

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.310.02,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 19 сентября 2023 г., № 9

О присуждении Марьину Георгию Евгеньевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Прогнозирование энергетических характеристик оборудования ТЭС при работе на топливном газе различного компонентного состава» по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы принята к защите 14 июня 2023 г., протокол № 5 диссертационным советом 24.2.310.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Казанский государственный энергетический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, приказ № 1181/нк от 12.10.2022 г.

Соискатель Марьин Георгий Евгеньевич, 2 июня 1988 года рождения, в 2011 году окончил ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет», диплом магистра с отличием № ОН №00063.

В 2015 году окончил очную аспирантуру при ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,

Марьин Георгий Евгеньевич работает в должности старшего машиниста энергоблоков цеха парогазовых установок филиала АО «Татэнерго» Казанская ТЭЦ-2, старшего преподавателя кафедры «Энергетическое машиностроение» в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Энергетическое машиностроение» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук Титов Александр Вячеславович, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», кафедра «Энергетическое машиностроение», доцент.

Официальные оппоненты:

1. **Бакиров Федор Гайфуллович**, доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», кафедра Авиационной теплотехники и теплоэнергетики, профессор;

2. **Трещёва Милана Алексеевна**, кандидат технических наук ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», высшая школа атомной и тепловой энергетики, доцент.

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов, в своем положительном заключении, подписанном проректором по науке и инновациям, доктором химических наук, профессором Остроумовым Игорем Геннадьевичем, доктором технических наук, профессором Николаевым Юрием Евгеньевичем, доктором технических наук, доцентом Байрамовым Артемом Николаевичем, доктором технических наук, профессором Кулешовым Олегом Юрьевичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Тепловая и атомная энергетика имени А.И. Андрющенко» Соколовым Андреем Анатольевичем, **указала**, что поставленные в диссертационной работе задачи решены, цель работы достигнута. Выводы и рекомендации обоснованы применением опробованных расчетных методик и методов математического моделирования. Новые научные результаты, полученные автором, имеют существенное значение для повышения эффективности функционирования энергетических систем за счет использования альтернативных видов топлива.

Теоретические результаты могут найти применение на предприятиях топливно-энергетического комплекса при переходе на альтернативные топлива (водород, метан, синтез-газ). Представленная к защите диссертация отвечает требованиям п.9-11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 20 сентября 2013г. №842 (в актуальной редакции), а её автор – Марьин Георгий Евгеньевич заслуживает присуждения научной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы.

Соискатель имеет 33 опубликованные работы по теме диссертации общим объёмом 8,4 печатных листа и авторским вкладом 4,67 печатных листа; работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных SCOPUS / Web Of Science – 10, объёмом 2,62 печатных листа и авторским вкладом 1,52 печатных листа; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по специальности диссертации 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы – 7, объёмом 4,68 печатных листа и авторским вкладом 2,65 печатных листа; опубликованных в материалах и тезисах международных научных конференций – 16, общим объёмом 1,1 печатных листа и авторским вкладом 0,5 печатных листа.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Марьин Г. Е. Критерии выбора составов топлив при их сжигании в газотурбинных установках с незначительными переделками топливной системы / Г. Е. Марьин, Б. М. Осипов // Вестник Иркутского государственного технического университета – 2020. – Т. 24. – № 2(151). – С. 356-365.

2. Марьин Г. Е. Влияние состава топлива на энергетические параметры газотурбинной установки / Г. Е. Марьин, Б. М. Осипов, П. Зунино, Д. И. Менделеев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22. – № 5. – С. 41-51.

3. Менделеев Д. И. Показатели режимных характеристик парогазового энергоблока ПГУ-110 МВт на частичных нагрузках / Д. И. Менделеев, Г. Е. Марьин, А. Р. Ахметшин // Вестник Казанского государственного энергетического университета – 2019. – Т. 11. – № 3(43). – С. 47-56.

4. Марьин Г. Е. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем / Г. Е. Марьин, Б. М. Осипов, А. В. Титов, А. Р. Ахметшин // Альтернативная энергетика и экология – 2023. – № 1– С. 23-35. – DOI 10.15518.

5. Marin G. E. Simulation of the operation of a gas turbine installation of a thermal power plant with a hydrogen fuel production system/ B.M.Osipov, A.V.Titov, A.R. Akhmetshin // International Journal of Hydrogen Energy. 2023. 48(12), pp. 4543-4550.

На диссертацию и автореферат поступило **11** отзывов, все положительные. В **9** отзывах содержатся следующие замечания:

1) В отзыве кандидата химических наук, доцента кафедры «Реактивные двигатели и энергетические установки» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ» (г. Казань) **Александрова Юрия Борисовича** имеется замечание:

- На стр.7 автореферата указаны погрешности аппроксимации, однако не понятно проценты это или доли. Если доли, то значение 2.4 является очень высокой погрешностью.

- Недостоверная входная информация приводит к погрешности математической модели, в связи с этим было выявлено влияние отдельных параметров на общую точность определения ключевого определяемого параметра – генерируемой мощности? Возможно точность ввода некоторых параметров не является ключевым моментом для общей точности математической модели.

-Верно ли полагать на основании рис.3 автореферата, что при одном и том же режиме работы установки, например, при мощности 25 МВт, добавление 5% водорода в топливо увеличит мощность на 40 МВт до

значения 65 МВт?

2) В отзыве кандидата технических наук, доцента кафедры «Инженерная экология» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет (г. Казань) **Дряхлова Владислава Олеговича** имеются вопросы и замечания:

- Из автореферата не ясно, возможно ли применить разработанную методику исследования влияния компонентного состава топливного газа ГТУ.

- Почему процент добавления водородного топлива к природному газу равен 5%.

3) В отзыве доктора технических наук, профессора кафедры «Энергетики» Филиал ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском (г. Волжск) **Иваницкого Максима Сергеевича** имеются вопросы и замечания:

- Не указано, каким образом на основе полученных в работе результатов решается задача прогнозирования энергетических характеристик оборудования ТЭС

- Требуют более детального анализа и пояснения расчета, представленного на стр.14 автореферата, которые, несомненно, вносят значимый вклад в результаты исследования.

- Из автореферата не ясно, в чем заключается разработка математической модели рабочих процессов проточной части энергетической газотурбинной установки на примере *General Electric 6FA*?

4) В отзыве доктора технических наук, главного научного сотрудника, руководителя Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределенной энергетики ФГБУН «Институт энергетических исследований Российской академии наук» (г. Москва) **Илюшина Павла Владимировича** имеются вопросы и замечания:

- В главе 1 не рассмотрено влияние использования топливного газа различного компонентного состава на техническое состояние ГТУ, что

существенно влияет на полный ресурс ГТУ и ресурс до капитального ремонта.

- В главе 3 не оценено влияние изменения состава топливного газа на срабатывание технологических защит ГТУ в различных режимах ее работы, особенно при переменных нагрузках, что может привести к ее отключению.

- Из автореферата неясно, в чем разработки соискателя отличаются от результатов исследований зарубежных ученых, включая специалистов компании General Electric, занимающихся исследованиями в данной научной области.

5) В отзыве кандидата технических наук, заместителя главного конструктора службы главного конструктора ПАО «ОДК-Сатурн» (г. Ярославль) **Поткина Андрея Николаевича** имеются вопросы замечания:

- В автореферате не достаточно подробно представлены результаты подтверждения достоверности математического моделирования экспериментальными исследованиями.

- В качестве дополнительного примера при разработке и верификации математической модели, позволяющей производить оценку изменений рабочих параметров ГТУ, рекомендуется рассмотреть работу установки отечественного производства.

- С целью оценки ресурсных показателей ГТУ необходимо учитывать изменение параметров температурной неравномерности газа на входе в турбину при изменении компонентного состава топлива.

6) В отзыве кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Энергообеспечение предприятий» ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» (г. Йошкар-Ола) **Медякова Андрея Андреевича** имеются следующие замечания:

- В тексте автореферат в приведенных формулах и пояснений к ним не указаны единицы измерения коэффициентов и физических величин.

- Из текста главы 5 автореферата не очевидно, влияет ли добавление

водорода к природному газу на КПД газовой турбины при увеличении мощности турбины.

7) В отзыве кандидата технических наук, и.о. начальника отдела инженерного анализа службы главного конструктора АО «КМПО» (г. Казань), **Саховского Алексея Владимировича** имеется замечание:

- В автореферате не показано, при каком давлении происходит подача водородного топлива в камеру сгорания ГТУ.

8) В отзыве доктора технических наук, доцента, доцента кафедры «Гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (г. Москва) **Суслова Константина Витальевича** имеются вопросы замечания:

- На рис.2 автореферата показано изменение расхода воздуха в зависимости от мощности газовой турбины. Почему расход воздуха совпадает для разных видов топлива?

- Почему в работе не рассмотрено метано-водородное топливо?

9) В отзыве кандидата технических наук, заведующего лабораторией подготовки и сжигания топлив ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова» (г. Санкт-Петербург), **Шестакова Николая Сергеевича** имеются замечания:

- В работе не чётко указаны требования к системе топливоподачи, при использовании нестандартных топлив;

- В выводах диссертации не содержатся граничные условия по предельным значениям концентрации водорода в используемых топливах на конкретных газотурбинных установках;

- Не содержатся данные по использованию низкокалорийных топлив, содержащих водород (к примеру доменный газ) – это проблема может быть предложением работы в будущем.

10) В отзыве кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Теплоэнергетика и холодильные машины» ФГБОУ ВО

«Астраханский государственный технический университет» (г. Астрахань), **Ильина Романа Альбертовича** замечания отсутствуют.

11) В отзыве кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Промышленная теплоэнергетика» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» (г. Челябинск), **Осинцева Константина Владимировича** замечания отсутствуют.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** их известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Официальный оппонент Бакиров Федор Гайфуллович, доктор технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергетические установки летательных аппаратов», занимается фундаментальными и прикладными исследованиями в области газотурбостроения, исследованиями режимов работы газовых турбин в различных условиях, имеет соответствующие публикации.

Официальный оппонент Трещёва Милана Алексеевна, кандидат технических наук по специальности 05.14.14. «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты», занимается исследованиями по оптимизации режимов работы парогазовых установок на тепловых электрических станциях, имеет соответствующие публикации.

Ведущая организация - федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов, занимается научной деятельностью по приоритетным направлениям развития науки и технологии. Научно-исследовательская деятельность кафедры «Тепловая и атомная энергетика им. Андрющенко» и кафедры «Промышленная теплотехника» направлена на исследование новых теплоэнергетических установок на органическом и ядерном топливе, систем энергоснабжения



предприятий и городов, исследования в области разработки методов эффективного использования ТЭР в теплоэнергетике, теплотехнологиях и системах обеспечения жизнедеятельности промышленных предприятий и городов».

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**Предложен** алгоритм и математическая модель, позволяющие производить оценку изменений рабочих параметров энергетической газотурбинной установки с учетом термодинамических характеристик топливного газа различного компонентного состава;

**разработана** математическая модель рабочих процессов проточной части энергетической газотурбинной установки *General Electric 6FA* в составе тепловой электрической станции (ТЭС);

**предложено** научно обоснованное решение повышения энергетических характеристик газотурбинных установок, входящих в состав ТЭС путем добавления водородного топлива в систему топливоподготовки.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказана** эффективность применения разработанных моделей и алгоритма определения компонентного состава топливного газа для прогнозирования основных энергетических характеристик оборудования при проектировании и оптимизации режимов его работы;

**применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс существующих базовых методов расчета основного энергогенерирующего оборудования, в том числе методы вычислительной математики.

**изучено** влияние компонентного состава топливного газа на работу ТЭС при переменных режимах работы.

**изложены** результаты исследований повышения мощности стационарной газотурбинной установки путем добавления водородного топлива без модернизации системы топливоподготовки.

**изучено** влияние изменения индекса Воббе на работу энергооборудования ТЭС.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены** (имеется акт внедрения) алгоритмы и математические модели для исследований и прогнозирований режимов работы энергетического оборудования в составе ТЭС в процесс эксплуатации энергетического оборудования Сибур ПАО «Казаньоргсинтез» ПГУ-250 (г. Казань) и в учебный процесс ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (г. Казань).

**определен** оптимальный режим работы системы топливодготовки ТЭС при добавлении водородного топлива;

**создана** в программном комплексе «Автоматизированная система газодинамического расчета энергетических турбомашин» (АС «ГРЭТ») математическая модель, позволяющая прогнозировать её энергетические характеристики при использовании топлив различного компонентного состава;

**представлены** рекомендации по созданию систем подготовки и сжигания природного газа при ухудшении его качества на тепловой электрической станции.

**Оценка достоверности результатов исследований выявила:**

**теория** не противоречит известным из литературы данным и согласуется с опубликованными теоретическими и экспериментальными работами других авторов, построена на использовании законов теплообмена, термодинамики;

**Личный вклад соискателя** состоит в непосредственном участии на всех этапах получения результатов, представленных в диссертации и публикациях, в разработке усовершенствованной модели и алгоритма расчета теплофизических параметров рабочего тела газовой турбины ТЭС, работающей на топливе различного компонентного состава, в моделировании в программном комплексе АС «ГРЭТ», в анализе и сравнении теоретических и

эксплуатационных данных, подготовке докладов, выступлений на конференциях и написании статей.

**В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:**

1. Каковы граничные условия математической модели газовой турбины и чем они обусловлены?

2. Почему водород добавляется к природному газу до 5%? Как будет влиять добавление водородного топлива на систему охлаждения камеры сгорания газовой турбины?

Соискатель Марьин Г.Е. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Математическая модель газотурбинной установки создана с учетом характеристик действующих газовых турбин. Газовая турбина работает в составе парогазового энергоблока, поэтому необходимо задаваться параметрами перед паровой турбиной: температура, давление, расход уходящих газов, расходы воздуха после газовой турбины постоянны. Температура горения топливных газов рассматривается в диапазоне от 200 до 3000К для возможности перехода на альтернативные топлива, давление топливного газа от 25 до 32 кгс/см<sup>2</sup>. Газотурбинная установка при моделировании разбита на узлы для моделирования, каждому узлу заданы граничные условия по течению газов по проточной части при моделировании.

2. При добавлении до 5% водорода к исходному природному газу не происходит изменений в системе охлаждения камеры сгорания газотурбинной установки. 5% это допустимая величина добавления водорода, при которой не происходит критических изменений в работе дожимного компрессора, системы подготовки топлива, системе фильтрации.

Диссертационный совет рекомендует использовать результаты диссертационного исследования Марьина Г.Е. в научно-исследовательских учреждениях и лабораториях, занимающихся исследованием, разработкой и эксплуатацией газовых турбин, а также в научно-образовательном процессе в

профильных высших учебных заведениях. Полученные в работе результаты могут быть использованы в ОДК «Сатурн», ОАО «КМПО», АО ТАТЭНЕРГО (г. Казань), ОАО «ТГК-16» (г. Казань), АО «МОСЭНЕРГО» (г. Москва) и других предприятиях и организациях, занимающихся производством и эксплуатацией энергетического оборудования.

На заседании 19 сентября 2023 года, протокол № 9, диссертационный совет за решение задачи прогнозирования энергетических характеристик оборудования тепловых электрических станций при работе на топливном газе различного компонентного состава, имеющей значение для повышения эффективности энергетических комплексов предприятий, принял решение присудить Марьину Г.Е. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 14, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

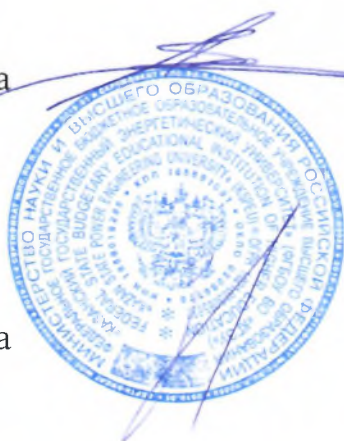
диссертационного совета

Ваньков Юрий Витальевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

Зиганшин Шамиль Гаязович



19 сентября 2023 г.

