

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.06

Соискатель: Андросович Ирина Вячеславовна

Тема диссертации: Методика выбора оптимальных конструктивных параметров лабиринтных уплотнений газотурбинного двигателя

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

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

На заседании 18 декабря 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 Андросович Ирине Вячеславовне 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., Кочетков Ю.М., 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.

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

Краев В.М.

Начальник отдела УДС МАИ  
Т.А. Аникина



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 18.12.2023 г. № 56

О присуждении Андросович Ирине Вячеславовне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методика выбора оптимальных конструктивных параметров лабиринтных уплотнений газотурбинного двигателя» по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 09.10.2023 г., (протокол заседания № 50) 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 Российской Федерации о создании диссертационного совета – № 669/нк от 24.06.2023 г.

Соискатель Андросович Ирина Вячеславовна 23 января 1988 года рождения. В 2016 г. окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 24.04.05 Двигатели летательных аппаратов, магистр. Диплом об окончании магистратуры № 107724 0861651 рег.№ 3243. С



сентября 2018 г. – по март 2021 г. обучалась по программе двойных дипломов «МАИ-ШТУ» («Shanghai Jiao Tong University master degree program»):

- в 2020 г. окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 24.04.05 Двигатели летательных аппаратов, Тепловые процессы в ГТД, магистр. Диплом об окончании магистратуры № 107718 1178194;

- в марте 2021 г. окончила «Shanghai Jiao Tong University master degree program», Aeronautical Engineering at school of Aeronautics and Astronautics. Дипломы об окончании магистратуры № 1024832021202254, № 102489202102000119;

- В 2021 году окончила аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов». Диплом об окончании аспирантуры № 107718 1244243.

В период подготовки диссертации соискатель Андросович Ирина Вячеславовна работала в «Опытно-конструкторском бюро имени А. Люльки» – филиал публичного акционерного общества «Объединенная двигателестроительная корпорация – Уфимское моторостроительное производственное объединение» в должности инженера-конструктора 2 категории Отдела перспективных разработок (отд. 500); в «Опытно-конструкторском бюро имени П.О. Сухого» публичного акционерного общества «Объединенная авиастроительная корпорация» в должности инженера-конструктора 1 категории Отдела систем управления ЛА (отд. 8), бригады САУ и систем активной безопасности; в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего

образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»).

Диссертация «Методика выбора оптимальных конструктивных параметров лабиринтных уплотнений газотурбинного двигателя» выполнена в ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре 1202 «Технология производства и эксплуатации двигателей летательных аппаратов» (ТПЭДЛА).

Научный руководитель – Силуянова Марина Владимировна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология производства и эксплуатации двигателей летательных аппаратов» (ТПЭДЛА) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

- Евдокимов Алексей Иннокентьевич, доктор технических наук, профессор, главный специалист АО «ОДК» «НИИД»;
- Бадамшин Ильдар Хайдарович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Авиационные двигатели» ФГБОУ «Уфимского университета науки и технологии»

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 своём положительном отзыве, подписанным Ремизовым А.Е., доктором технических наук, профессором, заведующим кафедры «Авиационные двигатели», к.т.н., доцентом, проректором по науке и цифровой трансформации Сутягиным А.Н., указала, что значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки заключается в разработке методики определения оптимальных



конструктивных параметров уплотнительных узлов в системе авиационного двигателя. Практическая ценность результатов работы заключается в возможности использовать в конструкторских бюро и научно-исследовательских организациях: разработанную методику для оптимизации лабиринтного уплотнения по критериям двигателя; разработанную математическую модель для выполнения проектировочных и поверочных расчетов бесконтактных уплотнений как в изолированной постановке, так и в системе двигателя. Диссертационная работа Андросович Ирины Вячеславовны представляет собой законченную и выполненную самостоятельно научно-квалификационную работу, которая посвящена актуальной научной проблеме и имеет практическое и теоретическое значение. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне. Диссертация и автореферат написаны ясным и понятным научным языком. Содержание диссертации последовательно и связно отражает порядок и суть проведённых исследований. Применяемые в работе методы и порядок их применения описаны достаточно подробно. Автореферат по содержанию и структуре изложения в полном объеме отражает содержание диссертации. Судя по автореферату и диссертации основные результаты принадлежат лично автору. Научные положения и результаты, выносимые на защиту, полностью отражены в работе и публикациях и соответствуют паспорту специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов». Несмотря на отмеченные недостатки, диссертационная работа по содержанию, научному уровню, полученным результатам, актуальности, практической и теоретической значимости соответствует требованиям п.п. 9 - 14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор – Андросович Ирина Вячеславовна заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по

специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергетические установки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 25 опубликованных работ. Непосредственно по теме диссертационной работы основные результаты изложены в 21 публикациях, общим объёмом 6,32 п.л. Из 21 опубликованной работы по теме диссертации: 5 – статьи в изданиях, включенных в перечень ВАК, из которых 2 – статьи в изданиях, индексируемых в международной наукометрической базе «Scopus», 16 – тезисы докладов и материалы конференций. Восемь работ написаны автором самостоятельно, остальные в соавторстве.

Научные работы соискателя посвящены: математическому моделированию рабочих процессов в узлах авиационных двигателей; технологиям производства и проектированию уплотнительных узлов; системам управления летательного аппарата и алгоритмическому обеспечению; исследованиям прочностных характеристик элементов конструкции авиационных и космических систем; технологиям создания высокоэнергетических малогабаритных источников тока и электрических накопителей для силовых и аварийных электросистем самолета; беспилотным летательным аппаратам; послепродажному обслуживанию летательных аппаратов; педагогике в сфере научно-технического задела в области авиационного двигателестроения.

Личный вклад автора заключается:

1. в анализе особенностей лабиринтных уплотнений, применяемых в современных ГТД;
2. в разработке методики выбора оптимальных параметров лабиринтного уплотнения;
3. в разработке комплекса математических моделей, описывающих рабочие процессы в лабиринтных уплотнениях;
4. в решении задачи оптимизации лабиринтного уплотнения;
5. в валидации математических моделей;



6. в определении оптимальных параметров лабиринтного уплотнения по разработанной методике.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Наиболее значимые работы:

1. Андросович И.В., Силуянова М.В. Математическое моделирование работы лабиринтного уплотнения газотурбинного двигателя и его прочностных свойств// Авиационная промышленность. – 2021. – № 3-4. – С. 36-40. – EDN VAJRXE.
2. Андросович И.В. Математическое моделирование и оптимизация лабиринтного уплотнения газотурбинного двигателя с учётом прочностных свойств// Вестник Московского авиационного института. – 2022. – Т. 29. – № 2. – С. 107-117. – DOI 10.34759/vst-2022-2-107-117. – EDN EDKXRQ.
3. Андросович, И. В. Анализ влияния качества расчётной сетки и граничных условий на результаты математического моделирования и оптимизации лабиринтного уплотнения газотурбинного двигателя / И. В. Андросович, М. В. Силуянова // Двигатель. – 2021. – № 4 (136) – С. 13 – 15. – EDN DNMYCT.
4. Androsovich I.V., Siluyanov M., Borovikov D. Analysis of the geometric parameters influence on the labyrinth seals performance / Journal of Physics: Conf.Ser.: 2021. – P. 012075. – DOI 10.1088/1742-6596/1925/1/012075. – EDN MFZVNB.
5. Androsovich, I.V., Siluyanov, M.V. Optimization of Labyrinth Seals in Gas-Turbine Engines. Rus. Engin. Res. 41, 360–362 (2021). <https://doi.org/10.3103/S1068798X21040043>.

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

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Евдокимова А.И.,** доктора технических наук, содержит замечания:

1. До этапа внедрения предложенной методики выбора оптимальных конструктивных параметров лабиринтных уплотнений в реальных узлах ГТД

недостаточно качественно выполненных расчетно-аналитических исследований, требуется проведение цикла специальных лабораторных и стендовых натурных экспериментальных исследований.

2. В работе слабо представлены примеры конкретных конструктивных узлов двигателя с использованием лабиринтных уплотнений. При этом автор не указывает граничные условия в многообразии типов и конструкций уплотнений, что затрудняет оценить область возможного применения разработанного математического аппарата в задачах выбора оптимальных параметров лабиринтного уплотнения. Отсутствие конструктивной схемы конкретного узла с лабиринтным уплотнением затрудняет оценить получаемый эффект при замене применяемого уплотнения на оптимальное, кроме того не позволяет оценить результаты расчета запаса прочности выбранного варианта ЛУ.

3. К сожалению, в работе не делается оценка принципиальной возможности технологического изготовления лабиринтного уплотнения с выбранными расчетными оптимальными конструктивными параметрами, прежде всего с возможностью использования традиционных технологических процессов или разработкой новых принципов изготовления.

4. В настоящее время и в перспективе широкое применение получают лабиринтные уплотнения с сотовыми вставками. К сожалению, автор ограничивается конструктивной схемой ЛУ с гладкой поверхностью и не указывает на возможные особенности течения потока и оптимизации конструктивных параметров таких вариантов исполнения лабиринтных уплотнений.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Бадамшина И.Х.,**  
доктора технических наук, содержит замечания:

1. Для апробации работы желательно проведение натурных экспериментов. Это трудоёмкая и дорогостоящая задача. В этих условиях достаточно приемлемой является проверка адекватности модели с помощью



уже известных методик расчёта, численных экспериментов, а также использование результатов методик других авторов.

2. В задаче оптимизации лабиринтных уплотнений с точки зрения прочности рассматривается только статическое нагружение. Однако наибольшее количество дефектов связано с циклическим нагружением. Поэтому в дальнейших исследованиях необходимо оценивать долговечность лабиринтных уплотнений с учётом мало- и многоциклового усталости.

3. Объектом исследования являются малогабаритные детали с небольшими радиусами закруглений. Последние являются концентраторами напряжений, а они, в свою очередь, одной из причин возникновения трещин. Учёт концентрации напряжений требует более детальной проработки.

**Отзыв на диссертацию ведущей организации – ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» содержит замечания:**

1. Разработанная математическая модель бесконтактного уплотнения позволяет моделировать динамические процессы в уплотнительных узлах роторов газотурбинных двигателей и нагрев элементов конструкции, но не учитывает теплового расширения и характера изменения зазора бесконтактного уплотнения, хоть и допускает при незначительных изменениях использование в качестве зазора функции, а не константы.

2. В работе описано два метода оптимизации, при настройке математической модели уплотнения применяется метод NLPQL, приведены соответствующие уравнения, но не указаны преимущества данного метода. При постановке задачи оптимизации не даны рекомендации по методу оптимизации уплотнения. При оптимизации геометрии лабиринтного уплотнения применяется метод adaptive single objective, при этом в работе не приведено описание данного метода.

3. При настройке математической модели применяется критерий минимизации среднеквадратичных отклонений, а при сравнении математических моделей критерий корреляции Пирсона, который в свою

очередь также основан на значении среднеквадратичных отклонений, в тексте диссертации не дано пояснений о необходимости применения именно таких критериев.

4. Разработанная модель лабиринтного уплотнения не учитывает особенности конструктивного исполнения статорной поверхности (наличия прирабатываемого покрытия или сотовой вставки, а также возможности врезания гребешков лабиринта в эти поверхности).

5. Модель уплотнения разработана для воздушных полостей. При этом не понятно, можно ли ее использовать для двухфазных сред, которые имеют место в маслотовоздушных полостях опор двигателей.

6. Предложенная в работе методика предусматривает возможность отсутствия существующего решения с необходимостью уточнения требований и проектных параметров, но в рамках диссертации данный пункт не рассмотрен.

7. Читаемость работы осложнена за счет использования автором обозначений как из отечественной, так и из зарубежной литературы.

8. Сделанные в работе выводы не подтверждены натурными испытаниями, автор ограничивается численным исследованием.

**Отзыв на автореферат диссертации**, составленный доктором технических наук, профессором, проректором по научной работе, Бойко А.А. учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» не содержит замечаний.

**Отзыв на автореферат диссертации опытно-конструкторского бюро имени А. Люльки**, составленный кандидатом технических наук, главным специалистом, отдела 2401 Курмановым Б.И. и начальником отдела 2401 Стародумовой И.М. и утвержденный генеральным конструктором – директором ОКБ им. А. Люльки, доктором технических наук, профессором, член-корреспондентом РАН Марчуковым Е. Ю., содержит замечания:

Предложенная методика оптимизационного процесса была применена автором к прямоточному трёхзубому лабиринтному уплотнению. Полученная в результате оптимизации форма уплотнения необычна. Разработчики



авиационных двигателей в настоящее время не используют уплотнения такой формы. Снижение расхода через уплотнение в результате оптимизации на 28 % весьма желательно подтвердить экспериментально. Кроме этого, высота гребня оптимизированного уплотнения увеличилась в два раза, при этом нет упоминания об изменении веса уплотнения, что весьма важно для авиационных ГТД.

**Отзыв на автореферат диссертации** доктора технических наук, доцента, профессора кафедры Прикладной механики ФГБОУ ВО «Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Сорокина Фёдора Дмитриевича содержит замечания:

1. Из текста автореферата не ясно, как именно были выбраны ограничения при решении задачи оптимизации.
2. Восприятие информации, представленной на рис. 1 автореферата, затруднительно из-за выбранного размера шрифта.
3. В тексте автореферата не указано, в каких границах проводилось параметрическое исследование уплотнений.

**Отзыв на автореферат диссертации** Генерального конструктора дивизиона АО «Уральский завод гражданской авиации» Вакушина Сергея Александровича, подписанный Генеральным директором С.В. Федоровым, содержит замечания:

1. в тексте автореферата результаты параметрического исследования приведены крайне сжато и не позволяют в полной мере судить о специфике проведенного исследования;

2. в работе рассмотрено применения математической модели для анализа влияния параметров лабиринтного уплотнения на тепловые потоки в элементах конструкции уплотнительного узла и частоту вращения ротора, но выбор параметров ротора и элементов конструкции, использованных в уравнениях математической модели, ничем не обоснован;

3. автором не выполнена оценка возможного технического или экономического эффекта применения методики к двигателям современных летательных аппаратов, находящихся в эксплуатации.

**Отзыв на автореферат диссертации** кандидата технических наук, инженера-конструктора расчётно-экспериментального сектора отдела «Турбин» ПАО «ОДК – УМПО», КБ ОКБ «Мотор», Мураевой Марии Алексеевны, подписанный кандидатом технических наук, Главным конструктором ОКБ «Мотор» О.И. Болдыревым, начальником расчётно-экспериментального сектора отдела «Турбин» КБ ОКБ «Мотор» А.Ю. Алексеевым, утверждённый Заместителем генерального конструктора – директором ОКБ «Мотор» С.В. Кузьминым, содержит замечания:

1. конструкция лабиринтного уплотнения, полученная в ходе оптимизации, подвержена быстрому износу острой кромки гребня, что может существенно повлиять на эффективность его работы;

2. лабиринтное уплотнение разработанной конструкции сложно изготовить с требуемой точностью.

**Отзыв на автореферат диссертации** кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой Реактивных двигателей и энергетических установок ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», А.А. Лопатина содержит замечания:

1. в работе не рассматриваются технологические ограничения на возможные геометрические параметры лабиринтного уплотнения;

2. в рассмотренном примере автор не применяет все ограничения, указанные в постановке задачи оптимизации.

**Отзыв на автореферат диссертации** кандидата технических наук, начальника сектора «Анализа конструкций малоразмерных ГТД» отделения «Авиационные двигатели» ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова» Ремчукова С.С., утверждён д.т.н., доцентом, Заместителем генерального директора по науке А.В. Луковниковым, содержит замечания:

1. в материалах автореферата не уточняются особенности проведённого параметрического исследования, равно как и параметры



расчётной сетки или граничные условия при проведении численного моделирования методом конечных элементов;

2. на рисунке 5, видимо, имеются ошибочные обозначения, так как судя по легенде, например, результаты одномерного расчёта при частоте вращения 8000 об/мин коррелируют с данными CFD расчётов для частоты 16000 об/мин;

3. Представленная в главе 3 верификация касается сравнения результатов трёхмерного моделирования CFD с экспериментальными данными, однако в явном виде не представлена верификация разработанной автором методики;

4. в автореферате не раскрываются вопросы режимов работы лабиринтного уплотнения в связи с изменением радиального зазора от частоты вращения ротора под действием центробежных сил;

5. в работе не рассмотрено влияние параметров лабиринтного уплотнения и эффект от применения разработанной методики в системе ГТД, что было бы актуально для исследования по специальности 2.5.15.

**Отзыв на автореферат диссертации**, составленный кандидатом технических наук, доцентом, главным научным сотрудником – руководителем научно-производственного центра филиала ПАО «ОАК» - КнААЗ имени Ю.А. Гагарина Крупским Р.Ф., содержит замечания:

Недостаточно детально рассмотрено практическое применение предложенной методики.

Автором не оценивается ни порядок, ни качественное влияние проводимой оптимизации на летно-технические и взлетно-посадочные характеристики летательных аппаратов.

**Отзыв на автореферат диссертации** кандидата технических наук, доцента кафедры инновационных технологий наукоёмких отраслей, Милюкова Игоря Александровича, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» содержит замечания:

1. При моделировании рабочих процессов в лабиринтном уплотнении слабо обоснован выбор модели турбулентности;

2. Из автореферата не ясно, что автор понимает под моделью механических характеристик уплотнения (стр. 15);

3. Вывод на стр. 17, что уменьшение расхода через уплотнение зависит от диссипации энергии и уменьшения эффективной площади поперечного сечения в зазоре – общеизвестный факт и не требовал проведения моделирования. Так же, как и заключение, что размер зазора напрямую влияет на площадь поперечного сечения.

4. В автореферате не приведены результаты исследований лабиринтных уплотнений, предназначенных для работы в горячих узлах (турбине) газотурбинного двигателя.

5. Выводы по работе в автореферате сформулированы недостаточно чётко и конкретно.

**Отзыв на автореферат диссертации** доктора технических наук, профессора, профессора кафедры конструкции и проектирования двигателей летальных аппаратов, Новикова Дмитрия Константиновича, ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» содержит замечания:

1. созданная модифицированная математическая модель бесконтактного уплотнения верифицируется исключительно результатами численного моделирования. При сравнении с результатами натурных испытаний более высокие значения корреляции могут показать другие модели бесконтактных уплотнений;

2. в автореферате диссертации приведены результаты параметрического исследования геометрических параметров лабиринтного уплотнения на расход воздуха, но не приводятся границы этих параметров.

**Отзыв на автореферат диссертации**, составленный кандидатом технических наук, инженером-конструктором 1 категории КО турбин ПАО «ОДК-Сатурн» Пьянковой С.Ю., заверенный подписью начальника КО КМ и



ВУ, учёным секретарем, кандидатом технических наук Левитовой О.Н., утверждённый Генеральным конструктором ПАО «ОДК-Сатупн» Храминым Р.В. содержит замечания:

1. В работе не рассмотрены вопросы технологичности изготовления оптимизированной конструкции лабиринтных уплотнений;
2. К оформлению автореферата (увеличенный объем автореферата – много пустого места; нечитабельный шрифт блок-схем (рис. 1,2); непропорционально крупный шрифт (рис. 10); использование нескольких размеров шрифтов для подписей рисунков; на рис. 5 – трудно различить, что с чем сравнивается; рис. 9 – не хватает легенды).

**Отзыв на автореферат диссертации**, составленный кандидатом технических наук, нач. ОИД НПА «Технопарк АТ» Старовойтовым С.В. содержит замечания:

1. в рассматриваемом примере автором недостойно ясно обосновываются критерии выбора диапазона варьирования параметрами геометрии лабиринтного уплотнения в процессе решения задачи оптимизации;
2. автором недостаточно подробно указывается способ определения влияния граничных условий и качества расчетной сетки на устойчивость расчетов при выполнении оптимизации;
3. применение методики рассмотрено крайне сжато, также автором не указываются границы применимости предложенной методики;
4. низкое качество рисунков, приведенных в автореферате, опечатки в легенде графиков и недостаточно крупный шрифт блок схем.

**Отзыв на автореферат диссертации**, составленный заместителем начальника ОКБ по развитию Усмановым Д.К., начальником отделения двигательных систем и установок Немовым В.Ю., утверждённый главным конструктором ПАО «Ил» Ганиным С.В. содержит замечания:

1. Рис. 6 «Влияние геометрических параметров на расход воздуха через уплотнение» требуется пояснение, что означают положительные и отрицательные значения нормализованных параметров, каков может быть их вклад в эффективность;

2. Целесообразно отметить, из каких типов материалов должны быть выполнены типовые и оптимизированные уплотнения, какие конструкторско-технологические особенности в них заложены;

3. Из текста авторефераты в явном виде не уточняется, может ли быть применима разработанная методика только для авиационных двигателей или для любых машин с уплотнительными узлами, предназначена ли она для двигателей боевых и пассажирских самолётов.

**Отзыв на автореферат диссертации**, составленный доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Двигатели ЛА» Машошиным О.Ф., доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Двигатели ЛА» Чичковым Б.А., заверенный доктором технических наук, профессором, проректором МГТУ ГА по НРИИ Воробьевым В.В. содержит замечания:

1. По названию работы.

Название работы позволяет ожидать, что будут рассмотрены все разновидности лабиринтных уплотнений, применяемые в конструкциях ГТД (проточных частей компрессоров, опор, проточных частей турбин, прямооточных или ступенчатых и др.). Однако в тексте автореферата это не нашло отражения. Фактически рассмотрен только один тип уплотнений, что правильно было бы отразить и в названии работы.

2. В автореферате не представлены изображения исследуемых лабиринтных уплотнений в составе конструкций узлов, а также в полном объеме сведения о рабочих средах, в которых работают уплотнения.

3. Математическая модель и оценки выполнены только для наиболее простой разновидности уплотнения с гладкой поверхностью, однако в настоящее время в конструкциях узлов ГТД массово применяются уплотнения, имеющие в своем составе прирабатываемые покрытия, металлокерамические вставки, сотовые элементы, что существенно снижает актуальность и сужает область практического применения защищаемых положений.

4. В постановке задачи оптимизации уплотнения упоминается



"время раскрутки ротора" и нет учета режимов эксплуатации АД, их смены в полетном цикле; возможно, есть не соответствия в данных, показанных на рисунках 18 и 19 и в таблице 3.

5. Представленные, как результат оптимизации лабиринтного уплотнения, увеличение высоты гребня с 2 мм до 4 мм и уменьшение длины верхней грани с 0,5 мм до 0,1 мм, возможно, не несут достаточной новизны, так как лабиринтные уплотнения с указанными параметрами широко используются в конструкциях отечественных и зарубежных двигателей с 1970 годов.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Андросович И.В., что подтверждается их научными публикациями в данной области.

Выбор Евдокимова А.И., доктора технических наук, профессора, эксперта, обосновывается его значительным опытом в области экспериментальной и концептуальной проработки ГТД. Евдокимов А.И. регулярно публикуется в рецензируемых научных журналах, выступает на российских и международных конференциях. Его работы посвящены проблемам проектирования газотурбинных двигателей, технологическим задачам двигателестроения и экспериментальным исследованиям различных перспективных концепций двигателестроения.

Выбор Бадамшина И.Х., доктора технических наук, доцента, обосновывается его широкой компетентностью в вопросах двигателестроения, а также в задачах, связанных с прочностью и ресурсом газотурбинных двигателей. Бадамшин И.Х. регулярно публикует статьи в рецензируемых журналах по направлению диссертации, имеет 2 патента на изобретение предназначенные для повышения ресурса газотурбинного двигателя, регулярно участвует в конференциях.

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» (г. Рыбинск) выбрана в соответствии с высоким научно-техническим уровнем в области

двигателестроения, решении задач математического моделирования и оптимизации авиационных двигателей. Коллектив кафедры авиационных двигателей имеет большое количество трудов в рецензируемых научных журналах. Специалисты ведущей организации, в том числе составившие отзыв на диссертацию (протокол № 4 заседания кафедры «Авиационные двигатели» от 30.10.2023 г.), обладают большим опытом в области математического моделирования в том числе уплотнительных узлов газотурбинных двигателей.

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

- разработана одномерная математическая модель бесконтактных уплотнений, учитывающая динамические характеристики уплотнения, процессы теплообмена, а также механическое взаимодействие ротора и статора с потоком газа;

- разработана методика выбора оптимальных параметров геометрии уплотнения с учетом механического взаимодействия и теплообмена между потоком газа, ротором и статором;

- решена задача оптимизации параметров лабиринтного уплотнения;

- получены результаты математического моделирования, валидации математических моделей, параметрического исследования и оптимизации лабиринтного уплотнения.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработанная математическая модель позволяет:**

- повысить точность моделирования динамических процессов в роторных системах газотурбинных двигателей с учетом работы уплотнительных узлов;

- учитывать взаимное влияние сил вязкого трения, теплообмена и термогазодинамических процессов в уплотнительном узле.

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



- разработанная методика позволяет выполнять проектирование высокоэффективного лабиринтного уплотнения с учетом механического взаимодействия и теплообмена между потоком газа, ротора и статора;

- результаты диссертационной работы использованы «Опытно-конструкторском бюро имени П.О. Сухого» ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация», что подтверждено Актом о внедрении результатов диссертационного исследования №1/451084/1027 от 27.03.2023 г. при оценке уровня перспективных параметров авиационных двигателей.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

научные положения и выводы диссертации обусловлены применением теоретически обоснованных методов, применением современного метода конечных элементов, проверкой выполнения законов сохранения при математическом моделировании рабочих процессов в уплотнительных узлах и валидацией методик, которые показали сходимость результатов расчетов и известных опубликованных результатов численных и экспериментальных исследований других авторов на уровне 92-95%.

**Личный вклад соискателя состоит:**

- в разработке методики выбора оптимальных параметров лабиринтного уплотнения;
- в разработке комплекса математических моделей, описывающих рабочие процессы в лабиринтных уплотнениях;
- в решении задачи оптимизации лабиринтного уплотнения;
- в валидации математических моделей;
- в определении оптимальных параметров лабиринтного уплотнения по разработанной методике.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний, которые бы ставили под сомнение обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизну.

Соискатель Андросович И.В. ответила обстоятельно и аргументированно на все задаваемые ей в ходе заседания вопросы.

На заседании 18.12.2023 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи создания методики выбора оптимальных конструктивных параметров лабиринтных уплотнений газотурбинного двигателя, имеющей значение для развития авиационно-космической техники, присудить Андросович И.В. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 10 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 17, против - 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета 24.2.327.06

д. техн. наук, профессор



Равикович Юрий Александрович

Учёный секретарь

диссертационного совета 24.2.327.06

д. техн. наук, доцент

Краев Вячеслав Михайлович

18 декабря 2023 г.