

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** 24.2.327.06

**Соискатель:** Василевский Дмитрий Олегович

**Тема диссертации:** Способ увеличения удельного импульса тяги за счёт интенсификации теплообмена в системе охлаждения камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя

**Специальность:** 2.5.15. — «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

### **Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации.**

На заседании 23 января 2023 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, приведенным в "Положении о присуждении ученых степеней", утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Василевскому Дмитрию Олеговичу ученую степень кандидата технических наук.

**Присутствовали:** председатель диссертационного совета Равикович Ю.А., ученый секретарь диссертационного совета Краев В.М., члены диссертационного совета: Агульник А.Б., Абашев В.М., Демидов А.С., Лесневский Л.Н., Марчуков Е.Ю., Молчанов А.М., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Попов Г.А., Силуянова М.В., Тимушев С.Ф., Хартов С.А., Шмотин Ю.Н.

Ученый секретарь диссертационного совета  
24.2.327.06, д.т.н., доцент

Краев В.М.

Начальник отдела УДС МАИ

Т.А. Анисимов



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.06,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 23.01.2023 г. № 35

О присуждении Василевскому Дмитрию Олеговичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Способ увеличения удельного импульса тяги за счёт интенсификации теплообмена в системе охлаждения камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя» по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 14.11.2022 г., (протокол заседания № 22) диссертационным советом 24.2.327.06, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4; приказ Министерства науки и высшего образования РФ о создании диссертационного совета – №669/нк от 24.06.2022 г.

Соискатель Василевский Дмитрий Олегович, 14.08.1993 года рождения, работает в ОКБ им. А. Люльки, филиал ПАО «ОДК-УМПО», в расчётном исследовательском управлении 2400 в бригаде теплообмена 2430 в должности инженера-конструктора 2 категории.

В 2018 г. окончил Московский авиационный институт по специальности «Проектирование авиационных и ракетных двигателей». В 2022 г. окончил

аспирантуру Московского авиационного института по направлению подготовки «Авиационная и ракетно-космическая техника».

Диссертация выполнена на кафедре 202 «Ракетные двигатели» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Коломенцев Александр Иванович, кандидат технических наук, профессор кафедры 202 «Ракетные двигатели» МАИ.

Официальные оппоненты:

Кретинин Александр Валентинович, доктор технических наук, профессор кафедры «Нефтегазового оборудования и транспортировки», ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет» (г. Воронеж);

Мосолов Сергей Владимирович, кандидат физико-математических наук, ГНЦРФ «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша», начальник направления жидкостных ракетных двигателей дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное казённое предприятие «Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности» (ФКП «НИЦ РКП») (г.Пересвет), в своем положительном отзыве, подписанном Юрьевым Игорем Анатольевичем, кандидатом технических наук, заместителем генерального директора по научной работе ФКП «НИЦ РКП», и утвержденном Генеральным директором ФКП «НИЦ РКП» Н.П.Сизяковым, указала, что диссертация Василевского Д.О. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, имеющие важное значение при разработке ракетных двигателей. Данная работа соответствует паспорту специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов». Рассматриваемая диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных

степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор Василевский Дмитрий Олегович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, 4 из которых - в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК, общим объёмом 4 п.л. Одна статья написана Василевским Д.О. лично, остальные – в соавторстве. 16 работ - тезисы докладов и материалы конференций. Все работы по теме диссертации.

Данные публикации посвящены вопросу повышению энергетических параметров кислород-водородного жидкостного ракетного двигателя (ЖРД), а так же системы охлаждения корпуса ЖРД.

Авторский вклад соискателя заключается в:

- разработке методики и программного обеспечения по проектированию камеры сгорания и сопла кислород-водородного ЖРД, а также определению оптимальных параметров тракта охлаждения в системе охлаждения двигателя;
- в выполнении многовариантных расчётов по обеспечению наибольшего удельного импульса тяги за счёт интенсификации теплообмена с использованием внутренних продольных рёбер;
- в проведении верификации кислород-водородных ЖРД с целью проверки адекватности математической модели.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые работы соискателя:

1. Беляков В. А., Василевский Д. О. Перспективные схемные решения безгазогенераторных двигателей // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2019. № 58, С. 69–86. Doi: 10.15593/2224-9982/2019-58-06;
2. Беляков В. А., Василевский Д. О., Ермашкевич А.А. и др. Развитие концепции многофазового жидкостного ракетного двигателя на трёхкомпонентном топливе / В. А. Беляков, Д. О. Василевский, А. А. Ермашкевич и др. // Сибирский аэрокосмический журнал. 2021. Т. 22, № 1. С.

121–136. Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-1-121-136;

3. Беляков В. А., Василевский Д. О., Ермашкевич А.А. и др. Проектирование системы охлаждения многоразового жидкостного ракетного двигателя на трёхкомпонентном топливе / В. А. Беляков, Д. О. Василевский, А. А. Ермашкевич и др. // Сибирский аэрокосмический журнал. 2021. Т. 22, № 2. С. 316–327. Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-2-316-327;

4. Василевский Д. О. Повышение удельного импульса кислород-водородного жидкостного ракетного двигателя за счёт увеличения теплоотдачи в камере сгорания / Д. О. Василевский // Сибирский аэрокосмический журнал. 2022. Т. 23, № 4.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все отзывы положительные).

**Отзыв на диссертацию ведущей организации — Федерального казенного предприятия «Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности» содержит замечания:**

1. В диссертационной работе исключены из рассмотрения конструктивные факторы и ограничения при оценке эффекта повышения удельного импульса двигателя за счёт повышения давления в камере сгорания (КС), энергетически обеспеченного повышением температуры водорода на выходе из тракта охлаждения камеры, а именно:

- увеличение массы КС, турбонасосного агрегата (ТНА), трубопроводов и агрегатов управления связанное с увеличением давления в системе подачи и необходимым увеличением прочности корпусных деталей;

- связанный с увеличением давления подачи компонентов рост частоты вращения роторов ТНА и ограничения предельно допустимой частоты вращения роторов реальной быстроходностью подшипников;

- снижение надёжности и ресурса элементов конструкции из-за возрастания нагрузки на элементы двигателя.

2. В диссертационной работе отсутствуют сведения о материалах обеспечивающих реализацию предложений по интенсификации теплообмена

между продуктами сгорания в КС и охладителем.

3. При выборе предлагаемой схемы протока охладителя от головки к срезу сопла двигателя из рассмотрения исключены вопросы компоновки двигателя, которая существенно изменится.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Кретинина А.В.,** доктора технических наук, профессора, содержит замечание:

1. В тексте диссертации встречаются опечатки, стилистические неточности, например, на странице 49 в п. 1.4 можно увидеть опечатку "недостататки" вместо "недостатки". Или на стр. 96 в первом предложении написано "позади" вместо "площади" и т.п.

2. В формуле 2.26 опечатка.

3. В формулах 2.73, 2.93 и т.д. не приводится конкретный вид зависимости  $\rho_{\text{охл}}(T, p)$ .

4. Давление лучше обозначать строчной буквой  $p$ , чтобы не путать с тягой (см. формулу 2.7 на стр. 55).

5. Из текста диссертации неясно, сохраняются ли те же самые расчетные соотношения для конвективного теплообмена продуктов сгорания с "огневой" стенкой при наличии на ней внутренних "газовых" ребер.

6. Неясен физический смысл вертикальных участков на графике изменения температур стенки (рис. 4.27). Аналогично, характер зависимости температуры внутренних ребер по их длине, приведенной на рис. 4.52, также нуждается в пояснении. Видимо, здесь надо учитывать процессы теплопроводности в материале стенки в осевом направлении.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Мосолова С.В.,** кандидата физико-математических наук, начальника направления жидкостных ракетных двигателей содержит замечания:

1. Не приводится тепло-гидравлический расчёт ракетного двигателя при меньших давлениях в КС и подогреве хладагента.

2. В тексте диссертации не приведены геометрические параметры двигателя SSME 40K.

3. На странице 93 имеется опечатка на рисунке 4.11 «Зависимость температуры после ТО от давления в КС» вместо «Зависимость температуры на выходе из ТО от давления в КС».

**Отзыв на автореферат диссертации филиала ПАО «ОДК-УМПО» «Опытно-конструкторское бюро имени А. Люльки», составленный Брегманом В.М., к.т.н., главным специалистом расчётно-исследовательского управления, содержит следующие замечания:**

1. При увеличении подогрева горючего в охлаждающем тракте камеры сгорания (что является полезным эффектом, т.е. приводит к увеличению удельного импульса тяги) одновременно происходит соответствующее снижение температуры газового потока, что снижает удельный импульс тяги. В автореферате недостаточно ясно указано влияние этих процессов на итоговый результат - повышение удельного импульса тяги.

2. В автореферате имеет место несогласованность терминологии, относящейся к предмету диссертации. Так, в частности, дополнительные продольные ребра, указанные в графической иллюстрации (стр. 15 автореферата) в тексте автореферата также называются, как правило, «внутренним оребрением» или «внутренними ребрами». Это затрудняет понимание автореферата.

**Отзыв на автореферат диссертации ЦИАМ имени П.И. Баранова, составленный Байковым А.В., к.т.н., начальником сектора отдела «Специальные авиационные двигатели и химмотология», содержит следующие замечания:**

1. В материалах автореферата не освещена работа ТНА рассматриваемого двигателя. Остается непонятным, насколько удалось улучшить основные параметры ТНА за счет увеличения теплосъема с поверхности камеры сгорания.

2. Как очевидный недостаток авторской методики расчета следует отметить применение старой критериальной зависимости типа Диттуса-Болтиера для расчета процесса теплоотдачи от охлаждаемой огневой стенки к

омывающему ее потоку водорода. Известны более точные критериальные зависимости позволяющие решить эту задачу. В формулах автора также не учтен температурный фактор, который играет важную роль в процессе теплообмена в случае использования жидкого водорода как теплоносителя для охлаждения камеры сгорания.

3. Насколько можно судить по материалам реферата, для расчета теплообмена от газового потока в огневую стенку, автор использует первую методику В.М. Иевлева. В то время как известна более поздняя методика С.С.Кутателадзе, которая дает более точные результаты, сопоставимые по точности с более сложной второй методикой В.М. Иевлева.

4. Насколько можно понять из материалов реферата, предлагаемый автором двигатель рассчитан на получение сравнительно небольшой силы тяги для полетов в открытом космосе. Поэтому непонятно, зачем автор делит расход водорода на два потока, для привода двух отдельных ТНА для подачи кислорода и водорода. В двигателе небольшой тяги было бы более целесообразно сделать единый турбонасосный агрегат с одной газовой турбиной. В этом случае водородная турбина имела бы повышенную парциальность и более высокий эффективный КПД.

**Отзыв на автореферат диссертации АО ТМКБ «Союз», составленный Подлевских А.П., к.т.н., ведущим научным сотрудником и Петренко В.М. ведущим научным сотрудником научно-исследовательского отдела содержит следующие замечания:**

1. На стр. 8 автореферата в формуле (1) по расчёту скорости истечения на срезе сопла, отсутствует расшифровка показателей  $P_a$ ,  $P_k$ ,  $k$ .

2. На стр. 18 автор указывает: «Согласно приведённым расчётам по варьированию высоты внутреннего ребра, получается, что высота ребра сильно зависит от температуры тора ребра и оптимальное значение находится при высоте 2 – 2,8 мм», при этом возникает вопрос: как учитывались результаты тепло-прочностных расчётов?

**Отзыв на автореферат диссертации СибГУ им. М.Ф Решетнева,**



составленный Назаровым В.П., заведующим кафедрой двигателей летательных аппаратов, содержит следующие замечания:

1. Не представлены результаты тепло-гидравлического расчёта при значениях давления в камере сгорания, отличающихся от оптимальных параметров в меньшую сторону.

2. Не приведены геометрические параметры двигателя SSME 40K, принятого в диссертации в качестве модельного для верификации результатов исследования (указан приблизительный масштаб: ~ 3 раза).

Выбор Кретинина А.В., доктора технических наук, профессора кафедры «Нефтегазового оборудования и транспортировки», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», (г. Воронеж) в качестве официального оппонента обосновывается его широкой компетентностью в вопросах теплообмена и гидравлики, что подтверждается многочисленными публикациями в рецензируемых российских и зарубежных журналах.

Выбор Мосолова С. В., кандидата физико-математических наук, начальника направления жидкостных ракетных двигателей ГНЦ РФ «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша») в качестве официального оппонента обосновывается его большим опытом в области расчетных и экспериментальных исследований тепло-гидравлических характеристик деталей и узлов ракетных двигателей что подтверждается многочисленными публикациями в рецензируемых российских и зарубежных журналах.

Ведущая организация Федеральное казенное предприятие «Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности» выбрана в соответствии с тем, что она является ведущим научно-испытательным центром, осуществляющим испытания изделий ракетной техники. Ведёт научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по испытаниям двигателей новых поколений. Специалисты ведущей организации, в том числе составившие отзыв на диссертацию, обладают опытом изучения процессов, протекающих в жидкостных ракетных двигателях (ЖРД). Это позволяет им

поколений. Специалисты ведущей организации, в том числе составившие отзыв на диссертацию, обладают опытом изучения процессов, протекающих в жидкостных ракетных двигателях (ЖРД). Это позволяет им оценить актуальность, научную новизну и практическую ценность результатов диссертации, а также сформировать рекомендации по практическому использованию этих результатов для предприятий отрасли, занимающихся конструированием и производством ЖРД.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- разработана схема охлаждения камеры сгорания (КС) водородом с учётом подачи его в область форсуночной головки за счёт развития внутренней поверхности КС;

- разработана математическая модель процесса охлаждения КС и сопла, учитывающая изменение теплофизических параметров по тракту охлаждения и термодинамических параметров в КС;

- разработана программа расчёта газодинамических и тепло-гидравлических параметров для выбора оптимальных геометрических параметров каналов тракта охлаждения;

**Теоретическая и практическая значимость работы** состоит в том, что разработанная новая схема охлаждения и математические методы высоконапряжённых узлов конструкции безгазогенераторных ЖРД позволяют увеличить надёжность их работы и увеличить удельный импульс тяги (УИТ) на 50 м/с.

**Полученные результаты могут использоваться** при создании двигателей на кислород-водородном топливе и в образовательном процессе высших учебных заведений.

**Достоверность и обоснованность научных результатов** подтверждается использованием известных научных положений и методов расчета ракетных двигателей, теории тепломассообмена и применением

- разработке методики и математической модели для проектирования ЖРД;
- проведении оптимизации системы охлаждения с наличием внутреннего оребрения;
- разработке системы охлаждения теплонапряженных узлов конструкции корпуса камеры двигателя.

На заседании 23 января 2023 года диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи увеличения удельного импульса тяги кислород-водородного жидкостного ракетного двигателя безгазогенераторной схемы присудить Василевскому Д.О. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 12 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 18 против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель

диссертационного совета 24.2.327.06

доктор технических наук, профессор



Равикович Юрий Александрович

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.2.327.06

доктор технических наук, доцент

Краев Вячеслав Михайлович

23 января 2023 г.