

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента на диссертацию 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».**

#### **1.Актуальность темы диссертации**

Диссертационная работа Марьина Г.Е. посвящена исследованию влияния компонентного состава топливного газа, поступающего в камеру сгорания (КС), на основные энергетические характеристики газотурбинной установки (ГТУ) при ее работе в составе тепловой электрической станции (ТЭС) на переменных нагрузках. В настоящее время, основным топливом используемом в энергетических ГТУ является природный газ. Однако, в связи с усилением в последние годы общемировой нацеленности на увеличение доли неуглеродной энергии в глобальном топливно-энергетическом балансе, в России и за рубежом активизировались научные исследования, направленные на анализ потенциала применения в энергоустановках альтернативных топливных газов. Особенное внимание уделяется оценке технических, технологических и экономических аспектов применения в качестве топливного газа водорода.

Эффективный перевод действующего генерирующего оборудования на альтернативные виды топлива, равно как и проектирование новых энергоустановок, уже адаптированных к ним, требует проведения глубокого качественного анализа компонентного состава топливных газов, для прогнозирования энергетических характеристик, оценки технико-экономических и экологических показателей, а также оптимизации режимов работы основного и вспомогательного оборудования.

На основании вышеизложенного, считаю, что работа Марьина Г.Е., посвященная прогнозированию энергетических характеристик ГТУ, использующих в качестве топлива смесь природного газа и водорода, является актуальной.

#### **2.Соответствие диссертации паспорту специальности**

2.4.5 Энергетические системы и комплексы и относится к следующим областям исследований:

п.1. «Разработка научных основ (подходов) исследования общих свойств и принципов функционирования и методов расчета, алгоритмов и программ выбора и оптимизации параметров, показателей качества и режимов работы

энергетических систем, комплексов, энергетических установок на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии в целом и их основного и вспомогательного оборудования»;

п.2. «Математическое моделирование, численные и натурные исследования физико-химических и рабочих процессов, протекающих в энергетических системах и установках на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии, их основном и вспомогательном оборудовании и общем технологическом цикле производства электрической и тепловой энергии»;

п.3. «Разработка, исследование, совершенствование действующих и освоение новых технологий и оборудования для производства электрической и тепловой энергии, использования органического и альтернативных топлив и возобновляемых видов энергии, водоподготовки и водно-химических режимов, способов снижения негативного воздействия на окружающую среду, повышения надежности и ресурса элементов энергетических систем, комплексов и входящих в них энергетических установок».

### **3. Структура и объем диссертационной работы**

Диссертация выполнена на достаточно профессиональном научно-техническом уровне, изложена доступным языком и оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ.

Диссертация изложена на 247 страницах машинописного текста и включает в себя 66 рисунков и 23 таблицы. Список литературы содержит 174 источника российских и зарубежных авторов.

**Во введении** представлены актуальность, цель и задачи исследования, его научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методы исследования, степень достоверности, апробация и публикации.

**В главе 1** проанализирована взаимосвязь изменения состава топливного газа и величины недовыработки ГТУ при работе на оптовом рынке электроэнергии. Рассмотрены существующие методики определения компонентного состава продуктов сгорания топливных газов и программные комплексы (ПК) которые могут быть использованы для расчета термодинамических параметров рабочих тел энергетических ГТУ. Выявлена необходимость доработки существующих методик и ПК с учетом использования в ГТУ топливных газов произвольного состава.

**Глава 2** посвящена разработке методики определения термодинамических параметров рабочих тел ГТУ произвольного компонентного состава, а также ПК, функционирующего на ее базе.

**Глава 3** посвящена разработке алгоритма идентификации математической модели ГТУ, работающей на топливном газе произвольного компонентного состава.

**В главе 4** представлены математическая модель ГТУ General Electric 6FA и режимные характеристики, построенные автором с ее использованием. Проведено сравнения результатов с паспортными данными ГТУ и идентификация математической модели по экспериментальным данным.

**В главе 5** представлены результаты исследования режимов работы ГТУ на топливных газах с различным компонентным составом, полученные с использованием разработанных автором методик и математических моделей. Проанализированы режимные характеристики ГТУ, состав выхлопных газов, влияния подогрева топливного газа, необходимость внесения изменений в оборудование ТЭС, а также возможность подмешивания водорода к природному газу для повышения электрической мощности ГТУ.

**В заключении**, по результатам проведенных исследований, автором сформулированы основные выводы, отмечены достижение поставленных цели и задач.

#### **4. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна**

**Новыми научными результатами**, полученными автором, являются:

1. Разработана усовершенствованная математическая модель, позволяющая производить оценку изменений рабочих параметров ГТУ, включая систему топливоподготовки с учетом термодинамических параметров топливного газа различного компонентного состава, в том числе с добавлением водорода.

2. Впервые разработана математическая модель рабочих процессов проточной части энергетической газотурбинной установки на примере General Electric 6 FA.

**Практическая значимость работы:**

1. Определены показатели эффективности газотурбинной установки при работе на различных топливных газах и при добавлении к природному газу водородного топлива, что позволяет производить тепловой расчет не только для эксплуатируемых газотурбинных установок, но и для проектируемых энергетических газотурбинных установок, работающих на топливных газах различного состава.

2. Разработаны рекомендации по созданию систем подготовки и сжигания топливного газа различного компонентного состава на тепловой электрической станции с газотурбинной установкой General Electric 6FA без внесения

изменений в конструкцию, которые могут быть использованы на предприятиях энергетической отрасли для повышения эффективности работы эксплуатируемых газотурбинных установок.

#### **Обоснованность и достоверность результатов работы:**

1. Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается использованием апробированных методов математического моделирования газотурбинных двигателей, согласованием результатов расчетов по разработанным математическим моделям с данными суточного контроля рабочих параметров парогазовой установки действующей станции.

2. Апробацией основных результатов на всероссийских, международных конференциях.

3. Публикацией статей, содержащих результаты диссертации, в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus и ВАК.

#### **5. Замечания и вопросы по диссертационной работе:**

1. Глава 1. П. 1.1. (стр. 14).

Отсутствует количественная оценка степени влияния характеристик топлива на величину недовыработки электроэнергии генерирующим оборудованием.

2. Глава 1. П. 1.5.4. (стр. 42).

«... переход к малоуглеродной энергетике требует расчета топливного газа любого компонентного состава (метан, водород, синтез-газ, биогаз)...»

Какое отношение метан имеет к малоуглеродной энергетике? Природный газ большей частью состоит из метана, получается и его можно отнести к малоуглеродной энергетике?

3. Глава 2. П. 2.3. (стр. 64).

«...В камере сгорания большинства газовых турбин используются температуры 1200-1700°C...»

В камерах сгорания ГТУ температура рабочего тела в зоне горения достигает 1800-2000 °C.

4. Глава 4. П. 4.1. (стр. 94).

«Первой расчетной точкой исследования будет **базовый режим** работы газовой турбины».

Не ясно, что автор понимает под формулировкой «базовый режим работы газовой турбины».

5. Глава 4. П. 4.3. (стр. 128).

«Наибольшая погрешность по расходу воздуха  $\delta G_{в}=7,1\%$  получена при мощности  $N=70000\text{кВт}$ ...»

В соответствии с данными в таблице 4.3, данная величина погрешности соответствует мощности 60 000 кВт.

6. Глава 5. П. 5.2 (стр. 146)

«На рис.5.6 показано изменение мгновенного расхода топливного газа».

При этом, на рис. 5.6. единица изменения расхода кг/ч.

7. Глава 5. П. 5.5 (стр. 161)

«Водород как топливо очень дорог на данный момент, поэтому подмешивание является наиболее оптимальным способом».

Тезис весьма противоречивый. Если водород дорогой, зачем его подмешивать?

8. Глава 5. П. 5.5 (стр. 161)

«Электроэнергия для электролиза может быть получена двумя способами: 1) Из энергосистемы; 2) Провальная энергия от работы ПГУ (режим работы оборудования исключает глубокие ночные разгрузки оборудования)».

Прошу пояснить второй способ. Есть сомнения в корректности данной формулировки.

9. Глава 5. П. 5.5 (стр. 161)

«После процесса электролиза водород и кислород проходят процесс очищения, компремирования, затем водород и кислород поступают в емкости для последующего хранения».

Из текста работы не ясна необходимость организации на ТЭС системы хранения кислорода.

10. Глава 5. П. 5.5 (стр. 166)

«Необходимое количество электрической энергии для работы установки составит... 7,2 МВт».

Учтены ли эти затраты в расчете эффективности установки?

11. Глава 5. Выводы. П. 1 и П.3 (стр. 168)

В работе представлены результаты исследований состава выхлопных газов ГТУ на различных топливных газах, однако отсутствует экономический анализ влияния изменения компонентного состава топливного газа на величину платы за выбросы от ТЭС.

12. Имеется ряд замечаний по оформлению диссертационной работы: обозначения, размерности, написание английских символов, буквенные окончания, опечатки.

Приведенные замечания не затрагивают существа основных положений, выводов и рекомендаций диссертации.

## **6. Заключение**

Диссертационная работа Марьина Г.Е. посвящена актуальной теме, имеет научную и практическую значимость и представляет собой законченную научно-квалификационную работу.

Автореферат диссертации и опубликованные труды соискателя в достаточной мере отражают содержание работы. Выводы соответствуют полученным результатам.

В связи с этим считаю, что диссертационная работа Марьина Георгия Евгеньевича на тему «Прогнозирование энергетических характеристик оборудования ТЭС при работе на топливном газе различного компонентного состава», 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** доцент Высшей школы атомной и тепловой энергетики, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» кандидат технических наук

Трещёва  
Милана  
Алексеевна

«10» 08 2023г.

Информация об оппоненте:  
Трещёва Милана Алексеевна  
Почтовый адрес: 195251 г. Санкт - Петербург,  
ул. Политехническая д. 29,  
E-mail: office@spbstu.ru  
Тел.: +7 (812) 775-05-30 .

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», адрес официального сайта в сети «Интернет <https://www.spbstu.ru>

Личную подпись Трещёвой Миланы Алексеевны заверяю.

