

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, старшего научного сотрудника
Тугова Андрея Николаевича на диссертационную работу Замалеева Мансура Масхутовича
«Повышение эффективности теплофикационных систем за счет расширения функционала
городских ТЭЦ», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы» (технические науки)

1. Актуальность темы работы

Теплофикация представляет собой наиболее эффективный способ производства электрической и тепловой энергии, играя ключевую роль в рациональном энергоснабжении и снижении потребления топлива в масштабах страны. Однако, в настоящее время наблюдается снижение энергетической эффективности теплофикационных систем, обусловленное сокращением выработки электроэнергии на тепловом потреблении, потерями при транспортировке теплоносителя и ограничениями оптового рынка электроэнергии и мощности. В сложившейся ситуации, сохранение и развитие теплофикации, как важного инструмента рационального использования топлива, является критически важной задачей. Таким образом, диссертационная работа Замалеева М.М., направленная на повышение эффективности теплофикационных систем за счет расширения функционала городских ТЭЦ, обладает несомненной актуальностью и значимостью.

2. Цель работы в формулировке соискателя заключается в повышении эффективности теплофикационных систем путем разработки и научного обоснования технических и технологических решений, направленных на совершенствование тепловых схем и режимов работы ТЭЦ, а также использовании инфраструктуры ТЭЦ для нужд коммунального хозяйства.

3. Анализ содержания диссертации

Диссертационная работа Замалеева М.М. состоит из введения, семи глав, заключения, а также библиографии из 175 источников. Текст диссертации занимает 393 страницу и содержит 93 иллюстрации, 42 таблицы и три приложения.

Во введении приведены основные сведения о работе, сформулированы цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследований, степень достоверности результатов диссертации, приведены положения, выносимые на защиту, информация о реализации и апробации результатов работы.

Первая глава диссертации представляет собой комплексный анализ текущего состояния централизованного теплоснабжения на базе ТЭЦ и перспектив их интеграции в городское коммунальное хозяйство. В ходе анализа были выявлены резервы повышения тепловой экономичности, связанные с оптимизацией использования тепловых нагрузок

водоподготовительных установок ТЭЦ (ВПУ ТЭЦ). Автор отмечает, что повсеместное применение высокопотенциальных отборов пара в схемах подогрева подпиточной и добавочной питательной воды является основным фактором, снижающим экономичность ВПУ и ТЭЦ в целом. Представлены аргументированные выводы о возможностях интеграции ТЭЦ в городское коммунальное хозяйство. Подчеркивается, что совместное производство тепловой и электрической энергии, а также продукции и услуг, необходимых для жилищно-коммунального сектора, способствует достижению синергетического эффекта и обеспечению оптимальных режимов работы ТЭЦ в теплофикационном режиме. Автором проанализированы и обоснованы перспективы расширения функционала ТЭЦ по следующим направлениям: использование низкопотенциальных источников теплоты ТЭЦ для утилизации вывозимого с городских улиц снега; применение городских ТЭЦ в схеме подготовки питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения; использование инфраструктуры ТЭЦ для термической переработки отсортированных коммунальных и производственных отходов.

Вторая глава диссертационного исследования посвящена разработке и обоснованию новых технических и технологических решений, направленных на оптимизацию тепловых схем и режимов работы теплоэлектроцентралей. Предложенные и запатентованные решения, предусматривающие использование пятого нерегулируемого отбора пара наиболее распространенных турбин типа Т-100-130, позволяют оптимизировать тепловые схемы водоподготовительных установок ТЭЦ. Автором также отмечается, что применение пара пятого отбора для оптимизации схем подогрева подпиточной и добавочной питательной воды обоснованно на других паротурбинных установках Уральского турбинного завода, например, с турбинами Т-50-130, Т-175-130. С целью определения режимных параметров паровых турбин типа Т-100-130, необходимых для обеспечения требуемого диапазона регулирования давления пара в камере пятого нерегулируемого отбора, соискателем было проведено экспериментальное исследование, в ходе которого установлено, что для обеспечения избыточного давления в пятом отборе при работе по электрическому графику, расход свежего пара должен быть не менее 200 т/ч, а мощность – около 50 МВт. Предложен усовершенствованный способ работы водоподготовительных установок ТЭЦ, который позволяет увеличить теплофикационную выработку электроэнергии за счет изменения режима работы баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети в открытых системах теплоснабжения. Проведенное на примере Ульяновской ТЭЦ-1 исследование с последующим внедрением подтвердило возможность тиражирования этой технологии.

Третья глава посвящена исследованию возможности применения мини-ГЭС на насосно-дресселирующих станциях (НДС) теплофикационных систем в качестве дополнительного источника энергии. На основе анализа теплофикационных систем крупных городов России, соискателем выявлены особенности эксплуатации насосно-дресселирующих станций, позволяющие использовать перепады давлений теплоносителя в обратном

трубопроводе для выработки электроэнергии. Предложены схемы размещения гидроагрегатов мини-ГЭС для насосно-дросселирующих станций №1 и №5 филиала «Ульяновский» ПАО «Т Плюс». Применительно к реальным условиям эксплуатации насосных станций рассчитаны значения электрической мощности мини-ГЭС, которые составили 55,6 кВт для НДС-5 и 51,5 кВт для НДС-1. С целью оптимизации экономических показателей проектов по внедрению мини-ГЭС на НДС предлагается использование незначительно модернизированных центробежных насосов, функционирующих в турбинном режиме, в качестве гидроагрегатов. По мнению автора, дисконтированный срок окупаемости разработанных мини-ГЭС на базе насосных агрегатов, функционирующих в турбинном режиме, составит 3 – 4 года при незначительном снижении КПД на 5 – 7 %.

Четвертая глава посвящена исследованию и разработке технологий утилизации снега, вывозимого с городских улиц, с использованием инфраструктуры теплоэлектроцентралей. Анализ существующих и предлагаемых решений показал отсутствие энергоэффективных технологий, использующих потенциал ТЭЦ для утилизации снега. Автор предлагает запатентованные тепловые схемы, использующие основной конденсат турбин, конденсат сетевых подогревателей и обратную сетевую воду для утилизации снега. Кроме того, предложен контактный метод, при котором циркуляционная вода после конденсаторов турбин подается в снегоплавильную камеру. В главе представлена унифицированная конструкция снегоплавильной установки, рассчитаны ее технические характеристики и произведена оценка капитальных затрат на реализацию установки производительностью 650 тонн снега в час. Автор отмечает основные преимущества использования ТЭЦ: удобное расположение в черте города, наличие низкопотенциальных источников теплоты, систем водоподготовки и квалифицированного персонала. В качестве основного решения для реализации предлагается технология с использованием для плавления снега обратной сетевой воды, отбираемой на вводе ТЭЦ. Эта перспективная технология позволяет утилизировать значительное количество снега независимо от режимов работы теплофикационных турбин и повышает тепловую экономичность электростанции за счет снижения температуры обратной сетевой воды, возвращаемой на ТЭЦ.

В пятой главе представлено исследование технологии использования ТЭЦ в схемах подготовки воды для целей централизованного холодного водоснабжения (ХВС), направленное на повышение энергоэффективности и снижение эксплуатационных затрат на водоочистных сооружениях (ВОС). Соискателем предложены и детально рассмотрены два варианта реализации технологии регулируемого подогрева питьевой воды. Первый вариант предусматривает строительство мини-ТЭЦ непосредственно на территории или в непосредственной близости от водоочистных сооружений водоканала. В этом случае очищенная от грубодисперсных примесей исходная вода ВОС направляется в конденсатор турбины мини-ТЭЦ, где осуществляется ее нагрев до температуры 20 – 30 °С перед подачей в установку коагуляции. Второй вариант реализуется за счет использования существующих

городских ТЭЦ для регулируемого подогрева питьевой воды до 20 °С в конденсаторе выделенной паровой турбины. Далее нагретая питьевая вода возвращается в систему централизованного холодного водоснабжения. Системный эффект при реализации первой запатентованной технологии достигается за счет: обеспечения теплофикационной выработки электроэнергии с максимальной тепловой экономичностью и существенного снижения расхода коагулянта и флокулянта при осветлении предварительно подогретой исходной воды. Повышение тепловой экономичности при применении существующих городских ТЭЦ для регулируемого подогрева питьевой воды достигается за счет частичного замещения пара отопительных отборов отработавшим паром турбин ТЭЦ. Использование предварительно подогретой питьевой воды позволяет обеспечить до 30 % от общей тепловой нагрузки горячего водоснабжения. В заключении отмечается необходимость решения экономических вопросов, связанных с компенсацией выпадающих доходов от продажи тепловой энергии для ГВС и разработкой новых тарифных моделей, стимулирующих внедрение предложенной технологии. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оценку экономической целесообразности и экологической устойчивости предложенных решений в различных региональных условиях.

В шестой главе представлены новые технические и технологические решения, направленные на эффективную термическую переработку коммунальных и промышленных отходов на базе теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). Отмечается отсутствие в российской практике многоцелевых энергетических комплексов, эффективно использующих инфраструктуру ТЭЦ для термической переработки отходов. Подчеркивается потенциал использования существующих ТЭЦ в крупных городах России для реализации проектов по термической переработке отсортированных отходов, в частности, полимерных материалов и резинотехнических изделий. По мнению автора, на базе существующих ТЭЦ могут быть реализованы проекты по термической переработки отсортированных коммунальных и производственных отходов, в частности пластика и резины, в промышленных масштабах. Для термической переработки пластика предложена и запатентована технология, предусматривающая использование отборного пара турбин в экструзионных установках. Проведен сравнительный анализ экономической эффективности предложенной технологии и традиционных методов электрического нагрева, демонстрирующий снижение затрат при использовании отборного пара.

В седьмой главе представлены результаты технико-экономического обоснования технических и технологических решений, разработанных в диссертационном исследовании. Для комплексной оценки энергетической эффективности соискателем предложена усовершенствованная методика расчета технико-экономических показателей ТЭЦ, объединяющая в себе метод удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении (УВЭТП), нормативные методы расчета показателей тепловой экономичности энергетического оборудования (РД 34.08.552-93 и РД 34.08.552-95) и метод оценки выбросов

CO₂ (РД 153-34.0-02.318-2001). Усовершенствованная методика учитывает изменение удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении. Полученные значения выработки электроэнергии на тепловом потреблении затем используются при решении уравнений материального и теплового балансов в соответствии с нормативными методами: физическим и пропорциональным. Изменение режимов работы энергооборудования учитывается путем введения поправок, основанных на типовых энергетических характеристиках. Основным преимуществом предложенной методики является снижение требований к объему исходных данных, необходимых для проведения расчетов. Показано, что для расчета УВЭТП достаточно данных об изменениях энтальпий теплоносителей, при этом погрешность расчета теплофикационной выработки электроэнергии не превышает 3 – 4 %. Для верификации предложенной методики проведен сравнительный анализ с использованием программного комплекса ThermoFlow. Также были разработаны программные комплексы для автоматизации расчетов удельных расходов условного топлива на отпуск электрической и тепловой энергии в соответствии с РД 34.08.552-93 и РД 34.08.552-95. Результаты расчетов, представленные в главе, подтверждают обоснованность и достоверность оценок энергетической эффективности предложенных технических и технологических решений.

В заключении представлены основные результаты диссертационной работы в соответствии с целью исследования и поставленными задачами, обоснованы перспективы тиражирования предложенных технических и технологических решений, направленных на повышение эффективности теплофикационных систем.

4. Научная новизна работы:

- Предложены и обоснованы новые и усовершенствованы существующие технические и технологические решения, обеспечивающие повышение эффективности теплофикационных систем за счет расширения функционала городских ТЭЦ;
- Расчетно-экспериментальным путем установлены совокупности режимных параметров теплофикационных турбин типа Т-100/120-130, обеспечивающие необходимый для реализации разработанных технических решений регулировочный диапазон изменения давления пара в камере пятого нерегулируемого отбора.
- Предложен и обоснован усовершенствованный режим работы ВПУ ТЭЦ, позволяющий увеличить теплофикационную выработку электроэнергии за счет изменения режима работы баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети в открытых системах теплоснабжения.

- Разработана и научно обоснована серия высокоэкономичных технологических решений по совершенствованию тепловых схем водоподготовительных установок ТЭЦ с использованием низкопотенциальных отборов пара турбин.
- Предложено новое техническое решение, позволяющее снизить затраты электроэнергии на транспорт теплоносителя теплофикационных систем за счет использования мини-ГЭС на насосно-дресселирующих станциях тепловых сетей.
- Предложена усовершенствованная методика расчета технико-экономических показателей ТЭЦ при изменении тепловых схем и режимов работы оборудования, позволяющая существенно уменьшить необходимые для выполнения расчетов исходных данных.

5. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Проведенные исследования опираются на применение фундаментальных принципов технической термодинамики, методов вычислительной математики и гидрогазодинамики, а также теории тепломассообмена. В процессе анализа использованы апробированные методики технико-экономического анализа, принятые в энергетической отрасли, и сертифицированное программное обеспечение. Обоснованность и достоверность научных положений, полученных результатов исследований и сделанных выводов подтверждается удовлетворительной согласованностью теоретических, численных и экспериментальных данных, что свидетельствует о корректности примененных методов и адекватности полученных результатов.

6. Значимость результатов для науки и практики

Научную значимость имеет предложенный автором интегративный подход к оптимизации теплофикационных систем, основанный на совместном развитии предприятий энергетики и ЖКХ региона, совершенствования тепловых схем и режимов работы ТЭЦ в составе единого энергетического комплекса городского хозяйства. Автором обосновывается эффективность расширения функционала ТЭЦ по следующим направлениям жилищно-коммунального хозяйства: утилизация вывозимого с городских улиц снега; интеграция ТЭЦ в систему централизованного холодного водоснабжения; термическая переработка отсортированных коммунальных и производственных отходов на базе ТЭЦ.

Практическая значимость работы обусловлена высокой степенью готовности к внедрению новых технических и технологических решений, направленных на расширение функционала ТЭЦ. Большинство разработанных решений имеет патентную защиту. Доказана возможность тиражирования предложенных и научно обоснованных технических и технологических решений, направленных на совершенствование тепловых схем и режимов

работы отечественных ТЭЦ, часть которых внедрена на теплоэнергетических объектах теплофикационных систем.

7. Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. Предварительный подогрев питьевой воды с использованием разработанных технических решений, согласно утверждениям автора, вызывает снижение затрат энергии на ГВС, что также приведет к изменению расхода теплоносителя для обеспечения данной нагрузки. Каким образом данное обстоятельство скажется на работе тепловых сетей?

2. Автором предложены технологии применения отработавшего пара турбин на ВОС и в системе централизованного холодного водоснабжения. Как подогрев воды на ТЭЦ влияет на ее качество и соответствие СанПиН? Есть ли риск загрязнения воды при контакте с оборудованием ТЭЦ?

3. Чем обосновано применение именно пятого нерегулируемого отбора теплофикационной паровой турбины типа Т-100-130 для оптимизации тепловых схем ВПУ ТЭЦ?

4. Одним из преимуществ интеграции завода для термической переработки ТКО с ТЭЦ автор считает исключение затрат на строительство дымовой трубы. Однако в соответствии с действующими нормативными требованиями каждая технологическая линия для сжигания ТКО должна иметь индивидуальный ствол (дымовую трубу), с установкой на нем системы постоянного мониторинга за выбросами загрязняющих веществ, т.е. сброс в дымовую трубу ТЭЦ газообразных продуктов сгорания ТКО не допустим.

5. По этой же причине схема, представленная на рис. 6.19, практически не реализуемая. Следует также отметить, что подобные схемы известны, например, из патента на изобретение РФ №2303746 Установка для термической переработки бытовых отходов, автор – В.Р. Пурим. Выполненные в свое время специалистами ВТИ тепловые и балансовые расчеты этой схемы показали ее нецелесообразность из-за больших затрат на дополнительное топливо, которое необходимо сжигать в энергетическом котле, и сложности в эксплуатации.

6. На рис. 6.18 отсутствует узел смешения, а на рис. 6.17 – есть балластная вода. Предлагается рассмотреть возможность использования пара от котла, сжигающего ТКО, вместо балластной воды. В этом случае водородно-кислородный парогенератор можно использовать, в том числе и как смеситель. Вообще говоря, идея использования водородно-кислородного парогенератора для повышения температуры пара, образующегося при сжигании отходов, представляется неоправданной с точки зрения окупаемости. Существуют более простые и проверенные способы повышения параметров пара без использования дорогостоящих и неосвоенных в эксплуатации водородных технологий.

7. На с. 260 устаревшие данные по состоянию и перспективам управления ТКО в России. В частности указано, что «к 2024 году на переработку должно направляться до 36 %

образуемого в стране бытового мусора, на сортировку – 60 %». Фактически «мусорная» реформа провалилась: доля перерабатываемых ТКО сейчас не превышает 10 %.

8. Предложение использовать в узле плавления установки для переработки полиэтилена и полипропилена пар вместо электрического нагрева требует либо расчетного обоснования с выполнением расчетов теплопередачи, либо экспериментального подтверждения в лабораторных условиях.

9. В качестве других замечаний можно привести следующие:

- нет списка сокращений и условных обозначений;
- в тексте диссертации иногда используется устаревшая терминология: «мусоросжигательный» завод, «мусоросжигательная» установка;
- на рис. 6.19 (с. 259) отсутствует интеграция установки для сжигания ТКО в тепловую схему ТЭЦ по пару;
- на некоторые источники, приведенные в списке литературы, нет упоминания в тексте (например, [57-61], [70], [72], [85] [134]).

Замечания и недостатки имеют частный характер, не снижают научной и практической значимости диссертации, а также общую положительную оценку работы.

8. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации

По теме диссертации соискателем опубликованы 124 печатных работы, в том числе, 2 монографии, 24 статьи в рецензируемых журналах по списку ВАК РФ, 11 статей в изданиях, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science; 5 статей в прочих журналах; 17 статей в сборниках научных трудов; 46 тезисов и полных текстах докладов конференций; получены 17 патентов РФ и 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Автореферат диссертации выдержан по форме и объему и отражает основные положения диссертационной работы.

Заключение по работе

Диссертационная работа Замалева Мансура Масхутовича «Повышение эффективности теплофикационных систем за счет расширения функционала городских ТЭЦ», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» (технические науки), является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения по совершенствованию теплофикационных систем за счет расширения функционала ТЭЦ, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие энергетической отрасли страны. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 2.4.5

«Энергетические системы и комплексы» (технические науки) в части направлений исследования по п. 3, 5, 6 и 7.

Диссертационная работа «Повышение эффективности теплофикационных систем за счет расширения функционала городских ТЭЦ» по актуальности, новизне, объему и уровню выполненных исследований и полноте публикаций соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в актуальной редакции), а ее автор Замалеев Мансур Масхутович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» (технические науки).

Официальный оппонент:

заведующий отделением парогенераторов и топочных устройств Акционерного общества

«Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени

Теплотехнический научно-исследовательский институт»,

доктор технических наук (специальность 05.14.14 -

Тепловые электрические станции, их

энергетические системы и агрегаты)

Тугов Андрей Николаевич

23.05.2025

Почтовый адрес: РФ, 115280, г. Москва, Ленинская Слобода, д. 23, стр. 4

Тел. +7(495)137-77-70

e-mail: vti@vti.ru

Подпись Тугова Андрея Николаевича заверяю:

Начальник управления по работе с персоналом и организационному развитию



Картошкина Ирина Анатольевна

23.05.2025