

На правах рукописи



ГУБИН ИГОРЬ ВИКТОРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭЦ
ПУТЕМ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОРОДСКОЙ
ИНЖЕНЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ**

Специальность 05.14.14 – Тепловые электрические станции,
их энергетические системы и агрегаты

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново 2018

Работа выполнена в научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки» кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент **Замалеев Мансур Масхутович**

Официальные оппоненты:

Щинников Павел Александрович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», профессор кафедры «Тепловые электрические станции»;

Горшенин Сергей Дмитриевич, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», доцент кафедры «Тепловые электрические станции»;

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва.

Защита состоится « 14 » декабря 2018 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.064.01 при ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» по адресу: 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34, корпус «Б», аудитория 237.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34, Ученый совет ИГЭУ. Тел.: (4932) 38-57-12, 26-98-61, факс: (4932) 38-57-01.

E-mail: uch_sovet@ispu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

Текст диссертации размещен http://ispu.ru/files/Dissertaciya_Gubin.pdf

Автореферат размещен на сайте ИГЭУ www.ispu.ru

Автореферат разослан «__»_____2018 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 212.064.01,
доктор технических наук, доцент



Бушуев
Евгений Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В условиях современного энергетического рынка теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) должны конкурировать с другими источниками тепловой и электрической энергии. Действующая модель оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ) определяет принцип равенства генераторов независимо от расстояния передачи электроэнергии от электростанции до потребителя. Тарифы на электроэнергию от ТЭЦ, находящихся в центре нагрузок, включают в себя транспортную составляющую, сопоставимую со стоимостью производства электроэнергии. В таких условиях ТЭЦ становится все сложнее конкурировать на оптовом рынке электроэнергии с АЭС, ГЭС и ГРЭС.

В настоящее время технико-экономические показатели большинства ТЭЦ с начальным давлением пара 12,8 МПа сопоставимы с показателями конденсационных станций сверхкритического давления, а в ряде случаев наблюдается перерасход топлива в сравнении с ГРЭС. Основной причиной снижения тепловой экономичности является существенное сокращение выработки электроэнергии на тепловом потреблении, обусловленное уменьшением отпуска теплоты от ТЭЦ с горячей водой и технологическим паром.

По данным Минэнерго России, доля электроэнергии, выработанной на ТЭЦ общего пользования в теплофикационном режиме, снизилась на 17,6 % за период с конца 1980-х г. по 2011 г. Пережог топлива на тепловых электростанциях, работающих в когенерационном режиме, в сравнении с 1992 годом составляет около 37 млн. т у.т. в год.

Вместе с тем, на большинстве городских ТЭЦ имеются значительные резервы для повышения эффективности, связанные с использованием энергетического потенциала ТЭЦ в городской инженерной инфраструктуре.

Совместное производство тепловой и электрической энергии, а также продукции и услуг, необходимых в городском коммунальном хозяйстве, позволяет достичь системного эффекта в энергетической сфере, а также получить более благоприятные для работы оборудования ТЭЦ режимы.

В диссертационной работе обобщены разработанные автором технологии, направленные на повышение эффективности ТЭЦ за счет их использования в городской инженерной инфраструктуре по следующим направлениям:

- использование ТЭЦ для утилизации вывозимого с городских улиц снега и снеговой массы в специальных установках за счет применения низкопотенциальных источников теплоты;
- совместное использование инженерной инфраструктуры централизованного тепло- и водоснабжения потребителей, а именно применение городских ТЭЦ в схеме подготовки питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения;
- энергоэффективное использование баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети в открытых системах теплоснабжения.

Степень разработанности темы диссертации.

Вопрос энергоэффективного функционирования ТЭЦ в составе энерготехнологических комплексов рассматривался отечественными учеными задолго до появления оптового рынка электроэнергии и мощности. Существенный вклад в обоснование эффективности энерготехнологических комплексов внесли: Соколов Е.Я., Бродянский В.М., Андрущенко А.И., Клименко А.В., Агабабов В.С., Хлебалин Ю.М., Николаев Ю.Е., Щинников П.А. и др.

В исследовании возможностей расширения функционала ТЭЦ с целью их сохранения и развития в новых экономических условиях профессором Очковым В.Ф. введено понятие «n-генерация» и рассмотрены более десятка возможных дополнительных видов генерации. Однако при рассмотрении новых видов генерации не приводилось обоснование их энергетической эффективности.

Существенный вклад в решение такой задачи городского коммунального хозяйства как утилизация снега внесли следующие отечественные ученые: Пупырев Е.И., Корецкий В.Е., Тувальбаев Б.Г. и др. Корецким В.Е. разработаны практические рекомендации по реализации научно-обоснованных конструктивно-технологических решений при проектировании городских объектов утилизации снежно-ледяных масс, которые впоследствии были реализованы ГУП «МосводоканалНИИпроект» на ряде объектов г. Москвы. К сожалению, реализованные на сегодняшний день в г. Москве стационарные снегоплавильные установки не используют для утилизации снега низкопотенциальные источники теплоты от ТЭЦ за исключением теплоты продувочной воды оборотных систем водоснабжения.

Целью диссертации является разработка технологий, направленных на повышение эффективности теплоэлектростанций за счет использования их энергетического потенциала в городской инженерной инфраструктуре.

Для достижения поставленной цели в диссертации решены следующие **задачи**:

– проанализированы возможные способы повышения эффективности ТЭЦ за счет их использования в городской инженерной инфраструктуре;

– разработаны технологии использования ТЭЦ для утилизации вывозимого с городских улиц снега в снегоплавильных установках за счет применения низкопотенциальных источников теплоты;

– разработаны технологии применения городских ТЭЦ в схеме подготовки питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения, а также энергоэффективного использования баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети в открытых системах теплоснабжения;

– проведено исследование режимов работы Ульяновской ТЭЦ–1 (УлТЭЦ–1), подтверждающее эффективность промышленного применения нового режима использования баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети в открытых системах теплоснабжения;

– разработаны методики расчета технико-экономических показателей (ТЭП) ТЭЦ при изменении тепловых схем и режимов работы оборудования, совмещающие в себе метод удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении и нормативную методику расчета показателей тепловой экономичности энергетического оборудования электростанций в соответствии с РД 34.08.552–93 и РД 34.08.552–95 «Методические указания по составлению отчета электростанции и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования»;

– выполнен анализ технико-экономических показателей разработанных технологий по использованию ТЭЦ в городской инженерной инфраструктуре.

Соответствие паспорту специальности. Работа соответствует паспорту специальности *в части формулы специальности*: «...проблемы совершенствования действующих ... технологий производства электрической энергии и тепла»; «...поиск приемов и методов оптимизации рабочих режимов оборудования»; «выполняются технико-экономические ... исследования»; *в части области исследования* – пункту 3:

«...исследование, совершенствование действующих ... технологий производства электрической энергии и тепла»; пункту 6: «Разработка вопросов эксплуатации систем и оборудования тепловых электростанций».

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложен и обоснован комплекс новых технологических решений, обеспечивающих повышение эффективности ТЭЦ за счет использования их энергетического потенциала в городской инженерной инфраструктуре:

– технологии использования ТЭЦ для утилизации вывозимого с городских улиц снега за счет применения низкопотенциальных источников теплоты: основного конденсата турбины; конденсата сетевых подогревателей турбины; обратной сетевой воды и циркуляционной воды после конденсатора;

– технология применения городских ТЭЦ в схеме подготовки питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения;

– технология энергоэффективного использования баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети в открытых системах теплоснабжения.

2. Разработаны методики расчета технико-экономических показателей ТЭЦ при изменении тепловых схем и режимов работы оборудования, совмещающие в себе метод удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении и нормативную методику расчета показателей тепловой экономичности энергетического оборудования электростанций, которые позволяют проводить расчет с приемлемой точностью при уменьшении объема необходимых для расчета исходных данных в сравнении с нормативной методикой.

Теоретическая значимость исследования обоснована следующим. Изучены возможности расширения функционала ТЭЦ с целью повышения эффективности их работы на оптовом рынке электроэнергии и мощности. Доказана возможность повышения эффективности ТЭЦ за счет их использования в городской инженерной инфраструктуре при утилизации снега и подготовке питьевой воды. Проведена модернизация существующей методики расчета технико-экономических показателей при изменении тепловых схем и режимов работы оборудования ТЭЦ с учетом метода удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении и нормативной методики оценки энергетической эффективности работы ТЭЦ.

Практическая ценность результатов работы заключается в следующем:

1. Предложены и научно обоснованы новые технологии использования ТЭЦ для утилизации вывозимого с городских улиц снега за счет низкопотенциальных источников теплоты. Применительно к условиям работы УлТЭЦ–1 при использовании теплоты обратной сетевой воды в качестве греющего агента годовая экономия условного топлива превышает 3000 тонн для снегоплавильной установки производительностью 650 т/ч.

2. Предложена и научно обоснована новая технология применения городских ТЭЦ в схеме подготовки питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения. Показано, что применительно к условиям г. Ульяновска увеличение электрической мощности, вырабатываемой на тепловом потреблении, за счет регулируемого подогрева питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения во встроенных пучках конденсатора, превышает 3,3 МВт в расчете на энергоблок с турбиной типа Т–100–130.

3. Доказана эффективность промышленного применения нового режима использования баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети в открытых системах тепло-

снабжения. Выявлено, что годовая экономия условного топлива для условий УлТЭЦ–1 превышает 9300 тонн.

4. Разработано два программных комплекса, реализующих предложенные методики расчета технико-экономических показателей при изменении тепловых схем и режимов работы.

Методология и методы исследований. В работе использованы методы вычислительной математики, технической термодинамики, теории тепломассообмена, гидравлики, технико-экономических расчетов в энергетике, эвристические методы поиска новых технических решений. Для выполнения гидравлических расчетов систем тепло- и водоснабжения использовался пакет прикладных специализированных программ ZuluThermo и ZuluHydro.

Достоверность и обоснованность результатов обусловлена применением методов и методик исследования, основанных на фундаментальных законах технической термодинамики, методах вычислительной математики, теории теплообмена, апробированных методик технико-экономического анализа и обработки результатов инженерного эксперимента, сопоставимостью полученных данных с экспериментальными данными и опубликованными данными других авторов, патентной чистотой разработанных решений.

Автор защищает:

1. Научно обоснованные технологические решения, направленные на повышение эффективности ТЭЦ за счет использования их энергетического потенциала в городской инженерной инфраструктуре:

– технологии использования ТЭЦ для утилизации вывозимого с городских улиц снега в снегоплавильных установках за счет применения низкопотенциальных источников теплоты;

– технологию применения городских ТЭЦ в схеме подготовки питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения;

– технологию энергоэффективного использования баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети в открытых системах теплоснабжения.

2. Результаты исследования режимов работы Ульяновской ТЭЦ–1, доказывающие эффективность промышленного применения нового режима использования баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети в открытых системах теплоснабжения.

3. Методики расчета технико-экономических показателей при изменении тепловых схем и режимов работы оборудования ТЭЦ.

4. Результаты расчетов технико-экономических показателей ТЭЦ при реализации разработанных технологий их использования в городской инженерной инфраструктуре.

Реализация результатов работы.

Материалы диссертации приняты к внедрению в практическую деятельность в Ульяновском филиале ПАО «Т Плюс»:

– технология в соответствии с патентом РФ №165483 с использованием обратной сетевой воды в качестве греющего агента для стационарной снегоплавильной установки на базе ТЭЦ;

– технология в соответствии с патентом РФ №164974, предусматривающая рациональное использование баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети для повышения тепловой экономичности ТЭЦ.

Методики расчета технико-экономических показателей при изменении тепловых схем и режимов работы оборудования ТЭЦ, реализованные в виде программных про-

дуктов «Расчет показателей тепловой экономичности ТЭЦ в соответствии с РД 34.08.552–93» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016662635) и «Расчет показателей тепловой экономичности ТЭЦ в соответствии с РД 34.08.552–95» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016662634) внедрена в рабочий процесс Ульяновских ТЭЦ–1 и ТЭЦ–2 и используется при ежемесячных и ежесуточных расчетах технико-экономических показателей в рамках подготовки ценовых заявок для оптового рынка электроэнергии и мощности, а также для оценки влияния структурных и режимных изменений в схемах ТЭЦ на ТЭП.

Личное участие автора в получении результатов работы состоит в разработке технологий использования ТЭЦ для утилизации вывозимого с городских улиц снега в снегоплавильных установках за счет применения низкопотенциальных источников теплоты; разработке технологии применения городских ТЭЦ в схеме подготовки питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения; разработке технологии энергоэффективного использования баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети в открытых системах теплоснабжения; разработке методик расчета технико-экономических показателей ТЭЦ и реализации их в виде программных комплексов; непосредственном участии в проведенном исследовании режимов работы Ульяновской ТЭЦ–1 для подтверждения промышленной применимости нового режима работы баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети; обработке полученных данных и моделировании новых режимов использования баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети; обобщении и анализе полученных результатов; подготовке основных публикаций по тематике исследования.

Апробация работы. Основные положения диссертации представлены на: на XIII Международной научно-технической конференции «Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов» (Саратов, СГТУ, 2016 г.), V Молодежном международном инновационном форуме (Ульяновск, УлГТУ, 2016 г.), Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики» (Москва, МЭИ, 2017 г.), VII Международной научно-технической конференции «Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности» (Ульяновск, УлГТУ, 2017 г.), 49-й и 52-й НТК ППС УлГТУ (2015, 2018 гг.), заседаниях постоянно действующего семинара научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки» УлГТУ (Ульяновск, 2013–2018 гг.).

В 2016 г. разработка технологии повышения тепловой экономичности ТЭЦ при оптимизации работы баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети отмечена медалью на Международном молодежном инновационном форуме (Ульяновск, УлГТУ).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 8 статей, из которых 3 в ведущих рецензируемых изданиях из перечня ВАК, 2 статьи в ведущих зарубежных изданиях, индексируемых в наукометрических базах Scopus и Web of Science, тезисы и полные тексты 5 докладов конференции, 4 патента РФ на полезную модель, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения по работе, списка использованных источников из 108 наименований. Текст диссертации изложен на 167 стр. машинописного текста, содержит 32 рисунка, 14 таблиц и 3 приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе проведен анализ существующих технологий и разработок по рассматриваемой тематике.

Анализ технологий утилизации снега, используемых в настоящее время, показал, что существует несколько способов утилизации вывозимого с городских улиц снега с применением как стационарных снегоплавильных установок (ССУ), так и мобильных установок, работающих на жидком топливе. На сегодняшний день лидером по количеству используемых снегоплавильных установок является г. Москва. Однако реализованные в столичном мегаполисе ССУ не используют низкопотенциальные источники теплоты от ТЭЦ за исключением теплоты продувочной воды оборотных систем водоснабжения.

Вызывает интерес предложенная профессором Тувальбаевым Б.Г. в соавторстве с Моисеевым В.И. технология утилизации снега в стационарной снегоплавильной установке с поверхностным теплообменником, в котором в качестве греющей среды используется теплота циркуляционной воды после конденсатора паровой турбины ТЭЦ (патент РФ на полезную модель №129945). К сожалению, данная технология имеет ограниченную сферу применения из-за недостаточной для работы снегоплавильной установки температуры нагретой циркуляционной воды после конденсатора паровой турбины ТЭЦ, вызванной минимальным пропуском пара в конденсаторы турбин ТЭЦ в зимний период, а также пониженную экономичность, связанную с использованием высокопотенциальных источников теплоты в пиковом режиме работы ССУ.

Проведенное исследование реализованных, а также предлагаемых для реализации технических и технологических решений по утилизации вывозимого с городских улиц снега показало, что на сегодняшний день отсутствуют энергоэффективные решения, позволяющие использовать энергетический потенциал ТЭЦ для решения проблемы утилизации снега.

В области подготовки питьевой воды также имеются значительные резервы для повышения энергетической эффективности ТЭЦ за счет совместного использования инженерной инфраструктуры централизованного тепло- и водоснабжения потребителей. Как правило, при подготовке питьевой воды используется схема, при которой происходит забор воды из источника, ее очистка и отстаивание. Большое влияние на скорость химических реакций, протекающих при осветлении и коагуляции, оказывает температура исходной воды. Имеющийся на ТЭЦ энергетический потенциал можно эффективно использовать для увеличения температуры исходной питьевой воды.

В рамках направления рационального использования баков-аккумуляторов (БА) подпиточной воды теплосети рассмотрены существующие режимы работы БА, при которых в ночное время, когда расход подпиточной воды теплосети минимален, происходит интенсивное их заполнение деаэрированной подпиточной водой за счет увеличения производительности водоподготовительной установки. Проведенный анализ показал, что в новых экономических условиях описанная выше схема утратила свою актуальность по причине значительного снижения расхода подпиточной воды.

Во второй главе рассматриваются разработанные схемы для реализации предложенных технологий использования ТЭЦ в городской инженерной инфраструктуре.

1. Технологии использования ТЭЦ для утилизации вывозимого с городских улиц снега в снегоплавильных установках за счет применения низкопотенциальных источников теплоты.

Для повышения энергетической эффективности ТЭЦ предложены схемы использования ее инфраструктуры для утилизации снега, вывозимого с городских улиц. Следует отметить, что основными преимуществами использования ТЭЦ для утилизации снега являются: транспортная доступность, связанная с размещением ТЭЦ в черте города; наличие низкопотенциальных источников теплоты, пригодных для утилизации снега; наличие систем водоподготовки.

Утилизацию снега предложено производить в снегоплавильной камере, изображенной на рисунке 1, которая представляет собой железобетонный резервуар с установленным внутри подогревателем циркулирующей воды. Подогреватель циркулирующей воды представляет собой поверхностный теплообменник, погруженный в поток циркулирующей в резервуаре жидкости. В качестве теплоносителя предложено использовать один из следующих источников теплоты: основной конденсат турбины; конденсат сетевых подогревателей турбины; обратной сетевой воды.

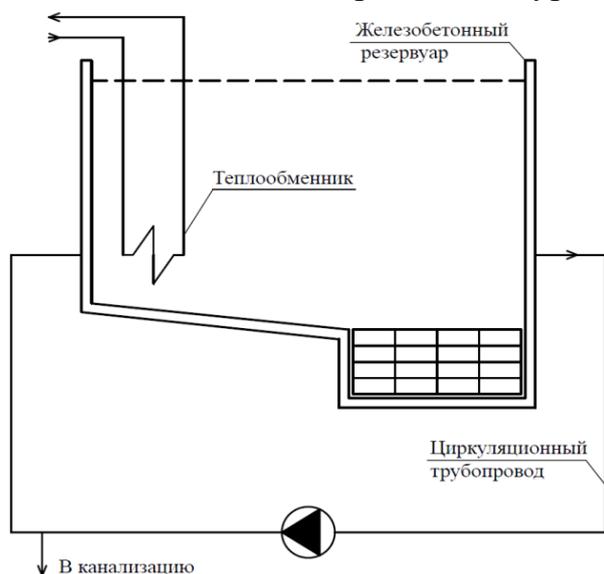


Рисунок 1. Конструкция стационарной снегоплавильной установки на базе ТЭЦ

измеряющегося несколькими десятками тонн в час. В случае необходимости утилизации значительного количества снежно-ледяной массы, в пределах нескольких сотен тонн в час, можно рекомендовать схемы, представленные на рисунках 3а и 3б.

Преимуществом представленной на рисунке 3б технологии является максимальная тепловая экономичность, обусловленная использованием теплоты отработавшего пара турбин. К недостаткам контактного способа утилизации снега на ТЭЦ следует отнести необходимость установки водоочистных сооружений достаточно большой мощности для очистки воды после снегоплавильной камеры, а также ограниченную сферу применения из-за работы ТЭЦ с минимальной конденсационной нагрузкой в зимний период.

Наиболее обоснованной с точки зрения применимости на ТЭЦ является схема с использованием обратной сетевой воды (рисунок 3а). К преимуществу этой схемы следует отнести достаточно высокую тепловую экономичность, связанную с увеличением выработки электроэнергии на тепловом потреблении из-за снижения температуры обратной сетевой воды перед сетевыми подогревателями.

В качестве греющего агента в стационарной снегоплавильной установке на базе ТЭЦ также имеется возможность использовать теплоту циркуляционной охлаждающей воды после конденсатора турбины, но из-за низкой температуры потока предложено использовать контактный способ утилизации, который исключает наличие теплообменного аппарата. Запатентованные схемы реализации стационарных снегоплавильных установок на базе ТЭЦ представлены на рисунках 2 и 3. Следует отметить, что представленные на рисунках 2а и 2б технологии применимы для утилизации незначительного количества снежно-ледяной массы,

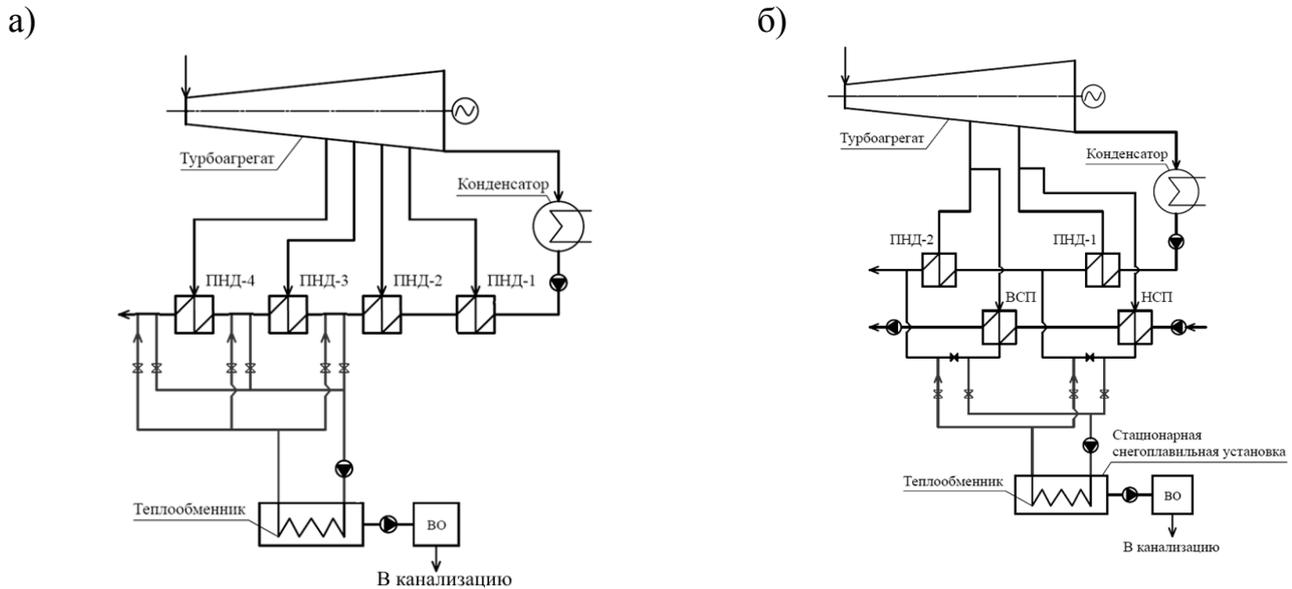


Рисунок 2. Схема использования низкопотенциальных потоков ТЭЦ в качестве греющего агента в стационарной снегоплавильной установке: а – использование теплоты основного конденсата турбины; б – использование теплоты конденсата сетевых подогревателей турбины

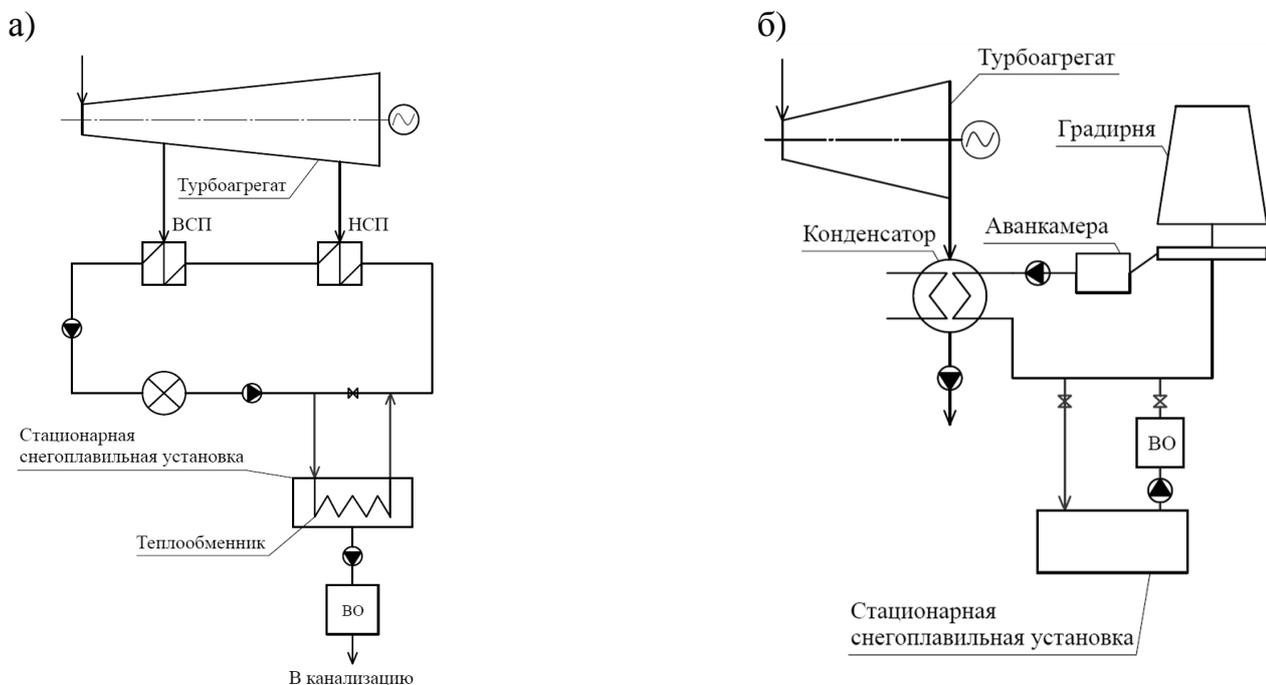


Рисунок 3. Схема использования низкопотенциальных потоков ТЭЦ в качестве греющего агента в стационарной снегоплавильной установке: а – использование теплоты обратной сетевой воды (патент РФ № 165483); б – использование теплоты циркуляционной воды после конденсатора турбины (патент РФ № 165883)

2. Технология применения городских ТЭЦ в схеме подготовки питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения.

Экономически эффективным решением в масштабах города является совместное использование инженерной инфраструктуры централизованного тепло- и водоснабжения потребителей, а именно применение городских ТЭЦ в схеме подготовки питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения. В зависимости близости ТЭЦ от водоочистных сооружений предложены две технологии подогрева холодной воды.

Для реализации первой разработанной и запатентованной технологии регулируемого (до 20–30 °С) подогрева питьевой воды предлагается установка ТЭЦ (мини-ТЭЦ) на территории или в непосредственной близости от водоочистных сооружений (ВОС). Воду после насосной станции первого подъема направляют в качестве охлаждающей среды в конденсатор паровой турбины ТЭЦ (мини-ТЭЦ) перед водоочисткой (рисунок 4). Реализация предложенной технологии позволяет максимально увеличить выработку электроэнергии на тепловом потреблении за счет использования отработавшего пара турбин в технологическом цикле подготовки питьевой воды, а также повысить эффективность водоочистки за счет интенсификации процессов осветления и коагуляции воды.

В случае расположения ТЭЦ на значительном расстоянии от водоочистных сооружений, предлагается осуществлять регулируемый (до 20 °С) подогрев питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения во встроенном пучке конденсатора выделенной паровой турбины (рисунок 5).

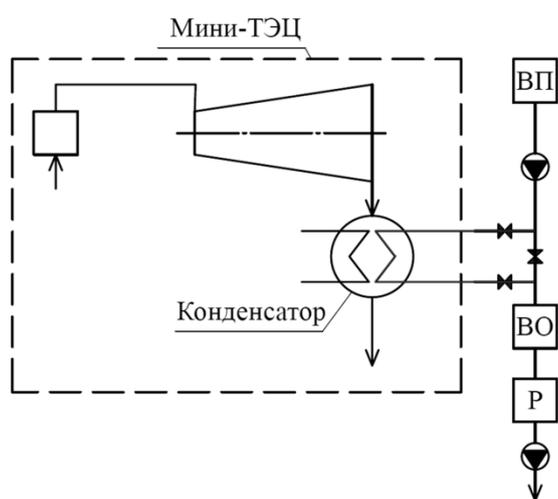


Рисунок 4. Использование конденсатора паровой турбины мини-ТЭЦ для подогрева исходной воды (патент РФ № 165933)

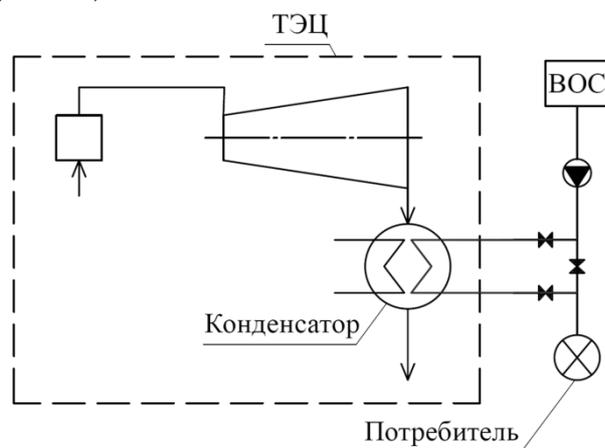


Рисунок 5. Использование конденсатора паровой турбины существующей ТЭЦ для подогрева воды системы централизованного холодного водоснабжения

Основным результатом регулируемого подогрева питьевой воды, направляемой потребителям, является снижение расхода теплоты на подогрев воды системы горячего водоснабжения (ГВС) как открытых, так и закрытых систем теплоснабжения. В закрытых системах теплоснабжения снижение расхода теплоты достигается за счет использования у потребителей для приготовления горячей воды более теплой исходной питьевой воды, а также при смешении в водоразборных устройствах. Повышение экономичности открытых систем теплоснабжения достигается только за счет уменьшения количества горячей воды, используемой потребителями, при ее смешении в водоразборных устройствах с более теплой водой системы холодного водоснабжения. Системный энергетический эффект достигается за счет замещения части тепловой нагрузки ГВС, покрываемой отопительными отборами теплофикационных турбин, отработавшим паром.

3. Технология энергоэффективного использования баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети в открытых системах теплоснабжения.

В целях повышения энергоэффективности тепловых электростанций предложен новый режим работы водоподготовительной установки (ВПУ) приготовления подпиточной воды теплосети, при котором в часы максимального электропотребления при

максимальном пропуске пара в конденсаторы паровых турбин подпиточную воду теплосети аккумулируют в существующих баках-аккумуляторах за счет увеличения пропуска исходной подпиточной воды теплосети через встроенный пучок конденсатора паровой турбины. В часы пониженных электрических нагрузок накопленную в баках-аккумуляторах подпиточную воду теплосети направляют в обратный трубопровод теплосети перед сетевыми подогревателями с одновременным уменьшением пропуска исходной подпиточной воды теплосети через встроенный пучок конденсатора паровой турбины. Подобная схема работы позволяет сохранить полезную емкость аккумуляторных баков для дальнейшего их заполнения в часы, приходящиеся на период несения станцией максимальной электрической мощности, а также повысить выработку электроэнергии на тепловом потреблении в часы максимального электропотребления. Основным преимуществом нового режима работы является возможность обеспечения требуемого подогрева исходной подпиточной воды теплосети перед декарбонизацией и вакуумной деаэрацией (до 30–35 °С) за счет отработавшего пара турбин, т.е. с максимальной тепловой экономичностью.

Единственным недостатком предложенного режима работы является необходимость периодического изменения производительности водоподготовительной установки, однако на тепловых электростанциях, не имеющих установок умягчения подпиточной воды теплосети и ограничивающихся деаэрацией совместно с вводом ингибиторов коррозии (комплексонов), организация данного режима не представляет серьезных затруднений.

Для ВПУ с установками умягчения предложена и запатентована схема ТЭЦ, в которой аккумулирующую емкость включают в трубопровод исходной подпиточной воды теплосети между конденсатором и установкой умягчения воды (рисунок 6).

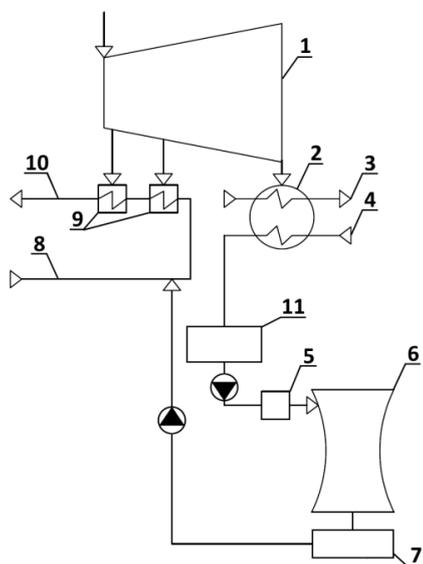


Рисунок 6. Схема работы баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети ВПУ с установками умягчения (патент РФ № 164974): 1 – паровая турбина; 2 – конденсатор паровой турбины; 3 – трубопровод охлаждающей технической воды; 4 – трубопровод исходной подпиточной воды теплосети; 5 – установка умягчения; 6 – вакуумный деаэрактор подпиточной воды теплосети; 7 – баки запаса уровня; 8 – обратный трубопровод сетевой воды; 9 – сетевые подогреватели; 10 – подающий трубопровод сетевой воды; 11 – аккумулирующая емкость

В третьей главе представлены результаты расчета технико-экономических показателей, полученные для предложенных технологических схем использования ТЭЦ в городской инженерной инфраструктуре.

Для оценки энергетической эффективности структурных и режимных изменений в тепловых схемах ТЭЦ применена методика, основанная на использовании такого показателя тепловой экономичности, как удельная

выработка электроэнергии на тепловом потреблении (УВЭТП). При расчете показателей энергетической эффективности методом УВЭТП учитывается величина удельной выработки электроэнергии за счет отборов пара турбины и регенеративного подогрева конденсата пара, используемого для подогрева теплоносителей:

$$\nu = [\sum_{i=1}^n (N_{\text{тф.}i} + N_{\text{рег.}i}) - N_{\text{сн}}] / G, \quad (1)$$

где ν – удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении, (кВт·ч)/т; G – расход теплоносителя, т/ч; $N_{\text{тф.}i}$ – мощность, развиваемая турбоагрегатом на тепловом потреблении за счет отборов пара на подогрев теплоносителей на i -ом участке схемы установки (дополнительная теплофикационная мощность), кВт; $N_{\text{рег.}i}$ – мощность, вырабатываемая паром регенеративных отборов при подогреве конденсата пара, используемого для подогрева теплоносителей на i -м участке схемы, кВт; $N_{\text{сн}}$ – мощность, потребляемая насосами, кВт.

Мощность $N_{\text{тф.}i}$ рассчитывается как:

$$N_{\text{тф.}i} = D_i(h_o - h_i)\eta_{\text{эм}}, \quad (2)$$

где D_i – расход пара отпускаемого из отбора на подогрев теплоносителя, кг/с; h_o, h_i – энтальпии острого пара и пара из i -го отбора, кДж/кг; $\eta_{\text{эм}}$ – электромеханический КПД турбогенератора.

Мощность $N_{\text{рег.}i}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{рег.}i} = D_{\text{рег}}(h_o - h_{\text{рег}}^{\text{э}})\eta_{\text{эм}}, \quad (3)$$

где $D_{\text{рег}}$ – расход пара условного эквивалентного отбора для регенеративного подогрева конденсата i -го отбора после подогрева теплоносителя на i -м участке схемы, кг/с; $h_{\text{рег}}^{\text{э}}$ – энтальпия условного эквивалентного регенеративного отбора, кДж/кг.

Мощность, потребляемую насосами $N_{\text{сн}}$ можно представить как:

$$N_{\text{сн}} = \frac{G_j \Delta p}{\eta_{\text{н}}}, \quad (4)$$

где Δp – давление, создаваемое насосом, МПа; G_j – расход учитываемого потока, кг/с; $\eta_{\text{н}}$ – КПД насоса.

Экономия условного топлива ΔB , т, определяется с помощью разности $\Delta \nu_{\text{тф}}$:

$$\Delta B = \Delta \nu_{\text{тф}}(b_{\text{э.к}} - b_{\text{э.т}})G_{\text{общ}} \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где $b_{\text{э.к}}$ – удельный расход условного топлива на конденсационную выработку электроэнергии, кг/(кВт·ч); $b_{\text{э.т}}$ – удельный расход условного топлива на теплофикационную выработку электроэнергии, кг/(кВт·ч); $G_{\text{общ}}$ – общий расход теплоносителя в рассматриваемом режиме, тонн.

Основным показателем методики УВЭТП, по которому оценивается энергетическая эффективность разработанных технологий утилизации снега на ТЭЦ, является величина удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении $\nu_{\text{тф}}$, кВт·ч/т, получаемая за счет увеличения количества отбираемого пара на утилизацию 1 тонны снега. Сравнение удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении для предложенных технологий утилизации снега представлено на рисунке 7.

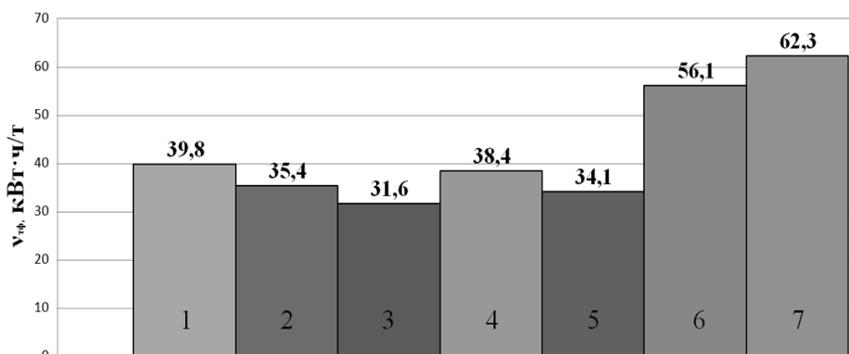


Рисунок 7. Сравнение удельной выработки электроэнергии для технологий утилизации снега с использованием: 1 – теплоты основного конденсата турбины после ПНД-1; 2 – теплоты основного конденсата турбины после ПНД-2; 3 – теплоты основного конденсата турбины после ПНД-3; 4 – теплоты конденсата нижнего сетевого подогревателя турбины; 5 – теплоты конденсата верхнего сетевого подогревателя турбины; 6 – теплоты обратной сетевой воды; 7 – теплоты циркуляционной воды после конденсатора турбины

Анализ представленных на рисунке 7 данных показывает, что наиболее энергетически эффективными являются технологии утилизации снега с использованием в качестве греющей среды циркуляционной воды после конденсатора турбины, а также обратной сетевой воды.

При утилизации снега с использованием в качестве греющей среды циркуляционной воды после конденсатора турбины необходимо обеспечивать соответствующую очистку греющего агента перед возвратом его в трубопровод охлаждающей циркуляционной воды. С учетом степени загрязнения талой воды технология утилизации снега контактным способом имеет ограниченную сферу применения из-за значительных капитальных затрат на систему водоочистки.

Наиболее обоснованной с точки зрения эффективности инвестиций является технология с использованием для утилизации снега на ТЭЦ обратной сетевой воды (таблица 1). Из приведенных в таблице 1 данных видно, что при реализации предложенной технологии на Ульяновской ТЭЦ–1 проект окупается в течение 4-х лет при условии работы ССУ в течение 500 часов в году.

Таблица 1. Оценка эффективности инвестиций новой технологии утилизации снега на ТЭЦ

Показатель	Использование теплоты обратной сетевой воды
Производительность установки, т/ч	650
Экономия условного топлива, млн. руб., без НДС в ценах 2016 г.	12,89
Экономия топлива на перевозку снега составляет, млн. руб., без НДС в ценах 2016 г.	28,8
Капитальные затраты, млн. руб., без НДС в ценах 2016 г.	114,0
Эксплуатационные расходы, млн. руб./год, без НДС в ценах 2016 г.	3,09
Ставка дисконтирования, %	15
Чистая приведенная стоимость, млн. руб.	147,9
Внутренняя норма доходности, %	39,46
Дисконтированный срок окупаемости, лет	4,0

2. При реализации на ТЭЦ предложенной технологии подогрева питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения основной эффект достигается за счет увеличения мощности, развиваемой турбоагрегатом на тепловом потреблении из-за дополнительного пропуска пара во встроенный пучок конденсатора выделенной турбины.

Величина дополнительной теплофикационной мощности, развиваемой турбоагрегатом при пропуске через встроенный пучок конденсатора питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения, определяется по формуле:

$$\begin{aligned} \sum N = & G_{\text{ХВ}} \cdot \Delta h_{\text{ХВ}} \cdot \left(\frac{(h_0 - h_{\text{к}}) \cdot (h_{\text{рег}}^3 - h_{\text{д}}) + (h_{\text{д}} - h'_{\text{к}}) \cdot (h_0 - h_{\text{рег}}^3) \cdot \eta_{\text{эм}}}{(h_{\text{к}} - h'_{\text{к}}) \cdot (h_{\text{рег}}^3 - h_{\text{д}})} - \frac{\Delta p}{\eta_{\text{н}} \cdot \Delta h_{\text{ХВ}}} \right) - \\ & - G_{\text{СВ}} \cdot \Delta h_{\text{СВ}} \cdot \left(\frac{(h_0 - h_{\text{ср}}) \cdot (h_{\text{рег}}^3 - h_{\text{д}}) + (h_{\text{д}} - h'_{\text{ср}}) \cdot (h_0 - h_{\text{рег}}^3) \cdot \eta_{\text{эм}}}{(h_{\text{ср}} - h'_{\text{ср}}) \cdot (h_{\text{рег}}^3 - h_{\text{д}})} - \frac{\Delta p}{\eta_{\text{н}} \cdot \Delta h_{\text{СВ}}} \right) - \\ & - G_{\text{ПОДП}} \cdot \Delta h_{\text{ПОДП}} \cdot \frac{(h_0 - h_{\text{ПХОВ}}) - (h_{\text{к}} - h'_{\text{к}}) \cdot (h_0 - h_{\text{ПХОВ}}) + (h_0 - h_{\text{к}}) \cdot (h_{\text{ПХОВ}} - h'_{\text{ПХОВ}}) \cdot \eta_{\text{эм}}}{(h_{\text{ПХОВ}} - h'_{\text{ПХОВ}}) \cdot (h_{\text{к}} - h'_{\text{к}})}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $G_{\text{ХВ}}$ – расход питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения, кг/с; $\Delta h_{\text{ХВ}}$ – изменение энтальпии подогреваемой воды на входе и выходе из конденсатора, кДж/кг; $h_{\text{к}}$ – энтальпия отработавшего пара турбин, кДж/кг; $h_{\text{д}}$ – энтальпия питательной воды после деаэратора, кДж/кг; $h'_{\text{к}}$ – энтальпия конденсата отработавшего пара, кДж/кг; $G_{\text{СВ}}$ – расход сетевой воды, кг/с; $\Delta h_{\text{СВ}}$ – изменение энтальпии сетевой воды, кДж/кг; $h_{\text{ср}}$ – средневзвешенная энтальпия отопительных отборов, кДж/кг; $h'_{\text{ср}}$ – сред-

невзвешенная энтальпия конденсата сетевых подогревателей, кДж/кг; $G_{\text{подп}}$ – расход подпиточной воды теплосети, кг/с; $\Delta h_{\text{подп}}$ – изменение энтальпии подпиточной воды теплосети, кДж/кг; $h_{\text{пхов}}$ – энтальпия греющего пара в подогревателе химически очищенной воды, кДж/кг; $h'_{\text{пхов}}$ – энтальпия конденсата пара в подогревателе химически очищенной воды, кДж/кг.

В таблице 2 представлены результаты технико-экономического расчета для реальных условий, предусматривающих реализацию регулируемого подогрева питьевой воды на Ульяновской ТЭЦ–1. В расчете учитывалось, что предложенная схема эксплуатируется в течение 8 месяцев (кроме летних месяцев и сентября), а среднечасовой расход питьевой воды составляет 1800 т/ч, учтены фактические данные по температурам питьевой воды для различных месяцев года, а также снижение тепловой экономичности из-за уменьшения мощности отопительных отборов, обусловленной применением более теплой питьевой воды для ГВС.

Таблица 2. Результаты технико-экономического расчета для технологии регулируемого подогрева питьевой воды

Величина	Технология подогрева при открытой системе теплоснабжения
Итоговая выработка электроэнергии на тепловом потреблении, кВт·ч	3336,2
Расход холодной воды через конденсатор, т/ч	1800
Величина удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении, кВт·ч/т	1,9
Годовая экономия условного топлива, т у.т.	5184,0
Экономия условного топлива, млн. руб., без НДС в ценах 2016 г.	19,7
Капитальные затраты, млн. руб., без НДС в ценах 2016 г.	25,4
Срок окупаемости, лет	< 1 года

Таким образом, представленные в таблице 2 результаты технико-экономического расчета подтверждают эффективность предложенной технологии регулируемого подогрева питьевой воды на УлТЭЦ–1. С учетом капитальных затрат в размере 25,4 млн. руб., включающих стоимость монтажа дополнительных трубопроводов, а также установки ультрафиолетового обеззараживания, срок окупаемости проекта не превышает одного года.

3. Расчет энергетической эффективности предложенной технологии использования баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети, выполненный по методике УВЭТП, показал, что при работе Ульяновской ТЭЦ–1 в режиме заполнения баков в часы максимального электропотребления в течение 12 часов дополнительная мощность, вырабатываемая турбоагрегатом с турбиной типа Т–100–130 на тепловом потреблении, составляет 8,1 МВт, а годовая экономия условного топлива превышает 9300 тонн.

Основным показателем тепловой экономичности ТЭЦ, по которому осуществляется отбор электростанций для поставок электроэнергии на ОРЭМ, является удельный расход условного топлива (УРУТ) на отпуск электрической и тепловой энергии. Для оценки изменения УРУТ при реализации на ТЭЦ предложенных технологий разработаны методики расчета технико-экономических показателей ТЭЦ, совмещающие метод удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении и методики оценки энергетической эффективности работы ТЭЦ в соответствии с РД 34.08.552–93 «Методические указания по составлению отчета электростанций и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования» и РД 34.08.552–95 «Методические указания по составлению отчета электростанции и акцио-

нерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования».

Разработанные методики расчета позволяют производить расчёты технико-экономических показателей ТЭЦ в соответствии с официально признанными в электроэнергетике методами. Основным преимуществом является возможность быстрой оценки величины выработки электроэнергии на тепловом потреблении при изменении схемы или режима работы ТЭЦ с последующим учетом этой величины при расчете ТЭП в соответствии с РД 34.08.552–93 или РД 34.08.552–95.

Для автоматизации расчетов разработанные методики расчета реализованы в виде программных комплексов для ЭВМ:

1. Расчет показателей тепловой экономичности ТЭЦ в соответствии с РД 34.08.552–93 (Свидетельство №2016662635).

2. Расчет показателей тепловой экономичности ТЭЦ в соответствии с РД 34.08.552–95 (Свидетельство №2016662634).

Алгоритм работы программы «Расчет показателей тепловой экономичности ТЭЦ в соответствии с РД 34.08.552–93» («физический» метод) представлен на рисунке 8.

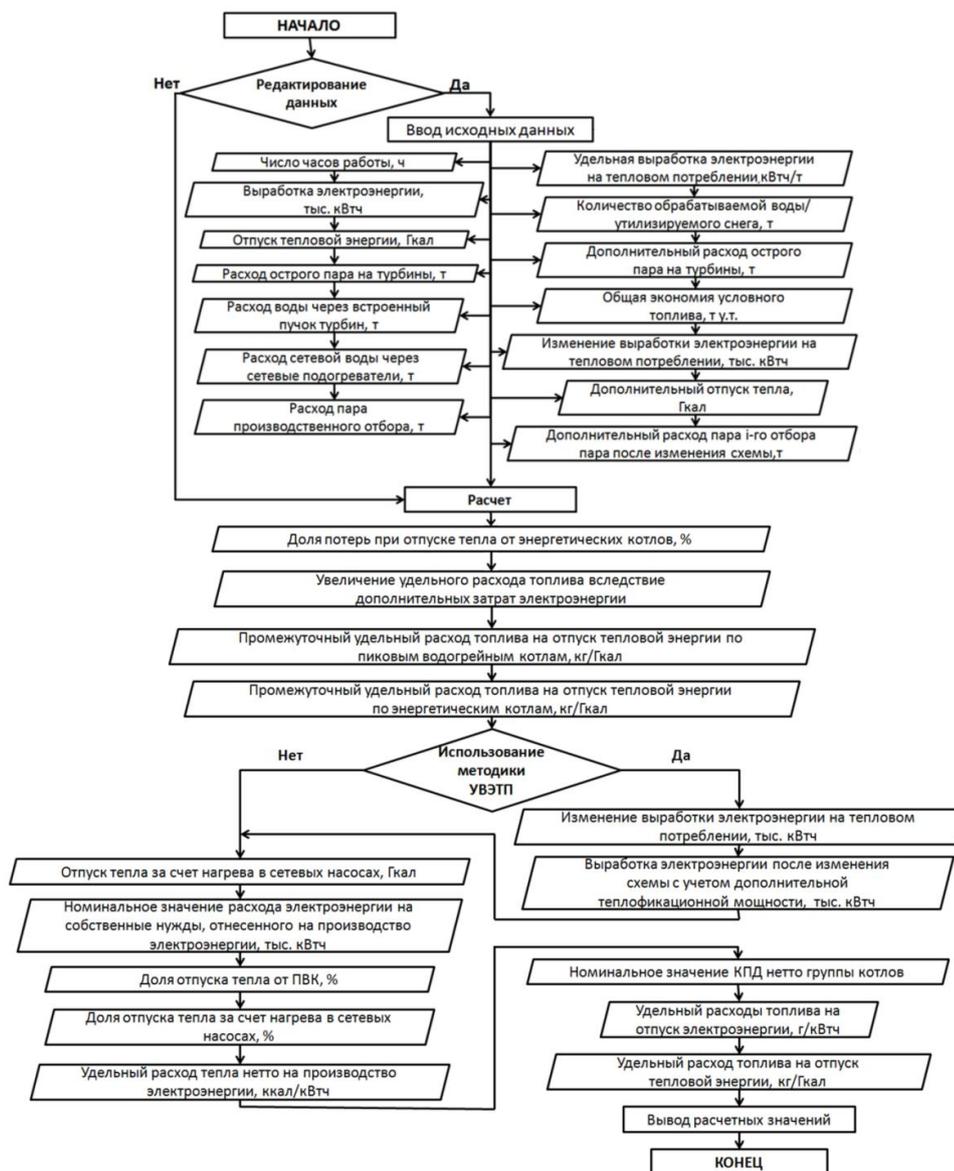


Рисунок 8. Алгоритм работы программы «Расчет показателей тепловой экономичности ТЭЦ в соответствии с РД 34.08.552-93»

Проведенные с использованием разработанных программных комплексов расчеты (таблица 3) показали, что внедрение на УлТЭЦ–1 новой технологии утилизации снега с использованием обратной сетевой воды позволяет улучшить удельные расходы условного топлива на отпуск электроэнергии более чем на 6 г/кВтч, а на отпуск теплоты – на 0,26 кг/Гкал. В абсолютных значениях годовая экономия условного топлива, относимая на отпуск электроэнергии, составляет 3369 тонн и 620 тонн – относимая на отпуск теплоты.

Таблица 3. Результаты расчета показателей тепловой экономичности ТЭЦ, проведенных с использованием программных комплексов

Параметр	До изменения схемы		После изменения схемы	
	РД 34.08.552-93	РД 34.08.552-95	РД 34.08.552-93	РД 34.08.552-95
Удельный расход топлива на отпуск тепловой энергии, кг/Гкал	178,55	144,11	178,29	143,85
Удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, г/кВтч	217,98	292,34	211,96	286,33

В четвертой главе представлены результаты исследования режимов работы Ульяновской ТЭЦ–1, подтверждающие промышленную применимость нового режима работы водоподготовительной установки.

Основным критерием промышленной применимости нового режима работы ВПУ с заполнением баков-аккумуляторов в часы максимального электропотребления является возможность своевременной разрядки аккумуляторных баков. На основе статистических данных проведенного исследования режимов работы УлТЭЦ–1 смоделированы новые режимы использования баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети для характерных периодов года: отопительного, переходного и неотапливаемого (рисунки 9–11).

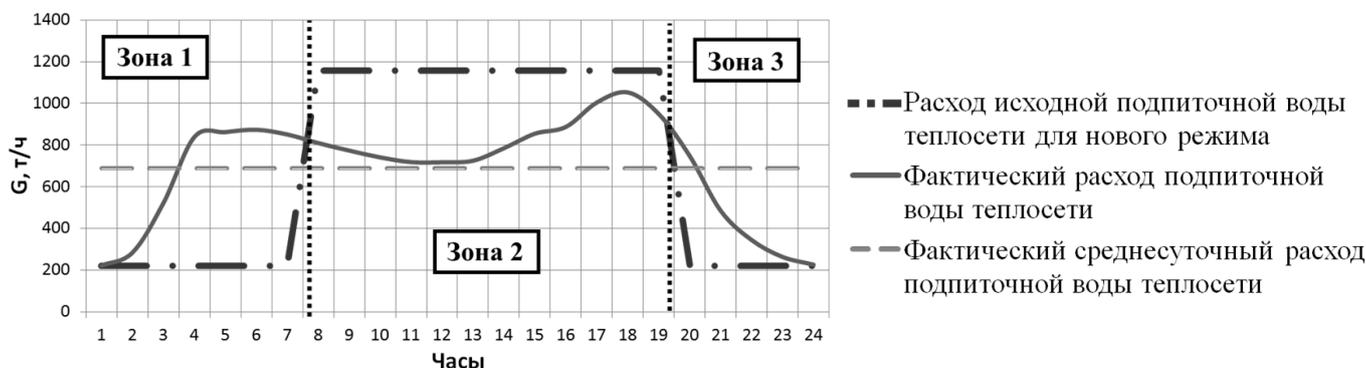


Рисунок 9. Суточный график использования баков-аккумуляторов в неотапливаемый период

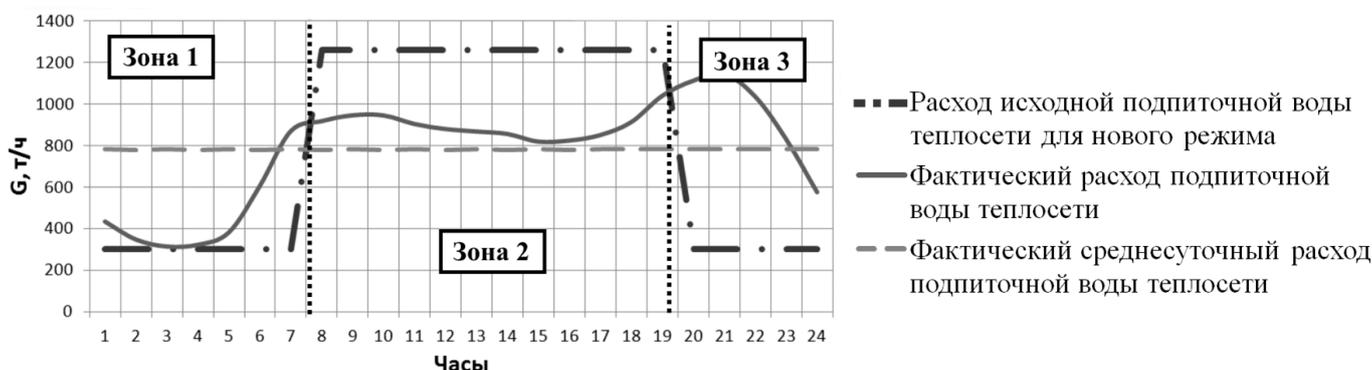


Рисунок 10. Суточный график использования баков-аккумуляторов в переходный период

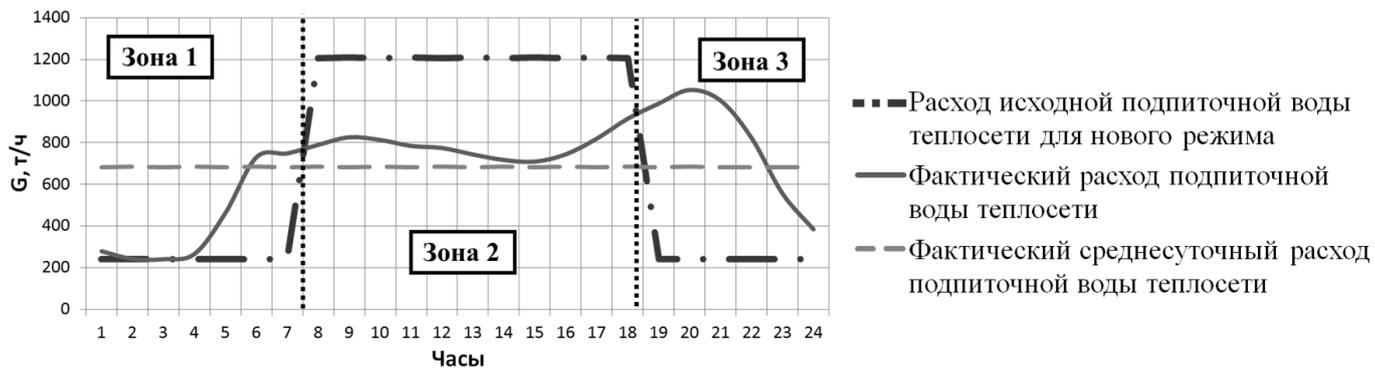


Рисунок 11. Суточный график использования баков-аккумуляторов в отопительный период

Из рисунков 9–11 видно, что процесс заполнения происходит в течение 11–12 часов в зоне 2, объем подпиточной воды, аккумулированной на станции за это время, составляет около 4000 м^3 . В зонах №1 и №3, которые приходятся на часы несения станцией минимальной электрической нагрузки, происходит снижение расхода исходной подпиточной воды теплосети с одновременным опорожнением баков-аккумуляторов.

В результате проведенного исследования режимов работы Ульяновской ТЭЦ–1 доказана промышленная применимость новой технологии энергоэффективного использования баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети в открытых системах теплоснабжения. На основе полученных данных смоделированы новые режимы заполнения и разрядки баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети, позволяющие максимально использовать отработавший пар турбин для подогрева исходной подпиточной воды теплосети.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Установлено, что на городских теплоэлектроцентралях имеются значительные резервы для повышения эффективности, связанные с использованием энергетического потенциала ТЭЦ в городской инженерной инфраструктуре.

2. Предложен и обоснован комплекс новых технологических решений, обеспечивающих повышение эффективности ТЭЦ за счет использования их энергетического потенциала в городской инженерной инфраструктуре:

- технологии использования ТЭЦ для утилизации вывозимого с городских улиц снега в снегоплавильных установках за счет применения низкопотенциальных источников теплоты: основного конденсата турбины; конденсата сетевых подогревателей турбины; обратной сетевой воды и циркуляционной воды после конденсатора;

- технология применения городских ТЭЦ в схеме подготовки питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения;

- технология энергоэффективного использования баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети в открытых системах теплоснабжения.

3. В результате проведенного исследования режимов работы Ульяновской ТЭЦ–1 доказана эффективность промышленного применения новой технологии энергоэффективного использования баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети в открытых системах теплоснабжения. На основе полученных данных смоделированы новые режимы заполнения и разрядки баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети, позволяющие максимально использовать отработавший пар турбин для подогрева исходной подпиточной воды теплосети.

4. Разработаны методики расчета технико-экономических показателей ТЭЦ при изменении тепловых схем и режимов работы оборудования, совмещающие в себе метод удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении и нормативную методику расчета показателей тепловой экономичности энергетического оборудования электростанций в соответствии с РД 34.08.552–93 и РД 34.08.552–95. Предложенные методики расчета и разработанные на их основе программные комплексы позволяют проводить расчет технико-экономических показателей ТЭЦ при изменении тепловых схем и режимов работы оборудования с приемлемой точностью при уменьшении объема необходимых для расчета исходных данных в сравнении с нормативной методикой, а также производить быструю оценку влияния величины выработки электроэнергии на тепловом потреблении при изменении схемы или режима работы ТЭЦ на тепловую экономичность при расчете ТЭП в соответствии с РД 34.08.552–93 и РД 34.08.552–95.

5. Выполнена оценка технико-экономических показателей ТЭЦ при реализации новых технологий для утилизации вывозимого с городских улиц снега. Установлено, что наиболее эффективной технологией является использование теплоты обратной сетевой воды, позволяющей экономить более 3000 тонн условного топлива в год для стационарной снегоплавильной установки производительностью 650 т/ч. Дисконтированный срок окупаемости не превышает 4 лет.

6. В результате расчета энергетической эффективности технологии применения городских ТЭЦ в схеме подготовки питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения на примере г. Ульяновска выявлено, что увеличение мощности, развиваемой турбоагрегатом на тепловом потреблении, превышает 3,3 МВт в расчете на энергоблок с турбиной типа Т–100–130.

7. Проведенный для Ульяновской ТЭЦ–1 расчет тепловой экономичности показал, что годовая экономия условного топлива при реализации предложенной технологии энергоэффективного использования баков-аккумуляторов превышает 9300 тонн.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Замалеев, М.М. Применение ТЭЦ в схеме подготовки питьевой воды системы централизованного холодного водоснабжения / М.М. Замалеев, В.И. Шарапов, **И.В. Губин** и др. // Энергосбережение и водоподготовка. – 2016. – № 5. – С. 46-50.
2. Замалеев, М.М. Использование энергетического потенциала ТЭЦ для нужд коммунального хозяйства / М.М. Замалеев, В.И. Шарапов, **И.В. Губин** и др. // Труды Академэнерго. – 2016. – № 2. – С. 37-48.
3. Замалеев, М.М. Техничко-экономическое обоснование новых технологий утилизации снега на ТЭЦ / М.М. Замалеев, В.И. Шарапов, **И.В. Губин** и др. // Известия высших учебных заведений. – 2016. – №11-12. – С. 3-9.

Публикации в изданиях, включенных в базы Scopus и WoS

4. **Gubin, I.V.** Use of infrastructure of combined heat and power plant for utilization of snow on the example of Ulyanovsk / **I.V. Gubin**, M.M. Zamaleev, V.I. Sharapov // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. V.891. №. 012190.
5. Zamaleev, M.M. About opportunities of the sharing of city infrastructure centralized warmly - and water supply / M.M. Zamaleev, **I.V. Gubin**, V.I. Sharapov // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. V.891. №. 012193.

Публикации в других изданиях

6. Замалеев, М.М. Проблема утилизации снега в крупных городах / М.М. Замалеев, **И.В. Губин**, В.И. Шарапов // В сборнике: Теплоэнергетика и теплоснабжение. Сборник научных трудов научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки» УлГТУ. Вып. 11. Ульяновск: 2015. С. 141-151.
7. **Губин, И.В.** Об эффективном использовании баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети для повышения тепловой экономичности ТЭЦ / **Губин И.В.** // В сборнике: Теплоэнергетика и теплоснабжение.

Сборник научных трудов научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки» УлГТУ. Вып. 12. Ульяновск: 2016. С. 123-129.

8. **Губин, И.В.** Расчет энергетической и экономической эффективности новых технологий утилизации снега на ТЭЦ / **Губин И.В.** // В сборнике: Теплоэнергетика и теплоснабжение. Сборник научных трудов научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки» УлГТУ. Вып. 12. Ульяновск: 2016. С. 130-138.

В материалах конференций

9. **Губин, И.В.** О возможности использования ТЭЦ для утилизации снега на примере г. Ульяновска / **И.В. Губин, М.М. Замалеев** // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: Седьмая Международная научно-техническая конференция (г. Ульяновск, 21-22 апреля 2017 г.): сборник научных трудов. Т. 1. – Ульяновск: УлГТУ, 2017. – 329 с. С. 285-292.
10. Замалеев, М.М. Энергоэффективные решения совместного использования городской инфраструктуры централизованного тепло- и водоснабжения / М.М. Замалеев, В.И. Шарапов, **И.В. Губин** и др. // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: Седьмая Международная научно-техническая конференция (г. Ульяновск, 21-22 апреля 2017 г.): сборник научных трудов. Т. 1. – Ульяновск: УлГТУ, 2017. – 329 с. С. 122-127.
11. Замалеев, М.М. О возможностях совместного использования городской инфраструктуры централизованного тепло- и водоснабжения / М.М. Замалеев, **И.В. Губин**, В.И. Шарапов // Материалы Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики» (Москва, 9-11 октября 2017 г.): в 2т. Т.2 – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – 410 с. С. 58.
12. **Губин, И.В.** Использование инфраструктуры ТЭЦ для утилизации снега на примере г. Ульяновска / **И.В. Губин, М.М. Замалеев, В.И. Шарапов** // Материалы Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики» (Москва, 9-11 октября 2017 г.): в 2т. Т.2 – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – 410 с. С. 59.
13. **Губин, И.В.** Повышения тепловой экономичности ТЭЦ при оптимизации работы баков-аккумуляторов подпиточной воды теплосети // Молодежный инновационный форум Пятый Международный Россия, г. Ульяновск, 14-16 сентября 2016 года): сборник аннотаций проектов / сост. Е. А. Глухова, Ю. Е. Чамчиан. – Ульяновск: УлГТУ, 2016. – 658 с. С. 409-413.

Патенты и свидетельства

14. Патент 165883. Тепловая электрическая станция / М.М. Замалеев, В.И. Шарапов, **И.В. Губин** и др. // Бюллетень изобретений. – 2016. - №31.
15. Патент 165483. Стационарная снегоплавильная установка на базе ТЭЦ / М.М. Замалеев, В.И. Шарапов, **И.В. Губин** и др. // Бюллетень изобретений. – 2016. - №29.
16. Патент 164974. Тепловая электрическая станция / М.М. Замалеев, В.И. Шарапов, **И.В. Губин** и др. // Бюллетень изобретений. – 2016. - №27.
17. Патент 165933. Система водоснабжения / М.М. Замалеев, В.И. Шарапов, **И.В. Губин** и др. // Бюллетень изобретений. – 2016. - №31.
18. Свид. 2016662635 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Расчет показателей тепловой экономичности ТЭЦ в соответствии с РД 34.08.552-93 / М.М. Замалеев, В.И. Шарапов, **И.В. Губин**, В.А. Павлов, И.В. Япаров; заявл. 22.09.16; опубл. 16.11.16, Реестр программ для ЭВМ.
19. Свид. 2016662634 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Расчет показателей тепловой экономичности ТЭЦ в соответствии с РД 34.08.552-95 / М.М. Замалеев, В.И. Шарапов, **И.В. Губин**, В.А. Павлов, И.В. Япаров; заявл. 22.09.16; опубл. 16.11.16, Реестр программ для ЭВМ.

Губин Игорь Викторович

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭЦ ПУТЕМ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОРОДСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

АВТОРЕФЕРАТ диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук
Подписано в печать : Формат 60x84¹/₁₆. Усл. печ. л. 1,16. Тираж 100 экз. Заказ №
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»
432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, 32. Отпечатано в УлГТУ