Федеральное космическое агентство

Государственный научный центр Российской Федерации – федеральное государственное унитарное предприятие "Исследовательский центр имени М. В. Келдыша"

(ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»)

ул. Онежская, д. 8, г. Москва, Россия, 125438
Тел.: (495) 456 46 08 Факс: (495) 456 82 28
kerc@elnet.msk.ru kerc@comcor.ru
www.kerc.msk.ru

01.04.2014 № 48-29/22

На № _____

ОАО «Всероссийский теплотехнический институт»
Ученому секретарь диссертационного совета
Т.Е. Соловьевой
ул. Автозаводская, д.14, г. Москва, 115280

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н. Кочеткова Юрия Михайловича
на диссертацию Людмилы Александровны Булысовой
«Численное моделирование при испытаниях и наладке малоэмиссионных камер сгорания ГТУ»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 - Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты

Актуальность избранной темы. Тема диссертации Булысовой Людмилы Александровны связана с разработкой экологически чистых камер сгорания (КС) отечественных газотурбинных установок (ГТУ). От организации процесса сгорания топлива в КС в существенной степени зависят экологические и эксплуатационные качества ГТУ. В то же время общие подходы к расчету и проектированию экологически чистых КС в настоящее время отсутствуют, а их конструктивная реализация многовариантна и требует длительной дорогостоящей экспериментальной стендовой доводки и натурных испытаний в составе ГТУ. Поэтому тема диссертации актуальна и, в конечном итоге, связана с решением экологических проблем в энергетике.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. В работе Булысовой Людмилы Александровны показано, что использование современных программных комплексов математического моделирования позволяет существенно сократить сроки и затраты на разработку и доводку КС, однако это требует дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

В первой главе диссертации Булысовой Людмилы Александровны приведен обзор представленных на мировом рынке программных продуктов и возможность их использования для расчета процессов в КС. Рассмотрены основные заложенные в них уравнения и схемы их решения. Проведено сравнение результатов, получаемых различными методами численного моделирования турбулентного течения - прямого численного моделирования (*DNS*), моделирования крупномасштабных вихрей (*LES*) и осредненных по Рейнольдсу или Фавору стационарных (*SRANS*) и нестационарных (*URANS*) уравнений Навье-Стокса. Показаны области получения достоверных решений для разных математических моделей.

Сделан вывод о том, что для обоснования выбранных параметров элементов КС необходимо сочетание расчетных и экспериментальных исследований.

Во второй главе выделены этапы оптимизации горелочного устройства (ГУ) и результаты расчетов и экспериментов по оценке влияния процесса перемешивания топливовоздушной смеси (ТВС) на выбросы NO_x в КС, основанных на принципе кинетического сжигания топлива. Рассмотрены типичные модели ГУ, состоящие из основной и пилотной горелок. Показано влияние конструкции ГУ на основные процессы КС - образование ТВС, формирование зоны стабилизации пламени и устойчивость процесса горения.

Предложена методика оптимизации конструкции ГУ на этапе проектирования КС.

В третьей главе проведен анализ возможности использования моделирования для исследования гидродинамической неустойчивости в КС. В основу анализа легли сопоставления аналитических и численных расчетов с экспериментальными данными.

Разработана методика расчета крупномасштабной турбулентности и показано хорошее качественное и количественное совпадение результатов с эталонным расчетом.

Предложенный алгоритм анализа работы КС в широком спектре режимов позволяет выявить наиболее неустойчивые зоны в ЖТ и провести оценку и сравнения гидродинамических и собственных частот для принятия мер по их рассогласованию.

В четвертой главе представлена методика обработки и анализа результатов квазистационарных расчетов КС для прогнозирования устойчивого протекания процессов в ней. Сопоставлены результаты расчета и испытаний на стенде ОАО "ВТИ" двух КС, существенно различающихся геометрией проточной части и диапазонами исследованных режимов. Рассмотрены различные варианты влияния на эпюру концентрации топлива на выходе из ГУ.

Показана связь распределения скоростей и тепловыделения в зоне горения с возникновением неустойчивого горения. Для анализа этого эффекта предложен параметр устойчивости, хорошо коррелирующийся с результатами эксперимента. Из этого следует важность влияния на расположение фронта пламени и распределение тепловыделения по объему КС.

В пятой главе проведен анализ факторов, влияющих на местоположение фронта пламени и предложена методика смещения зон максимальной гидродинамической неустойчивости и максимальных тепловыделений. Рассмотрено влияние основных конструктивных размеров зоны смешения ГУ и взаимосвязи между параметрами смесеобразования, течения и режима горения с распределением тепловыделения по объему КС.

В шестой главе рассмотрена настройка эпюры распределения температур на выходе КС, в основном за счет ввода вторичного воздуха через отверстия разбавления. Показана возможность точной настройки эпюры с минимальным влиянием на основные процессы в КС.

Новизна научных положений, представленной диссертации. Впервые проведено комплексное расчетно-экспериментальное исследование стационарных и нестационарных процессов в КС ГТУ для широкого диапазона конструктивных и режимных параметров, что позволяет получить новые данные, необходимые для конструирования и расчета КС ГТУ.

Впервые сформулирован и скоррелирован с экспериментом критерий склонности КС к виброгорению, связывающий стационарные параметры рабочего процесса – градиенты скорости течения, температуры газа и расстояние между точками их максимумов с развитием виброгорения.

Значимость выводов и рекомендаций для науки и практики. Результаты диссертационной работы Булысовой Людмилы Александровны позволяют комплексно подходить к конструированию и расчету камер сгорания ГТУ. Они могут быть использованы при модернизации существующих и разработке новых энергетических установок.

Диссертация Булысовой Людмилы Александровны является завершенным научным трудом, по содержанию и качеству оформления соответствует требованиям ВАК. Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в 13 опубликованных автором печатных работах, среди них 7 в реферируемых изданиях. Диссертация хорошо оформлена, имеет хороший стиль изложения и написана грамотным языком. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации, соответствует ее основным идеям и выводам

Достоверность научных положений, основана на сочетании современных методов математического моделирования и средств проведения

опытов и измерений, на удовлетворительном согласовании опытных данных, полученных в широком диапазоне рабочих режимов КС.

Практическая значимость.

Разработана научно обоснованная методика использования трехмерного численного моделирования, позволяющая на стадии проектирования получить конструкцию КС, обеспечивающую низкую эмиссию вредных выбросов, высокую полноту сгорания топлива, заданные перепады давления на элементах конструкции, заданные температурные поля на выходе и устойчивое протекание процессов, имеющая существенное значение для развития энергетики страны

По данной диссертации имеется три **замечания**:

1. Присутствие многовариантности влияния различных параметров КС на основные процессы в ней не позволило автору дать количественные оценки для всех их комбинаций. Например, распределения первичного воздуха между пилотной и основной горелками, размеров каналов смешения и расположения отверстий подачи топлива на равномерность топливо-воздушной смеси, поступающей в зону горения.
2. В тексте напрямую отсутствует сравнительная оценка по расчетам основных параметров статистических моделей турбулентности, что затрудняет сопоставление конкретных рабочих характеристик друг с другом, а на практике требует проведения дополнительных расчетов с целью получения конкретных характеристик.
3. Расчетные распределения тепловыделений по длине модельной КС не сопоставлено с результатами модельных испытаний.

Несмотря на сделанные замечания, диссертация Булысовой Людмилы Александровны является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует установленным критериям, предъявляемым к

кандидатским диссертациям (пункт 7 Положения ВАК РФ), а ее автор – Булысова Людмила Александровна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты.

Доктор технических наук,
старший научный сотрудник
Государственного научного центра
Российской Федерации - Федерального
государственного унитарного предприятия
"Исследовательский центр
имени М.В. Келдыша" Кочетков Ю.М.

Подпись Кочеткова Ю.М. УДОСТОВЕРЯЮ
Ученый секретарь
ГНЦ ФГУП "Центр Келдыша",
кандидат военных наук Смирнов Ю.Л.