

## ОТЗЫВ

**официального оппонента доктора технических наук, профессора Бакирова Фёдора Гайфулловича на диссертационную работу Марьина Георгия Евгеньевича на тему «Прогнозирование энергетических характеристик оборудования ТЭС при работе на топливном газе различного компонентного состава», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы».**

Диссертационная работа Марьина Георгия Евгеньевича на тему «Прогнозирование энергетических характеристик оборудования ТЭС» состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, семи приложений. Общий объем диссертации 247 страниц машинописного текста, 66 иллюстраций, 23 таблицы. Список литературы содержит 174 источника российских и зарубежных авторов.

### **Актуальность темы диссертационной работы и соответствие паспорту специальности**

В современной теплоэнергетике основные направления развития перспективной теплогенерации, а также модернизации существующих энергообъектов, связаны с широким применением газотурбинных технологий. Газотурбинные энергоустановки (ГТУ) относятся к важнейшим как в составе парогазовых технологий комбинированной выработки электроэнергии и теплоты (ПГУ – ТЭЦ), так и могут являться главным энергопреобразующим объектом на ГТУ – ТЭЦ. Во многих регионах страны, в том числе и в Республике Татарстан и Республике Башкортстан, основным топливом для энергетических ГТУ служит природный газ из магистральных трубопроводов.

Вместе с тем, стратегии научно-технологического развития страны требуют в перспективе использования и ряда других альтернативных топлив для ТЭС и ТЭЦ, таких как водород, синтез-газ, биотопливо и др. Это обусловлено, с одной стороны, целями и задачами в области энергоресурсосбережения, с другой стороны, перспективными меняющимися экологическими требованиями. Они определены целым рядом важнейших стратегических документов в сфере науки, техники, энергетики и экологии, утвержденных Указами Президента РФ, приказами и распоряжениями Правительства РФ.

Перевод ГТУ, перспективных и действующих в составе энергокомплексов станы, на альтернативные топлива, а также оцѐнка влияния изменений в составе природного газа в действующих месторождениях со

временем их эксплуатации, требуют научной и научно-технологической проработки целого ряда вопросов обеспечения надежной и эффективной работы газотурбинных энергоустановок. По этой причине тема диссертационной работы Марьина Г. Е., цели и задачи, поставленные в ней, являются весьма актуальными для энергетики страны и отдельных предприятий промышленных отраслей. Это подтверждается и тем, что интерес к этой научно-технической проблематике проявляется у ряда отечественных и зарубежных исследователей.

Достоинством выполненной работы является её комплексный характер, включающий разделы разработки усовершенствованных математических моделей и программ расчета, их идентификацию и верификацию, практическое применение программных продуктов на примере ГТУ GE 6FA, установленных на парогазовых энергоблоках Казанских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, анализы применительно к составам природного газа Уренгойских месторождений с учетом динамики их изменения в процессе эксплуатации месторождений.

Всё это позволяет констатировать, что тематика и содержание диссертации полностью соответствуют паспорту научной специальности 2.5.15 Энергетические системы и комплексы по нескольким областям исследований, входящим в паспорт этой специальности.

### **Основные научные положения диссертационной работы**

В **первой главе** диссертационной работы, которая носит обзорный характер по результатам научных исследований других авторов, рассмотрен комплекс вопросов, связанных с технологиями топливоподготовки для ГТУ ТЭС. Здесь учтены особенности взаимосвязи работы ГТУ на ТЭС с АО «СО ЕЭС», вопросы, связанные с классификацией и критериями оценки топливных газов, составом энергооборудования на ТЭЦ г. Казани, применительно к которым в конечном итоге анализируется прикладная часть диссертационной работы, методиками определения компонентного состава продуктов сгорания топлив сложного состава, известными программными комплексами для моделирования работы ГТУ и расчетов равновесного состава продуктов сгорания топлив.

На основании анализа большого перечня научных публикаций других авторов диссертантом сделан вывод о необходимости разработки методики расчета топливного газа любого компонентного состава (природный газ различных месторождений, синтез-газ различного состава, водород, биотопливо и др.), наиболее приспособленного к решению задач, характерных для энергетических ГТУ в составе ТЭС. В соответствии с этим сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

С моей точки зрения, это один из ключевых моментов диссертационной работы, так как от того, насколько удачно автору удалось это реализовать, при

наличии ряда исследований подобного рода, зависит и оценка работы в целом. Полагаю, что последующие разделы диссертации это подтвердили, определили степень её научной новизны.

Во **второй главе** диссертационной работы Марьина Г. Е. приведены наиболее важные результаты работы, определяющие её новизну. Во-первых, автором предложена усовершенствованная методика расчета равновесного состава продуктов сгорания топливных газов, более характерных для теплоэнергетики с учетом перспектив применения альтернативных топлив путем адаптации и расширения списка химических элементов по отношению к методике, разработанной коллективом авторов под руководством академика Алемасова В. Е. применительно к ракетно-космической сфере техники. Во-вторых, на основе таблиц базы данных «ИВТАНТЕРМО» сформированы аппроксимирующие полиномы для индивидуальных веществ, что существенно сокращает необходимую исходную информацию и время расчетов по программе, что важно при решении динамических задач. При этом использован диапазон температур от 200 до 1700 К. В-третьих, разработан алгоритм расчета теплофизических свойств рабочего тела ГТУ ТЭС для топливных газов с различным компонентным составом и составлением их условной формулы, что также является предложенной автором методикой.

В **третьей главе** диссертации автором применительно к разработке математической модели энергетической ГТУ обоснован и применен метод Ридж-оценок для ее идентификации и реализован в виде специальной программы. Показано, что этот метод применим при недостатке экспериментальных данных для идентификации за счет дополнения расчетными параметрами по адекватной математической модели.

В **четвертой главе** диссертации автором детально рассмотрен пример реализации результатов 2 и 3 глав в практической плоскости на примере формирования и проведения практических расчетов для энергетического ГТУ GE 6FA, установленной в ТЭЦ г. Казани. Задача формирования математической модели этой ГТУ как раз характерна недостатком характеристик турбоустановки в исходной информации. Математическая модель этой ГТУ была реализована автором в программном комплексе АС ГРЭТ, разработанном в Казанском государственном энергетическом университете под руководством к.т.н. Осипова Б. М..

Проведенные расчеты на базовом режиме и переменных нагрузках для заданного состава природного газа показали, что по сравнению с паспортными данными ГТУ GE 6FA погрешности расчета по матмодели составляли до 7 % по расходу воздуха, до 8,9 % по расходу топлива, до 4 % по мощности до 5,2 % по расходу отработавших газов. В связи с этим по методике, разработанной в 3

главе диссертации, была произведена идентификация для различных режимов работы ГТУ, получена апостериорная модель, которая по сравнению с паспортными данными ГТУ дает погрешность не более 0,5 % по параметрам. Это дало возможность выполнить расчеты параметров GE 6FA в широком диапазоне их изменения.

В **пятой главе** диссертации базовые наработки глав 2,3 и 4 позволили выполнить ряд практически важных оценок для ТЭЦ 5 городов Республики Татарстан влияния различного состава природного газа, например, разных месторождений, или изменения его состава в процессе эксплуатации скважин, использования водорода в качестве топлива, или его добавления в размере до 5 % от расхода топливного газа, при использовании синтез-газа заданного состава, на характеристики ГТУ, работающих в составе парогазовых энергоустановок. Эти исследования позволяют прогнозировать, какое вспомогательное оборудование и системы при этом потребует модернизации, а какое может быть использовано без изменений.

Подводя итоги столь подробного анализа содержания диссертационной работы Марьина Г. Е., хочу отметить, что им по существу представлена комплексная технология прогнозирования характеристик ГТУ ТЭС при работе на различных многокомпонентных топливах (природный газ, синтез-газ, биотопливо и др.), включающая в себя ряд позиций научной новизны, перечень которых значительно шире заявленного автором и более полно представленный в разделах «автор защищает» и «основные результаты и выводы».

**Практическая ценность** результатов работы заключается в том, что подходы, предложенные в диссертационной работе, можно использовать при эксплуатации газотурбинных установок в составе тепловых электрических станций, при проектировании газотурбинных установок новых энергетических комплексов, работающих на альтернативных видах топлива.

#### **Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научные положения, выводы и практические рекомендации, сформулированные в диссертации Марьина Г.Е., обоснованы, так как базируются на апробированных методах математического моделирования газотурбинных установок, а также не противоречат аналогичным результатам исследований других авторов. Положения, гипотезы, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, подкреплены фактическими данными и наглядно представлены в графическом материале.

Основные результаты диссертационной работы изложены в 33 печатных работах, из них 7 статей в изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 10 статьи в рецензируемых журналах наукометрической базы данных Scopus и Web of Science. Результаты диссертационной работы докладывались на всероссийских и международных научно-практических конференциях.

### **Вопросы и замечания по диссертационной работе**

1. В диссертации заужена цель работы, которая сведена к влиянию компонентного состава смеси природного газа и водорода на характеристики ГТУ в составе ТЭС, тогда как задачи работы, научная новизна, название работы и выводы по работе значительно шире. На мой взгляд, её следовало бы сформулировать как «разработку комплексной технологии прогнозирования характеристик ГТУ ТЭС при работе на различных многокомпонентных топливах».
2. Аналогичное замечание относится и к формулировке «научной новизны» работы, о чем уже упоминалось выше.
3. На стр. 20 некорректно записаны формулы 1.3 – 1.5, так как не сходятся даже по размерностям правые и левые части уравнений. По-видимому, автор имел в виду не массовые расходы в кг/с, а массовые доли компонентов.
4. на стр. 148 диссертации не сходятся данные, приведенные на рис. 5.7, и ниже приведенные в тексте цифровые значения.
5. В работе допущен ряд опечаток по тексту, как правило, связанных с набором текста на компьютере и пропуском интервалов между словами.

### **Заключение**

Указанные выше замечания не носят принципиального характера, не снижают значимость выполненной работы и не влияют на положительную оценку диссертационной работы в целом.

Диссертационная работа Марьина Георгия Евгеньевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложено новое научно-обоснованное решение задачи перехода на альтернативные топлива газотурбинных установок в составе тепловых электростанций и прогнозирования характеристик ГТУ при работе на различных многокомпонентных топливах, в том числе с добавлением водорода. Это вносит существенный вклад в энергетику, экологию и развитие отечественной промышленности.

По объёму, новизне и значимости результатов диссертационная работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук. Автореферат по структуре и по изложению полученных результатов соответствует диссертации. Выводы соответствуют полученным результатам. Публикации автора полноценно отражают содержание диссертации.

В связи с этим считаю, что диссертационная работа Марьина Георгия Евгеньевича на тему «Прогнозирование энергетических характеристик оборудования ТЭС» соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание учёной степени кандидата наук, изложенным в п.9 Положения «О порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в редакции от 26.01.2023 г.), а её автор – Марьин Георгий Евгеньевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы».

**Официальный оппонент**, доктор технических наук, профессор кафедры «Авиационная теплотехника и теплоэнергетика» ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»



Бакиров  
Фёдор  
Гайфуллович

«15»августа 2023 г

Информация об оппоненте:  
Бакиров Фёдор Гайфуллович  
Почтовый адрес: 450000, РФ, г. Уфа,  
ул.К. Маркса, д. 12, корпус 2.  
Телефон: +7 9083502290  
E-mail: [kafedraatt@uust.ru](mailto:kafedraatt@uust.ru)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий», адрес официального сайта в сети «Интернет» <https://uust.ru>

Личную подпись Бакирова Фёдора Гайфулловича заверяю.



Подпись *Бакирова Ф. Г.*  
достоверяю « 15 » 08 2023.  
Начальник общего отдела УУНИТ  
*Расмиева Д. В.*