

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д 212.125.08

Соискатель: Храмин Роман Владимирович

Тема диссертации: Особенности проектирования опоры радиально-упорного шарикового подшипника авиационного газотурбинного двигателя с консистентной системой смазки

Специальность: 05.07.05 - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации.

На заседании 22 марта 2021 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 Храмину Роману Владимировичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Равикович Ю.А., зам. председателя диссертационного совета Агульник А.Б., ученый секретарь диссертационного совета Зуев Ю.В., члены диссертационного совета: Демидов А.С., Кочетков Ю.М., Краев В.М., Кулешов Н.В., Лесневский Л.Н., Марчуков Е.Ю., 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., Чванов В.К., Шмотин Ю.Н.

Ученый секретарь диссертационного совета
Д 212.125.08, д.т.н., профессор



Ю.В. Зуев

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.08,
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
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 22.03.2021 г. № 4

О присуждении Храмину Роману Владимировичу, гражданину
Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Особенности проектирования опоры радиально-упорного шарикового подшипника авиационного газотурбинного двигателя с консистентной системой смазки» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 28.12.2020 г. (протокол заседания № 19) диссертационным советом Д 212.125.08, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации; 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4; приказ Минобрнауки РФ о создании диссертационного совета – № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Храмин Роман Владимирович, 1971 года рождения, работает генеральным конструктором публичного акционерного общества «ОДК - Сатурн».

В 1993 г. соискатель окончил Пермский государственный технический университет по специальности авиационные двигатели и энергетические установки. С 01.09.2018 г. по 31.08.2021г. был прикреплен к федеральному

государственному бюджетному образовательному учреждению высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук без освоения программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

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

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Равикович Юрий Александрович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», ректорат, проректор по научной работе.

Официальные оппоненты:

Балякин Валерий Борисович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», кафедра «Основы конструирования машин», заведующий кафедрой;

Сорокин Федор Дмитриевич, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», кафедра «Прикладная механика», профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский

государственный авиационный технический университет», г. Уфа, в своем положительном отзыве, подписанном Гишваровым А.С., доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой авиационных двигателей, Кривошеевым И.А., доктором технических наук, профессором кафедры авиационных двигателей и утвержденном Еникеевым Р.Д., доктором технических наук, профессором, первым проректором по науке, указала, что практическая значимость полученных результатов заключается в том, что разработанный расчетно-экспериментальный метод позволяет оптимально распределить потребные расходы охлаждающего воздуха на подшипники качения и на элементы конструкции. Тем самым, снижаются градиенты температур элементов подшипников, улучшается тепловое состояние консистентной смазки и повышается надежность ГТД. Разработанный метод анализа теплового состояния подшипников внедрен в практику работы ПАО «ОДК-Сатурн» г. Рыбинск. Результаты диссертационной работы целесообразно рекомендовать к использованию на предприятиях и в организациях, занимающихся проектированием и доводкой короткоресурсных газотурбинных двигателей таких, как ПАО «ОДК-Сатурн» (г. Рыбинск), ПАО «ОДК-УМПО» (г. Уфа), ПАО «ОДК-Авиадвигатель» (г. Пермь), ПАО «Силовые машины» (г. Санкт-Петербург), ПК «Салют» (г. Москва) и др. Диссертация Храмина Романа Владимировича на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи разработки эффективного расчетно-экспериментального метода проектирования опор ГТД с шариковыми подшипниками качения с консистентной смазкой и воздушным охлаждением, имеющей существенное значение для газотурбинного двигателестроения, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, все по теме диссертации, общим объемом 2,3 п.л., из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 2 работы, получено 2 патента на изобретения и 3 патента на полезную модель. Из 11 публикаций: 2 – статьи в научных журналах, 4 – тезисы докладов по материалам конференций, 2 – патенты на изобретения, 3 – патенты на полезную модель. Все работы написаны в соавторстве.

Данные публикации посвящены описанию методов измерения осевого усилия, воздействующего на радиально-упорный подшипник качения, с помощью динамического тензометрирования и теплового расчета опор с шариковыми подшипниками с консистентной смазкой для короткоресурсного авиационного ГТД, а также, представлению основных результатов экспериментальных работ. Получены патенты на способ измерения сил, действующих на подшипник качения при статическом и динамическом нагружении с использованием тензодатчиков сопротивления, устройство для смазки подшипников роторной машины и опоры ротора с консистентной смазкой.

Авторский вклад соискателя состоит в разработке нового расчетно-экспериментального метода проектирования опоры короткоресурсного авиационного ГТД с радиально-упорным шариковым подшипником с консистентной смазкой, основанном на экспериментальном исследовании теплового состояния опоры, а также на прямом замере осевого усилия, действующего на подшипник методом динамического тензометрирования с подводом охлаждающего воздуха на кольца подшипника.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Наиболее значимые работы соискателя.

1. Храмин Р.В., Слободской Д.А., Лебедев М.В., Собуль А.В. Совершенствование стендовой отработки газотурбинного двигателя за счет применения нового метода определения осевого усилия, воздействующего на

радиально-упорный подшипник качения // Вестник Московского авиационного института. 2019. Т. 26. № 1. С. 126-133.

2. Храмин Р. В., Кикоть Н. В., Лебедев М. В., Буров М. Н. Метод расчёта тепловыделения гибридных подшипников с консистентной смазкой // Труды МАИ, 2018, №102, URL: http://mai.ru/upload/iblock/ecc/KNhramin_Kikot_Lebedev_Burov_rus.pdf. (дата обращения: 20.11.2020).

3. Патент №2673503 Российская Федерация, МПК G01L 1/22 (2006.01). Способ измерения сил, действующих на подшипник качения при статическом и динамическом нагружении с использованием тензодатчиков сопротивления. №2017142243: заявлено 04.12.2017: опубл. 27.11.2018 / Храмин Р.В., Михайлов А.Л., Лебедев М.В., Веселов А.В., Слободской Д.А., Собуль А.В. – 10 с.: ил. - Текст: непосредственный.

4. Патент №199131 Российская Федерация, МПК G01L 1/22 (2006.01). Устройство измерения сил, воздействующих на опору ротора газотурбинного двигателя, с помощью динамического тензометрирования. №2020108393: заявлено 27.02.2020: опубл. 18.08.2020 / Храмин Р.В., Михайлов А.Л., Лебедев М.В., Веселов А.В., Слободской Д.А., Собуль А.В. – 5 с.: ил. - Текст: непосредственный.

5. Патент №186974 Российская Федерация, МПК F16N 11/04 (2006.01) Устройство для подачи консистентной смазки. №2018111842: заявлено 02.04.2018: опубл. 12.02.2019 / Храмин Р.В., Кикоть Н.В., Буров М.Н., Лебедев М.В., Равикович Ю.А. – 6 с.: ил. – Текст: непосредственный.

6. Патент №2682294 Российская Федерация, МПК F16C 27/00 (2006.01), F02C 7/06 (2006.01), F16C 33/66 (2006.01). Устройство для смазки подшипников роторной машины. №2018111906: заявлено 02.04.2018: опубл. 18.03.2018 / Храмин Р.В., Кикоть Н.В., Буров М.Н., Лебедев М.В., Равикович Ю.А. – 6 с.: ил. – Текст: непосредственный.

7. Патент №2723515 Российская Федерация, МПК F16C 27/00 (2006.01), F02C 7/06 (2006.01), F16C 33/66 (2006.01). Опора ротора с консистентной смазкой. №2019129044: заявлено 13.09.2019: опубл. 11.06.2019

/ Храмин Р.В., Кикоть Н.В., Лебедев М.В., Старков Р.Ю. – 7 с.: ил. – Текст: непосредственный.

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

Отзыв на диссертацию официального оппонента Балякина В.Б., доктора технических наук, содержит замечания:

1. Не приведена относительная погрешность экспериментальных данных, что затрудняет оценку достоверности результатов исследования.

2. Часть графиков не имеет размерностей по осям координат, что позволяет провести лишь качественную оценку результатов данного исследования.

3. Имеются незначительные замечания в оформлении диссертации, так непонятны индексы в формулах 2.15, 2.19 и 2.20.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Сорокина Ф.Д., доктора технических наук, содержит замечания:

1. Судя по пятой главе диссертации ее автор владеет решением задач вычислительной газовой динамики с использованием программного комплекса ANSYS CFX. Но задача из второй главы о течении смазки при вращении внутреннего кольца подшипника тоже могла быть решена тем же комплексом ANSYS CFX. Почему не была использована эта возможность?

2. Уравнения движения смазки (2.2) – (2.4) и следующие за ними критерии подобия (2.5) – (2.8) недостаточно прокомментированы, поэтому их трудно анализировать. Не раскрыты обозначения (некоторые из них не являются общепринятыми), не показаны размерности. Особенно трудно читаются некоторые эмпирические формулы из первой главы, в которых не указаны единицы измерения, входящие в них величин.

3. Значительную часть четвертой главы (более 40% содержания главы) занимают таблицы. Вполне достаточно было бы оставить в тексте диссертации для примера одну такую таблицу, а остальные таблицы заменить

описанием или графиками. При необходимости оставшиеся таблицы целесообразно было бы перенести в приложение.

4. Выводы по многим главам носят декларативный характер. Например, вместо «Выполнен обзор...» целесообразно было бы сформулировать: «Выполненный обзор показал, что...».

5. В тексте диссертации встречаются опечатки в формулах и некоторых заголовках.

Отзыв на диссертацию ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» содержит замечания:

- не представлен алгоритм определения показателей степени в критериальном уравнении коэффициента сопротивления без внешнего теплообмена;

- не приведена количественная оценка погрешности определения параметров теплового состояния подшипника с использованием расчетной методики по сравнению с экспериментом;

- не приведено обоснование некоторых допущений, заложенных в методику 3D-моделирования сопряженного теплообмена опоры компрессора (коэффициент термического сопротивления при передаче тепла в стыке между твердыми телами, коэффициент теплоотдачи в граничных условиях теплообмена полотна третьей ступени со стороны дисковой полости компрессора).

Отзыв на автореферат диссертации федерального государственного унитарного предприятия «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова» составленный Петровым Н.И., кандидатом технических наук, начальником сектора исследований подшипников и утвержденный Ножницким Ю.А., доктором технических наук, профессором, заместителем генерального директора - директором

исследовательского центра «Динамика, прочность, надежность», содержит замечания:

а) Следует отметить, что отраслевых стандартов по расчетам тепловыделения в подшипниках с консистентной смазкой нет не только для подшипников с керамическими шариками, как указано в автореферате, но и для подшипников со стальными шариками. В диссертации, по-видимому, впервые (по крайней мере в отечественных работах) проведено исследование теплового состояния подшипников опоры высокооборотного ротора при консистентной смазке.

Однако, как следует из автореферата, данные исследования тепловыделения в подшипнике с консистентной смазкой проведены только для гибридного подшипника с керамическими шариками, поэтому, к сожалению, результаты исследований не могут быть применены для подшипников со стальными шариками, т.к. их коэффициенты температурного расширения и коэффициенты трения имеют существенные отличия.

б) В теоретическом описании процесса движения смазки в подшипнике (вторая глава диссертации) и при обработке результатов экспериментов по оценке тепловыделения (глава четыре) диссертантом применены критерии Рейнольдса, Эйлера и Прандтля. Данные критерии могут быть применены при смазывании и охлаждении подшипника циркулирующей под определенным давлением жидкой смазки. При консистентном смазывании применение критерия Рейнольдса, характеризующего гидродинамический режим течения жидкости в потоке, и критерия Эйлера, характеризующего отношение гидродинамического давления в потоке к силам инерции, вызывает сомнение. В то же время нельзя не согласиться с совпадением расчетных значений тепловыделения в подшипнике с экспериментальными.

в) В автореферате, в описании третьей главы диссертации, не ясно прописан механизм метода динамического тензометрирования при изменении осевых нагрузок на подшипник, не сказано, как проводится калибровка измерительных каналов, какова погрешность измерения, в чем преимущество предложенного метода. Если, как сказано вначале описания, известно, что

направление осевого усилия против потока, то зачем выполнять пазы (скосы) с обоих торцов наружного кольца подшипника?

Отзыв на автореферат диссертации акционерного общества «Летно-исследовательский институт им. М.М. Громова», составленный Черванюком В.В., доктором технических наук, главным научным сотрудником, Кулаковым А.Д., кандидатом технических наук, директором по испытаниям силовых установок – начальником НИО-3 и утвержденный Деевым К.В., кандидатом технических наук, первым заместителем генерального директора по науке – начальником НИЦ, содержит замечания:

в автореферате не представлены:

- типовая процедура изменения расхода и температуры охлаждающего воздуха в зависимости от параметров работы двигателя и летательного аппарата $G, T=f(n, T_r)$;

- система генерации охлаждающего воздуха и система эксплуатационной диагностики, а -при экспериментах автор не выполнил выделение отдельно каждого влияющего фактора: частота вращения и осевая сила.

В дальнейших своих исследованиях автору следует обратить внимание на учет влияния «летного фактора», когда температура конструкции опор существенно меняется от параметров режима полета самолета и работы двигателя, а также не рассмотрен режим нестационарного охлаждения двигателя после его остановки, когда охлаждающий воздух не поступает, а идет интенсивный разогрев конструкции двигателя.

Отзыв на автореферат диссертации Ярославцева С.В., кандидата технических наук, ученого секретаря акционерного общества «Турбонасос» содержит следующие замечания:

1. Название диссертационной работы не в полной мере раскрывает основную суть выполненных исследований и разработок, а именно использование принципа воздушного охлаждения подшипников с консистентной смазкой.

2. В автореферате не представлены величины значений расхода воздуха на охлаждение подшипников, обеспечивавших допустимую температуру консистентной смазки.

3. Выводы излишни декларативны.

Отзыв на автореферат диссертации Плужникова В.И., кандидата технических наук, старшего научного сотрудника, ведущего научного сотрудника 23 НИО 2 НИУ НИЦ (г. Люберцы) Центрального научно-исследовательского института Военно-воздушных сил (Министерства обороны Российской Федерации) содержит следующие замечания:

- из автореферата не ясно, есть ли ограничения предложенного расчетно-экспериментального метода определения тепловыделения в подшипнике от параметра быстроходности.

- из автореферата не ясно, как выбирается количество и геометрия пазов на наружном кольце подшипника для установки тензорезисторов при изменении осевой силы, действующей на подшипник.

Отзыв на автореферат диссертации Иноземцева А.А., доктора технических наук, профессора, члена-корреспондента РАН, управляющего директора – генерального конструктора акционерного общества «ОДК-Авиадвигатель» содержит одно замечание:

– в автореферате отсутствует анализ современного состояния и перспектив развития технологий консистентных смазочных материалов для теплонапряженных подшипников качения авиационных ГТД.

Отзыв на автореферат диссертации Михайлова С.А., доктора технических наук, профессора, проректора по научной и инновационной деятельности федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ» содержит замечания:

1. Раскрыты не все величины, входящие в зависимость (1).
2. По моему мнению, следовало более детально описать результаты испытаний, полученных в главе 3.

3. Не представлены конкретные величины расхода охлаждающего воздуха, необходимого для обеспечения приемлемой температуры консистентной смазки.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников производственного комплекса «Салют» акционерного общества «Объединенная двигательная корпорация», составленный Ананьева В.В., главным специалистом по тепломассообмену, Петровым Е.В., начальником отдела прочности и тепломассообмена, Гореловым Ю.Г., кандидатом технических наук, заместителем начальника отдела прочности и тепломассообмена и утвержденный Скирдовым Г.П., генеральным конструктором ПК «Салют» содержит следующие замечания:

1. В автореферате не приведены данные об уровнях, замеренных в наружной обойме подшипника, динамических напряжений при построении зависимости от осевого усилия, достигавшего 1000 кгс.

2. В исследованном на установке в диапазоне изменения F_a (рис. 10. 11) коэффициент сопротивления оказывает весьма незначительное влияние: $C=0,0023-0,00276$ при изменении Q от 78Вт до 678Вт, основное влияние оказывает $U_{сеп.}$ и l . Отличие экспериментальных и расчетных точек от экспоненциальных кривых при $q_{возд.}=38г/с$, $F_a=320кгс$ и $460кгс$ составило 36% и 46%, соответственно, что составляет довольно значительную величину. Для $F_a > 270-325кгс$ точки для расчетного и экспериментального тепловыделения также существенно отличаются от экспоненциальных кривых. Полученные для двигателя значения $Q_{расч.}=688Вт$ при $F_a=579кгс$ и $Q_{расч.}=803Вт$ при $F_a=920кгс$ при $q_{возд.}=61г/с$ и $70г/с$, соответственно, лежат ниже экспоненциальных кривых и свидетельствуют о зависимости величины тепловыделения от расхода воздуха.

3. Автор продемонстрировал возможности методики при сравнении расчетных и экспериментальных данных на стационарных режимах работы. Вместе с тем, на стационарных режимах картина функционирования систем охлаждения подшипникового узла значительно изменяется ввиду тепловой инерционности, что может повлиять на работоспособность подшипника.

Отзыв на автореферат диссертации Публичного акционерного общества «ОДК-Сатурн», составленный Михайловым А.Л., доктором технических наук, старшим научным сотрудником, главным техническим аудитором по конструкционной прочности и утвержденный Поляковым В.А., заместителем генерального директора-Управляющим директором содержит следующие замечания:

отсутствие в автореферате пояснений:

- оценки повышения удельных характеристик ГТД в рассмотренном случае опоры с консистентной смазкой относительно опоры с традиционной смазкой маслом;

- нет количественной оценки погрешности вычисления тепловыделения в подшипнике и необходимой точности его определения исходя из работоспособности смазки;

- не приведена оценка долговечности подшипника.

Отзыв на автореферат диссертации Легконогих Д.С., кандидата технических наук, доцента, доцента 73 кафедры авиационных двигателей Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) содержит замечания:

1. Не приведены характеристики консистентной смазки, применяемой в радиально-упорном шариковом подшипнике.

2. Не указана температура, давление, расход, а также место отбора охлаждающего воздуха.

3. Не показано, каким образом происходило измерение температуры колец подшипника при проведении экспериментальных исследований.

Отзыв на автореферат диссертации Жукова Н.В., кандидата технических наук, старшего научного сотрудника ПАО «РКК «Энергия» содержит следующие замечание:

1. В качестве замечания (которое может рассматриваться как пожелание автору по выбору дальнейших направлений исследований) необходимо отметить, что в автореферате не приведены сведения по применимости разработанной методики проектирования опоры с шариковым

подшипником и консистентной смазкой при создании других типов двигателей.

Отзыв на автореферат диссертации Кожиной Т.Д., доктора технических наук, профессора, проректора по науке и инновациям федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» содержит замечания:

1) в описании содержания первой главы отсутствует анализ работ других ученых в части подходов к определению теплового состояния подшипников качения с консистентной смазкой;

2) из материалов автореферата не ясно, о чем свидетельствует и с какой целью представлена зависимость динамических напряжений от осевого усилия (с. 9, рис. 3);

3) в автореферате не указано при помощи каких алгоритмов и с использованием какого программного продукта автор обрабатывал результаты экспериментов с целью получения критериальной зависимости для коэффициента сопротивления (с. 13, зависимость 9).

Отзыв на автореферат диссертации Публичного акционерного общества «ОДК-Кузнецов», составленный Кочеровым Е.П., кандидатом технических наук, экспертом и утвержденный Чупиным П.В., генеральным конструктором содержит следующие замечания:

1. Отсутствуют данные по применению метода прогнозирования долговечности гибридного подшипника качения с учетом его теплового состояния. Контактные напряжения в гибридном подшипнике выше, чем в стальном, с другой стороны, меньший эллипс контакта в гибридном подшипнике ведет к снижению поверхностных касательных напряжений и, соответственно, к увеличению его долговечности. Кроме этого, за счет меньшей плотности нитрида кремния центробежная нагрузка на нагруженное кольцо гибридного подшипника меньше, чем в стальном подшипнике. Стандартные методики расчета долговечности подшипников не учитывают эти особенности и не могут быть напрямую применены для расчета гибридных подшипников.

2. Не приведена относительная погрешность аппроксимации экспериментальных данных и расчетных значений, что затрудняет оценку достоверности результатов исследований.

Отзыв на автореферат диссертации Открытого акционерного общества Авиамоторный научно-технический комплекс «Союз», составленный Казановым А.В., начальником ОКБ и утвержденный Критским В.Ю., генеральным директором – зам. генерального конструктора, содержит следующие замечания:

- апробация работы описана как обсуждение результатов исследований на научном семинаре МАИ и НТС ПАО «ОДК-Сатурн», но в представленных материалах значения, в частности, температур и оборотов ротора не указаны, а показан лишь характер изменения (см. рисунок 6);

- исследования теплового состояния подшипника проводить с регистрацией только наружной обоймы, а состояние внутренней обоймы является не менее важным из-за существующих проблем обеспечения требуемой подачи охлаждающего воздуха изнутри вала, где неизбежны паразитные утечки, в т. ч. через лабиринтные уплотнения.

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

Выбор Балякина В.Б., доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Основы конструирования машин» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве официального оппонента обосновывается его широкой известностью и компетентностью в вопросах расчетов и экспериментальных исследований подшипников опор авиационных газотурбинных двигателей. Балякин В.Б. является соавтором широко известной в отрасли монографии «Теория и проектирование опор роторных авиационных ГТД», в которой обобщены результаты многолетних теоретических и экспериментальных работ в области опор роторных

авиационных газотурбинных двигателей с подшипниками качения. За последние 5 лет Балякиным В.Б. в рецензируемых международных и отечественных журналах было опубликовано 9 статей по профилю диссертации.

Выбор Сорокина Ф.Д., доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Прикладная механика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» в качестве официального оппонента обосновывается тем, что он является известным специалистом в области математического моделирования подшипников качения. Предложенная Сорокиным Ф.Д. энергетическая модель роликового подшипника позволяет существенно проще, чем альтернативные методы, определять упругие реакции и жесткости подшипников. За последние 5 лет Сорокиным Ф.Д. в рецензируемых международных и отечественных журналах было опубликовано 8 статей по профилю диссертации.

Выбор ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» обусловлен ее высоким уровнем достижений в области фундаментальных и прикладных исследований в широком спектре направлений и, в частности, в области динамических процессов роторных систем и разработки конструкций подшипниковых опор газотурбинных двигателей. Специалисты ведущей организации, в том числе составившие отзыв на диссертацию, обладают опытом изучения процессов, протекающих в подшипниковых опорах и диагностики их технического состояния, что подтверждается публикациями в ведущих научных изданиях по теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан новый расчетно-экспериментальный метод проектирования опоры короткоресурсного авиационного газотурбинного двигателя (ГТД) с

радиально-упорным шариковым подшипником и консистентной смазкой, основанный на экспериментальном исследовании теплового состояния опоры с измерением температур наружного кольца, а также на прямом замере осевого усилия, действующего на подшипник методом динамического тензометрирования с подводом охлаждающего воздуха на кольца подшипника;

предложен способ измерения осевой силы методом динамического тензометрирования наружного кольца подшипника в составе опоры ГТД, позволяющий контролировать техническое состояние подшипника путем анализа спектра частот электрического сигнала с тензорезисторов;

доказано влияние осевой силы и частоты вращения ротора на изменение тепловыделения в подшипнике и на изменение температуры наружного кольца подшипника.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

получено на основе расчетно-экспериментального исследования критериальное уравнение для описания теплового состояния геометрически подобных опор ГТД с шариковыми подшипниками;

применительно к проблематике диссертации эффективно использованы экспериментальные зависимости температур колец подшипника от параметров осевой силы и частоты вращения ротора;

создан метод исследования теплового состояния подшипников качения с консистентной смазкой, позволяющий снизить время на проектирование подшипников узлов ГТД, обеспечить их работоспособность, повысить надежность и долговечность;

предложен способ динамического тензометрирования наружного кольца подшипника для определения осевой силы в составе ГТД, позволяющий контролировать это усилие на протяжении всего ресурса ГТД для определения его технического состояния.

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

разработан и внедрен метод анализа теплового состояния подшипников в практику работы ПАО «ОДК-Сатурн» г. Рыбинск;

разработана и запатентована конструкция опоры для малоразмерных короткоресурсных ГТД. Испытания изделия с такой опорой подтвердили высокую надежность работы предложенной конструкции;

определены потребные расходы охлаждающего воздуха через опоры перспективного двигателя с консистентной системой смазки;

созданы практические рекомендации для оптимального распределения потребных расходов охлаждающего воздуха на подшипники качения и на элементы конструкции.

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

для экспериментальных работ – все результаты получены на сертифицированном оборудовании, показана воспроизводимость результатов в различных условиях - как на испытательных стендах, так и в эксплуатации на предприятиях отрасли;

установлено качественное совпадение результатов расчетов и данных экспериментов, проведенных на современном оборудовании;

использованы современные методики измерения и современный математический аппарат.

Личный вклад соискателя состоит в:

– получении критериального уравнения расчетно-экспериментального определения теплового состояния геометрически подобных опор;

– разработке способа измерения осевой силы методом динамического тензометрирования наружного кольца подшипника в составе ГТД;

– разработке конструкции подшипника для постановки тензодатчиков;

– определении экспериментальных зависимостей температур колец подшипника от параметров осевой силы и частоты вращения ротора;

– разработке конструкции опоры ГТД с радиально-упорным шариковым подшипником с консистентной системой смазки и воздушным охлаждением.

Диссертация Храмина Р.В. является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи разработки метода проектирования опор ГТД с шариковыми подшипниками качения с консистентной смазкой и воздушным охлаждением, имеющей значение для развития газотурбинного двигателестроения. Эта диссертация, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, удовлетворяет всем критериям, приведенным в «Положении о присуждении ученых степеней».

На заседании 22 марта 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Храмину Р. В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 9 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель председателя
диссертационного совета
доктор технических наук,
старший научный сотрудник



Агульник Алексей Борисович

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор



Зуев Юрий Владимирович

22 марта 2021 г.

Начальник отдела УДС МАИ
Т.А. Аникина

