ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.288.10 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 17.02.2017 № 2

О присуждении Мураевой Марии Алексеевне, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование влияния изотермического расширения в турбине на улучшение параметров рабочего процесса и характеристик ГТД» по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов принята к защите 06.12.2016 г., протокол № 6 диссертационным советом Д 212.288.10 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации, 450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12, созданного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 92/нк от 09.02.2015 г.

Соискатель Мураева Мария Алексеевна 1991 года рождения, работает ассистентом кафедры авиационных двигателей Федерального государственного бюджетного образовательного учреждении высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

В 2013 году соискатель окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Уфимский государственный авиационный технический университет» по специальности «Авиационные двигатели и энергетические установки», получив диплом инженера с отличием.

В 2016 году окончила аспирантуру на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет».

Диссертация выполнена на кафедре авиационных двигателей Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, старший научный сотрудник Горюнов Иван Михайлович, профессор кафедры авиационных двигателей Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет».

Официальные оппоненты:

1. Крылов Борис Анатольевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник кафедры 201 «Теория воздушно-реактивных двигателей» Московского авиационного института,

2. Григорьев Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теории двигателей летательных аппаратов Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королёва дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева», г. Рыбинск, в своем положительном заключении, подписанным доктором технических наук, профессором Ремизовым Александром Евгеньевичем, заведующим кафедрой авиационных двигателей, и утвержденным доктором технических наук, профессором Полетаевым Валерием Алексеевичем, ректором ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный

авиационный технический университет имени П. А. Соловьева», указала, что диссертация Мураевой Марии Алексеевны на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи совершенствования термодинамического цикла газотурбинного двигателя (ГТД) путем организации изотермического расширения в турбине, имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний, а именно авиадвигателестроения, что соответствует требованиям п. 9 «Положение о присуждении ученых степеней»; Мураева Мария Алексеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Соискатель имеет 23 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 18 работ, 5 работ в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК общим объемом 38 страниц, 13 работ общим объемом 35 страниц. Наиболее значимые работы автора:

1. Мураева, М. А. Изотермический подвод тепла в турбине авиационных ГТД / М. А. Мураева, В. Ф. Харитонов, И. М. Горюнов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2014. – Т. 18, № 1. – С. 11-18. Вклад: выполнен анализ существующих работ, посвященных исследованию изотермического расширения в турбине ГТД.

2. Мураева, М. А. Оценка эффективности процесса горения в межлопаточном канале турбины для реализации изотермического расширения / М. А. Мураева, В. Ф. Харитонов, И. М. Горюнов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2015. – Т. 19, № 2. – С. 87-92. Вклад: исследован на основе численного моделирования процесс горения в межлопаточном канале турбины для организации изотермического расширения.

3. Мураева, М. А. Цикл ГТД с изотермическим расширением в турбине / М. А. Мураева, И. М. Горюнов, В. Ф. Харитонов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2015. – Т. 19,

№ 2. – С. 111-118. Вклад: выполнен термодинамический анализ идеального цикла ГТД с изотермическим расширением в турбине.

4. Мураева, М. А. Термодинамические основы изотермического расширения и методика расчета турбины ГТД с изотермическим расширением / М. А. Мураева, И. М. Горюнов, В. Ф. Харитонов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2015. – Т. 19, № 3. – С. 111-118. Вклад: сформированы теоретические основы изотермического расширения в турбине ГТД, создана методика термодинамического расчета турбины с изотермическим расширением в составе ГТД, реализованная в составе модуля TurbinaIs (зарегистрирован в Роспатенте № 2016614665 от 27.04.2016 г.) в составе системы математического моделирования DVIGwT.

5. Мураева, М. А. Эффективность применения изотермического расширения в турбине ГТД различных схем / М. А. Мураева, И. М. Горюнов, В. Ф. Харитонов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2016. – Т.20, №1 (71). – С. 108-115. Вклад: выполнено термодинамическое исследование целесообразности организации изотермического расширения в ГТД различных схем.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

- Официального оппонента доктора технических наук, старшего научного сотрудника Крылова Бориса Анатольевича. Замечания: 1. При выполнении численных исследований производится сравнение турбин с одинаковыми геометрическими параметрами как в случае адиабатического, так и в случае изотермического расширения. С точки зрения оценки КПД целесообразнее было бы увеличить площадь горла рабочей лопатки в случае изотермического расширения и сравнивать турбины при одинаковой степени реактивности. 2. При анализе различных схем подвода топлива в межлопаточный канал Мураева М. А. учитывает не все влияющие и зависимые факторы. Целесообразно включить анализ влияния формы осевого и поперечного сечения отверстий, к зависимым параметрам следует добавить полноту сгорания топлива и уровень эмиссии вредных веществ. 3. При анализе характеристики турбины с изотермическим

расширением Мураева М. А. в качестве объекта исследования принимает только одну турбину. Для более точных выводов следует рассмотреть ряд турбин различной размерности. 4. В диссертационной работе присутствуют мелкие опечатки, не влияющие на восприятие сути работы.

- Официального оппонента доктора технических наук, профессора Григорьева Владимира Алексеевича. Замечания: 1. Непонятно, в чем заключается улучшение параметров рабочего процесса (а, по большому счёту, их только два: $\pi^*_к$ и $T^*_г$), которое вынесено в наименование диссертации. 2. Вывод поправок на характеристики турбины с изотермическим расширением осуществляется на основе исследования только одной турбины; рассмотрение других турбин может изменить полученные коэффициенты уравнения. 3. При оценке эффективности ГТД важны как высотно-скоростные характеристики ГТД, так и особенно дроссельные, но в работе исследовано влияние только ВСХ. 4. На стр. 21 используются несистемные единицы Суд, фунт/(фунт сила· ч). 5. На рис. 1.1 неправильно указано положение символа T*. 6. При анализе работы М. Райса (глава 1, стр. 25) указано чрезмерное количество недостатков, не соответствующее замечаниям по другим авторам. 7. Графические зависимости выполнены с неудачными условными значками и зачастую имеют излишние сеточные линии (рис. 2.6, 2.7, 2.8, 2.11). 8. На размерных шкалах рис. 2.15 напрасно нанесены стрелочки. 9. На рис. 3.10 в подрисуночной подписи сказано, что приводятся экспериментальная и расчетная зависимости коэффициента профильных потерь от адиабатической скорости, но на рис. 3.10 (а, б, в) даны только точки.

- Ведущей организации ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева». Замечания: 1. Численные исследования турбины проводились на основе расчетной модели с тетраэдрической сеткой. Согласно практике моделирования лопаточных машин целесообразнее применять гексаэдрическую сетку. 2. Достоверность оценки численной модели турбины с изотермическим расширением на основе двух отдельных верификационных задач моделирования горения и газодинамики турбины может быть ниже, чем на основе экспериментального исследования

горения в межлопаточном канале. 3. В численной модели применялись пары керосина, рекомендации касательно схемы подвода топлива при моделировании подвода жидкого топлива могут отличаться от представленных в диссертации.

На автореферат поступило семь положительных отзывов.

1. Кандидат технических наук Загородский А. Г., главный специалист АО «СКБ «Турбина», Латыпин И. С., заместитель генерального директора по НИОКР – Главный конструктор АО «СКБ «Турбина». Замечание: Автору, при проведении численного моделирования в ПК ANSYS, следовало уделить больше внимания верификации расчетной модели, оценке влияния модели турбулентности и качества сетки.

2. Кандидат технических наук Болдырев О. И., и. о. Генерального конструктора АО «НПП «Мотор», Алексеев А. Ю., начальник расчетно-экспериментального сектора 31 отдела 30 «Турбина» АО «НПП «Мотор». Замечание: Из текста автореферата не ясно, какие величины автор называет параметрами цикла.

3. Белоусов В. А., заместитель Генерального конструктора АО «Объединенная двигателестроительная корпорация», доктор технических наук, Рябов Е. К., доцент, Руководитель группы АО «Объединенная двигателестроительная корпорация», доктор технических наук, профессор Гейкин В. А. заместитель Генерального конструктора АО «Объединенная двигателестроительная корпорация». Замечания: 1. Как автор оценивает принципиальную возможность организации горения топлива на выходе из СА турбины в сверхзвуковом потоке. 2. Какие основные изменения необходимо будет внести в систему охлаждения СА и РК ТВД и как они повлияют на эффективность нового цикла.3. Увеличение скорости потока на выходе из турбины с изотермическим расширением может ухудшить условия работы затурбинных устройств.

4. Кандидат технических наук Буров М. Н., Главный конструктор по перспективным разработкам ПАО «НПО «Сатурн». Замечания: 1. Не достаточно рассмотрены вопросы обеспечения работоспособности лопаток турбины при

реализации рассматриваемого процесса. 2. К анализируемым параметрам при выборе схемы подвода топлива в межлопаточный канал турбины следует добавить уровень эмиссии вредных веществ, поскольку этот фактор существенно зависит от формирования начальной стадии горения.

5. Кандидат технических наук Варсегов В. Л., доцент ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ». Замечания: 1. В тексте автореферата не детализовано исследование варьирования параметров при термодинамическом анализе применения изотермического расширения в турбине ТРД(Ф) и ТРДД(Ф)см. 2. В качестве программного комплекса для моделирования процесса горения выбран ANSYS CFX, в то время как общепризнанным комплексом для моделирования горения является ANSYS Fluent.

6. Кандидат технических наук Черкасов А. Н., доцент, Начальник 73 кафедры авиационных двигателей ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина». Замечания: 1. Параметры и характеристики газовых турбин с изотермическим расширением получены только расчетным путем без проведения эксперимента, в будущем целесообразно провести экспериментальные исследования. 2. Мало внимания уделено оценке возможности использования выходной кромки лопатки соплового аппарата в качестве стабилизатора пламени.

7. Доктор технических наук, профессор, Кузнецов В. И., профессор кафедры «Авиа- и ракетостроение» ФУБОУ ВО «Омский государственный технический университет», кандидат технических наук Яковлев А. Б., доцент, Заведующий кафедрой «Авиа- и ракетостроение» ФУБОУ ВО «Омский государственный технический университет». Замечание: не указано, с экспериментальными данными и расчетными исследованиями каких авторов сравнивались результаты расчетов по предлагаемой автором методике для оценки адекватности расчетных моделей.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций по соответствующей тематике и способностью определить научную и практическую

ценность диссертации. Доктор технических наук, старший научный сотрудник Крылов Б. А. известен своими работами в области газодинамики турбин ГТД, а доктор технических наук, профессор Григорьев В. А. – в области термодинамики ГТД, теории рабочих процессов. ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева» является одним их ведущих отечественных ВУЗов авиационного профиля, имеющим сильную школу в области аэродинамики элементов ГТД, численного моделирования процессов ГТД и теории рабочего процесса.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика термодинамического расчета турбины ГТД с изотермическим расширением, позволяющая производить расчет параметров и характеристик ГТД различных схем, оптимизировать термодинамические параметры ГТД, что дает возможность формировать и исследовать новые схемы ГТД;

предложены: научно обоснованное решение задачи совершенствования термодинамического цикла ГТД за счет организации изотермического расширения в турбине, имеющее значение для развития авиадвигателестроения, уравнения работы и термического КПД рассмотренного цикла в идеальном случае, программная реализация методики термодинамического расчета турбины ГТД с изотермическим расширением, способ подвода топлива в межлопаточный канал турбины, поправки характеристики турбины с адиабатическим расширением на изотермическое расширение, подходы к выбору термодинамических параметров исследованной схемы ГТД;

доказана перспективность применения изотермического расширения в турбине ГТД как способа совершенствования термодинамического цикла ТРД и ТРДД с малой степенью двухконтурности;

введено: понятие изотермического расширения в турбине как процесса с неизменной температурой на входе и выходе из турбины; понятие поправки характеристики турбины с адиабатическим расширением на изотермическое расширение.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны: закономерности влияния основных термодинамических и режимных параметров ГТД с изотермическим расширением в турбине на его экономичность и тяговые характеристики; закономерности изменения термогазодинамических параметров турбины с заданными геометрическими параметрами при организации в ней изотермического расширения на проектном режиме и при изменении режима работы турбины;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** комплекс методов термодинамики, механики жидкости и газа, а так же численные методы моделирования трехмерного течения с горением в потоке на основе уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу;

изложены факторы, определяющие эффективность подвода топлива в межлопаточный канал турбины для организации изотермического расширения;

раскрыта область целесообразного применения в авиадвигателестроении, а так же перспективы развития исследования изотермического расширения в турбине;

изучены: закономерности влияния основных термодинамических и режимных параметров ГТД с изотермическим расширением в турбине на его экономичность и тяговые характеристики; закономерности изменения термогазодинамических параметров турбины с заданными геометрическими параметрами при организации в ней изотермического расширения на проектном режиме и при изменении режима работы турбины;

проведены модернизация подходов к выбору ГТД с оптимальными параметрами путем включения принципиально новой схемы, модернизация методов трехмерного моделирования газодинамических процессов в турбине за счет внедрения процесса горения в межлопаточном канале.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана и внедрена математическая модель турбины ГТД с изотермическим расширением (модуль TurbinaIs): 1) в рамках научно-

исследовательской деятельности АО «НПП «Мотор» – новая методика моделирования рабочего процесса ГТД, расширяющая возможности предприятия в выборе оптимальных вариантов схем ГТД; 2) в учебный процесс ФГБОУ ВО «Уфимский государственной авиационный технический университет» – новые образовательные технологии при выполнении НИР и ВКР;

определены область целесообразного применения в авиадвигателестроении, а так же перспективы развития исследования изотермического расширения в турбине;

создана методика термодинамического проектирования ГТД с изотермическим расширением в турбине, включающая выбор оптимальных параметров рабочего процесса двигателя;

представлены рекомендации по выбору: оптимальных параметров рабочего процесса ГТД с изотермическим расширением в турбине; схемы подвода топлива в межлопаточный канал, а так же область применения и перспективные направления исследования изотермического расширения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена с использованием классических методов термодинамики, механики жидкости и газа, методов численного моделирования пространственного течения с горением в потоке газа;

идея базируется на сопоставлении разработанной методики с эквивалентной термодинамической моделью, примененные численные методы верифицированы на основе заимствованных экспериментальных данных;

использованы данные зарубежных специалистов, полученных ранее по рассматриваемой тематике, для сравнения с авторскими данными;

установлено хорошее количественное совпадение результатов расчета по предложенной автором методике и эквивалентной модели, а так же качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике; высокая точность результатов решения верификационных задач;

использованы современные программные продукты для формирования математической модели по разработанной методике (в САМСТО создан модуль

для DVIGwT); численного моделирования пространственного течения (ANSYS CFX); проведения и обработки расчетных исследований (Microsoft Excel).

Личный вклад соискателя состоит в:

разработке и программной реализации методики термодинамического расчета ГТД с изотермическим расширением в турбине, формировании методики численного моделирования турбины с изотермическим расширением, оценке адекватности разработанных методик на основе эквивалентной термодинамической модели и решения верификационных задач; апробации методик, выполнении на их основе расчетных исследований, в том числе определении поправки КПД турбины с адиабатическим расширением на изотермическое расширение, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что в диссертации:

- соблюдены установленные Положением о присуждении ученых степеней критерии, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени;

- отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученых степеней работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации;

- соискатель ссылается на авторов и источники заимствования;

- оригинальность диссертационной работы составляет 86,47%.

Диссертационная работа Мураевой М. А. «Исследование влияния изотермического расширения в турбине на улучшение параметров рабочего процесса и характеристик ГТД» соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, в редакции с изменениями, утв. Постановлением Правительства РФ от 21 апреля 2016 года № 335), предъявляемых к кандидатским диссертациям.

Тема работы и содержание исследований соответствуют паспорту научной специальности ВАК 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов по пунктам: п. 1, п. 2, п. 3, п.13.

Диссертация Мураевой М. А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена задача совершенствования термодинамического цикла ГТД за счет организации изотермического расширения в турбине ГТД, имеющая важное значение для развития авиадвигателестроения.

На заседании 17.02.2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Мураевой М. А. ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета Жернаков Владимир Сергеевич

Ученый секретарь
диссертационного совета Бакиров Федор Гайфуллович

17 февраля 2017 года