

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.437.09, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНО-
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК
аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 06.12.2023 № 6

О присуждении Худякову Владиславу Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Оценка работоспособности подшипников скольжения турбокомпрессоров применением комплексной методики расчета динамики гибкого ротора с учетом процессов теплообмена» по специальности 2.5.2. Машиноведение принята к защите 27.09.2023 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.2.437.09, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76, приказ о создании диссертационного совета № 1169/нк от 12 октября 2022 г.

Соискатель Худяков Владислав Сергеевич, 18.06.1995 года рождения, в 2017 г. окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» с присвоением квалификации бакалавра. В 2019 г. с отличием окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский

университет)» по направлению подготовки 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» с присвоением квалификации магистра. В 2023 г. окончил аспирантуру в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 15.06.01 «Машиностроение».

В настоящее время работает инженером в отраслевой научно-исследовательской лаборатории автомобильной электроники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре автомобильного транспорта федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Задорожная Елена Анатольевна, профессор кафедры автомобильного транспорта федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. Лагунова Елена Олеговна – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительная механика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»;

2. Корнеев Андрей Юрьевич – доктор технических наук, доцент, декан факультета среднего профессионального образования федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном кандидатом физико-математических наук, инженером-исследователем научно-исследовательской лаборатории виртуально-имитационного моделирования Елисеевым Артемом Андреевичем, кандидатом физико-математических наук, доцентом, заведующим научно-исследовательской лабораторией виртуально-имитационного моделирования Лупуляком Сергеем Валерьевичем и утвержденном проректором по научной работе Фоминым Ю.В., указала, что диссертация Худякова В.С. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема оценки работоспособности подшипников скольжения турбокомпрессоров на ранних этапах проектирования. Диссертационная работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе соискателя в науку и развитие страны. Диссертационная работа «Оценка работоспособности подшипников скольжения турбокомпрессоров применением комплексной методики расчета динамики гибкого ротора с учетом процессов теплообмена» соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Худяков Владислав Сергеевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.2 – «Машиноведение».

Соискатель имеет 19 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 15 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы, в международных базах данных Scopus и Web of Science опубликовано 5 работ, 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

В диссертацию включены результаты, полученные автором лично. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах.

Публикации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Гаврилов, К.В. Оценка потерь на трение в текстурированных гидродинамических трибосопряжениях поршневых машин. Часть 1. Обзор методики моделирования / К.В. Гаврилов, В.С. Худяков, М.А. Иззатуллоев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2021. – Т.21, №1. – С. 5–13. (лично автором 4 с.)

2. Zadorozhnaya, E.A. Study of the influence of heat load and cavitations on the carry capacity of a turbocharger bearing / E.A. Zadorozhnaya, V.S. Hudyakov, E.V. Polyacko // Транспортное машиностроение. – 2022. – № 1-2. – С. 76–88. (лично автором 7 с.)

3. Задорожная, Е. Определение теплового состояния элементов турбокомпрессора поршневого двигателя / Е. Задорожная, В. Худяков, С. Сибиряков, Е. Напримерова // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2022. – № 10(751). – С. 11–25. (лично автором 10 с.)

Комплекс программ для ЭВМ:

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019612892. Программа моделирования теплового состояния трибосопряжений / Е.А. Задорожная, В.С. Худяков, М.А. Иззатуллоев, И.М. Долгушин; заявитель и правообладатель: Южно-Уральский государственный университет. – заявка №2019611397; заявл. 15.02.2019; зарегистр. 04.03.2019.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020665464. Программа моделирования динамики ротора турбокомпрессора с учетом теплонапряженности его элементов / Е.А. Задорожная, В.С. Худяков, Е.В. Поляцко, И.М. Долгушин, Н.Ю. Долгушина; заявитель и правообладатель: Южно-Уральский государственный университет. – заявка №2020664756; заявл. 23.11.2020; зарегистр. 27.11.2020.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021665905. Оптимизация параметров многослойных трибосопряжений / Е.А. Задорожная, В.С. Худяков, Е.В. Поляцко, И.М. Долгушин; заявитель и правообладатель: Южно-Уральский государственный университет. – заявка №2021665274; заявл. 05.10.2021; зарегистр. 05.10.2021.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023664814. Программа определения коэффициентов жесткости и демпфирования

трибосопряжений турбокомпрессора / Е.А. Задорожная, В.С. Худяков; заявитель и правообладатель: Южно-Уральский государственный университет. – заявка №2023663993; заявл. 06.07.2023; зарегистр. 07.07.2023.

На диссертацию и автореферат поступило 12 отзывов. Во всех отзывах отмечается актуальность темы диссертации и даётся положительная оценка результатов работы.

Замечания, отмеченные в отзывах:

1) *АО «ТУРБОКОМПЛЕКТ», С.В. Сибиряков, главный конструктор.*

Замечания:

1. Стр.7 – Повышение температуры приводит к отказу из-за абразивного износа. На мой взгляд наличие абразива в масле приводит к отказу подшипников независимо от температуры масла. Эти два фактора не связаны между собой.

2. Стр. 11. В корпусе турбины течет газ, продукты сгорания топлива в цилиндрах двигателя.

3. Стр. 11, 13 ... 14 – По тексту для варианта исполнения подшипников ротора с моноштулкой однозначно видно улучшение газодинамических характеристик в сравнении с автономными штулками. Стр. 16 – Приведены противоположные результаты.

4. Также отсутствуют заключение по выполненным расчетным исследованиям вариантов подшипников, что хотелось бы видеть.

2) *ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова», А.С. Сунцов, к.т.н., доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство».* Замечаний нет.

3) *ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», М.А. Шилов, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика».* Замечания:

1. В автореферате не представлена верификация численной модели при испытаниях подшипникового узла ТКР с автономными подшипниками и отсутствует оценка сеточной сходимости, что не позволяет определить величину невязки решения.

4) *ФГБУН НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» Уральского отделения Российской академии наук, Е.С. Гурьев, к.т.н., ученый секретарь.*

Замечания:

1. Из автореферата не ясно, для каких режимов работы турбокомпрессора были выполнены расчетные исследования.

2. Можно ли применить предлагаемую методику и разработанный алгоритм для других видов турбокомпрессоров и их узлов трения?

5) *АО СКБ «ТУРБИНА», О.Г. Машков, к.т.н., начальник отдела агрегатов наддува, А.Ю. Салов, к.т.н., ведущий инженер-конструктор.* Замечание:

1. В то же время автору исследования, на наш взгляд, следовало бы уделить большее внимание описанию настроек расчетных моделей системы смазки и качества полученной расчетной сетки в смазочном слое в программном обеспечении ANSYS.

6) *ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», К.В. Сызранцева, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности», А.А. Пазяк, к.т.н., доцент, и.о. заведующего кафедрой «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности».* Замечания:

1. Из автореферата не вполне понятно, какие параметры, характеризующие работоспособность подшипников ТКР, были выбраны в качестве основных характеристик для оценки процессов смазки и работоспособности подшипников скольжения.

2. Не ясно, как реализован переход от решателей «ANSYS Fluent» к программе динамики ротора «Гибкий ротор».

3. Является ли разработанный алгоритм универсальным? Можно ли его использовать для исследований турбокомпрессоров другой размерности?

7) *ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Л.В. Плотников, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Турбины и двигатели».* Замечания:

1. Возможно ли применение разработанного алгоритма на основе российского программного обеспечения, например, FIDESYS?

2. Возможно ли распространение результатов, полученных автором, на подшипники скольжения для других технических устройств (подшипники распредвала, коленвала и др.)?

3. Рисунки 1-3 в автореферате имеют очень мелкий текст, что делает их практически нечитаемыми.

8) *ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», В.Э. Бурлакова, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Химия», Е.Г. Дроган, к.т.н., доцент кафедры «Химия».* Замечания:

1. На странице 10 написано «Расчет теплодеформированного состояния проводился в модуле ANSYS Static Structural ...». Не ясно, расчет теплодеформированного состояния подшипникового узла турбокомпрессора? Тогда, что являлось материалом втулки и ротора?

2. На рисунке 5 представлены поля температур в корпусе ТКР с моновтулкой при частоте вращения ротора 95000 и 48000 об/мин. Проводилось или исследование распределение температур при других частотах вращения ротора? Каков был выбран диапазон частот вращения ротора в данном исследовании?

9) *ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Р.Д. Еникеев, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания», С.А. Загайко, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания».* Замечания:

1. Из автореферата не ясно как в предложенной методике при расчете ГМХ подшипников скольжения учитывалось изменение вязкости смазочного материала с учетом его загрязнения и изменения температуры.

2. В работе рассматривается только режим гидродинамического (жидкостного) трения подшипников, то есть при достаточно высокой частоте вращения ротора ТКР. Но, как известно, в процессе пуска и останова двигателя и, соответственно, ТКР, подшипники переходят из режима жидкостного трения в режимы полужидкостного и даже граничного трения, которые оказывают существенное влияние на ресурс подшипника. К сожалению, эти процессы в автореферате не нашли отражение.

3. В автореферате также не отражение влияние упругих деформаций ротора на

гидромеханические характеристики подшипников скольжения жидкостного трения.

10) *ООО ГСКБ «ТРАНСДИЗЕЛЬ», А.В. Гофман, ведущий инженер-конструктор.* Замечания:

1. Во второй главе указано, что проводились газодинамические и гидродинамические расчеты, но не показаны результаты таких расчетов и их влияние на дальнейшие расчеты. Также не представлено как учитывалась вязкость масла и изменение значения вязкости в зависимости от температуры, частоты вращения и давления, при расчетах подшипникового узла. При моделировании процессов теплообмена можно использовать температуры стенок, но нельзя утверждать, что температура стенки является источником тепла. В третьей главе приводится информация о результатах расчетов с указанием частоты вращения ротора турбокомпрессора, но нет указания о режимах работы турбокомпрессора.

11) *Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Р.Ф. Калимуллин, д.т.н., профессор, и.о. заведующего кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта», Д.И. Нуретдинов, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта».* Замечания:

1. Не совсем ясно, какой параметр применяется для оценки работоспособности подшипников скольжения ТКР (критерии работоспособности), не представлены предельно допустимые значения и предельные значения данных параметров.

2. Нет пояснения, кем был предложен «старый подход» к расчетам, который часто упоминается в работе (стр.13).

3. В «Степени разработанности темы» следовало бы отметить научные школы Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. (Денисов А.С., Малаховецкий А.Ф., Орлов Н.В. и др.), Набережночелнинского института Казанского федерального университета (Гаффаров А.Г., Кулаков А.Т., Румянцев В.В.).

12) *ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», О.В. Шарков, д.т.н., доцент, профессор кафедры теории механизмов и машин и деталей машин.* Замечания:

1. Не пояснены критерии, по которым выполнялось сравнение данных, приведенных в табл. 1 (с. 12).

2. Не описано, какие модели использовались при исследовании динамики гибкого ротора (с. 13-16).

3. Не показано влияние вязкости смазочного материала на динамические характеристики и теплодеформированное состояние опорных подшипников.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований по теме диссертационной работы. Выбранные оппоненты и ведущая организация являются признанными специалистами и компетентны в области исследования, выполненного соискателем, а также имеют публикации в соответствующем направлении. Работы оппонентов и ведущей организации опубликованы в рецензируемых изданиях за последние 5 лет с 2018 по 2023 гг., что свидетельствует об актуальности и новизне выполненных научно-исследовательских работ, а также об их осведомленности в современных тенденциях развития в области машиноведения.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана комплексная методика расчета динамики гибкого ротора с учетом процессов теплообмена и теплодеформированного состояния элементов подшипникового узла турбокомпрессора, позволяющая оценивать его работоспособность;

предложены дополнительные критерии оценки работоспособного состояния подшипников скольжения турбокомпрессора на основе численного моделирования динамики гибкого ротора. К таким критериям отнесены: температура в смазочном слое подшипника, амплитуда гайки колеса компрессора;

доказана перспективность применения разработанного алгоритма расчета динамики гибкого ротора турбокомпрессора с учетом процессов теплообмена при проектировании агрегатов турбонаддува.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что при оценке работоспособности подшипников скольжения и

прогнозирования эксплуатационных характеристик подшипникового узла турбокомпрессора в целом необходимо оценивать и учитывать изменение температуры в корпусе подшипников, а также изменение зазоров;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих методов и модернизированных автором программ, в том числе: численные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных; методы гидродинамической теории смазки; специализированные программные комплексы (ANSYS Fluent, ANSYS Mechanical и т.д.);

изложен алгоритм оценки работоспособности подшипников скольжения с учётом процессов теплообмена в корпусе подшипников турбокомпрессора;

раскрыт нелинейный характер влияния теплового состояния подшипникового узла на его гидромеханические характеристики и работоспособность;

изучены зависимости изменения температуры в зазорах подшипников турбокомпрессора для разных эксплуатационных режимов; влияние температуры элементов и соответствующего теплodeформированного состояния подшипникового узла на его гидромеханические характеристики и работоспособность;

проведена модернизация алгоритмов и программного обеспечения, позволяющая при проектировании гидродинамических подшипников скольжения турбокомпрессора различной конструкции оценивать и учитывать изменение его теплового состояния при расчете гидромеханических характеристик подшипников.

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

разработаны и внедрены практические рекомендации, которые используются при доводке существующих и проектировании новых конструкций турбокомпрессоров различной размерности в АО СБК «Турбина» (г. Челябинск), а также в АО «Турбокомплект» (г. Протвино, Московской обл.);

определены оптимальные геометрические параметры подшипников скольжения для турбокомпрессоров размерностью ТКР-100, обеспечивающие предельно допустимые значения амплитуды колебаний гайки колеса компрессора и тепловое состояние элементов конструкции подшипникового узла;

представлены методические рекомендации и предложения по использованию численной модели в трехмерной постановке для расчета процессов теплообмена в корпусе подшипников турбокомпрессора и теплодеформированного состояния элементов подшипникового узла, а также неравномерного распределения температуры в зазорах подшипника на разных режимах работах.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теоретические методы оценки гидромеханических характеристик подшипников скольжения турбокомпрессора обосновываются применением известных численных методов; характеризуются качественным и количественным совпадением полученных результатов с известными теоретическими и экспериментальными данными;

идея базируется на анализе отказов подшипников скольжения турбокомпрессоров в практике эксплуатации машин, обобщении передового опыта теоретических и экспериментальных исследований подшипников скольжения;

использованы результаты теоретических и экспериментальных исследований, полученные отечественными и зарубежными авторами, для сравнения с результатами соискателя;

установлено качественное и количественное совпадение полученных соискателем результатов с известными теоретическими и экспериментальными данными, что подтверждает адекватность разработанных расчётных методик и алгоритмов;

использованы современные методы численного моделирования, специализированные программные комплексы, а также методики сбора и обработки исходной информации при проведении теоретических исследований.

Личный вклад соискателя состоит в: модернизации и апробации комплекса математических моделей и алгоритмов; постановке и проведении численных исследований; разработке методики оценки работоспособности подшипников скольжения турбокомпрессора; разработке программного обеспечения; проведении параметрических исследований; личном участии в апробации результатов исследования; публикации основных результатов исследования в рецензируемых

журналах; регистрации программы для ЭВМ.

Основные результаты, приведенные в диссертации, получены лично автором или при его непосредственном участии.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1) в работе слабо отражена проблематика абразивного износа трибосопряжений, несмотря на прямое влияние абразивных частиц в моторном масле на работоспособность подшипников скольжения;

2) в работе не хватает дополнительных верификационных исследований численных моделей, разработанных автором, для оценки точности разработанной методики.

Соискатель Худяков В.С. обоснованно ответил на замечания и задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 06.12.2023 г. диссертационный совет принял решение за разработку комплексной методики расчета динамики гибкого ротора с учетом процессов теплообмена, внедрение которой вносит значительный вклад в развитие страны – присудить Худякову В.С. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 4 доктора наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председательствующий
на заседании
диссертационного совета


Рожественский Юрий Владимирович

Ученый секретарь
диссертационного совета


Абызов Алексей Александрович

06.12.2023 г.

