ОТЗЫВ

официального оппонента **Ларина Евгения Александровича**, кандидата технических наук, доцента, профессора кафедры «Тепловая и атомная энергетика» Института энергетики и транспортных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» на диссертационную работу Цибульского Станислава Анатольевича на тему: «Совершенствование тепловой схемы утилизационной парогазовой установки с целью повышения эффективности генерации электрической энергии», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические схемы и агрегаты»

1. Актуальность выбранной темы

Диссертационная работа Цибульского С.А. посвящена решению актуальной проблемы современной теплоэнергетики - разработке методов и способов повышения тепловой и топливной эффективности производства электрической энергии путем создания и применения новых высокоэффективных комбинированных теплоэнергетических установок, оптимизации их тепловых схем и параметров рабочих тел, обеспечения требуемых режимных характеристик и надежности энергообеспечения потребителей. Одним из направлений решения этой проблемы является усложнение тепловых схем теплоэнергетических установок путем создания комбинированных систем, повышения начальных параметров рабочих тел, применения новых технических и технологических решений.

Сформулированные автором проблема совершенствования тепловых схем высокотемпературных утилизационных структурно сложных парогазовых установок и задачи исследования рациональных схем и параметров рабочих тел высокотемпературных парогазовых установок, выполненных по сложным схемам, безусловно являются актуальными для современной теплоэнергетики и направлены на решение проблемы достижения целей энергетической политики государства по повышению энергоэффективности производства электрической и тепловой энергии.

2. **Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций**

Цели и задачи, сформулированные диссертантом в процессе исследования, достигнуты. Положения, выносимые на защиту, подтверждены результатами исследования и в достаточной степени апробированы. Достоверность полученных в работе результатов исследования определяется использованием современных математических методов термодинамического анализа предложенных автором тепловых схем и основного оборудования тригенерационных ПГУ, принятых автором допущений, вычислительного программного обеспечения и подтверждается их достаточно хорошей сходимостью с известными исследованиями.

В частности, разработанные автором методики термодинамического анализа предложенных структурно сложных схем тригенерационных ПГУ, математические зависимости, являющиеся неотъемлемой частью предлагаемых методов оценки термодинамической эффективности, а также конструктивные и параметрические исследования систем отвода теплоты, получены автором с использованием различных методов термодинамического, математического и инженерного анализа.

Представленные в диссертационной работе результаты исследований докладывались и обсуждались на Всероссийских и международных научных конференциях, в достаточной степени опубликованы в рецензируемых журналах из списка ВАК, международных изданиях, цитируемых базами данных «Scopus» и «Web of Science». Это позволяет сделать вывод о достаточной апробации, обоснованности и достоверности полученных результатов и научных положений, выносимых на защиту.

3. **Научную ценность и новизну диссертационной работы составляют следующие результаты проведенных исследований, полученных лично соискателем**

Проведен термодинамический анализ предложенных автором структурно сложных тригенерационных парогазовых установок на базе высокотемпературных ГТУ, паротубинного и утилизационного энергетического контура с использованием низкокипящих рабочих тел и воздушных систем отвода теплоты. Разработаны аналитические выражения для расчета показателей термодинамической эффективности предложенных схем тригенерационных парогазовых установок.

Автором разработана методика расчета конструктивных характеристик воздушных систем охлаждения с развитой поверхностью теплообмена при

использованием различных рабочих тел утилизационного энергетического контура на низкокипящих рабочих телах.

Разработана методика и выполнены теоретические и расчетно-аналитические исследования по расчету и оптимизации параметров и показателей термодинамической эффективности тригенерационных комбинированных установок с учетом влияния климатических факторов и условий размещения исследуемых ПГУ.

4. **Оценка содержания и оформления диссертации**

Диссертация изложена на 149 страницах машинописного текста, состоит из 5 глав, списка использованной литературы из 191 наименования отечественных и зарубежных источников.

Текст диссертации написан лаконично. Все положения, выносимые на защиту, в достаточной степени обоснованы теоретически и подтверждены расчетными исследованиями.

Введение включает в себя обоснование актуальности и подтверждение степени разработанности выбранной темы, цель и задачи исследования, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, положения, выносимые на защиту. В этом разделе автору следовало сформулировать положения в обоснование соответствия работы паспорту заявленной специальности.

В первой главе представлен обзор литературных источников, включая работы отечественных и зарубежных авторов по исследуемой тематике. Проведен анализ путей повышения термодинамической эффективности парогазовых установок, в том числе за счет применения тригенерационных установок с применением низкокипящих рабочих тел. На основе этого автором обосновано применение органических рабочих тел для создания тригенерационных установок. Проведен анализ основных технических проблем создания воздушных конденсаторов в исследуемых районах размещения. Установлено отсутствие единых методов оценки термодинамической и технико-экономической эффективности рассматриваемых комбинированных установок.

Во второй главе предложены принципиальные тепловые схемы и разработаны основные методические положения расчета показателей термодинамической эффективности комбинированных тригенерационных установок с различными вариантами подогрева конденсата органического рабочего тела. Разработана методика расчета характеристик воздушных конденсаторов, позволяющая учитывать влияние климатических факторов, конструктивных характеристик теплообменной поверхности и скорости охлаждаемого воздуха на требуемую поверхность охлаждения воздушного

конденсатора. Кроме того, приведена методика комплексного расчета показателей термодинамической и энергетической эффективности тригенерационных установок.

Изложенные методические положения использованы в практических оптимизационных расчетах эффективности тригенерационных ПГУ.

Третья глава посвящена параметрическим исследованиям предложенных тригенерационных схем ПГУ на базе высокотемпературных ГТУ типа GE 9HA.02 на базе разработанных методических положений. Исследовано влияние основных параметров рабочих тел утилизационного контура на показатели термодинамической эффективности предложенных схем ПГУ. Результатом расчетно-теоретических исследований является вывод автора о термодинамическом преимуществе схемы с регенеративным подогревом основного конденсата органического рабочего тела перед котлом-утилизатором по сравнению с вариантом рециркуляции теплоты в цикле органического рабочего тела. Расчетно - теоретическими исследованиями установлено оптимальное значение конечного давления пара после паровой турбины в диапазоне 0,20-0,25 МПа. Кроме того, выявлено влияние начального давления пара на показатели эффективности исследуемых установок.

В четвертой главе представлены результаты параметрических исследований воздушного конденсатора в составе исследуемых установок. Выявлено влияние условий воздушного охлаждения рабочих тел утилизационного контура на различных рабочих телах на конструктивные характеристики воздушного конденсатора. Установлено, что выбор вида рабочего тела, скорости и расчетные температуры охлаждающего воздуха при проектировании воздушного конденсатора оказывают определяющее влияние на капитальные вложения в систему охлаждения и технико-экономические показатели. Выявлено, что пентан, R245ca и R365mfc обладают наилучшими термодинамическими и термофизическими характеристиками конденсации в воздушном конденсаторе в рассмотренных реальных климатических условиях эксплуатации ПГУ.

В пятой главе диссертации изложены результаты расчетно-теоретических исследований параметров и характеристик тригенерационных установок на базе газотурбинной установки типа GE 9HA.02. Автором показано, что для реальных климатических условий северных районов страны наиболее эффективным является использование в качестве рабочего тела третьего контура установки. Установлено, что применение фреона R365mfc приводит к повышению суммарной мощности комбинированной установки и его КПД.

Определены условия эффективного с точки зрения КПД и мощности использования исследуемых тригенерационных установок.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации

Методические положения диссертационной работы в достаточной степени апробированы. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 17 печатных изданиях, в их числе 4 статьи опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ.

5. Оценка содержания автореферата

Автореферат написан последовательно, в нем изложены все основные положения диссертационной работы, которые полностью воспроизводят основной текст и выводы, дают достаточную информацию о защищаемых положениях и их обоснованности.

6. Замечания к работе

1. На стр. 39 диссертации приведена зависимость внутреннего относительного КПД паровой турбины без ссылки на источник (формула 2.1.3.10). Известно, что величина внутреннего относительного КПД паровой турбины зависит от параметров и удельного объема пара. В связи с этим величина внутреннего относительного КПД турбины в исследуемом диапазоне начального давления пара существенно зависит от начальных параметров пара перед турбиной.

Кроме того, из формулы (2.1.3.11) неясно, как рассчитывалась величина коэффициента, учитывающего влажность пара.

2. На стр. 27 в разделе 1.5 изложены методические положения определения косвенных погрешностей в тепловых расчетах исследуемых ПГУ. Однако далее в работе эти положения не использованы.

3. В разделе 5.2.2. диссертации рассмотрены вопросы режимов работы ПГУ с трехконтурным котлом-утилизатором при различных температурах наружно воздуха. При этом электрическая мощность ГТУ принята постоянной. В работе не указано, каким образом осуществляется постоянство мощности ГТУ и как изменяются расход продуктов сгорания и температуры газов до и после ГТУ.

4. На стр. 37-42 изложены общеизвестные положения методики расчета тепловой схемы паротурбинной установки. Без ущерба к содержанию диссертации этот раздел следовало изложить в приложении.

5. На стр. 14 допущены некорректные выражения: «… холодное тепловое хранилище…», «…. паровой впрыск в камеру сгорания с целью повышения начальной температуры газов ГТУ.».

Несмотря на указанные замечания, диссертация выполнена на высоком уровне, отличается научной новизной и практической значимостью, является завершенной научно-квалификационной работой, направленной на решение важной проблемы разработки научных основ, методов расчета, выбора и оптимизации параметров, показателей качества и режимов работы агрегатов, систем и тепловых электростанций в целом, имеющей существенное значение для повышения эффективности генерации электрической энергии.

7. Заключение

Диссертационная работа Цибульского Святослава Анатольевича «Совершенстовавние тепловой схемы утилизационной парогазовой установки с целью повышения эффективности генерации электрической энергии» соответствует п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические схемы и агрегаты».

Официальный оппонент
кандидат технических наук
(05.14.01 – «Общая энергетика»),
доцент, профессор кафедры «Тепловая и
атомная энергетика» Института
энергетики и транспортных систем
ФГБОУ ВО «Саратовский
государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А.»

Ларин Евгений Александрович

06.12.2018.

Адрес: Российская Федерация,
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.»
Тел./Факс +7 (845) 299-87-48 / +7 (845) 299-87-48
E-mail: la

Подпись Ларина Е. А. заверяю:
Ученый секретарь Ученого совета СГТУ имени Гагарина Ю.А.

Салтыкова Ольга Александровна

Тел. 88452 998779
E-mail: salty