

ОТЗЫВ

официального оппонента, д.т.н. Воронежского Андрея Владимировича, профессора кафедры «Ракетные двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана на диссертационную работу Антоновского Ивана Владимировича «Исследование формирования двухфазных газокапельных струй», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Актуальность темы

В настоящее время устройства, формирующие двухфазные газокапельные струи с высокой концентрацией конденсированной фазы (капель), применяются для создания тяги в гидрореактивных двигателях, а также в стендовых комплексах, используемых для проведения высотных испытаний авиационной и ракетной техники. Следует также подчеркнуть перспективность применения двухфазных газокапельных высококонцентрированных струй при нанесении противообледенительных составов на поверхности фюзеляжа и крыльев самолетов, при тушении пожаров, в частности, на аэродромах, где требуется большая дальность тушащей струи.

Работа направлена на изучение рабочего процесса и создание устройств нового типа для формирования газокапельных струй с высокой концентрацией конденсированной фазы. Следует отметить, что реализация всех преимуществ рассматриваемых устройств требует проведения серьезных теоретических и экспериментальных исследований, направленных на оптимизацию параметров процесса. В связи с этим актуальность темы диссертации и ее практическая значимость несомненны.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

На основе проведенного обзора работ автором обоснована актуальность исследования смесителей закрытого типа с дисперсной газокапельной структурой в камере смешения смесителя, а также связанных с этим вопросов профилирования камеры смешения эжектора и оптимизации работы эжектора. Список использованной литературы содержит 137 наименований.

Постановка задач исследования и предлагаемые Антоновским И. В. методы их решения представляются обоснованными и выполненными на высоком научно-техническом уровне.



Основные научные положения диссертации и выводы достаточно хорошо обоснованы, опираются на экспериментальные данные, полученные при помощи современных лазерно-оптических методов измерения параметров двухфазных потоков, на результаты численного моделирования, и на результаты, полученные другими авторами.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность полученных автором результатов подтверждается: использованием при моделировании исследуемых процессов фундаментальных законов и уравнений газовой динамики, а также известных теплофизических и термодинамических данных; применением современных методов реализации математических моделей; удовлетворительным согласованием результатов расчета и проведенных экспериментов, а также их согласованием с данными других авторов; использованием современных лазерно-оптических методов измерения параметров, стандартизованных методик, аттестованных средств измерений и регистрации экспериментальных параметров.

Новизна результатов, полученных автором диссертации, состоит в следующем.

1. Предложены и исследованы новые устройства формирования двухфазных газочапельных струй с высокой концентрацией конденсированной фазы различного применения: смесители закрытого типа с газочапельной структурой в камере смешения, эжектор с двухфазным рабочим телом высокой концентрации конденсированной фазы и профилированной камерой смешения, исключающей использование диффузора в системе эжектора.
2. В рамках проведенных экспериментальных исследований получена новая база данных по закономерностям рабочего процесса в предложенных устройствах.
3. Предложена новая параметрическая модель оптимизации процесса в камере смешения эжектора.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Практическая значимость результатов, полученных автором диссертации, определяется прежде всего перспективами использования полученных данных для создания усовершенствованных устройств формирования двухфазных газочапельных струй

1. Предложены и исследованы новые устройства формирования двухфазных газокапельных струй, которые могут быть использованы для создания тяги в гидрореактивных двигателях, в стендовых комплексах, используемых для проведения высотных испытаний авиационной и ракетной техники, при нанесении противообледенительных составов на поверхности фюзеляжа и крыльев самолетов, при тушении пожаров, а также смесители закрытого типа с газокапельной структурой потока в камере смешения; эжекторы, обеспечивающие при использовании в гидрореактивных двигателях повышение на 25% КПД по сравнению с существующими эжекторами.

2. Разработаны математическая модель, алгоритм и программа расчета, позволяющие оптимизировать параметры, определяющие характеристики эжекторов, работающих на двухфазном рабочем теле.

3. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования подтвердили выводы о возможностях и характеристиках предложенных устройств а также позволили получить базы данных, необходимые для их проектирования. .

Конкретные рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты диссертации могут быть использованы при разработках и/или создании смесительных устройств или устройств формирования двухфазных газокапельных струй на предприятиях: Филиал НПО Сатурн НТЦ им. А. Люльки, АО ГНПП «Регион».

Содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во **введении** обосновываются цель, выбор объектов, задач и методов диссертационного исследования. Следует отметить, что в автореферате диссертации автором дано более детализированные формулировки задач исследования. Убедительно аргументированы актуальность, практическая и научная ценность диссертационного исследования. Перечислены наиболее важные результаты, выносимые на защиту.

В **первой** главе диссертации представлен обзор работ, посвященных смесительным устройствам и формированию струй с двухфазным рабочим телом. Рассматриваемые в работе устройства получения двухфазных струй совершенно справедливо разделяются автором на две категории: 1) смесительные устройства; 2) эжекторные устройства. Представленные материалы позволяют судить о высоком уровне эрудиции автора в выбранной

им для исследования области знаний. В работе детально проанализированы основные публикации, касающиеся теоретических и экспериментальных исследований рабочих процессов в устройствах рассматриваемого типа.

Во **второй** главе дается описание установки для экспериментального исследования двухфазных течений с заданными параметрами по расходу и давлениям газовой и жидкой фазы при их смешении, снабженная лазерно-оптическими методами измерения параметров двухфазных сред. Подробно рассмотрены методические аспекты проведения исследования и выполненные автором мероприятия по модернизации установки, необходимые для проведения эксперимента на новом качественном уровне.

В **третьей** главе представлены результаты исследования смесительного устройства закрытого типа с двухфазным рабочим телом газокапельной структуры. Несомненной заслугой автора является привлечение наиболее современных методов исследования двухфазных газокапельных потоков: PIV для определения полей скоростей и лазерно-оптического метода для анализа дисперсности капель. Исследовано влияние конструктивных особенностей сопел на структуру двухфазной струи. Следует особо отметить не только высокий уровень экспериментального исследования, но и большой объем выполненных экспериментов - исследованы шесть вариантов конструктивного выполнения смесителей. При проведении экспериментов варьировались следующие параметры: толщина стенки, длина канала, число отверстий, диаметр отверстий.

В работе дан достаточно грамотный анализ полученных экспериментальных данных. Представлены результаты сравнения характеристик смесителя с двухфазным рабочим телом со смесителем с однофазным рабочим телом (работающих на одинаковых режимах). На основе проведенных экспериментов оказалось возможным проанализировать изменение параметров капель по длине струи, в частности, приведено сравнение скорости частиц двухфазного потока на расстоянии 100 и 250 мм от среза смесителей. По результатам исследования автором был сделан вывод, что использование двухфазного рабочего тела является эффективным способом улучшения характеристик смесителей различного назначения.

В **четвертом** разделе представлены результаты теоретического и экспериментального исследования эжектора с двухфазным рабочим телом. В качестве математической модели автором рассматривалась двухскоростная, двухтемпературная модель, позволяющая учесть межфазное взаимодействие в двухфазном потоке, связанное с термической и динамической неравновесностью фаз. Дан подробный и аргументированный анализ используемых допущений и граничных условий. Целевой функцией при

выполнении данной части работы являлось достижение максимальной скорости потока на выходе из эжектора, при сохранении бездиффузорной формы канала эжектора.

На основе разработанной автором математической модели и полученных расчетных данных было проведено сравнение эффективности двух эжекторов с двухфазным рабочим телом и смесителями с однофазным и двухфазным рабочим телом. Сравнительная оценка, выполненная по результатам эксперимента, показывает, что использование смесителя с двухфазным рабочим телом позволяет повысить КПД примерно на 20%.

Достоинства и недостатки работы

Диссертация И.В. Антоновского является законченной работой, в которой предложены и исследованы новые устройства формирования двухфазных газочапельных струй, а также методы профилирования и оптимизации камеры смешения эжектора с двухфазным рабочим телом.

Автореферат соответствует основному содержанию и выводам диссертации, а тема диссертации и ее содержание соответствует паспорту специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Однако работа не лишена некоторых недостатков.

1. Обобщение и последующее использование полученных экспериментальных результатов в известной мере затруднено, поскольку исследование выполнено на одном режиме (по расходу и давлению газа и жидкости).

2. В главе, посвященной описанию экспериментальной установки не приведен анализ погрешностей прямых и косвенных измерений. Поскольку в ряде случаев зафиксированы достаточно слабые зависимости, целесообразно было бы проанализировать, не находятся ли они в пределах точности эксперимента.

3. Не дано объяснение несимметричности кривых распределения размера капель по сечению струи (рис. 3.37, 3.38, 3.39, 3.50, 3.52, 4.35, 4.37).

4. Сравнительный анализ полученных результатов осложнен из-за того, что изменение параметров двухфазного потока по длине струи на одних графиках показано в зависимости от калибров струи, а на других - от дистанции в миллиметрах.

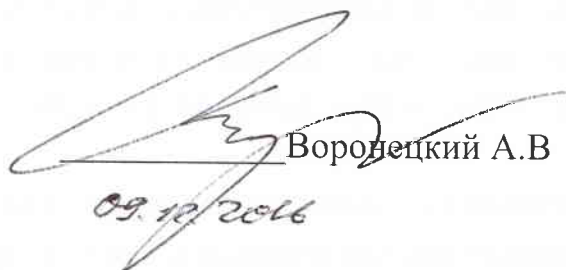
5. В списке использованной литературы хотелось бы видеть больше ссылок на работы последних лет.

В целом отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Диссертация Антоновского И.В. является законченной научно-квалификационной работой, посвященной исследованию формирования двухфазных газочапельных струй, обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты и положения. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации. Результаты опубликованы в трех отчётах, в трех рецензируемых изданиях, а также докладывались на многих конференциях.

Диссертационная работа «Исследование формирования двухфазных газочапельных струй» соответствует требованиям Положения о порядке присуждения научным и научно-педагогическим работникам ученых степеней. Её автор, Антоновский Иван Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Профессор кафедры "Ракетные двигатели"
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Доктор технических наук, профессор,
Заслуженный деятель науки РФ,
Лауреат премии Правительства РФ


Воронетский А.В.
09.10.2016

105005 г. Москва, ул. 2-я Бауманская,
д. 5, стр. 1
Телефон +7 (499) 263 63 64
e-mail: voron@bmstu.ru

Подпись Воронежского А.В. удостоверяю
Начальник УК МГТУ им Н.Э. Баумана




Барышников В.А.