рис. 6. Тарифы на тепло- и электроэнергию при работе одного блока: 1 – электроэнергия, 2 – тепловая энергия



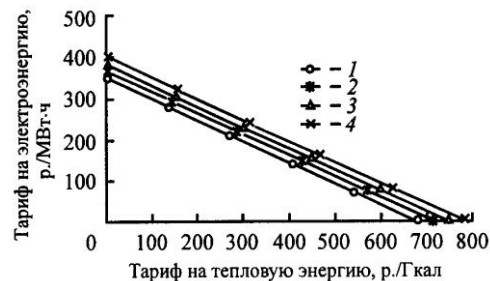


Рис. 8. Тарифы на тепло- и электроэнергию при различных значениях закладываемой прибыли (работа одного энергоблока): 1 – вариант 1; 2 – 2; 3 – 3; 4 – 4

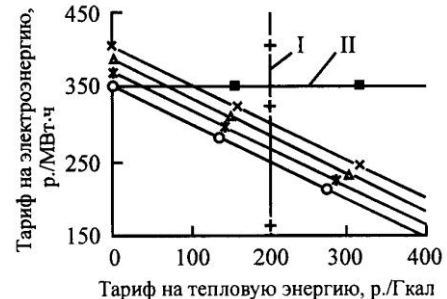


Рис. 9. Треугольник Гинтера для определения оптимальных тарифов на тепло- и электроэнергию С-3 ТЭЦ при различных значениях закладываемой прибыли (работа одного энергоблока): I – себестоимость тепла на коллекторах Приморской котельной; II – утвержденный тариф на электроэнергию (обозначения см. на рис. 8)

В случае, если все затраты ТЭЦ отнести только на электроэнергию, то получится точка пересечения прямой с осью ординат (удельные затраты на электроэнергию максимальны, удельные затраты на производство тепла равны нулю). Если все затраты ТЭЦ отнести на тепло, то получится точка пересечения прямой с осью абсцисс (удельные затраты на тепло максимальны, а удельные затраты на электроэнергию равны нулю). Все возможные варианты разделения затрат между производством электроэнергии и тепла лежат на прямой, соединяющей две эти точки, и образуют взаимозависимые пары. Таким образом, всю сумму затрат ТЭЦ в расчетном периоде, количество товарной продукции, а также сумму прибыли, которую необходимо внести в тариф, может определить треугольник Гинтера для тарифных пар. Эта зависимость и называется тарифной сеткой.

5) Для полноты расчета определено тарифное поле для работы одного и двух энергоблоков при различной величине прибыли – варианты 1–4 (0, 5, 10 и 15 %), что дает возможность наглядно оценить различные варианты расчета пар тарифов на тепловую и электрическую энергию в тарифной сетке того или иного предприятия при соответствующих затратах.

Тарифы на тепловую и электрическую энергию для различных величин закладываемой прибыли (варианты 1–4) при работе одного энергоблока приведены на рис. 8 и 9.

Составляя такое тарифное зеркало для любой тепловой электроцентрали, определяют возможные пары тарифов на тепло- и электроэнергию.

На основании исследований был создан алгоритм расчета тарифов на тепло- и электроэнергию не только для С-3 ТЭЦ, но и для других теплоэлектроцентралей, имеющих тепловую магистраль большой протяженности. Алгоритм позволяет обеспечить конкурентоспособные тарифы; сбыт продукции; необходимые финансовые показатели работы ТЭЦ; снижение тарифов на тепловую энергию для населения города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналитическая справка о теплоснабжении в г. Санкт-Петербурге и Приморском районе [Текст]. – 2002.

2. *Аракелян, Э.К.* О распределении расхода топлива на ТЭЦ [Текст] / Э.К. Аракелян, Г.П. Киселев // Оптимизация тепловых схем и режимов работы ТЭС: тр. МЭИ. – 1994. – Вып. 671.
3. *Васильев, Ю.С.* Развитие промышленности и предпосылки самодостаточного развития электроэнергетики России [Текст] / Ю.С. Васильев [и др.] // Наука и промышленность России. – 2001. – № 4–5.
4. Вопросы формирования тарифов на электрическую и тепловую энергию, производимую на ТЭЦ [Текст]: решение научно-практической конференции специалистов ФЭК России, РАО «ЕЭС России», АО-энерго, МАРЭК и РЭК субъектов РФ. – Жаворонки Моск. обл., 28–30 марта 2000 г.
5. *Гольдштейн, А.Д.* Промышленная энергетика, проблемы и основные направления энергосбережения [Текст] / А.Д. Гольдштейн, П.А. Кругляков, Ю.В.Смолкин // Теплоэнергетика. – 2003. – № 2.
6. *Грицына, В.П.* Развитие малой энергетики – естественный путь выхода из наступившего кризиса энергетики [Текст] / В.П. Грицына // Пром. энергетика. – 2001. – № 8. – С. 13–16.
7. *Данилевич, Я.Б.* Реконструкция системы теплоснабжения Приморского района С.-Петербурга [Текст] / Я.Б. Данилевич [и др.] // Энергонадзор-информ. – 2001. – № 10. – С. 10–15.
8. *Делюкин, А.С.* Анализ энергопотребления С.-Петербурга [Текст] / А.С. Делюкин, В.А. Яковлев, Е.Г. Семин // Материалы междунар. конф. «Энергосбережение и эксплуатация инженерных систем». – СПб.: Изд-во СПбСТУ, 2000. – С. 74–78.
9. *Делюкин, А.С.* Приоритеты и перспективы развития энергетики С.-Петербурга [Текст] / А.С. Делюкин // Энергонадзор-информ. – 2000. – № 3.
10. *Делюкин, А.С.* Топливо-энергетический комплекс города [Текст]: учеб. пособие / А.С. Делюкин [и др.]. – СПбГТУ, 1999. – 59 с.
11. *Денисов, В.И.* Обоснование тарифов на электрическую и тепловую энергию ТЭЦ, выводимых на федеральный (общероссийский) оптовый рынок электрической энергии (мощности) [Текст] / В.И. Денисов // Электрические станции. – 1999. – № 10.
12. *Дьяков, А.Ф.* Перспективные направления применения газотурбинных и парогазовых установок в энергетике России [Текст] / А.Ф. Дьяков, Л.С. Попырин, О.Н. Фаворский // Теплоэнергетика. – 1997. – № 2.
13. *Иванов, В.А.* Характеристики теплофикационного парогазового блока ПГУ-450Т при различных методах разделения затрат топлива на производство электрической и тепловой энергии [Текст] / В.А. Иванов // Энергетические машины и установки: тр. ЛПИ. – СПб., 1997. – № 465.
14. Концепция Генерального плана развития С.-Петербурга. Принципиальные направления развития системы инженерного оборудования города (Теплоснабжение). 3-й этап: Концепция развития теплоснабжения / ОАО «Севзапвнипиэнергопром», РАО энергетики и электрификации «ЕЭС России». – СПб., 2003. – №566, gm-IT.000.003. – 86 с.
15. Концепция Генерального плана развития С.-Петербурга. Развитие систем инженерного обеспечения города (Теплоснабжение) / Администрация С.-Петербурга, комитет по градостроительству и архитектуре. – СПб., 2003. – 90 с.
16. *Легошин, Г.М.* Материя. Космология. Золотое сечение [Текст]: монография / Г.М. Легошин. – Саратов: СГАУ, 2000.
17. *Малафеев, В.А.* Как «правильно» определить стоимость электрической и тепловой энергии, вырабатываемой на ТЭЦ [Текст] / В.А. Малафеев // Энергетик. – 2000. – № 9.
18. Методические указания по составлению отчета электростанции и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования [Текст]. – М.: ОРГРЭС, 1995 (РД 34.08.552-95).
19. *Некрасов, А.С.* Состояние и перспективы развития теплоснабжения в России [Текст] / А.С. Некрасов, С.А. Воронина // Электрические станции. – 2004. – № 5.
20. Основы экономики в вопросах и ответах [Текст] / Под ред. О.Ю. Мамедова. – Ростов-на-Дону: Феникс, 1999.

21. *Ревелль, П.* Среда нашего обитания. Кн.3: Энергетические проблемы человечества [Текст] / П. Ревелль, Ч. Ревелль. – М: Мир, 1995.
22. *Стерман, Л.С.* Сопоставление эффективности комбинированного и раздельного способов производства электроэнергии и тепла [Текст] / Л.С. Стерман, С.П. Тишин, А.А. Хараим // Теплоэнергетика. – 1996. – № 2. – С. 34–38.
23. *Хлебанин, Ю.М.* Метод золотого сечения оценки тарифов на тепловую и электрическую энергию действующих ТЭЦ [Текст] / Ю.М. Хлебанин // Промышленная энергетика. – 2001. – № 9.
24. *Хрилев, Л.С.* Сравнительная оценка отечественных и зарубежных методов разделения расхода топлива и формирования тарифов на ТЭЦ [Текст] / Л.С. Хрилев, В.А. Малафеев, А.А. Хараим, И.М. Лившиц // Теплоэнергетика. – 2003. – № 4.
25. *Шевелев, И.Ш.* Золотое сечение. Три взгляда на природу гармонии [Текст] / И.Ш. Шевелев, М.А. Марутаев, И.П. Шмелев. – М.: Стройиздат, 1990.
26. Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы» [Текст]. – 2003. – № 4, апрель. Режим доступа: http://esco-ecosys.narod.ru/2003_4/art87.htm.

С.- Петербургский государственный
политехнический университет

Поступила 31.10.06

V.M. Borovkov, E.M. Mikhailova

Efficiency Increase of Heat Supply System

The system of providing heat power from heat-power station and peak boiler-house is offered. The tariffs for heat and electrical power of North-Western Heat-power Station, St.-Petersburg, are substantiated.
