

На правах рукописи



Аникина Ирина Дмитриевна

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМАХ ТЭЦ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ
РЕЖИМОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОТЫ

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

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном
образовательном учреждении высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Научный руководитель **Сергеев Виталий Владимирович**
доктор технических наук, доцент, профессор
РАН, зав. кафедрой «Атомная и тепловая энергетика», ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Официальные оппоненты: **Хоменок Леонид Арсеньевич**
доктор технических наук, профессор, заместитель
генерального директора ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова»

Демидов Олег Игоревич
кандидат технических наук, доцент, директор по
тендерам ООО «Турбинные технологии ААЭМ»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Защита состоится 20 декабря 2016 г. в 14-00 на заседании диссертационного совета Д212.229.04 в ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» по адресу: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29 ПГК, ауд. 411.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»: <http://www.spbstu.ru/>

Автореферат разослан «___» _____ 2016 г.

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

Факс: (812) 535-57-36

E-mail: m_voltchenkova@mail.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.В. Митяков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Работа теплоэлектростанций (ТЭЦ) связана с образованием вторичных источников низкопотенциальной теплоты (ВИНТ). Внедрение в технологическую схему ТЭЦ утилизационных установок позволит полезно использовать потенциал ВИНТ, сократив нагрузку на окружающую среду и уменьшив себестоимость теплоты и электрической энергии.

Решению задачи по повышению эффективности работы ТЭЦ сопутствует учет технических и экономических факторов. К ним относятся особенности технологической схемы ТЭЦ, состояние эксплуатируемого оборудования, режимы работы ТЭЦ, климатологические характеристики объекта и особенности трейдинговой деятельности компании. Представляется перспективным применение теплонасосных установок (ТНУ) для использования потенциала ВИНТ. В настоящее время методики для анализа повышения эффективности работы ТЭЦ с помощью ТНУ разработаны в недостаточной степени.

Степень разработанности темы исследования. Проблемой применения ТНУ в составе оборудования ТЭЦ занимались отечественные ученые: В.П. Проценко (1988-2012 гг.), Э.Э. Шпильрайн (2003 г.), А.И. Андрищенко (1997-2003 гг.), В.М. Боровков (2006-2009 гг.) и др. В большинстве работ анализировались схемы ТЭЦ с ТНУ без учета влияния режимов работы оборудования на общую эффективность системы.

Реальные режимы работы оборудования оказывают значительное влияние на эффективность применения ТНУ, что обуславливает необходимость их учета.

Цель исследования: путем имитационного моделирования оценить эффективность применения тепловых насосов в технологических схемах теплоэлектростанций с учетом режимов работы основного и вспомогательного оборудования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

- выполнить анализ потенциальных возможностей ВИНТ ТЭЦ с учетом ее технологической схемы, режимов работы основного и вспомогательного оборудования;
- разработать методику для анализа возможности внедрения ТНУ в состав технологической схемы с учетом режимов работы ТЭЦ;
- предложить схемные решения, повышающие эффективность процесса когенерации на ТЭЦ, определить варианты использования полученной теплоты от ТНУ для улучшения рабочих режимов ТЭЦ;

- построить имитационные модели тепловых схем ТЭЦ, учитывающие режимы основного и вспомогательного оборудования при включении ТНУ на различных участках схем;

- произвести оценку экономической эффективности энергосберегающих мероприятий, реализованных с помощью ТНУ и выявить экономические риски, связанные с предложенными техническими решениями.

Научная новизна.

1. Разработана методика для анализа возможности внедрения ТНУ в состав технологической схемы с учетом режимов работы ТЭЦ;
2. Разработаны имитационные модели тепловых схем ТЭЦ с паротурбинными и парогазовыми блоками;
3. Произведен анализ влияния различных схем включения ТНУ с отпуском теплоты от 1,7 до 43 Гкал/ч на технико-экономические показатели (ТЭП) ТЭЦ для характерных режимов работы станций;
4. Произведена сравнительная оценка эффективности вариантов использования теплоты от ТНУ: для дополнительной выработки электроэнергии; для дополнительного отпуска теплоты потребителю от ТЭЦ; для снижения нагрузки энергетических котлов или газотурбинных установок.

Теоретическая и практическая значимость работы. Построены имитационные модели двух действующих ТЭЦ с возможностью включения в состав оборудования ТНУ. Получены аналитические зависимости для расчета удельных расходов условного топлива на выработку электрической энергии и отпуск теплоты.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанная методика для анализа возможности внедрения ТНУ в состав технологической схемы с учетом режимов работы ТЭЦ может быть использована эксплуатационными и проектными организациями при внедрении схем ТНУ в процессы проектирования новых и модернизации действующих ТЭЦ. Она представляет интерес также для всех существующих теплоснабжающих объектов (ТЭС, котельных, АЭС и т.д.) и промышленных предприятий, имеющих вторичные источники низкопотенциальной теплоты.

Методология и методы исследований. В работе использовались как теоретические методы (идеализации, формализации), так и экспериментальные (моделирования и сравнения).

Объект исследования – ТЭЦ с включенным в состав оборудования ТНУ.

Предмет исследования – тепловые процессы, протекающие при эксплуатации основного и вспомогательного оборудования ТЭЦ.

В работе применялись методы термодинамического анализа энергоустановок, математического моделирования и технико-экономических расчетов. Были применены программные комплексы САПР «United Cycle» и «CoolPack».

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика для анализа возможности внедрения ТНУ в состав технологической схемы с учетом режимов работы ТЭЦ.
2. Имитационные модели тепловых схем ТЭЦ с паротурбинными и парогазовыми блоками.
2. Схемные решения с использованием ТНУ, позволяющие повысить тепловую экономичность ТЭЦ.
3. Результаты расчетных исследований влияния мощности ТНУ и вариантов ее использования на технико-экономические показатели работы ТЭЦ при характерных режимах основного и вспомогательного оборудования.

Достоверность результатов исследований подтверждена введением обоснованных допущений, применением фундаментальных уравнений теории тепло- и массообмена, сравнением имитационных моделей с данными реальных ТЭЦ.

Апробация результатов. Результаты исследований опубликованы в 9 печатных работах в Российской Федерации. Всего 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ, 5 тезисов докладов и одна работа в Реестре программ для ЭВМ.

Материалы были доложены и обсуждены на:

- международно-практических конференциях «Неделя науки СПбГПУ» (г. Санкт-Петербург, 2011-2012 гг.);
- форуме с международным участием «Неделя науки СПбПУ» (г. Санкт-Петербург, 2015 г.);
- научно-практических конференциях «Эффективная энергетика» (г. Санкт-Петербург, 2015-2016 гг.);
- семинарах кафедры «Атомная и тепловая энергетика» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (2015-2016 гг.) и Института тепловой и атомной энергетике Национального исследовательского университета «МЭИ» (2016 г.).

Разработанные схемные решения и математические модели использованы при проведении научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы «Разработка инновационных решений по внедрению тепловых насосов и их совместной эксплуатации с тепловыми электростанциями на ТЭЦ филиала «Невский» ОАО «ТГК-1»» (2013-2014 гг.).

Материалы работы используются в учебном процессе в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого при подготовке по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника» бакалавров (13.03.01) и магистров (13.04.01) (при проведении практических занятий по дисциплинам: «Режимы работы ТЭС и АЭС», «Возобновляемые источники энергии и установки утилизации низкопотенциальной теплоты» и «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях»).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования; в обосновании методов решения задач; в разработке схем утилизации низкопотенциальной теплоты на ТЭЦ с паротурбинными и парогазовыми блоками; в создании имитационных моделей, позволяющих исследовать показатели тепловой экономичности ТЭЦ с ТНУ; при обработке, обобщении полученных результатов и выработке рекомендаций по условиям и схемным решениям применения ТНУ на ТЭЦ различного типа.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы (110 наименований) и пяти приложений. Работа содержит 171 страницу основного текста, 26 таблиц, 80 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулированы и обоснованы актуальность, цель, задачи, научная новизна. Выбрана методология исследования.

В первой главе кратко проанализированы проблемы энергосбережения на современных ТЭЦ, исторический аспект, практическое применение ТНУ в энергетике и предпосылки их применения в составе оборудования ТЭЦ. Выявлены аспекты, требующие дополнительного исследования.

Вторая глава посвящена анализу потенциальных возможностей ВИНТ ТЭЦ. В качестве примера рассмотрены две станции филиала «Невский» ОАО «ТГК-1»: Правобережная ТЭЦ-5 и Северная ТЭЦ-21. Учтены технологические схемы ТЭЦ, режимы работы основного и вспомогательного оборудования. Оценен потенциал теплоты различных ВИНТ и произведен выбор наиболее перспективного из них для утилизации.

Для ТЭЦ-5 приводится изменение теплоэнергетического потенциала охлаждающей воды конденсатора паровой турбины (ПТ) ПГУ-блока в течение года (Рисунок 1). Потенциал данного источника позволяет использовать ТНУ широкого диапазона мощностей от 0,43 до 43 Гкал/ч теплоты на выходе.

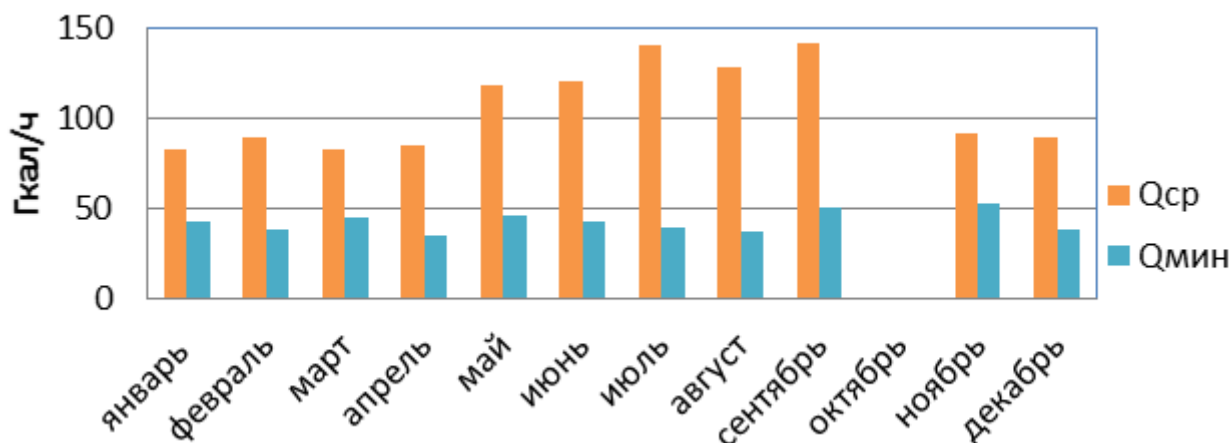


Рисунок 1 - Потенциал сбросной теплоты циркуляционной воды ПГУ-блока ТЭЦ-5, (Qср и Qмин – среднее и, соответственно, минимальное значения потенциала ВИНТ)

Расчетная оценка теплоэнергетического потенциала воды системы технического водоснабжения на ТЭЦ-21 показала, что потенциал данного ВИНТ колеблется от 42 Гкал/ч до 193 Гкал/ч в зимний период эксплуатации и от 46 Гкал/ч до 66 Гкал/ч в летний период.

Таким образом, выбор в качестве ВИНТ охлаждающей воды в оборотной системе технического водоснабжения с градирнями приводит к положительным результатам: уменьшает количество сбрасываемой теплоты; снижает расход циркуляционной воды, поступающей на градирни; снижает температуру циркуляционной воды на входе в ПТ; улучшает экологические показатели ТЭЦ.

Третья глава посвящена разработке методики для анализа возможности внедрения ТНУ в состав технологической схемы ТЭЦ с учетом режимов работы основного и вспомогательного оборудования (Рисунок 2). На ее основе выработаны технические решения по улучшению эффективности генерации теплоты и электрической энергии на ТЭЦ-5 и ТЭЦ-21.

После оценки потенциала ВИНТ осуществляется выбор потребителя теплоты от ТНУ в составе ТЭЦ.

Для ТНУ большой мощности (номинальный отпуск теплоты от ТНУ равен 43 Гкал/ч) предпочтительным является подогрев подпиточной воды теплосети перед системой высокотемпературной деаэрации. Предложены следующие схемные решения включения ТНУ: в состав ПГУ-блока ТЭЦ-5 за охладителем конденсата бойлеров (ОКБ); за встроенными пучками паротурбинных установок ТЭЦ-21.

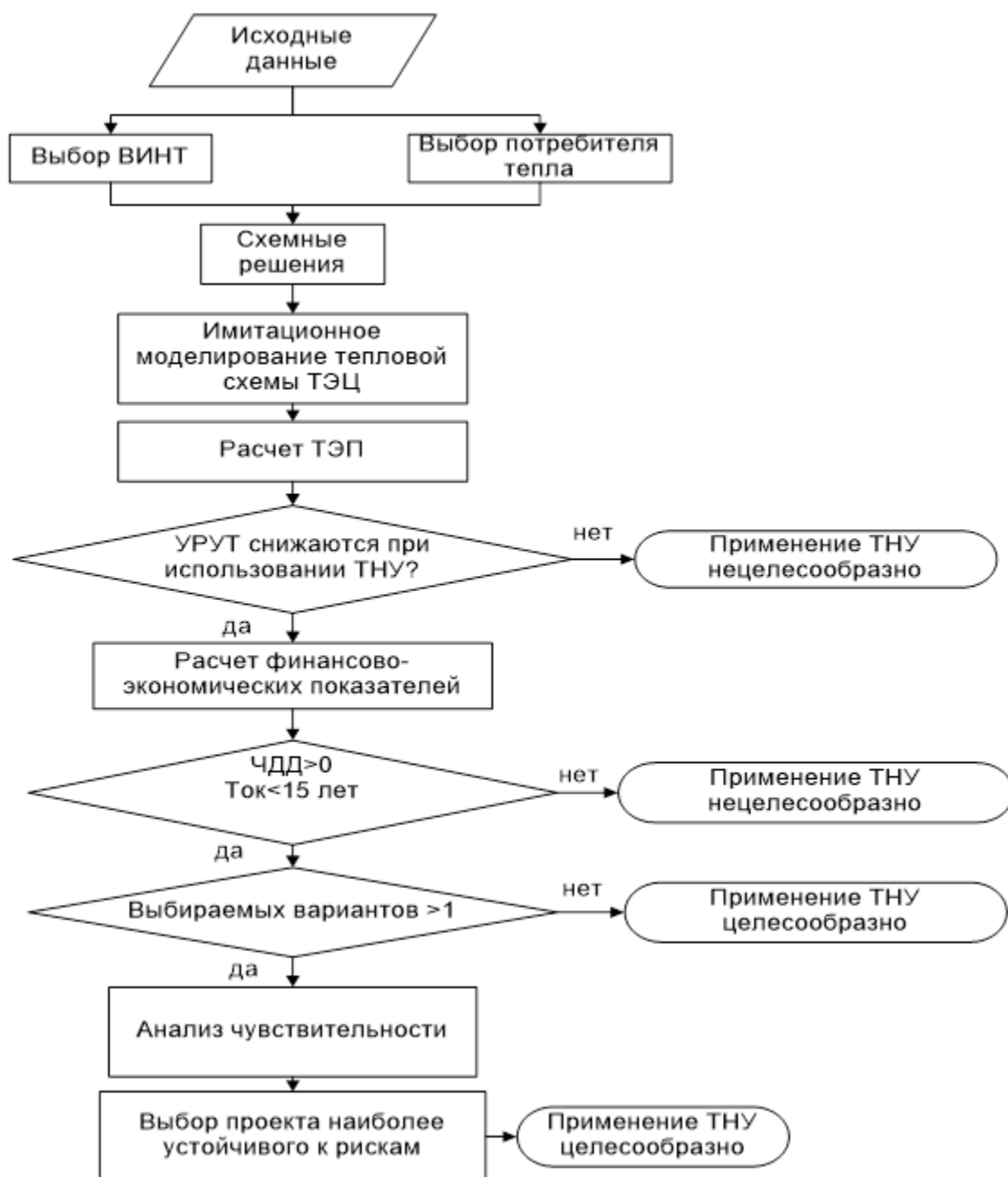


Рисунок 2 – Блок-схема методики для анализа возможности внедрения ТНУ в состав технологической схемы (УРУТ - удельные расходы условного топлива; ЧДД – чистый дисконтированный доход, Ток – срок окупаемости)

Для установок малой мощности (номинальный отпуск теплоты от ТНУ равен 1,72 Гкал/ч и 2,58 Гкал/ч) предложены схемные решения включения ТНУ: для подогрева подпиточной воды на собственные и хозяйственные нужды ТЭЦ-21 (2,58 Гкал/ч) и ТЭЦ-5 (1,72 Гкал/ч) перед системой высокотемпературной деаэрации; для подогрева подпиточной воды энергетических котлов воды перед цехом химводоочистки за теплообменниками непрерывной продувки на ТЭЦ-21 (1,72 Гкал/ч).

Четвертая глава посвящена построению имитационных моделей тепловых схем ТЭЦ-5 и ТЭЦ-21. Моделирование производилось с помощью программного комплекса САПР «United Cycle». В основу положен алгоритм, позволяющий по параметрам одного базового варианта определять характеристики энергоустановок с технологическими схемами любой сложности при различных стационарных режимах работы основного и вспомогательного оборудования. Моделирование состояло из трех этапов: создания схем в программном комплексе, их параметризация и задание входных параметров, определяющих рассчитываемые режимы работы.

На первом этапе из элементной базы САПР выбирались уравнения теплового и материального баланса ТЭЦ. Для примера, на Рисунке 3, представлена часть расчетной тепловой схемы ПГУ-блока ТЭЦ-5 с ТНУ.

Для определения коэффициентов, входящих в уравнения имитационных моделей, на втором этапе производилась параметризация по заводским характеристикам работы основного и вспомогательного оборудования ТЭЦ и корректировка этих показателей с учетом фактического состояния.

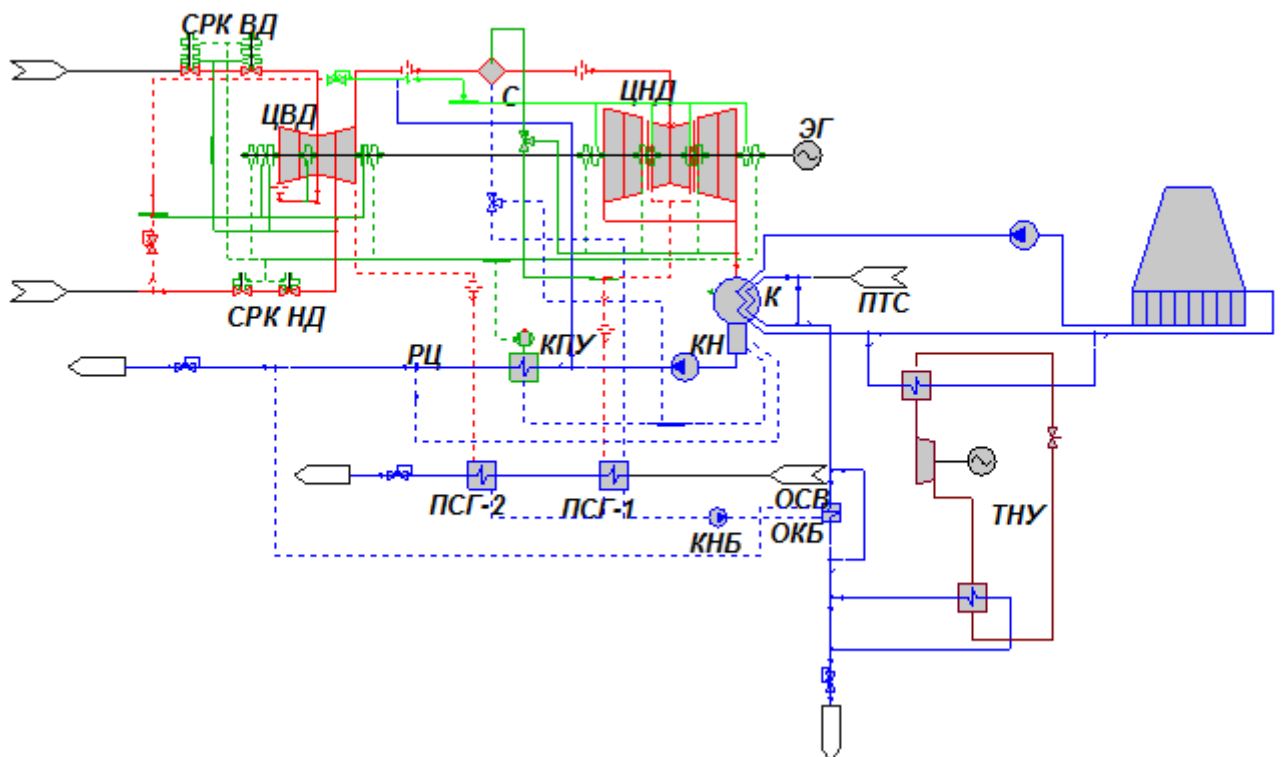


Рисунок 3 – Тепловая схема имитационной модели паровой турбины Т-125/150 ПГУ-блока ТЭЦ-5 с внедрением ТНУ

Оценка адекватности имитационных моделей производилась путем сравнения рассчитанных параметров с их контрольными значениями, полученными по

статистическим данным и результатам тепловых испытаний основного и вспомогательного оборудования ТЭЦ.

Отдельно, в **пятой главе**, проанализированы основные ТЭП ТЭЦ с включением ТНУ. Эффективность работы определяется выбором варианта применения полученной теплоты от ТНУ. В работе рассматривались три случая использования теплоты: для дополнительного производства электрической энергии ($\uparrow N_{\text{выр}}$); для увеличения отпуска теплоты от ТЭЦ ($\uparrow Q_{\text{от}}$); для снижения нагрузки энергетических котлов или газотурбинных установок ($\downarrow V_p$).

Для оценки влияния ТНУ на показатели ТЭЦ были выбраны характерные режимы работы оборудования. У ТЭЦ-5: зимний режим (I) с большими отопительными нагрузками и летний режим (IV). Также оценивалась возможность использования ТНУ для снижения затрат топлива на пиковой водогрейной котельной (ПВК) для зимнего режима (II). У ТЭЦ-21: зимний режим (I) с большими отопительными нагрузками; зимний режим (II) с малыми отопительными нагрузками; режим периодического протапливания (III); летний режим (IV).

Сопоставление дополнительной выработки электроэнергии ($\uparrow N_{\text{выр}}$) с затратами на привод ТНУ ($N_{\text{тну}}$) для характерных режимов работы ТЭЦ-5 и ТЭЦ-21 представлено на Рисунках 4а и 4б соответственно. Величина дополнительной выработки электроэнергии зависит от коэффициентов недовыработки мощности теплофикационных отборов замещаемых ТНУ. Величина дополнительного производства электроэнергии на клеммах генератора паровой турбины возрастает при увеличении коэффициента недовыработки.

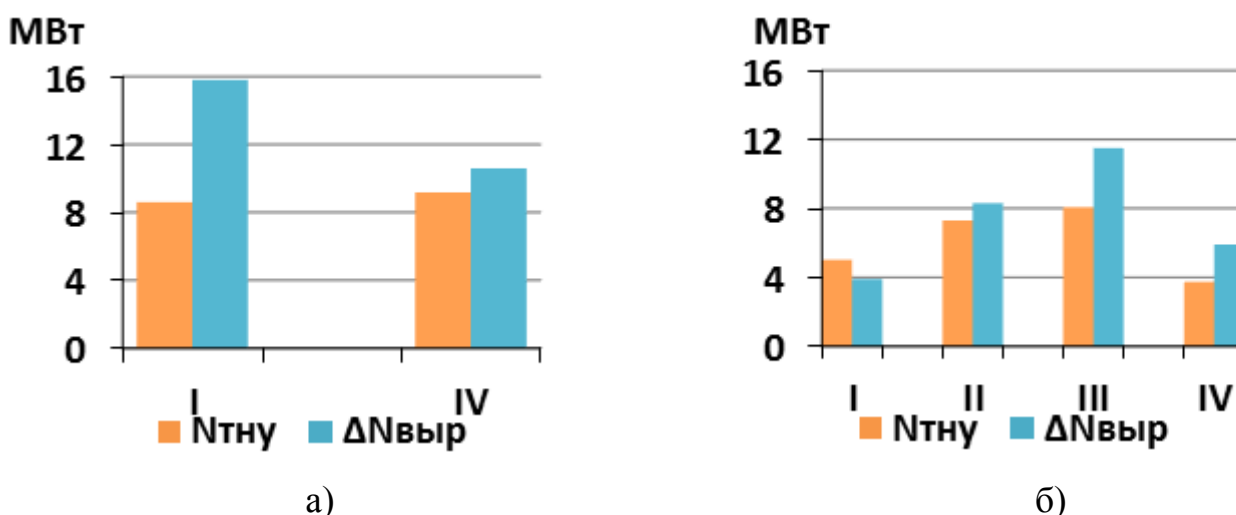
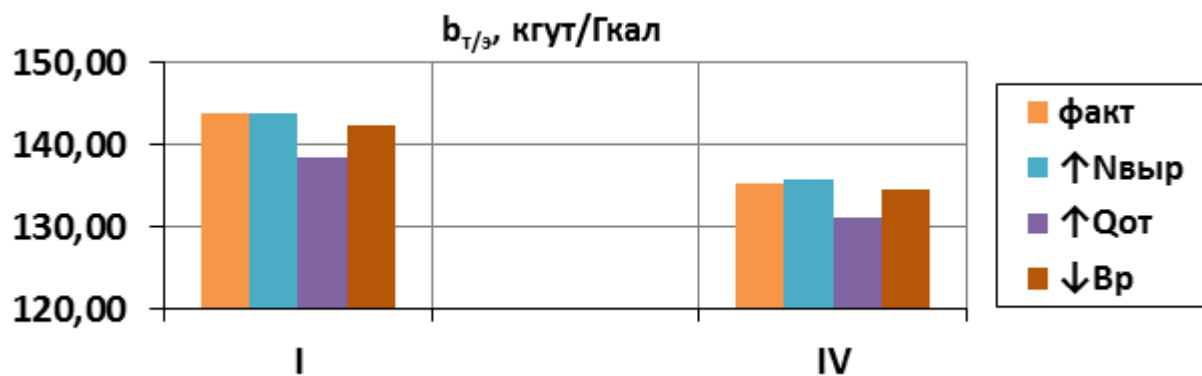


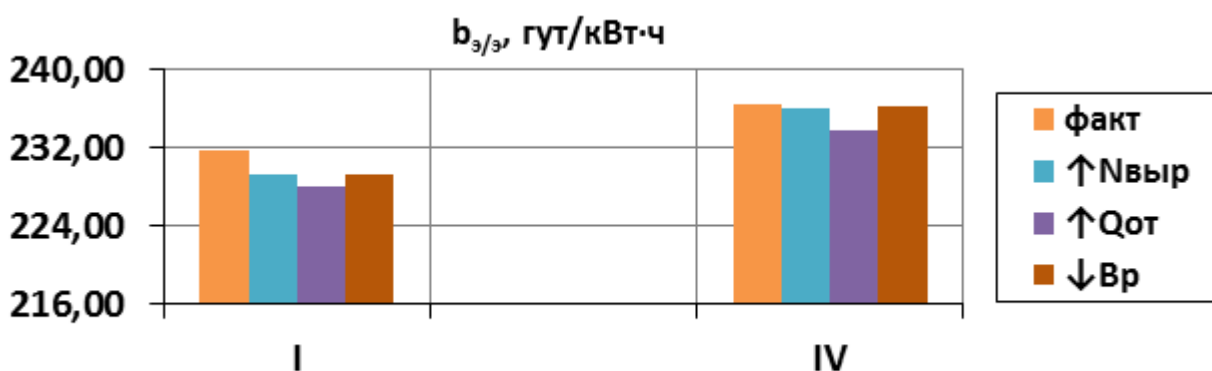
Рисунок 4 - Сравнение увеличения производства электроэнергии ($\Delta N_{\text{выр}}$) с затратами на привод теплонасосной установки ($N_{\text{тну}}$) для характерных режимов работы: а) ТЭЦ-5, б) ТЭЦ-21

Для анализа влияния ТНУ на ТЭП работы станции производился расчет удельных расходов условного топлива (УРУТ) на выработку электроэнергии и отпуск теплоты для характерных режимов работы ТЭЦ-5 и ТЭЦ-21 в соответствии с действующими нормативами. Оценка результатов производилась путем сравнения ТЭП ТЭЦ для схемы без ТНУ (фактическая компоновка) со схемой с ТНУ по трем вариантам использования теплоты от ТНУ.

Изменение УРУТ на выработку электроэнергии и на отпуск теплоты для ТЭЦ-5 по трем вариантам использования теплоты от ТНУ большой мощности ($Q_{\text{ТНУ}} = 43$ Гкал/ч) представлено на Рисунках 5а и 5б соответственно. Для ТЭЦ-5 наибольшая экономия топлива достигается при использовании теплоты ТНУ для увеличения отпуска ее потребителям ($\uparrow Q$). При этом экономия топлива составит: 3,7 гут/кВт·ч (1,6%) для зимнего режима работы ТЭЦ и 2,7 гут/кВт·ч (1,1%) для летнего режима (выработка электроэнергии); 5,4 кгут/Гкал (3,8%) для зимнего режима работы ТЭЦ и 4 кгут/Гкал (3%) для летнего режима (отпуск теплоты).



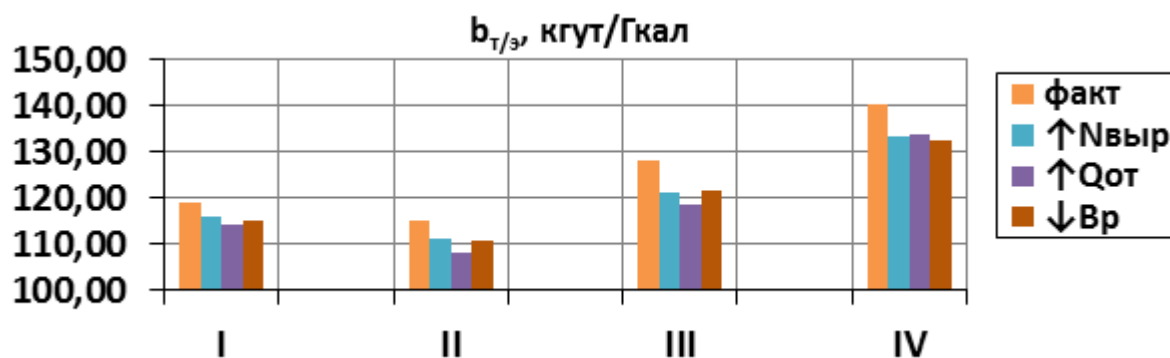
а)



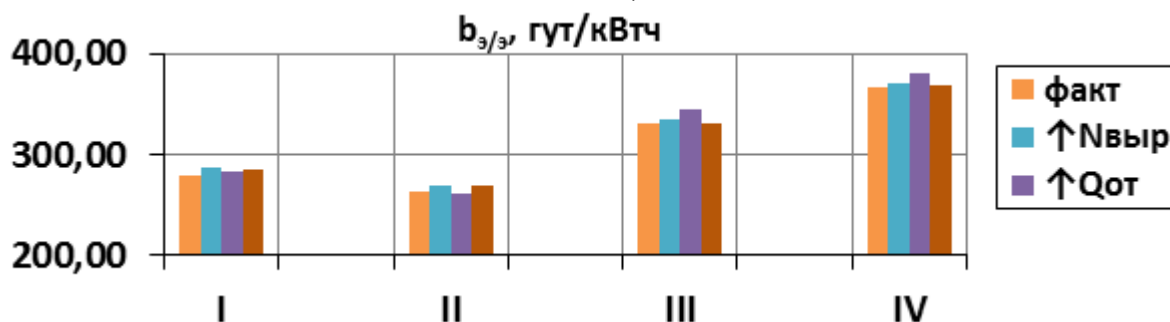
б)

Рисунок 5 – УРУТ на ТЭЦ-5 при использовании ТНУ большой мощности ($Q_{\text{ТНУ}} = 43$ Гкал/ч) для различных вариантов использования теплоты от ТНУ: а) УРУТ на отпуск теплоты ($b_{\text{т/э}}$); б) УРУТ на выработку электроэнергии ($b_{\text{э/э}}$)

Для ТЭЦ-21 изменение УРУТ на выработку электроэнергии и на отпуск теплоты представлено на Рисунках 6а и 6б соответственно. Для ТЭЦ-21 наибольшая экономия топлива достигается при использовании теплоты от ТНУ для увеличения отпуска ее потребителям ($\uparrow Q$). При этом максимальная экономия топлива составит: 7,11 кгут/Гкал (6,2%) для зимнего режима работы ТЭЦ (II) по отпуску теплоты, (УРУТ на выработку электроэнергии не изменяется). Для остальных режимов наблюдается перераспределение затрат топлива на электрическую (возрастает) и тепловую (снижается) части, что регламентирует потребность в дополнительных расчетах экономической эффективности рассматриваемых вариантов.



а)



б)

Рисунок 6 – УРУТ на ТЭЦ-21 при использовании ТНУ большой мощности ($Q_{ТНУ} = 43$ Гкал/ч) для различных вариантов использования теплоты от ТНУ: а) УРУТ на отпуск теплоты ($b_{т/э}$); б) УРУТ на выработку электроэнергии ($b_{э/э}$)

Для ТЭЦ-5 расчет влияния ТНУ малой мощности на отпуск теплоты ($b_{т/э}$) и выработку электроэнергии ($b_{э/э}$) производился для схемы подогрева подпиточной воды на собственные и хозяйственные нужды станции. Расчет влияния ТНУ малой мощности на ТЭП ТЭЦ-21 производился для двух схем: для подогрева воды перед цехом ХВО (сх. №1) и для подогрева подпиточной воды на собственные и хозяйственные нужды станции (сх. №2). Результаты сведены в Таблицу 1.

Таблица 1 - Влияние ТНУ малой мощности на УРУТ для ТЭЦ-5 и ТЭЦ-21 ($b_{т/э}$ – УРУТ на отпуск теплоты, кгУТ/Гкал; $b_{э/э}$ – УРУТ на выработку электроэнергии, гУТ/МВт·ч)

ТЭЦ	ТЭП	Режимы							
		I		II		III		IV	
		факт	с ТНУ	факт	с ТНУ	факт	с ТНУ	факт	с ТНУ
ТЭЦ-5	$b_{т/э}$	143,8	143,6	167,9	167,7	-	-	135,2	134,9
	$b_{э/э}$	231,7	231,5	230,3	230,0	-	-	236,3	235,9
ТЭЦ-21 сх. №1	$b_{т/э}$	121,5	121,4	118,5	118,4	132,5	132,3	144,6	144,4
	$b_{э/э}$	287,8	287,7	270,0	270,0	339,9	339,9	380,9	380,8
ТЭЦ-21 сх. №2	$b_{т/э}$	121,5	121,3	118,5	118,3	132,5	132,2	144,6	144,2
	$b_{э/э}$	287,8	287,7	270,0	270,0	339,9	339,9	380,9	380,9

В шестой главе рассчитан экономический эффект от внедрения ТНУ в состав ТЭЦ, а также проведена оценка потенциальных рисков при реализации предложенных схемных решений. Представлены результаты расчета программ производства и реализации электрической энергии и теплоты, топливных издержек и основных показателей эффективности использования ТНУ на ТЭЦ для всех рассмотренных вариантов.

Анализ основных экономических показателей показал, что наиболее перспективным вариантом использования ТНУ является дополнительный отпуск теплоты потребителю, причем установки большой мощности применимы для ТЭЦ-5 и ТЭЦ-21, а установки малой мощности только для ТЭЦ-5 (Таблица 2).

Таблица 2 - Сводные показатели экономической эффективности использования ТНУ

Показатель	ТЭЦ-5			ТЭЦ-21	
	$Q_{тну}=43$ Гкал/ч $\uparrow Q_{от}$	$Q_{тну}=43$ Гкал/ч $\uparrow NeI$	$Q_{тну}=1,72$ Гкал/ч $\uparrow Q_{от}$	$Q_{тну}=43$ Гкал/ч $\uparrow Q_{от}$	$Q_{тну}=2,58$ Гкал/ч $\uparrow Q_{от}$
Кап. затраты, млн. руб.	425,1	425,1	36,8	425,1	54,4
Срок окупаемости (РВ), лет	1,93	6,41	2,44	2,42	8,47
Дисконтированный срок окупаемости (DPB), лет	2,37	8,30	3,13	3,22	11,10
Чистый дисконтированный доход (NPV), млн. руб.	1185,2	174,9	75,3	863,75	9,32
Внутренняя норма доходности (IRR), %	0,89	0,22	0,61	0,59	0,18
Индекс рентабельности инвестиций (PI)	3,79	1,41	3,05	3,03	1,17
Средняя норма рентабельности (ARR)	0,52	0,16	0,41	0,41	0,12

Установлены основные факторы рисков при реализации предложенных технических решений: 1) изменение темпов роста цен электроэнергии на ОРЭМ; 2) изменение темпов роста тарифа на теплоту; 3) изменение темпов роста цен на топливо; 4) увеличение капитальных затрат.

Наиболее устойчивым к рискам оказался вариант использования ТНУ большой мощности на ТЭЦ-5. На результат рассматриваемого проекта сильнее всего влияют величина капитальных затрат и темпы роста тарифа на теплоту (Рисунок 7).

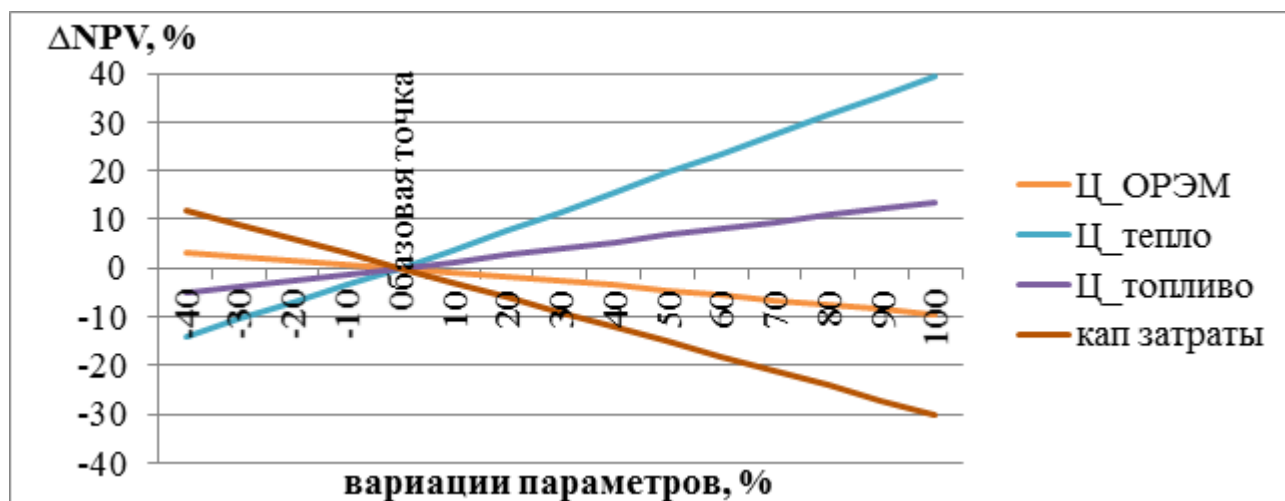


Рисунок 7 – График чувствительности NPV проекта к изменению проектных параметров отдельных факторов (Ц_ОРЭМ – темпы роста электроэнергии на ОРЭМ, Ц_тепло – темпы роста тарифа на теплоту; Ц_топлива – темпы роста цен на топливо, кап_затраты – величина капитальных затрат)

В **заключении** приведены выводы:

1. Выполнен анализ потенциальных возможностей ВИНТ ТЭЦ-5 и ТЭЦ-21 филиала «Невский» ОАО «ТГК-1» с учетом технологических схем и режимов работы основного и вспомогательного оборудования. Установлено, что использование воды технического водоснабжения в качестве ВИНТ для ТНУ позволяет устанавливать тепловые насосы широкого диапазона мощности с отпуском теплоты до 43 Гкал/ч.
2. Разработана методика для анализа возможности внедрения ТНУ в состав технологической схемы с учетом режимов работы ТЭЦ. На ее основе разработаны схемные решения, повышающие эффективность процесса когенерации на ТЭЦ. В открытых системах теплоснабжения предлагается применение ТНУ большой мощности для подогрева подпиточной воды теплосети перед деаэрационными установками.

3. Разработаны имитационные модели тепловых схем ТЭЦ-5 и ТЭЦ-21 филиала «Невский» ОАО «ТГК-1», учитывающие режимы основного и вспомогательного оборудования при включении ТНУ на различных участках схем.
4. Произведена сравнительная оценка влияния вариантов использования теплоты, произведенной ТНУ различных мощностей, на эффективность режимов работы ТЭЦ. Вариант использования теплоты для дополнительного отпуска ее потребителю является предпочтительным. Наибольшую экономичность показала схема использования ТНУ большой мощности (отпуск теплоты 43 Гкал/ч) для ТЭЦ-5. Экономия условного топлива при использовании такой схемы составит до 2% от суммарного годового расхода топлива на ТЭЦ, снижение удельных расходов условного топлива на выработку электроэнергии и отпуск теплоты достигает 3,7 гут/кВт·ч и 5,4 кгут/Гкал соответственно.
5. Произведена оценка экономической эффективности включения ТНУ в схему ТЭЦ. Наименьшие сроки окупаемости получили три варианта применения ТНУ для дополнительного отпуска теплоты потребителю: использование ТНУ большой мощности на ТЭЦ-5 – 1,76 лет, использовании ТНУ малой мощности для подогрева подпиточной воды собственных и хозяйственных нужд на ТЭЦ-5 – 2,44 лет, использование ТНУ большой мощности на ТЭЦ-21 – 2,42 лет.
6. Произведен анализ чувствительности предложенных схем по четырем факторам рисков: изменению темпов роста цен электроэнергии на ОРЭМ; изменению темпов роста тарифа на теплоту; изменению темпов роста цен на топливо и увеличению капитальных затрат. Выявлено, что вариант использования ТНУ большой мощности в составе ТЭЦ-5 для дополнительного производства теплоты является наиболее устойчивым к рискам. Выявлено, что наиболее существенными факторами, определяющим эффективность проекта, являются изменение темпов роста тарифа на теплоту и увеличение капитальных затрат.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.

В перечне периодических научных изданий, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ:

1. Использование тепловых насосов в технологических схемах генерации тепловой энергии ТЭЦ/ И.Д. Аникина, В.В. Сергеев, Н.Т. Амосов, М.Г. Лучко // Альтернативная энергетика и экология. - 2016. - №3-4 (191-192). – С.39-49.
2. Тепловые насосы в схемах деаэрации подпиточной воды ТЭЦ/ И.Д. Аникина, В.В. Сергеев, Н.Т. Амосов, М.Г. Лучко //Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2016. - № 2 (243). – С. 24–33.

3. Применение тепловых насосов для повышения энергоэффективности паросиловых ТЭС/ И.Д. Аникина, В.В. Сергеев//Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2013. - № 3 (178). – С. 56–61.

В трудах конференций:

4. Использование тепловых насосов для повышения энергоэффективности и энергосбережения/ И.Д. Аникина, В.В. Сергеев// XL неделя науки СПбГПУ: материалы международной научно-практической конференции. Ч.Ш. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2011. – С. 126-127.

5. Использование тепловых насосов для повышения энергоэффективности и энергосбережения паросиловых ТЭС/ И.Д. Аникина, В.В. Сергеев// XLI неделя науки СПбГПУ: материалы международной научно-практической конференции. Ч.Ш. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2012. – С. 124-125.

6. Повышение эффективности процесса когенерации на тепловых электрических станциях с использованием теплонасосных установок/ И.Д. Аникина// Эффективная энергетика – 2015: материалы научно-практической конференции. – СПб.: Изд-во Политехнич. ун-та. – 2015 – С. 7-14.

7. Анализ эффективности использования в тепловой схеме ТЭЦ тепловых насосов большой мощности/ И.Д. Аникина, Н.Т. Амосов// Неделя науки СПбПУ: материалы форума с международным участием. Институт энергетики и транспортных систем. Часть 1. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та. – 2015 – С. 163-165.

8. Использование методов имитационного моделирования для повышения эффективности ТЭЦ/ И.Д. Аникина, Н.Т. Амосов// Неделя науки СПбПУ: материалы форума с международным участием. Институт энергетики и транспортных систем. Часть 1. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та. – 2015 – С. 182-184.

В государственном реестре программ для ЭВМ:

9. Программа обработки результатов тепловых и гидравлических испытаний сетевых подогревателей/ И.Д. Аникина, В.В. Сергеев// Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611305, 29 января 2016г.