



**Госкорпорация «Роскосмос»**  
Федеральное казенное предприятие  
"Научно-испытательный центр  
Ракетно-космической промышленности"



**ФКП «НИЦ РКП»**  
Бабушкина ул., 9 д., г.Пересвет,  
Сергиево-Посадский городской округ,  
Московская область,  
Российская Федерация, 141320,  
Тел. (495)786-2270, (496)546-3321;  
факс (496)546-7698; телекс 846246 АГАТ;  
E-mail: [mail@nic-rkp.ru](mailto:mail@nic-rkp.ru)  
ОГРН 1025005328820; ОКПО 07540930;  
ИНН/КПП 5042006211/504201001

От 23.12.22 № 530-6918  
На 010/1608-1 от 15.12.2022

Председателю диссертационного совета  
24.2.327.06, д.т.н., профессору  
Равиковичу Ю.А.

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, д. 4

О направлении отзыва ведущей  
организации

Уважаемый Юрий Александрович!

Направляю отзыв ведущей организации на диссертационную работу Василевского Дмитрия Олеговича на тему «Способ увеличения удельного импульса тяги за счет интенсификации теплообмена в системе охлаждения камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов (технические науки)».

Приложение: Отзыв ведущей организации на 8 л., 2 экз., н/с.

Заместитель генерального директора  
по научной работе

И.А. Юрьев

Ретякова Елена Владимировна  
ОА-530, ведущий инженер  
8(496)546-32-10

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«28» 12 2022г.



**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор  
ФКП «НИЦ РКП»,  
доктор технических наук

Н.П. Сизяков

«28» декабря 2022 г.

## **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертационную работу Василевского Дмитрия Олеговича  
«Способ увеличения удельного импульса тяги за счет интенсификации  
теплообмена в системе охлаждения камеры сгорания жидкостного ракетного  
двигателя», представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные  
двигатели и энергоустановки летательных аппаратов (технические науки)»

Диссертационная работа Василевского Д.О. посвящена определению оптимальных геометрических параметров каналов тракта охлаждения безгазогенераторного кислородно-водородного жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) с целью увеличения надежности работы высоконапряжённых узлов конструкции безгазогенераторного ЖРД и увеличения удельного импульса тяги (УИТ).

### *Актуальность темы диссертации*

В настоящее время одними из главных задач является дальнейшее освоение космического пространства, освоение Луны, реализация идеи использования энергии Солнца. Решение этих задач требует разработки новых космических ракетных систем и космических аппаратов с использованием новых высокоэффективных и надежных ЖРД, к которым предъявляется следующие требования:

- высокий удельный импульс тяги;
- большая степень расширения сопла;
- высокое давление в камере сгорания;

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«28» 12 2022

- большой ресурс;
- минимальная стоимость;
- малые давления наддува баков;
- минимальные габаритные размеры.

Существующие требования к двигателям высоких ступеней показывают рациональность использования перехода к безгазогенераторным схемам ЖРД с целью снижения стоимости двигательных установок за счёт упрощения конструкции, снижения её массы и повышения надёжности.

Сравнительно более низкий уровень тяги упрощает систему охлаждения теплонапряжённых узлов конструкции за счет использования криогенных компонентов топлива и следовательно появляется возможность использования более эффективной системы охлаждения за счёт подачи криогенного компонента в область форсуночной головки и развития поверхности съёма тепла за счёт применения внутренних рёбер. Разработка методов оптимизации подобных конструкций позволяет спрогнозировать тепловое состояние и необходимые геометрические параметры на стадии проектирования, что делает данные исследования актуальными.

#### *Цель диссертационной работы*

Повышение удельного импульса тяги безгазогенераторного ЖРД за счёт интенсификации теплообмена в камере сгорания.

#### *Новизна полученных результатов*

С помощью разработанной автором математической модели процесса охлаждения камеры сгорания (КС) и сопла путём выбора газодинамического профиля учитывающего изменение теплофизических параметров по тракту охлаждения от коэффициента избытка окислителя (КИО) и давления в КС автором предложены методика и программа по расчёту газодинамических и теплогидравлических параметров, обеспечивающие выбор оптимальных проектных параметров тракта охлаждения и геометрических параметров внутренних рёбер ЖРД по критериям минимальных гидравлических потерь и максимального подогрева горючего.

### *Значимость полученных результатов для науки и практики*

Практическая значимость результатов работы состоит в том, что разработанная схема охлаждения и математические методы оптимизации высоконапряжённых узлов конструкции безгазогенераторных ЖРД позволяют увеличить надёжность их работы и увеличить УИТ.

### *Оценка структуры и содержания диссертации*

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы (92 наименования). Общий объем работы составляет 150 страниц, включая 89 рисунка и 10 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель работы и задачи, которые необходимо выполнить для достижения цели. Кроме того, сформулированы научная новизна и практическая значимость работы, а также основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертационной работы посвящена анализу безгазогенераторных ЖРД. На основании анализа ряда параметров рассматриваемых ЖРД, Василевский Д.О. отмечает, что у двигателей безгазогенераторной схемы удлинена цилиндрическая часть камеры для большего подогрева хладагента в тракте охлаждения и, что они работают при относительно низком давлении в КС. Поэтому в работе проводится исследование по увеличению давления и параметров работы камеры двигателя безгазогенераторной схемы, по результатам которых автор сформулировал постановку задачи, заключающуюся в разработке новой эффективной системы позволяющей производить надежное охлаждение высокотеплонапряженных элементов конструкции КС водородных безгазогенераторных ЖРД в целях получения высоких значений УИТ.

Во второй главе приводится описание методики расчёта охлаждения камеры сгорания и сопла. Автором представлены основные условия достаточного охлаждения камеры.

В третьей главе описан объект исследования диссертационной работы. Приведено описание пневмогидравлической схемы объекта исследования.

В четвертой главе приводится анализ повышения УИТ от давления в КС. Приводится расчёт геометрических и энергетических параметров двигателя по давлению в камере от номинального давления в КС, а также теплогидравлический расчёт охлаждения для двигателя с давлением в КС и соответственно по результатам расчетов автором получены зависимости температуры на выходе из тракта охлаждения (ТО) от давления в КС и суммарного массового расхода в двигатель и УИТ от давления в КС.

Далее приводится поверочный расчёт охлаждения двигателя с пересчётом геометрии ГДП камеры сгорания и сопла и переопределения геометрических параметров тракта охлаждения. Из расчётов приведенных Василевским Д.О. по варьированию высоты внутреннего ребра видно, что высота ребра сильно зависит от температуры торца ребра и оптимальное значение находится при высоте ребра 2 – 2,8 мм.

В пятой главе приводится расчётно-экспериментальное исследование тепловых процессов при регенеративном охлаждении.

Верификация проведена путём сравнения результатов расчетов плотности теплового потока, полученных при помощи разработанной математической модели с экспериментальными данными, опубликованными в открытой печати.

По результатам сравнению тепловых потоков автором сделан вывод, что разработанную математическую модель можно использовать при проектировании камер ЖРД и прогнозировании величин тепловых потоков и температур стенок в камере и сопле, так и для поверочных расчётов уже имеющейся конструкции камеры ЖРД.

Путём варьирования величин геометрических параметров ТО в разработанной математической модели, можно оптимизировать конструкцию с точки зрения требуемых температур стенок, гидравлических потерь и требуемых температур хладагента.

В заключении обобщаются результаты выполненного исследования и представлены выводы по работе.

Формулировки основных результатов и выводов логически следует из содержания диссертационной работы и соответствуют научным положениям, выносим на защиту.

В целом диссертация оформлена в соответствии с требованиями, достаточно структурирована и написана технически грамотным языком. Материал изложен последовательно и логично.

*Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов, сформулированных в диссертации*

Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов, сформулированных в диссертации подтверждается использованием всестороннего критического анализа известных натурных испытаний и экспериментальных результатов модельных двигателей, а также использованием верифицированных известных научных положений и методов расчета ракетных двигателей, теории теплообмена, хладотехники и теплотехники, основанных на фундаментальных положениях гидравлики, газовой динамики, термодинамики и теплофизики.

*Личный вклад автора*

Все изложенные в диссертации результаты получены лично автором, либо при его непосредственном участии.

*Апробация работы и публикации*

Основные результаты работы были представлены на конкурсе научно-технических работ и проектов «Молодежь и будущее авиации и космонавтики», (Москва, 2016 г.); XV, XVI, XIX Международных конференциях «Авиация и космонавтика» (Москва, 2016, 2017, 2020 гг.); II Международном православном студенческом форуме (г. Москва, 2016 г.); Международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития двигателестроения (г. Самара, 2016 г.); III Международной конференции «Актуальные проблемы авиации и космонавтики» (г. Красноярск, 2017 г.), Международной конференция «Математическое моделирование» (г. Москва, 2021 г.); Международной молодежной научной конференции «XXIII Туполевские чтения (школа молодых

ученых)» (г. Казань, 2017 г.); XLII-XLIV, XLVII и XLVIII Международных молодежных научных конференциях «Гагаринские чтения» (Москва, 2016-2018, 2021, 2022 гг.).

Основные результаты работы изложены в 4 публикациях в ведущих научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России.

#### *Замечания к диссертационной работе*

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

– увеличение массы КС, 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.

Вышеперечисленные замечания не снижают научной и практической значимости результатов исследования, а также не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Василевского Д.О.

### *Рекомендации*

Результаты диссертационной работы могут быть использованы на этапах эскизного и технического проектирования кислородно-водородного безгазогенераторного ЖРД.

### *Заключение*

Диссертационная работа Василевского Д.О. является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научной задачи – определению оптимальных геометрических параметров каналов тракта охлаждения безгазогенераторного кислородно-водородного ЖРД с целью увеличения надежности работы высоконапряжённых узлов конструкции безгазогенераторного ЖРД и увеличения УИТ, имеющей практическое и теоретическое значение. Научные положения и результаты, выносимые на защиту, полностью отражены в работе и публикациях и соответствуют научной специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов (технические науки)».

Таким образом считаем, что диссертационная работа Василевского Дмитрия Олеговича «Способ увеличения удельного импульса тяги за счет интенсификации теплообмена в системе охлаждения камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя» по научному уровню, полученным результатам, актуальности, практической и теоретической значимости, оформлению и содержанию диссертация полностью соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Василевский Д.О., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов (технические науки)».



Диссертационная работа, автореферат и отзыв на диссертационную работу  
обсуждены на заседании Президиума НТС ФКП «НИЦ РКП», протокол № 6/12  
от 08.12.2022.

Заместитель генерального директора  
по научной работе, к.т.н., доцент



И.А. Юрьев

Федеральное казенное предприятие «Научно-испытательный центр ракетно-  
космической промышленности», 141320, Московская область, Сергиево-  
Посадский городской округ, г. Пересвет, ул. Бабушкина, д. 9.

Юрьев Игорь Анатольевич, заместитель генерального директора по научной  
работе, кандидат технических наук, доцент, тел. 8(496)546-33-10,  
e-mail: [mail@nic-rkp.ru](mailto:mail@nic-rkp.ru)

С Отзывом ознакомлен 10.01.2023 В.С.О.