

На правах рукописи

БОРОДИНА
Ольга Александровна

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПЕРЕВОДА
ОТОПИТЕЛЬНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ КОТЕЛЬНЫХ
В РЕЖИМ МИНИ-ТЭЦ**

Специальности 05.14.04 – “Промышленная теплоэнергетика”,
05.14.14 – “Тепловые электрические станции,
их энергетические системы и агрегаты”

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ — 2004

Работа выполнена в ГОУ ВПО “Санкт-Петербургский государственный политехнический университет”.

Научные руководители:

- доктор техн. наук, профессор *Боровков Валерий Михайлович*
- кандидат техн. наук, профессор *Костюк Ростислав Иванович*

Официальные оппоненты:

- доктор техн. наук, профессор *Бельский Александр Петрович*
- кандидат техн. наук,
ст. научн. сотр. *Трифонов Николай Николаевич*

Ведущая организация: *ГУП “Топливо-энергетический комплекс Санкт-Петербурга”, г. Санкт-Петербург.*

Защита диссертации состоится 15 июня 2004 г. в 18-00 на заседании диссертационного совета Д 212.229.04 в ГОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный политехнический университет" по адресу:
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
в аудитории 411 ПГК

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный политехнический университет".

Автореферат разослан "___" мая 2004 г.

Отзыв на автореферат, заверенный печатью учреждения, в двух экземплярах просим направить по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Факс: (812)5527684

E-mail: kg@kg1210.spb.edu

Ученый секретарь
диссертационного совета

К.А.Григорьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационной работы определяется назревшей необходимостью исследования альтернативных путей развития российской энергетики, вследствие следующих факторов: перехода к финансированию строительства новых энергоисточников за счет средств энергосистемы и собственного бюджета предприятий; роста тарифов на энергию, отпускаемую энергоснабжающими организациями; нарастающего старения оборудования электростанций и котельных; высоких потерь энергии и топлива при существующей структуре энергопроизводства; установок на повышения надежности энергоснабжения потребителей и увеличения коэффициента полезного использования топлива; ужесточения требований к охране окружающей среды и стремления предприятий к утилизации горючих производственных отходов в газообразном, жидком и твёрдом состоянии. В таких условиях развитие малой энергетики с комбинированным производством тепла и электроэнергии, в том числе на базе существующих отопительных и промышленно-отопительных котельных, может стать альтернативой централизации энергоснабжения либо дополнением, повышающим эффективность схем энергоснабжения.

Ещё раз заметим, что централизованное производство и распределение электроэнергии сейчас довольно дорогое удовольствие для отдельного предприятия-потребителя. Известно, что себестоимость электроэнергии, произведенной централизованно, составляет около 30-40 коп. за кВт·ч, тогда как потребителю она обходится уже в 90-100 коп. А мини-ТЭЦ позволяют решить проблему не только независимого, в том числе и от выделенных лимитов, но и дешевого энергоснабжения. К тому же современные проекты реконструкции промышленных и районных котельных в мини-ТЭЦ позволяют это сделать без значительных затрат времени или средств на строительство.

Таким образом, как промышленные предприятия, так и предприятия ТЭК, на основе технологических и экономических аспектов, несмотря на имеющуюся возможность энергоснабжения от имеющихся энергосетей, вполне могут принять решение о создании собственной мини-ТЭЦ. Логично, что рентабельность работы мини-ТЭЦ будет тем выше, чем больше разница между закупочными ценами на энергию и расходами, необходимыми на реконструкцию котельных. Но предприятие, как правило, не имеет возможностей влияния на закупочные цены, в то же время необходимые на производство энергии расходы – а именно здесь предоставляется возможность принятия соответствующих мер – как раз сильно зависят от качества технических решений и от эффективности производства энергии. Отметим, что в случае комбинированного производства электроэнергии и тепла эффективность использования энергии может достигать до 90%, соответственно становится очевидной возможность получения огромного народно-хозяйственного эффекта для нашей страны при реализации

широкомасштабного перевода существующих котельных в режим мини-ТЭЦ.

Целью диссертационной работы является исследование и разработка методов перевода отопительных и промышленных котельных в режим мини-ТЭЦ. В соответствии с поставленной целью решаются следующие задачи:

- 1) анализ научных публикаций и трудов по теме диссертации;
- 2) исследование возможных вариантов и концепций реконструкции котельных с переводом в режим мини-ТЭЦ;
- 3) выбор наиболее экономичных тепловых схем когенерации для типичных промышленных и отопительных котельных различной тепловой мощности;
- 4) исследование целесообразности реконструкции действующих промышленно-отопительной котельной ОАО “Свет” (г.Смоленск) с установкой противодавленческих турбин типа ПР и отопительной Гражданской котельной (г.Санкт-Петербург) с парогазовыми надстройками (со сбросом газов в котёл ДКВр/ ПТВМ; по схемам ГТУ-ТЭЦ с ГВТО и ПГУ-ТЭЦ);
- 5) анализ существующих вариантов технико-экономической оценки перевода котельных в режим мини-ТЭЦ и выбор оптимальной методики;
- 6) определение технико-экономических показателей мини-ТЭЦ на базе Гражданской котельной и котельной ОАО “Свет”, с учётом использования промышленного энергетического оборудования, выпускаемого в России.

На защиту выносятся следующие положения, определяющие **научную новизну** диссертационной работы:

- рекомендации оптимальных вариантов реконструкции отопительных и промышленно-отопительных котельных с переводом в режим мини-ТЭЦ;
- разработанные мероприятия по переводу в режим мини-ТЭЦ действующих промышленно-отопительной (ОАО “Свет”, г.Смоленск) и отопительной (Гражданская, г.Санкт-Петербург) котельных посредством паротурбинных и парогазовых надстроек;
- полученные новые расчётные данные, различных вариантов реконструкций существующих котельных при их переводе на комбинированную выработку тепловой и электрической энергии;
- предложения по наиболее оптимальным методам расчёта показателей технико-экономической эффективности реконструкции котельных при их переводе в режим мини-ТЭЦ;
- полученные новые данные технико-экономических расчётов, подтверждающие целесообразность и эффективность перевода на когенерацию отопительных и промышленно-отопительных котельных.

Практическая значимость работы. Систематизированы возможные схемы и концепции перевода котельных на когенерацию. Разработаны мероприятия и проведены технико-экономические расчёты по переводу действующих котельных в режим мини-ТЭЦ: 1) отопительной котельной (Гражданская, г.Санкт-Петербург), оборудованной пятью паровыми котлами ДКВр-20-13 и четырьмя водогрейными котлами ПТВМ-50; 2) промышленно-отопительной котельной (ОАО “Свет”), оборудованной тремя паровыми котлами – ДКВр-6,5/13, ДКВр-10/13 и ДЕ-6,5/14. Вследствие типичности оборудования котельных, предложенные мероприятия, рекомендации по методике расчётов и расчётные данные могут использоваться другими предприятиями промышленной и коммунальной теплоэнергетики, а также научно-исследовательскими и проектными организациями.

Надежность и достоверность полученных результатов обеспечиваются: проведением расчётных и экспериментальных исследований в соответствии с действующими в России стандартами, методиками и нормативными документами; применением современной электронно-вычислительной техники; сопоставлением результатов исследований с результатами других авторов.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на выставке-конференции инновационных проектов и разработок “Наука - технологии – производство – рынок” (2000 г., ЦНТИ, Смоленск); на VII-ой, IX-ой и X-ой международных научно-технических конференциях “Радиоэлектроника, электротехника и энергетика” (2001, 2003, 2004гг., МЭИ, г.Москва); межвузовской научно-технической конференции, посвящённой XXXII-ой Неделе науки СПбГПУ; научно-технических конференциях “Информационные технологии, ресурсосбережение, энергетика и экономика” (2003 г., СФ МЭИ, Смоленск), “Проблемы развития централизованного теплоснабжения” (2004 г., Самараэнерго, г.Самара), “Экономика, экология и общество России в 21-м столетии” (2004 г., МВШУ, г.Санкт-Петербург), а также научных семинарах кафедр “Промышленная теплоэнергетика” Смоленского филиала МЭИ и Санкт-Петербургского политехнического университета. Результаты работы докладывались 12 мая 2004 г. на заседании Научного совета по проблемам теплоэнергетики и энергомашиностроения Российской академии наук. Материалы диссертации изложены в опубликованных лично и в соавторстве 12 публикациях, в том числе в межвузовском сборнике научных трудов “Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промышленных предприятиях и ТЭС” (2004 г., СПбГТУРП), сборнике тезисов научно-исследовательских и творческих работ студентов и аспирантов – победителей конкурса ОАО “Ленэнерго”, посвящённого 120-летию электрического Петербурга (2004 г., Ленэнерго), а также в сборниках материалов докладов перечисленных выше научно-технических конференций.

Лично автором:

- проведены анализ и систематизация возможных вариантов и концепций реконструкции отопительных и промышленно-отопительных котельных при переводе на комбинированную выработку тепловой и электрической энергии;
- разработаны технические мероприятия по переводу в режим мини-ТЭЦ отопительной Гражданской котельной (г.Санкт-Петербург) с парогазовыми надстройками (со сбросом газов в котёл ДКВр/ ПТВМ; по схемам ГТУ-ТЭЦ с ГВТО и ПГУ-ТЭЦ) и промышленно-отопительной котельной ОАО “Свет” (г.Смоленск) с установкой теплофикационной турбины с противодавлением и производственным отбором пара (типа ПР);
- предложены оптимальные методы оценки технико-экономических показателей эффективности при переводе промышленных и отопительных котельных на когенерацию, на основе которых проведено технико-экономическое обоснование реконструкции двух действующих котельных.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертационной работы: 139 страниц машинописного текста; 39 рисунков; 47 таблиц; 6 страниц списка литературы, включающего 106 наименований; 7 страниц в приложении. Общий объем диссертации - 139 страниц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы основные цели и задачи, намечены пути их решения.

В первой главе даётся анализ современного состояния отечественной энергетики и тенденций её развития, подтверждающий актуальность поставленной задачи исследований. В частности, приведены основные моменты «Энергетической стратегии России на период до 2020 года», проведён анализ развития теплофикации конца XX-го и начала XXI-го века. Сделан вывод, что совокупное влияние факторов сложившейся ситуации будет стимулировать потребителей энергии к развитию комбинированного производства электрической и тепловой энергии на основе применения собственных энергоустановок, в том числе на базе существующих отопительных и промышленно-отопительных котельных. Наряду с этим возможность реализации указанного направления обуславливается практическим интересом потенциальных производителей энергооборудования в заказах на его разработку и изготовление.

Во второй главе проанализированы и систематизированы основные направления и концепции перевода отопительных и промышленно-отопительных котельных в режим мини-ТЭЦ (рис.1.).

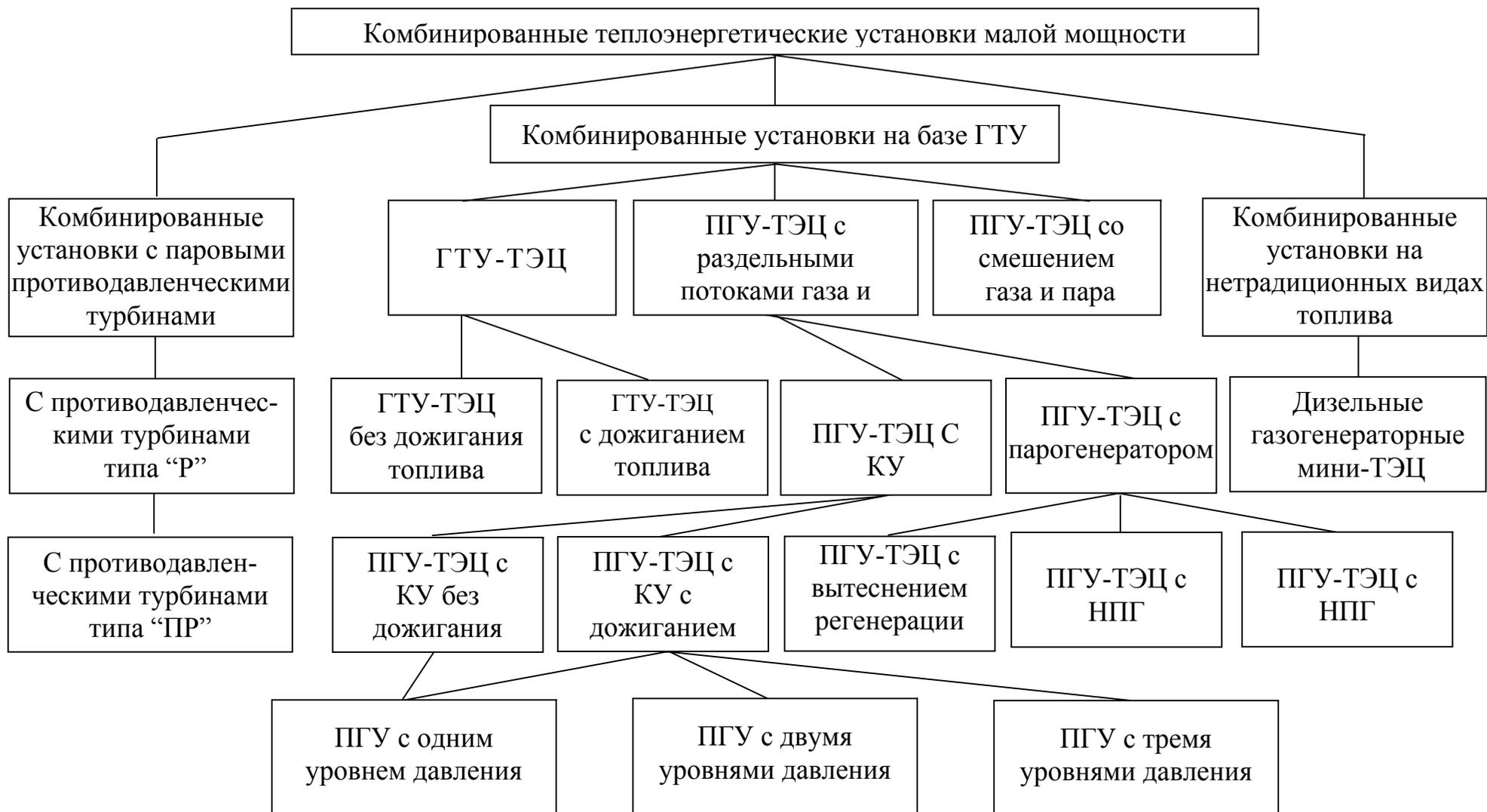


Рис.1. Классификация комбинированных теплоэнергетических установок малой мощности

Наиболее простой способ утилизации энергии парового потока для выработки электроэнергии - применение *паровых противодавленческих турбин* в котельных с паровыми котлами (рис.2.). Это связано с тем, что пар, вырабатываемый в котлах при давлении 0,8-1,4 МПа, бесполезно дросселируется до давления 0,12 МПа в редукционных устройствах. Удельный расход условного топлива для мини-ТЭЦ с турбинами типа Р мощностью < 100 МВт составляет 140-160 г/(кВт·ч). При необходимости получения на производственно-отопительной котельной производственного отбора пара устанавливаются регулирующие клапана. При выборе оптимального вида надстройки котельной турбинами противодавления необходимо учитывать следующие моменты: 1) простота установки; 2) минимальные капитальные затраты; 3) более высокий КПД и коэффициент использования топлива КИТ; 4) возможность работы в различных режимах.

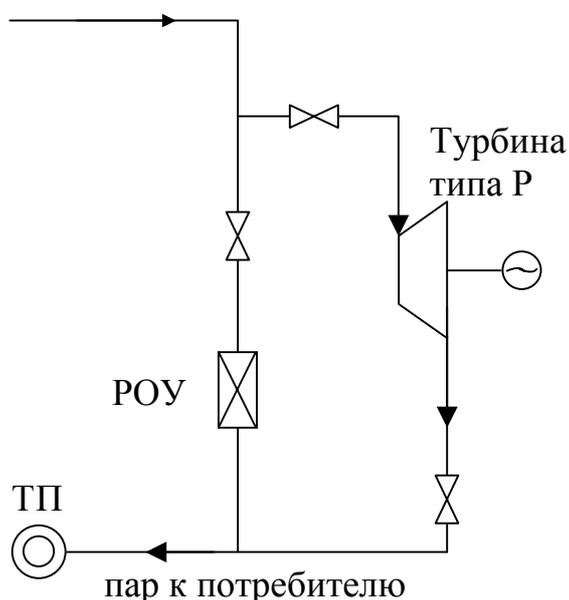


Рис.1. Принципиальная схема установки турбины с противо-давлением типа Р: ТП – тепловые потребители; РОУ – редукционно-охлаждающая установка

Противодавленческие турбогенераторы различных модификаций производятся ОАО «Калужский турбинный завод», Электротехнической корпорацией «РОЭЛ», компанией «Независимая энергетика», Пролетарским, Невским, Кировским заводами, НПО «ЦКТИ», ЛМЗ и др.

Существует большое разнообразие тепловых схем на базе ГТУ (ГТУ-ТЭЦ) и ПГУ (ПГУ-ТЭЦ) (рис.1.). *Схема со сбросом отходящих газов в отопительный котел* (рис.3.) рекомендована для котельных, оборудованных паровыми котлами ДКВР-10-13 с пароводяными подогревателями и теплофикационными экономайзерами ВТИ. В котельных, оснащенных котлами ПТВМ-50, сжигание топлива в среде отходящих газов ГТУ возможно только при установке дымососов или замене их на котлы КВГМ-50 или КВГМ-100. При этом теплообменное оборудование, используемое в

реконструируемой котельной для нагрева сетевой, подпиточной и питательной воды, полностью сохраняется.

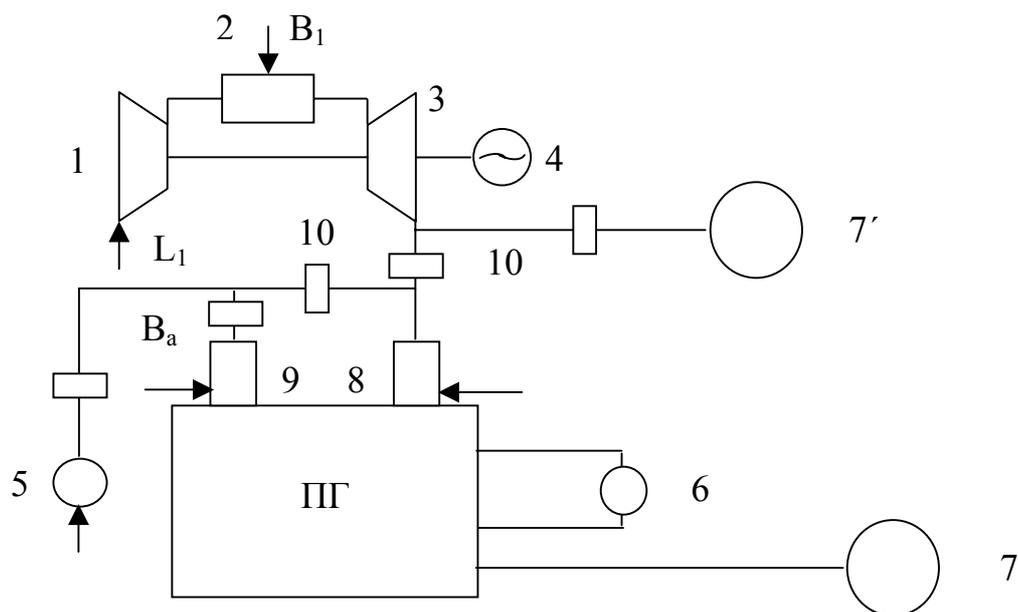
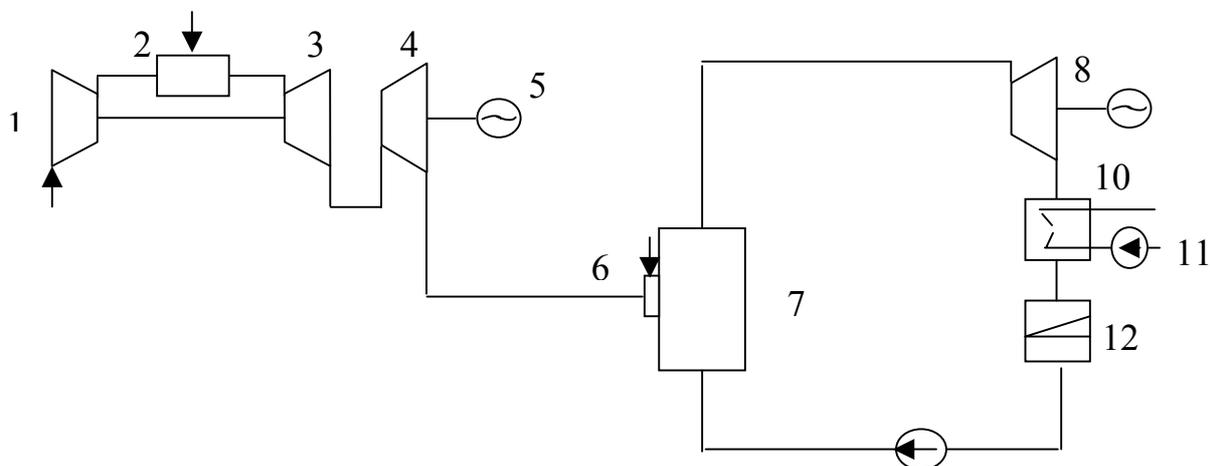


Рис.3. Схема совместной работы котла отопительной котельной с предвключённой ГТУ: 1 - компрессор; 2 - камера сгорания ГТУ; 3 - газовая турбина; 4 - электрогенератор; 5 - вентилятор для подачи воздуха в автономном режиме котла; 6 - тепловые потребители; 7, 7' - дымовые трубы; 8 - блок основных горелок, используемых при сжигании топлива в среде отходящих газов ГТУ; 9 - горелки автономного режима работы котла; 10 – шиберы; L₁, V₁ и V₂ - подача воздуха и топлива при работе ГТУ; L_а, V_а - подача воздуха и топлива при автономной работе котла.

В случае применения данной схемы необходимо решить следующие проблемы: размещение ГТУ, подвод дымовых газов к горелкам котлов, установка системы шиберов, позволяющей осуществлять работу котла как в автономном режиме, так и совместно с ГТУ. Для сбросной схемы перевода котельных в режим мини-ТЭЦ используются ГТУ мощностью 430, 730 и 1500 кВт на базе вертолётных (НПО им. В.Я.Климова, АО СНТК “Двигатели НК”, НПО “Сатурн”, АО “Энергоавиа” и пр.) и судовых газотурбинных двигателей (Пролетарский завод и др.).

В этой главе также рассмотрен ряд вариантов реконструкции с применением схем ПГУ с энергетическим котлом-утилизатором (рис.4.). При выборе схемы ПГУ-ТЭЦ с котлом-утилизатором приходится решать ряд технических и экологических проблем: установки дожимающей компрессорной станции для получения давления газа перед камерой сгорания до 2,8 МПа; при совместной работе ГТУ и ПГУ необходима шумоизоляция, так как работа сопровождается шумом, величина которого имеет определённые санитарные нормы; сооружения емкостей для резервного

дизельного топлива и создание системы подогрева для поддержания его параметров; возможность использования в качестве резервного источника электроэнергии энергосистему; для выдачи генерируемой электроэнергии требуется сооружение распределительных электрических устройств; установки отопительной дымовой трубы для отходящих газов ГТУ.



13

Рис.4. Принципиальная тепловая схема ПГУ-ТЭЦ с противоавленческой турбиной и пароводяным подогревателем сетевой воды: 1 - компрессор; 2 - камера сгорания ГТУ; 3 - газовая турбина высокого давления; 4 - газовая турбина низкого давления; 5,9 – электрогенераторы; 6 – блок дожигания; 7 - котёл-утилизатор; 8 – противоавленческая паровая турбина; 10 – пароводяной подогреватель сетевой воды; 11 – сетевой насос; 12 – конденсатосборник-деаэратор; 13 – циркуляционный насос.

При реконструкции котельных по схеме ПГУ-ТЭЦ, ориентируясь на продукцию отечественных производителей, возможно использование ГТУ, выпускаемых НПО им. Климова, АО “Энергоавиа”, НПО “Сатурн”, АО “Авиадвигатель”, ОАО “Уральский завод гражданской авиации” и др., амарские ГТУ и установки фирмы “Модуль” (Кировский завод), а также противоавленческие турбины, производства ОАО “Калужский турбинный завод” – НПВП “Турбоконт”.

В целом, применение турбоустановок в котельных при совместной работе с водогрейными и паровыми котлами дают следующие преимущества по сравнению с обычными котельными: возможность обеспечения надёжного электроснабжения для собственных нужд; экономию благородных топлив, сжигаемых в котельных; бесперебойное электроснабжение котельных при любых аварийных ситуациях в энергосистеме; надёжное теплоснабжение жилых районов и промышленных предприятий; сохраняется связь котельной с энергосистемой, что обеспечивает надёжное покрытие собственных нужд при прекращении подачи электроэнергии либо от турбоустановки, либо от

энергосистемы; установленная энергетическая мощность, как правило, превышает потребность собственных нужд котельной, в связи с чем, есть возможность отпускать потребителям кроме тепла и электроэнергию при небольших дополнительных капиталовложениях.

В заключение этой главы рассмотрены характеристики предлагаемых российскими производителями газовых турбин, проанализированы масштабы ввода теплофикационных установок на базе ДЭС, ГТУ и ПГУ. Анализируя опыт разработок и ввода в эксплуатацию малых электростанций отечественными научными и производственными предприятиями, отметим, что существующие промышленные и отопительные котельные, имеют переменные паровые нагрузки и сложившийся уровень эксплуатации теплогенерирующего и теплопотребляющего оборудования. Поэтому при переводе котельных на комбинированную схему производства тепловой и электрической энергии для ведения теплоэнергетических процессов требуются новые критерии оптимизации, отличные от обычных проектных критериев. При этом технология включает в себя следующие стадии: 1) энерготехнологическое обследование объекта, оценка существующего положения, прогнозирование изменений производства и потребления энергоресурсов; 2) оптимизацию существующих тепловых потоков и параметров теплоносителей у потребителей теплоэнергии; 3) оптимизацию баланса потребления и производства тепловой и электрической энергии, выбор количества и типов электрогенерирующих установок; 4) разработку схемы привязки электрогенерирующего оборудования к тепловой и электрической схемам заказчика; 5) оценку капитальных затрат на внедрение электрогенерирующих установок и сроков окупаемости; 6) оптимизацию режимов эксплуатации теплоэлектрогенерирующего оборудования.

В третьей главе разрабатываются мероприятия по переводу в режим мини-ТЭЦ производственно-отопительной котельной ОАО “Свет” (г.Смоленск). Необходимость реконструкции, прежде всего, связана с ростом тарифов на покупную электроэнергию и участвующими отключениями электрической энергии, ведущими к нарушению технологического процесса и возможному выходу из строя производственного оборудования.

На котельной установлено три паровых котла – ДКВр-6,5/13, ДКВр-10/13, ДЕ-6,5/14. Используемое топливо – природный газ с $Q_H^p = 33670,25$ кДж/нм³. Пар поступает на производство с параметрами $p_1=0,6$ МПа, $t_1=160$ °С, а для нужд теплофикации с $p_2=0,25$ МПа, $t_2=130$ °С. Суммарная паропроизводительность котлоагрегатов составляет $G_{\Sigma} = 22,6$ т/ч.

После анализа графиков потребления предприятием электрической энергии и расхода электроэнергии на собственные нужды котельной по формуле (1) рассчитана электрическая мощность турбины:

$$N_{\Sigma} = (G_{п} \cdot H_{ит} + G_{т} \cdot H_{от}) \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_r \quad (1)$$

где $G_{п}$, кг/с – расход пара на производство; $G_{т}$, кг/с – расход пара на теплофикацию; $H_{ит}$, кДж/кг – перепад энтальпий в ЦВД; $H_{от}$, кДж/кг –

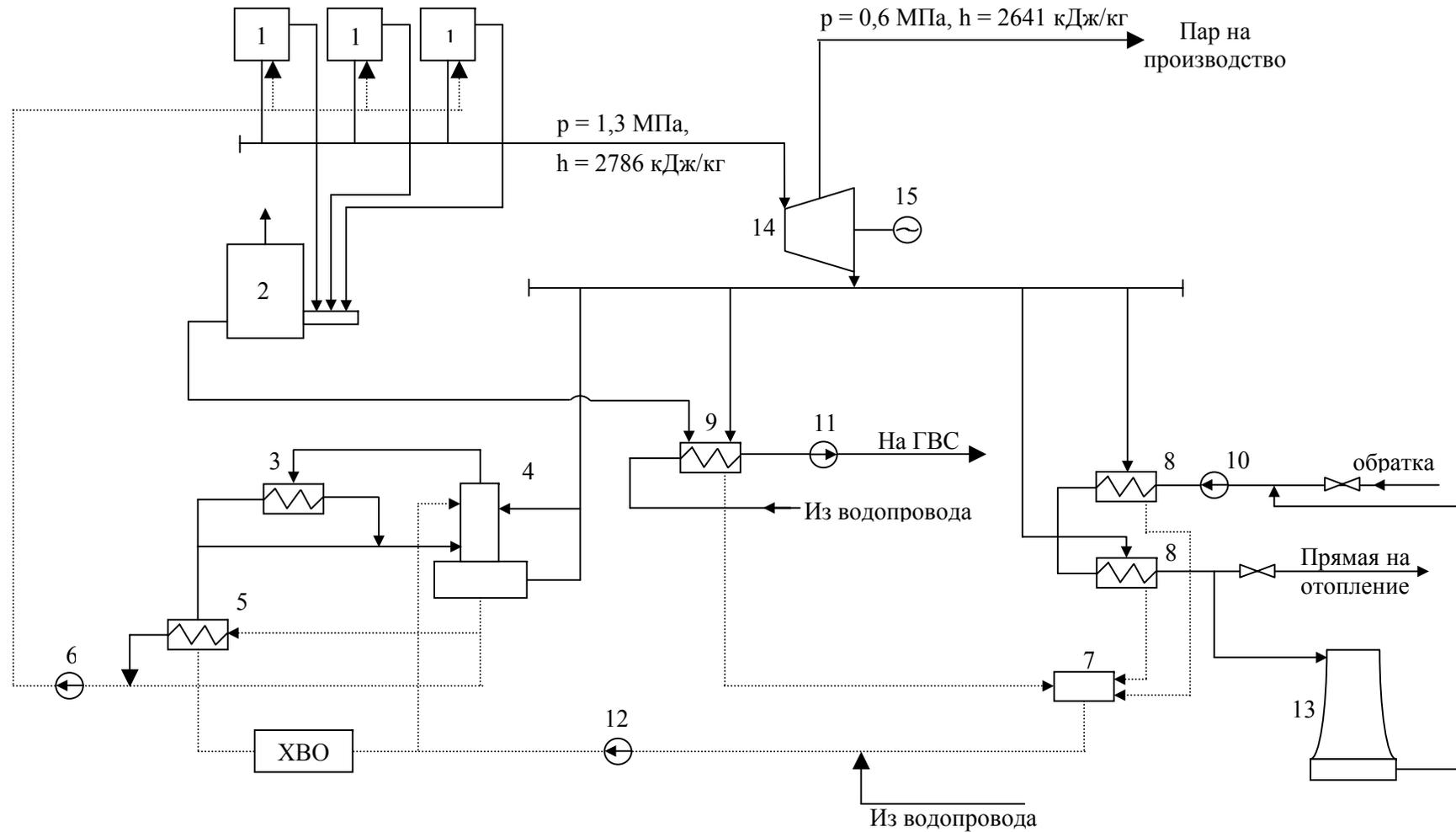


Рис.2. Принципиальная схема мини-ТЭЦ на базе промышленно-отопительной котельной ОАО "Свет": 1 – котлоагрегаты; 2 – сепаратор; 3 – охладитель выпара; 4 – деаэратор; 5 – охладитель деаэрированной воды; 6 – питательный насос; 7 – бак-сборник конденсата; 8 – сетевые подогреватели; 9 – подогреватель ГВС; 10 – сетевой насос; 11 – насос ГВС; 12 – насос, повышающий давление водопроводной воды; 13 – капельная градирня; 14 – турбина типа ПР; 15 – электрогенератор.

перепад энтальпий в турбине; $\eta_{oi} = 0,85$ – внутренний относительный КПД турбины; $\eta_m = 0,87$ – механический КПД; $\eta_r = 0,98$ – КПД генератора.

Исходя из 100-% выработки электроэнергии турбинами типа Р на тепловом потреблении, её расчетная электрическая мощность составила для зимнего режима 1123 кВт, для летнего 953 кВт (котёл марки ДЕ-6,5-14 отключен). Для сохранения выработки электроэнергии на проектном уровне в летнем режиме устанавливается открытая капельная градирня.

Так как на котельной ОАО “Свет” имеются как производственные отборы пара, так и теплофикационная нагрузка, для реконструкции выбрано два турбоагрегата с противодавлением и производственным отбором пара ПР-0,6-13 и генератором марки СГ2-600-4УЗ. Номинальная мощность турбин $N_n = 600$ кВт; частотой вращения ротора 3000 об./мин; давлением свежего пара 1,3 МПа; давлением пара в производственном отборе 0,6 МПа; в теплофикационном отборе 0,25 МПа. Максимально возможная годовая выработка электроэнергии при установке турбины $W_{э/г} = 8647$ кВт·ч. Схема мини-ТЭЦ с турбиной ПР приведена на рис. 2. Суммарный расход топлива до реконструкции равен $V_T = 0,433$ м³/с, а после неё $V_T^p = 0,462$ м³/с. Таким образом, потребление топлива котельной возрастёт на 7 %.

Так как при реконструкции котельной увеличивается расход топлива, а следовательно и выброс NO₂, был рассчитан выброс и произведена проверка высоты дымовой трубы. Было получено, что высота дымовой трубы необходимая для рассеивания выбросов азота до концентрации меньшей среднесуточного ПДК составляет 48 м. Так как длина существующей трубы составляет 70 м., то в её замене или реконструкции нет необходимости. Теплообменное оборудование котельной (сетевые подогреватели) остаётся прежним. Мощность установленного электродвигателя для привода сетевого насоса (90 кВт), также удовлетворяет условиям работы после реконструкции.

В четвёртой главе разрабатываются мероприятия по реконструкции отопительной Гражданской котельной ГУП “ТЭК СПб” с переводом на комбинированную выработку тепловой и электрической энергии. На котельной установлено 5 котлов ДКВр-20-13 и 4 котла ПТВМ-50. Номинальная тепловая нагрузка котельной – 300 МВт. Максимальная среднемесячная тепловая нагрузка по факту – 120 МВт. Максимальная заявленная электрическая мощность – 2400 кВт.

Рассмотрены следующие варианты реконструкции, предполагающие, что расчётная тепловая мощность введённого оборудования соответствует этим нагрузкам: 1) реконструкция по схеме с газотурбинной установкой со сбросом отходящих газов в паровые котлы ДКВр-20-13; 2) реконструкция по схеме с газотурбинной установкой со сбросом отходящих газов в водогрейный котёл ПТВМ-50; 3) реконструкция по схеме с газотурбинной установкой с котлом-утилизатором; 4) реконструкция по парогазовой схеме со сбросом отходящих газов паровые котлы ДКВр-20-13. Основными критериями выбора являлись: простота схемы и максимально возможное

сохранение теплообменного оборудования котельной для подготовки сетевой, подпиточной и питательной воды.

В таблице 1 приведены данные об установке основного и вспомогательного оборудования при реконструкции Гражданской котельной, показатели по выработке электрической и тепловой энергии и расход условного топлива.

Установка оборудования и характеристики мини-ТЭЦ после реконструкции

Таблица 1.

Основные показатели	ГТУ-ТЭЦ со сбросом газов в котёл ДКВр	ГТУ-ТЭЦ со сбросом газов в котёл ПТВМ	ГТУ-ТЭЦ с ГВТО	ПГУ-ТЭЦ
Установка оборудования	2хТВ2-117	2хТВ2-117	3хLM-2500	<u>1хГТУ-2,5</u> 2хТГ0,75ПА/0,4
Мощность ГТУ	1524 кВт	1524 кВт	62400 кВт	<u>2500 кВт</u> 1500 кВт
Завод-изготовитель	Завод им.Климова	Завод им.Климова	ОАО “Рыбинские моторы”	Фирма “ <u>Модуль</u> ” ОАО “КТЗ”
Установка дополнит. оборудования	дожимающий компрессор природного газа	дожимающий компрессор природного газа; дымосос, ЭД	дожимающий компрессор природного газа; ГВТО	дожимающий компрессор природного газа
Годовой отпуск теплоты, ГДж/год	2097578	2097578	2097578	2097578
Годовая выработка эл. эн., кВт·ч	9399632	9399632	534674400	32064000
Годовой расход усл. топлива, т.у.т/год	87869	87905	218964	87977

В пятой главе рассмотрены наиболее важные методические проблемы оценки эффективности малых ТЭЦ. Для расчета показателей эффективности мини-ТЭЦ с различными типами оборудования (газотурбинное, парогазовое, газогенераторное) нужен достаточно простой метод, во-первых, позволяющий отказаться от введения внешних (по отношению к ТЭЦ)

нормативов, таких, как удельные расходы топлива на замещающей КЭС и районной котельной, во-вторых, не использующий показателей термодинамического цикла. Наиболее оптимально применять *пропорциональный метод*, в основе которого лежит распределение топлива по видам продукции пропорционально энергии, затраченной на их выработку. Распределение расхода топлива осуществляется по формулам:

$$V_{\text{тэц}}^{\text{э}} = V_{\text{тэц}}^{\Sigma} \cdot k_{\text{э}} \quad (2)$$

$$V_{\text{тэц}}^{\text{т}} = V_{\text{тэц}}^{\Sigma} \cdot k_{\text{т}} \quad (3)$$

где $V_{\text{тэц}}^{\text{э}}$ - расход топлива на выработку электроэнергии; $V_{\text{тэц}}^{\text{т}}$ - расход топлива на выработку теплоэнергии; $V_{\text{тэц}}^{\Sigma}$ - общий расход топлива на ТЭЦ; $k_{\text{э}}$ и $k_{\text{т}}$ - коэффициенты распределения топлива на электрическую и тепловую энергию, определяемые соответственно по формулам:

$$k_{\text{э}} = V_{\text{прив}}^{\text{э}} / (V_{\text{прив}}^{\text{э}} + V_{\text{прив}}^{\text{т}}) \quad (4)$$

$$k_{\text{т}} = V_{\text{прив}}^{\text{т}} / (V_{\text{прив}}^{\text{э}} + V_{\text{прив}}^{\text{т}}) \quad (5)$$

где $V_{\text{прив}}^{\text{э}} = \mathcal{E}_{\text{выр}} \cdot 123 / \eta_{\text{э}}^{\text{бр}} \cdot 10^6$, т.у.т. - энергия, расходуемая на выработку электроэнергии в конденсационном режиме, приведенная к условному топливу; $V_{\text{прив}}^{\text{т}} = Q_{\text{выр}} \cdot 141,9 / \eta_{\text{то}} \cdot 10^6$, т.у.т. - энергия, расходуемая на выработку теплоэнергии в теплофикационном режиме, приведенная к условному топливу.

При расчете себестоимости энергии мини-ТЭЦ кроме распределения топлива необходимо сделать разнесение прочих затрат. Ежегодные расходы по топливно-транспортному хозяйству и котельному цеху распределяются пропорционально расходу условного топлива на каждый вид энергии. Расходы по теплофикационному отделению относятся на тепловую энергию, расходы по машинному и электрическому цеху - на электрическую, общестанционные расходы делятся между электрической и тепловой энергией пропорционально суммарным затратам цехов на каждый вид энергии.

Важной задачей оценки эффективности вариантов систем энергоснабжения также является расчет предполагаемых затрат и достигаемых результатов *на основе интегральных показателей эффективности*. Оценка экономической эффективности проектов осуществляется в пределах расчетного периода (Т). Для оценки проектов применяются следующие показатели: чистый дисконтированный доход (условием эффективности проекта является ЧДД > 0.); индекс доходности (проект эффективен, если ИД > 1); внутренняя норма доходности ВНД; срок окупаемости.

На основе интегральных показателей сделана технико-экономическая оценка эффективности капложений в реконструкцию промышленно-отопительной котельной ОАО "Свет". Для анализа эффективности инвестиций в реконструкцию промышленно-отопительной котельной использованы данные по ОАО "Свет" за 2000-2001гг, исходя из которых

среднегодовой рост тарифа на электрическую энергию за год составляет 30%, среднегодовой рост цен на газ - 20 %.

Инвестиционный проект рассчитан на 4 года. Стоимость основного оборудования (блока турбина + генератор + градирня) принята 120 у.е. / кВт установленной мощности. Таким образом, объём капложений в оборудование составит, при котировке $k = 30$ руб за 1 у.е., $K = 4320$ тыс. руб, а общие капитальные затраты составят 7628 тыс. руб. Источниками инвестирования являются внутренние (3428 тыс. руб.) и заёмные (4200 тыс. руб.) средства. Согласно проведенным расчётам, к концу расчётного периода реконструкции данной промышленно-отопительной котельной (2005 г.) общее среднегодовое сокращение издержек составит 1146 тыс. руб./мес.

Для предлагаемой схемы реконструкции определены показатели экономической оценки эффективности инвестиционного проекта: 1) чистый приведенный доход $NPV = 8996$ тыс. рублей; 2) внутренняя норма доходности $IRR - 34\%$; 3) индекс доходности $PI = 1,18$; 4) срок окупаемости 2,3 года. При анализе инвестиционного проекта сделаны следующие выводы: 1) реализация проекта только за счёт собственных средств не представляется возможной; 2) проект становится нерентабельным при ставке банковского кредита более 34 %; 3) при анализе чувствительности проекта к темпам изменения цен на электроэнергию видно, что чем больше рост цен, тем выгоднее становится проект реконструкции котельной в режим мини-ТЭЦ.

Вследствие реконструкции промышленно-отопительной котельной ОАО "Свет" снизятся издержки предприятия на покупку электроэнергии и соответственно себестоимость производимой продукции, повышая её конкуренцию на рынке. Таким образом, предлагаемая реконструкция котельной в режим мини-ТЭЦ существенно повысит эффективность производства в целом.

Исходя из технических характеристик оборудования, устанавливаемого на Гражданской котельной и расходов электроэнергии на собственные нужды котельной проведён технико-экономический анализ схем реконструкции, на основе которого получены результаты (использовался пропорциональный метод разнесения затрат), приведенные в таблице 2.

В расчётах приняты цена топлива (газ) 1000 руб./т.у.т., средневзвешенный оптовый тариф на тепловую энергию (по данным "Ленэнерго" за 2003 г.) составляет 70 руб/ГДж, а на электроэнергию 0,97 руб/кВт·ч. Стоимость основного оборудования принимается исходя из среднего уровня цен на данный тип оборудования (по средним ценам 2003 г.). Для ужесточения условий выбора эффективных вариантов принят уровень суммарных налогов на прибыль 50 %.

Технико-экономические показатели мини-ТЭЦ
на базе Гражданской котельной

Таблица 1.

Основные показатели	ГТУ-ТЭЦ со сбросом газов в котёл ДКВр	ГТУ-ТЭЦ со сбросом газов в котёл ПТВМ	ГТУ-ТЭЦ с ГВТО	ПГУ-ТЭЦ
1. Установленная рабочая мощность, кВт	1524	1524	62400	4000
2. Капиталовложения в реконструкцию, у.е.	695000	699200	50448000	1449000
3. Удельные капиталовложения, у.е./кВт	456	458,8	808,46	362
4. Себестоимость энергии - тепловой, руб/ГДж; - эл.эн, руб/кВт·ч.	<u>55,28</u> -	<u>55,90</u> -	<u>25,44</u> 0,81	<u>50,09</u> 0,36
5. Чистая прибыль, тыс. руб/год	13609,53	13306,41	79455,51	22942,68
7. Срок окупаемости капиталовложений, лет	1,43	1,47	17,78	1,77

Таким образом, в условиях сложившихся цен на газотурбинные установки и электроэнергию наиболее эффективными будут капиталовложения в реконструкцию котельной по сбросной схеме и по схеме ПГУ-ТЭЦ, реконструкция котельной в ГТУ-ТЭЦ с ГВТО нецелесообразна.

В заключении приведены основные выводы по работе, главные из которых следующие:

1. Впервые наиболее полно проведена систематизация основных схем и концепций реконструкции отопительных и промышленно-отопительных котельных с переводом на комбинированную выработку тепловой и электрической энергии.
2. Показано, что перевод действующих котельных в режим мини-ТЭЦ путем надстройки ГТУ и установки паровых турбин существенно повышает их эффективность и надёжность энергоснабжения за счёт энерговыработки на тепловом потреблении.
3. Выбор технологической схемы реконструкции котельной и профиля оборудования - сложная технико-экономическая задача, зависящая от многих факторов и требующая предпроектной проработки и аналитической оценки с учетом стоимости топлива, оборудования, экологических и других показателей.

4. На базе проведенных исследований разработаны мероприятия для перевода отопительной котельной (Гражданская, г.Санкт-Петербург) и промышленно-отопительной котельной (ОАО “Свет”, г.Смоленск) в режим мини-ТЭЦ с установкой паровых противодавленческих и газовых турбин, что позволяет существенно повысить эффективность их работы.
5. Для технико-экономической оценки показателей эффективности реконструкций предложено использовать пропорциональный метод разнесения расхода топлива между электрической и тепловой энергией, а также применение интегральных показателей оценки. На основе этих методик новые данные технико-экономических расчётов для двух действующих котельных, подтверждающие целесообразность и эффективность перевода на когенерацию отопительных и промышленно-отопительных котельных

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. *Бородина О.А., Боровков В.М.* Перевод промышленных и отопительных котельных в режим мини-ТЭЦ, как способ повышения их эффективности // Наука - технологии – производство – рынок: Сб. тез. выставки-конф. инновац. проектов и разработок – Смоленск: Изд. ЦНТИ, 2000.

2. *Бородина О.А., Боровков В.М., Хроменкова Е.М.* Перевод промышленных и отопительных котельных в режим работы мини-ТЭЦ, как один из вариантов децентрализованного тепло- и электроснабжения // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Сб.тез. VII-ой междунар. науч.-техн. конф. – М.: Изд. МЭИ, 2001. - Т.3 - С.192-193.

3. *Бородина О.А., Боровков В.М.* Разработка вариантов реконструкции действующих отопительных котельных на основе парогазовых надстроек // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика (секция 46 - "Электрические станции и возобновляемые источники энергии"): Сб. тез. IX-ой междунар. науч.-техн. конф. – М.: Изд. МЭИ, 2003. - Т.3. - С.300-301.

4. *Бородина О.А., Боровков В.М., Бедненко Е.А., Михайлов В.А.* Некоторые аспекты развития отечественной энергетики // Информационные технологии, ресурсосбережение, энергетика и экономика: Сб.док. науч.-техн. конф. – Смоленск: Изд. СФ МЭИ, 2003. - Т.2 - С.14-16.

5. *Бородина О.А., Боровков В.М.* Разработка, строительство и ввод в эксплуатацию малых электростанций // Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промышленных предприятиях и ТЭС: Межвуз.сб.науч.тр.: - С-Пб.: Изд. СПбГТУРП, 2004.

6. *Бородина О.А., Боровков В.М.* Перевод отопительных и промышленных котельных в режим мини-ТЭЦ. Предпосылки. Практическая реализация. Технико-экономическая оценка проектов реконструкции //

Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промышленных предприятиях и ТЭС: Межвуз. сб. науч. тр. - С-Пб.: Изд. СПбГТУРП, 2004.

7. *Бородина О.А., Боровков В.М., Михайлов В.А.* Перевод промышленно-отопительной котельной в режим мини-ТЭЦ в Смоленске // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Сб. тез. X-ой междунар. науч.-техн. конф. – М.: Изд. МЭИ, 2004. - С.112-113.

8. *Бородина О.А., Боровков В.М., Михайлов В.А.* Основные направления развития мини-ТЭЦ на основе современных парогазовых технологий // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Сб. тез. X-ой междунар. науч.-техн. конф. – М.: Изд. МЭИ, 2004. - С.113-114.

9. *Бородина О.А., Боровков В.М.* Реконструкция котельных с переводом в режим работы мини-ТЭЦ // XXXII-я Неделя науки СПбГПУ: Мат. межвуз. науч. конф. - СПб.: Изд. СПбГПУ, 2004. - С.153-154.

10. *Бородина О.А.* Повышение эффективности отопительных и промышленных котельных путем их перевода в режим работы мини-ТЭЦ // 120 лет электрическому Петербургу: Сб. тезисов научно-исследовательских и творческих работ студентов и аспирантов - победителей конкурса ОАО “Ленэнерго”. – СПб.: Изд. Ленэнерго, 2004. - С.24-29.

11. *Бородина О.А., Боровков В.М.* Перевод котельных на комбинированную схему производства тепловой и электрической энергии // Проблемы развития централизованного теплоснабжения: Сб. док. науч.-техн. конф. – Самара, 2004.

12. *Бородина О.А.* Экономические проблемы функционирования малых когенерационных установок // Экономика, экология и общество России в 21-м столетии: Тез. докл. – СПб: МВШУ, 2004г.

