

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»

___ В.К. Драгунов

« 5 » 11 2018 года

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

на диссертационную работу Цибульского Святослава Анатольевича

«Совершенствование тепловой схемы утилизационной парогазовой установки с

целью повышения эффективности генерации электрической энергии»,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты

На отзыв представлена диссертационная работа, состоящая из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, использованной литературы и приложений. Работа изложена на 149 страницах машинописного текста, включая 40 рисунков, 20 таблиц.

Актуальность диссертационной работы.

На современном этапе развития мировой энергетики остро стоит вопрос снижения потребления всех видов энергетических ресурсов, что ведет к необходимости совершенствования энергетических установок. Главным направлением их совершенствования является повышение КПД, надежности и маневренности, а также снижение вредного воздействия на окружающую среду.

Наиболее высокие КПД в настоящее время получены на утилизационных ПГУ, где объединены два цикла – цикл ГТУ, в котором рабочим телом являются смесь воздуха и продуктов сгорания углеводородного топлива, и цикл ПТУ, где рабочим телом является вода (пар). Но применение воды (пар) в качестве рабочего тела цикла ПТУ ограничивает

температуру отвода теплоты в конденсаторе, не позволяя снизить ее ниже 20 °С даже в зимнее время, когда температура наружного воздуха может быть значительно ниже 0 °С, особенно для северных районов России. Поэтому единственным путем увеличения КПД таких ПГУ является увеличение температуры подвода тепла в камере сгорания ГТУ, что ограничивается современными конструкционными материалами.

В работе Цибульского С.А. решается задача повышения экономичности ПГУ утилизационного типа путем снижения температуры отвода тепла за счет применения органических рабочих тел в комплексе с воздушным конденсатором, что позволяет надежно отводить теплоту в конденсаторе при температурах до -40 °С и ниже. Применение воздушных конденсаторов также сокращает использование воды на ТЭС и улучшает экологическую обстановку в районе ее расположения. В связи с тем, что органические рабочие тела имеют низкую температуру разрушения, на уровне 300 °С, диссертантом рассматривается схема ПГУ с циклами на трех рабочих телах: цикл ГТУ работает на продуктах сгорания природного газа; верхний цикл ПТУ на водяном паре, а нижний цикл на органическом рабочем теле.

Анализ диссертационной работы по содержанию, цели, задачам и методам их решения показывает, что она соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации: «8. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика», а также критической технологии: «27. Технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе».

Общая характеристика работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, указана степень проработки темы исследования. На основе этого сформулированы цель и основные задачи исследований, выносимые на защиту положения, характеризующие научную новизну, практическую значимость. Обозначены методы и направления исследований.

В первой главе выполнен анализ опубликованных результатов по теме диссертации, выполнен обзор наиболее значимых современных теоретических и экспериментальных работ по исследованию и совершенствованию ПГУ, свойств рабочих веществ для цикла Ренкина, особенностей конструкции и способов повышения теплообмена в воздушном конденсаторе.

Во второй главе сформулированы и предложены: методика расчета парогазовой установки с циклами на трех рабочих телах, методика расчета воздушного конденсатора,

методика комплексного расчета системы ПГУ-ВК; произведен теоретический анализ по обоснованию тепловой эффективности ПГУ с циклами на трех рабочих телах; выведено уравнение, позволяющее оценить КПД такой ПГУ и определить пути ее совершенствования; представлены тепловые схемы ПГУ с циклами на трех рабочих телах с различными схемами подогрева конденсата перед экономайзером низкого давления.

В третьей главе приведены результаты параметрических исследований парогазовой установки с циклами на трех рабочих телах с двумя вариантами подогрева конденсата органического рабочего тела перед котлом-утилизатором по составленной методике, получены и проанализированы зависимости абсолютного электрического КПД ПГУ брутто и нетто, электрической мощности ПГУ брутто и нетто от начального и конечного давлений водяного пара, от температуры конденсации органического рабочего тела в воздушном конденсаторе.

В четвертой главе выполнены параметрические исследования, проведенные с помощью методики расчета воздушного конденсатора при конденсации в нем различных рабочих веществ, получены графические зависимости массовых и объемных расходов теплоносителей, количества секций и коэффициента теплопередачи воздушного конденсатора от скорости и температуры охлаждающего воздуха; построена и проанализирована зависимость аэродинамического сопротивления секции от скорости воздуха.

В пятой главе выполнены параметрические исследования для системы ПГУ-ВК и получены зависимости абсолютного электрического КПД нетто и брутто, электрической мощности ПГУ брутто и нетто, электрической мощности ЦНД от температуры охлаждающего воздуха. Проведено сравнение экономичности и выработки электроэнергии ПГУ-ВК и ПГУ с трехконтурным КУ и промежуточным перегревом в климатических условиях г. Сургут. Построены и проанализированы зависимости мощности, КПД и выработки электроэнергии на данных ПГУ от среднемесячных температур г. Сургут.

В заключении приводятся основные результаты и выводы, полученные в данной работе.

Научная новизна

1. Впервые выведено уравнение зависимости КПД ПГУ с циклами на трех рабочих телах от КПД отдельных ее элементов и КПД теплообменников.
2. Разработаны тепловые схемы ПГУ с циклами на трех рабочих телах, в которых конденсация органического рабочего тела производится в воздушном конденсаторе.

3. Уточнены методики расчета двух тепловых схем утилизационной ПГУ с учетом циклов на трех рабочих телах. Тепловые схемы отличаются способом подогрева конденсата ОРТ перед экономайзером низкого давления – с помощью регенеративного подогрева конденсата в смешивающем подогревателе и с помощью рециркуляции конденсата. Показано, что регенеративный подогрев конденсата в смешивающем подогревателе более эффективен, чем рециркуляция.

4. С учетом литературного анализа исследований по теплообмену в оребренном трубном пучке, при омывании его холодным воздухом, уточнена методика расчета воздушного конденсатора при конденсации в нем разных видов органических рабочих тел.

5. Разработана методика расчета комплекса ПГУ-ВК, которая позволила провести параметрические исследования с изменением режимных параметров воздушного конденсатора и параметров циклов бинарной паротурбинной установки, а также определить наиболее эффективное органическое рабочее тело для нижнего цикла.

Практическая значимость работы

Создан программный продукт, который реализует методику расчета воздушного конденсатора, предназначенный для проектирования промышленных воздушно-конденсационных установок и может использоваться учебными, научными, промышленными и проектными организациями.

Разработана и апробирована методика расчета тепловой схемы утилизационной парогазовой установки с циклами на трех рабочих телах. Методика реализована в виде программного продукта в среде MS Office Excel с подключенной базы данных веществ REFPROP, в которой заложена информация для подробного расчета схем утилизационных парогазовых установок с циклами на трех рабочих телах. Программный продукт, реализующий методику расчета ПГУ в комплексе с воздушным конденсатором, позволяет решать задачи по определению технико-экономических показателей работы парогазовой установки в зависимости от режимных параметров при конденсации различных органических веществ с учетом температуры наружного воздуха.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов и выводов определяется применением базовых физических законов и уравнений термодинамики. Параметрические исследования выполнены с помощью численных расчетов при использовании компьютерной техники, программного обеспечения и общепринятых методов вычислений. Методики расчетов

включают в себя основные уравнения материальных и тепловых балансов, тепло- и массопередачи в элементах ВК, КУ, турбинах, испарителе ОРТ и прочих теплообменных аппаратах. Численные расчеты проводились итерационными методами с погрешностью, не превышающей 0,5 %. Погрешность при расчете на основе критериальных уравнений не превышала 10 %. Основные результаты диссертации неоднократно обсуждались на профильных конференциях и были опубликованы в рецензируемых технических журналах.

Результаты работы изложены в 15 печатных изданиях: из них, 4 – статьи в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы научные результаты на соискание ученой степени кандидата наук, 2 – публикации в журнале, индексируемом в базах данных Scopus, Web of Science, 11 – публикаций в сборниках материалов конференций, индексируемых в базах данных Scopus, Web of Science, 15 – докладов на Всероссийских и международных научно-технических конференциях, 1 – зарегистрированный программный продукт.

Соответствие паспорту специальности 05.14.14

Диссертационная работа и автореферат соответствуют паспорту специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты», по следующим пунктам:

ПЗ. «Разработка, исследование, совершенствование действующих и освоение новых технологий новых технологий производства электрической энергии и тепла, использования топлива, водных и химических режимов, способов снижения влияния работы тепловых электростанций на окружающую среду».

Соответствие содержания диссертационной работы специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты, по которой она представлена к защите, подтверждается апробацией работы, ее научной новизной и практической значимостью.

Замечания по диссертации и автореферату

1. Представленный в работе обзор научной литературы по парогазовым установкам занимает всего 2 страницы и в нем нет анализа достоинств и недостатков ранее выполненных исследований.

2. При расчете тепловых схем не учтено влияние различных факторов (температуры наружного воздуха, высоты над уровнем моря, качества топлива, влажности воздуха, высоты над уровнем моря, сопротивлений на входе и выходе ГТУ) на изменение

характеристики ГТУ (мощность, КПД, температура за ГТУ и пр.). Все расчеты выполнены для характеристик ГТУ для условий ISO. Такой подход снижает достоверность полученных результатов.

3. При исследовании вариантов ПТУ не учитывались работы антиобледенительной системы (АОС), что значительно влияет на характеристики ГТУ, особенно в условиях г. Сургут.

4. Приведенная в тексте диссертации формула 3.1.2 (стр. 30) неверна, т.к. необходимо было дать внутреннюю мощность ГТУ ($N_{i \text{ ГТУ}}$), а не электрическую. В результате неточны формулы, приведенные в текстах диссертации (№3.112, стр. 31) и автореферате (№1, стр. 8).

5. В работе не приведено влияние применения органических рабочих тел (ОРТ) в тепловой схеме на экологические характеристики парогазовых энергоблоков.

6. В работе не проработаны вопросы защиты от утечек ОРТ в соответствующих отсеках турбин.

7. В приложениях 1 и 3 диссертации в формулах определения мощностей насосов и дутьевых вентиляторов отсутствует их КПД.

8. В тексте диссертации имеется достаточно много опечаток, неточностей (стр. 31, 37, 38, 121, 135 и др.). Имеются неточности в терминологии ряда характеристик (КПД, мощности).

Указанные замечания не снижают положительной оценки работы.

Заключение

Несмотря на изложенные выше замечания, диссертационную работу Цибульского Святослава Анатольевича на тему **«Совершенствование тепловой схемы утилизационной парогазовой установки с целью повышения эффективности генерации электрической энергии»** следует признать завершенной научно-квалификационной работой, имеющую актуальность, научную новизну и практическую ценность. Поставленные задачи в диссертационной работе раскрыты достаточно полно и последовательно, выводы и рекомендации обоснованы параметрическими исследованиями. Новые научные результаты, полученные автором, имеют существенное значение в развитии научной и практической деятельности. Автореферат полностью отражает содержание диссертации и соответствует требованиям ВАК при Министерстве образования и науки Российской Федерации.

Диссертация обладает внутренним единством, поставленные задачи решены в полной мере. Результаты, полученные в диссертации, достаточно обоснованы и

апробированы. Автореферат соответствует содержанию диссертации и содержит основную информацию и выводы по работе.

Содержание диссертации полностью соответствует специальности 05.14.14 Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты и отвечает требованиям п. 9 положения «О порядке присуждении учёных степеней» (утверждённым постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842) ВАК РФ.

На основе изложенного можно считать, что автор диссертационной работы Цибульский Святослав Анатольевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты».

Диссертация, автореферат и отзыв обсуждены на заседании кафедры «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО НИУ МЭИ (протокол № 4/18 от 06 ноября 2018 года).

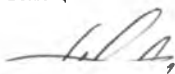
В голосовании приняло участие 24 человек, из них проголосовало «За» 24, «Против» - нет, «Воздержалось» - нет.

Первый заместитель заведующего кафедрой

Тепловые электрические станции

НИУ «МЭИ»

к.т.н. доцент



Дудолин Алексей Анатольевич

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»:

111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, д. 17,

сайт: <http://mpei.ru>, e-mail: TESmpei@gmail.com, рабочий телефон: +7495 362-71-57

Сведения о лице, утвердившем отзыв ведущей организации на диссертацию

Драгунов Виктор Карпович – Проректор по научной работе, ФГБОУ ВО НИУ

«МЭИ», доктор технических наук, доцент

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»:

111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, д. 17,

сайт: <http://mpei.ru>, e-mail: DragunovVK@mpei.com, рабочий телефон: +7495 362-77-22