

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН Института
теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН,
доктор физико-математических наук,
чл.-корр. РАН _____ А.Н. Шиплюк
«25» мая 2018 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук по диссертации «Исследование прямооточных воздушно-реактивных двигателей на твердом топливе в аэродинамических установках», выполненной в лаборатории № 5 «Гиперзвуковых технологий» Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (ИТПМ СО РАН).

В период подготовки диссертации соискатель Внучков Дмитрий Александрович работал в ИТПМ СО РАН в лаборатории № 5 «Гиперзвуковых технологий» в должности лаборанта и младшего научного сотрудника.

В 2002 г. окончил факультет летательных аппаратов Новосибирского Технического Государственного Университета по специальности «Гидроаэродинамика». В 2002 г. принят на должность инженера в лабораторию №5 ИТПМ СО РАН. В 2007 г. поступил в аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, закончил в 2010 и продолжил работу в лаборатории в должности младшего научного сотрудника по настоящее время. Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2018 г. ИТПМ СО РАН.

Научный руководитель: Звегинцев Валерий Иванович, доктор технических наук, лауреат премии им. Н.Е. Жуковского, главный научный сотрудник лаборатории № 5.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

- 1. Диссертация посвящена** экспериментальному и теоретическому исследованию работы прямоточных воздушно-реактивных двигателей на твёрдом топливе прямоточной схемы в аэродинамических установках.
- 2. Актуальность темы.**

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к созданию прямоточных воздушно-реактивных двигателей (ПВРД) с использованием твёрдого топлива, которое существенно упрощает конструкцию и эксплуатацию летательного аппарата.

Хотя, ПВРД относится к простейшему по конструкции виду воздушно-реактивного двигателя, вследствие отсутствия типичных для турбореактивных двигателей вращающихся частей, таких как турбины и компрессоры. Однако, создание перспективных летательных аппаратов с ПВРД требует углубленного теоретического и экспериментального исследования вопросов внешней и внутренней аэродинамики, режимов работы воздухозаборника, двигателя, камеры сгорания, выхлопного тракта, проблем рационального газодинамического интегрирования корпуса и силовой установки.

При исследовании работы прямоточных двигателей большой объем испытаний составляют испытания воздухозаборников, которые оказывают определяющее влияние на тяговые характеристики двигателя.

Ещё, одной из принципиальных и нерешенных проблем остается обеспечение высокоэффективного горения топлива в камере сгорания ограниченной длины, что необходимо для получения требуемых тягово-аэродинамических характеристик в широком диапазоне полетных условий.

Все вышеперечисленные проблемы при создании ПВРД, работающих на твёрдом топливе, обостряются в большей степени из-за новизны и недостаточной обработанности процессов испытаний создаваемых двигателей.

Испытание прямоточных двигателей с горением твёрдого топлива и с моделированием внешнего обтекания (тяговых характеристик) возможно либо в реальном полёте, либо в наземных аэродинамических установках. При этом, испытания ПВРД ТТ в реальном полёте весьма затратные и малоинформативные.

Испытания прямоточных двигателей с горением в аэродинамических установках редки в мировой практике из-за сложности их организации и недостаточной проработанности методических аспектов.

3. Научная новизна работы.

- Предложен и рассмотрен новый класс поликлиновых воздухозаборников для высоких скоростей полета с использованием V-образных тел, выдерживающих большие перегрузки.

- Предложена и отработана унифицированная методика исследования характеристик горения твердого топлива в высокоскоростном потоке воздуха применительно к задачам создания единой методологии испытаний твердого топлива для задач ПВРД.

- Получены новые данные о скорости газификации и тепловыделении различных вариантов твердого топлива в рабочем диапазоне изменения температуры, давления, скорости и плотности тока газообразного окислителя в камере сгорания.

- Получены новые результаты по тяговым характеристикам при испытаниях моделей прямоточных воздушно-реактивных двигателей с горением твёрдого топлива, в условиях внешнего обдува в аэродинамических установках.

4. Достоверность результатов обеспечивается использованием в работе традиционных для аэродинамического эксперимента надёжных и достоверных методов измерения сил, давления и температур. Все экспериментальные исследования подтверждаются результатами численного моделирования.

5. Научная и практическая значимость работы.

- Предложенные в данной работе, новые воздухозаборники могут быть использованы для создания новых перспективных летательных аппаратов с прямоточным воздушно-реактивным двигателем.
- Предложенная унифицированная методика исследования характеристик горения твердого топлива в высокоскоростном потоке воздуха может быть использована для выработки предложения по созданию единой методологии проведения испытаний твёрдых топлив применительно к задачам ПВРД.
- Теоретические и экспериментальные исследования по горению различных видов топлива могут быть использованы для построения физических и математических моделей, описывающих процессы горения твердого топлива в высокоскоростном потоке газообразного окислителя.
- Полученные результаты могут быть использованы в научно-исследовательских и конструкторских организациях, занимающихся исследованием, разработкой перспективных летательных аппаратов с прямоточным воздушно-реактивным двигателем.

6. Личный вклад автора

Автор предложил принцип построения поликлиновых воздухозаборников для осесимметричных летательных аппаратов высоких скоростей полета. Выполнил расчетные и экспериментальные исследования характеристик предложенных воздухозаборников. Принимал непосредственное участие в разработке и отработке методики проведения экспериментов по горению различных видов твердого топлива в высокоскоростном потоке газообразного окислителя. Выполнил испытания реальных топлив по разработанной методике. Предложил и отработал методику проведения испытаний прямоточных воздушно-реактивных двигателей с горением твердого топлива, в условиях внешнего обдува в аэродинамических установках. Разработал конструкцию моделей ПВРД и принимал непосредственное участие в испытаниях этих моделей с внешним обдувом и с измерением тяговых характеристик при горении твёрдого топлива. Представление материалов диссертации согласовано с соавторами.

7. Положения, выносимые на защиту:

- Результаты расчетного и экспериментального исследования новых поликлиновых воздухозаборников для высоких скоростей полета, выдерживающих большие перегрузки.
- Методика проведения и результаты экспериментов по исследованию характеристик горения различных видов твердого топлива в высокоскоростном потоке газообразного окислителя.
- Результаты испытаний прямоточных воздушно-реактивных двигателей с горением твердого топлива и с внешним обдувом в аэродинамических трубах.

Апробация работы проведена в российских журналах «Физика горения и взрыва», «Теплофизика и аэромеханика», «Прикладная механика и техническая физика», в специальном журнале «Труды МАИ», а так же в зарубежных журналах «International Journal of Hydrogen Energy». Основные результаты диссертационной работы докладывались на российских и международных научных конференциях. В том числе на Международной конференции по методам аэрофизических исследований ISMAR'2012 (Казань, 2012), ISMAR'2014 (Новосибирск, 2014), ISMAR'2016 (Пермь, 2016), на Международной конференции «Проблемы механики: теория, эксперимент и новые технологии» (Новосибирск, 2010), на Международной конференции «Проблемы механики: теория, эксперимент и новые технологии» (Новосибирск, 2012), на Всероссийской конференции, посвященной памяти В.В. Бахирева (Бийск, 2011), на 13-ой Международной конференции «Авиация и космонавтика-2014» (Москва, МАИ 2014), на V Всероссийской научно-технической конференции «Фундаментальные основы баллистического проектирования» (Санкт-Петербург, 2016) и на международной конференции НЕРСМ 2017.

8. Публикации. Основные результаты диссертации представлены в 25 работах, в том числе в 10 публикациях в журналах из перечня ВАК РФ.

1. Внучков Д.А., Звегинцев В.И., Наливайченко Д.Г., Шпак С.И. Исследование работы газогенератора, управляемого подачей газообразного окислителя // ФГВ, 2008, Т. 44, № 6. С. 18-25.

2. Внучков Д.А., Звегинцев В.И., Наливайченко Д.Г. Построение цилиндрических воздухозаборников для высоких скоростей полета из комбинации плоских течений // Теплофизика и аэромеханика, 2013, Т 20, № 1. С. 67-80.
3. Внучков Д.А., Звегинцев В.И., Наливайченко Д.Г. Экспериментальное исследование цилиндрического воздухозаборника, построенного на основе плоских течений // Теплофизика и аэромеханика, 2014, Т. 21, № 2. С. 179-186.
4. Внучков Д.А., Звегинцев В.И., Иванов И.В., Наливайченко Д.Г., Старов А.В. Испытания ПВРД с горением водорода и измерением тяговых характеристик в аэродинамической трубе // Труды МАИ Вып. №82, 21 с. www.mai.ru/science/trudy/.
5. Галкин В.М., Внучков Д.А., Звегинцев В.И. Газодинамическое конструирование туннельного осесимметричного воздухозаборника изоэнтропического сжатия // ПМТФ, №5, 2015. – С. 111-118.
6. Галкин В.М., Звегинцев В.И., Внучков Д.А. Проектирование кольцевых сверхзвуковых воздухозаборников изоэнтропического сжатия // Теплофизика и аэромеханика, 2016, Т. 23, № 5. С. 171-181.
7. Фролов С.М., Звегинцев В.И., Иванов В.С., Аксенов В.С., Шамшин И.О., Наливайченко Д.Г., Внучков Д.А., Берлин А.А., Фомин В.М. Макет-демонстратор непрерывно-детонационного прямоточного воздушно-реактивного двигателя. Результаты испытаний в аэродинамической трубе // Доклады АН. –2017. –Т. 474 No. 1. –С. 51-55.
8. Frolov S.M., Zvegintsev V.I., Ivanov V.S., Aksenov V.S., Shamshin I.O., Vnuchkov D.A., Nalivaichenko D.G., Berlin A.A., Fomin V.M. Wind tunnel tests of a hydrogen-fueled detonation ramjet model at approach air stream Mach numbers from 4 to 8 // International Journal of Hydrogen Energy. –2017. –Vol. 42 No. 40. –P. 25401-25413.
9. Frolov S.M., Zvegintsev V.I., Ivanov V.S., Aksenov V.S., Shamshin I.O., Vnuchkov D.A., Nalivaichenko D.G., Berlin A.A., Fomin V.M., Shplyuk A.N., Yakovlev N.N. Hydrogen-fueled detonation ramjet model: Wind tunnel tests at approach air stream Mach number 5.7 and stagnation temperature 1500 K // International Journal of Hydrogen Energy. –2018. –Vol. 43 No. 15. –P. 7515-7524.

10. Внучков Д.А., Звегинцев В.И., Наливайченко Д.Г., Смоляга В.И., Степанов А.В., Испытания ПВРД твёрдого топлива с измерением тяговых характеристик в аэродинамических установках // направлена в Теплофизика и аэромеханика, 2018, Т. 25, № 4. С.

9. Учитывая вышеизложенное, постановили:

Диссертация Внучкова Д. А. «Исследование прямооточных воздушно-реактивных двигателей на твердом топливе в аэродинамических установках» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Опубликованные по теме диссертации научные работы отражают ее содержание.

Диссертация «Исследование прямооточных воздушно-реактивных двигателей на твердом топливе в аэродинамических установках» Внучкова Дмитрия Александровича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.02.05. – механика жидкости, газа и плазмы.

Заключение принято на заседании семинара «Теоретическая и прикладная механика» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

На заседании присутствовали: чл.-корр. РАН Шиплюк А.Н., академик РАН Фомин В.М., д.т.н. Баев В.К., д.т.н. Лебига В.А., д.ф.-м.н. Запрягаев В.И., д.ф.-м.н. Бойко В.М., д.т.н. Звегинцев В.И., д.ф.-м.н. Маслов А.Н., д.т.н. Третьяков П.К., к.ф.-м.н. Мажуль И.И., и другие, всего 22 сотрудника с учёной степенью. Результаты голосования: "за" – 22 чел., "против" – 0 чел., "воздержалось" – 0 чел., протокол № 44 от 25 мая 2018 г.

Зам. председателя семинара

Акад. РАН

_____ В.М. Фомин

Секретарь семинара

к.ф.-м.н.

_____ Е.И. Головнева