

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Мингазова Билала Галавтдиновича

на диссертационную работу Эрнандэса Моралеса Марио
на тему «Разработка метода моделирования процессов нагрева и испарения
капель многокомпонентного жидкого топлива в камерах сгорания авиационных
газотурбинных двигателей», представленной на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые,
электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

В настоящее время при организации процессов сгорания топлив большое внимание уделяется исследованиям возможности применения различных топлив, в частности жидких, с целью повышения их эффективности и экологичности. Поэтому диссертационная работа Эрнандэса Моралеса М. посвящена важной и актуальной теме – разработке методов моделирования нагрева и испарения многокомпонентных жидких капель в камерах сгорания (КС) авиационных газотурбинных двигателей (ГТД).

В первой главе с целью получения объективной картины физики явлений в работе проведена большая работа по анализу существующих работ в данной области исследований: проведен анализ зависимостей испарения капель топлива, установлено, что характеристики камеры сгорания, такие как эмиссия вредных веществ, полнота сгорания топлива, устойчивость к бедному срыву пламени и другие, во много определяются распределением топлива в зоне горения. Показано, что в свою очередь, распределение топлива определяется характеристиками воздушного потока, распыла топлива, а также скоростью нагрева и испарения отдельных капель топлива. Кроме того, показано, что параметры газа вокруг капли, а также её состав, существенным образом влияют на характеристики испарения, вследствие того, что КС авиационного ГТД работает на различных режимах, при которых температура и давление на входе в КС меняются в широком диапазоне. Необходимо учитывать эти параметры при создании КС и моделировании процессов горения.

На основе проведенного обширного анализа работ, автором поставлены задачи исследований, которые включают:

1. Разработка метода моделирования процессов нагрева и испарения.
2. Экспериментальное исследование характеристик испарения капель многокомпонентных жидких топлив (керосина и его суррогатов).
3. Валидация разработанного метода расчёта процессов нагрева и испарения капель многокомпонентного состав капель в трёхмерной постановке, учитывающего многокомпонентный состав капли, концентрацию компонентов внутри капли, насыщенность пара вокруг капли и относительную скорость капли.

Во второй главе в соответствии с поставленными задачами автором проведены широкие экспериментальные исследования характеристик испарения капель керосина и его суррогатов определены характеристики, влияющие на нагрев и испарение капель топлива, получены кривые дистилляции и фракционный состав топлива. В работе определялись плотность, вязкость, поверхностное натяжение, теплоёмкость, теплопроводность, давление насыщенных паров, кривая дистилляции, отношение Н/С, молекулярный вес MW, цетановое число DCN и индекс сажеобразования TSI.

В работе используется современное экспериментальное оборудование, позволяющее определять физико-химические свойства жидких топлив многокомпонентного состава. состав продуктов сгорания и параметры потока в модельной КС.

В третьей главе проведенные исследования позволили автору получить новые физические закономерности испарения многокомпонентного топлива и учесть особенности влияния состава топлива на испарение, и разработать метод учёта факторов, влияющих на процессы нагрева и испарения капель: состава капли, распределение температуры и массовой доли компонентов внутри капли, насыщенность пара вокруг капли, относительной скорости капли.

Четвертая глава посвящена разработке модели нагрева и испарения капель топлива многокомпонентного состава. Разработанная модель нагрева и испарения позволяет рассчитывать изменение диаметра капли и температуры на поверхности и в центре капли в зависимости от времени, что повышает точность определения времени и температуры испарения на порядок по сравнению с другими моделями испарения. Однако, при сравнении экспериментальных данных о времени и температуре испарения с расчётными данными, полученными с помощью разработанной модели, для керосина и его суррогатов получилось максимальное расхождение по времени испарения не больше 15%, а по температуре не больше 10%.

В пятой главе применяется численное моделирование рабочего процесса в камере сгорания авиационного ГТД с помощью усовершенствованного метода расчёта процессов нагрева и испарения капель. Сформирован новый метод расчёта процессов нагрева и испарения капель, в виде пользовательской функции в пакете ANSYS Fluent. Проведено численное исследование характеристик горения для КС авиационного малоразмерного ГТД.

Показано что расчеты выбросов CO можно уточнить на 20-40%.

Работа может представить большой интерес специалистам в области проектирования и доводки камер сгорания ГТД и ГТУ, использующим в своей работе широко распространённые программные пакеты для расчёта газодинамических течений с химическими реакциями.

Научная новизна работы Эрнандэса Моралеса М. состоит в разработке нового метода, позволяющего определять с большой точностью характеристики

испарения капель многокомпонентного жидкого топлива: время испарения, зависимость изменения температуры на поверхности капли от времени, и зависимость изменения диаметра капли от времени. Разработанный метод позволил применить на практике результаты при трёхмерном численном моделировании в стационарной постановке.

Необходимо отметить, что диссертант применил разработанный им метод при разносторонних исследованиях и на различных моделях – в модельной КС и в КС авиационного ГТД. При этом, все дополнения, вносимые в численные модели, сопоставлялись с имеющимися на сегодняшний день теоретическими положениями. Разработанный метод позволяет минимизировать зависимость получаемого результата от полуэмпирических моделей и параметров, справедливых в ограниченном диапазоне условий.

Теоретическая значимость работы заключается в обобщении расчётно-экспериментальных данных о времени испарения и температуре на поверхности капель керосина и его суррогатов при температурах внешней среды, характерных для рабочего процесса камер сгорания газотурбинных двигателей, а также в разработке метода моделирования процессов нагрева и испарения многокомпонентных капель жидкого топлива в трёхмерной постановке.

Практическая значимость работы заключается в совершенствовании алгоритма численного моделирования рабочего процесса камеры сгорания газотурбинного двигателя за счёт использования в качестве модели керосина разработанного суррогата керосина, уточнения времени испарения многокомпонентных капель и насыщенности пара вокруг них, что позволяет повысить точность определения эмиссионных и эксплуатационных характеристик камеры сгорания на этапе проектирования и доводки авиационных газотурбинных двигателей. Практическая значимость подтверждается актом об использовании результатов диссертационной работы на ПАО «ОДК-Кузнецов».

К недостаткам работы можно отнести следующее:

1. В работе не применяются отечественные программные продукты.
2. Недостаточно точно учитывается влияние турбулентности на процесс испарения капель.
3. В работе исследуются процессы испарения крупных капель топлива (500-900 мкм), которые не соответствуют реальным условиям в КС.
4. Не показано насколько адекватны полученные зависимости для мелких капель (100-20 мкм) в которых влияние изменения характеристик внутри капель могут быть незначительными.
5. В работе показана возможность более точного расчета выбросов CO, однако нет расчета полноты сгорания, которая непосредственно связана с выбросами CO.

Заключение

Оценивая работу в целом, считаю, что она является законченной научно-квалификационной исследовательской работой, выполненной на актуальную тему, разработке нового метода, позволяющего определять с большой точностью характеристики испарения капель многокомпонентного жидкого топлива: время испарения, зависимость изменения температуры на поверхности капли от времени, и зависимость изменения диаметра капли от времени. Разработанный метод позволил применить на практике расчета характеристик КС результаты при трёхмерном численном моделировании в стационарной постановке.

Работа выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне, с применением современных методов экспериментального исследования и грамотного применения цифровой технологии при анализе результатов исследований. Полученные в работе результаты могут использоваться при создании и доводке современных камер сгорания ГТД.

Опубликованные автором работы и автореферат достаточно полно отражают содержащиеся в диссертации научные результаты. Считаю, что работа «Разработка метода моделирования процессов нагрева и испарения капель многокомпонентного жидкого топлива в камерах сгорания авиационных газотурбинных двигателей» отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Эрнандэса Моралеса М. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

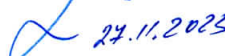
Профессор кафедры реактивных двигателей
и энергетических установок»
ФГБОУ ВО «Казанский национальный
исследовательский технический университет»,
доктор технических наук, профессор



Мингазов Биал Галавтдинович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет»,
420111, Россия, город Казань, ул. Карла Маркса, д. 10,
телефон: 8(917)-299-93-61,
e-mail: bgmingazov@kai.ru

Подпись Мингазова Б. Г.
заверяю. Начальник управления
делопроизводства и контроля

 24.11.2023

