

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

диссертационного совета 24.2.312.11, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 03 октября 2025 г. № 13

О присуждении Кобыльскому Роману Эдуардовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение эффективности тихоходного длинноходового поршневого компрессора за счёт совершенствования цилиндропоршневого уплотнения» по специальности 2.5.10. Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы принята к защите 27 июня 2025 года (протокол заседания № 11) диссертационным советом 24.2.312.11, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, приказ № 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель, Кобыльский Роман Эдуардович, 13.06.1996 года рождения. С 2014 по 2018 года проходил обучение в бакалавриате, с 2018 по 2020 года обучался в магистратуре, с 2020 по 2024 года обучался в аспирантуре «Омского государственного технического университета». С 2024 года работал в должности ассистента, а с 2025 года переведен на должность старшего преподавателя кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет».

Диссертация выполнена на кафедре «Холодильная и компрессорная техника и технология» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Бусаров Сергей Сергеевич.

Официальные оппоненты:

Елагин Михаил Юрьевич

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», профессор кафедры «Транспортно-технологические машины и процессы»;

Ворошилов Игорь Валерьевич

кандидат физико-математических наук, председатель совета директоров ООО «Краснодарский компрессорный завод»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное Общество «Компрессор», г. Санкт-Петербург в своем положительном отзыве, утвержденным генеральным директором Сирченко Александром Владимировичем, и подготовленным Бураковым Александром Васильевичем и к.т.н. Кузнецовым Юрием Леонидовичем, указала, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, законченным исследованием, выполненным на высоком уровне, позволившем решить задачу герметичности тихоходного компрессора и вывести конструкцию тихоходного компрессора на новый качественный уровень. Научная новизна работы заключается в разработке уточнённой математической модели расчета рабочих процессов тихоходного длинноходового поршневого компрессора, учитывающей переменную величину радиального зазора в манжетном цилиндропоршневом уплотнении. Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание

ученой степени кандидата технических наук. Тема работы полностью соответствует п. 1, 2, 3 паспорта специальности 2.5.10. Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы. Диссертация Кобыльского Романа Эдуардовича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.10 - Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро - и пневмосистемы.

В опубликованных работах представлены результаты исследований, выполненных лично автором или при его непосредственном участии на всех этапах проведения работы. Автору принадлежит основная роль в постановке цели и задач исследования, обобщении и интерпретации представленных результатов, а также в формулировании научных положений, выносимых на защиту и выводов по работе. Вклад автора является решающим во всех работах. В диссертационной работе отсутствует заимствованный материал без ссылки на автора или источник заимствования в соавторстве без ссылок на соавторов.

Недостоверные сведения об опубликованных работах отсутствуют.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Кобыльский Р.Э., Бусаров С.С., Громов А.Ю. Методика расчета толщины стенки лепестка манжетного цилиндропоршневого уплотнения // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2023. Т.7, № 1. С.26-31. DOI: 10.25206/2588-0373-2023-7-1-26-31.

2. Кобыльский Р.Э., Бусаров С.С., Синицин Н.Г. Теоретическая оценка возможности уменьшения массовых утечек рабочей среды из камеры поршневого компрессора. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2022, № 2(141), с. 101-111. DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2022-2-101-111>.

3. Кобыльский Р.Э. Применение комбинированного уплотнения для снижения нагрузки, действующей на цилиндропоршневое уплотнение //

Вестник БГТУ им. Шухова, № 7, 2022. С.117-125. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-7-117-125.

4. Kobiylsky R. E., Busarov. I.S., Busarov. S.S., Yusha V. L. Comparative evaluation of methods for calculating the dynamics of self-acting valves in reciprocating compressor units // Chemical and Petroleum Engineering.-2020.- Vol. 56, P. 644–652. DOI 10.1007/s10556-020-00824-6.

5. Kobiylsky R. E., Yusha V. L., Busarov. I.S., Busarov. S.S. Problems equilibration of aggregates on the basis of slow moving stages // AIP Conference Proceedings.1260, 062026 (2019) DOI: 10.1088/1742-6596/1260/6/062026.

6. Kobiylsky R. E., Yusha V. L., Busarov. I.S., Busarov. S.S., Vinnikova T.A. Self-acting shut-off valve effect of motion law schematization on calculation quality of low-speed long-stroke air piston compressor units working process // AIP Conference Proceedings.2285, 030063 (2020) DOI: 10.1063/5.0027279.

На автореферат поступило 4 отзыва, в которых отмечена актуальность решаемой задачи, новизна полученных результатов, а также их практическая значимость. Все отзывы положительные и содержат замечания:

- доктор техн. наук Дроздов А.А., Высшая школа энергетического машиностроения Институт Энергетики ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (г. Санкт-Петербург), профессор: 1) В настоящее время термин «погрешность» не применяется, а используется понятие «неопределённость». 2) На стр.8 не понятна фраза «производительность компрессора составляла ниже 20 %».

- доктор техн. наук, профессор, Пронин В.А. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», профессор образовательного центра «Энергоэффективные инженерные системы»: 1) На 4 стр. идёт речь о сжатии газа «... от 2 до 8 раз ...», требуется пояснение, что это значит. 2) Что понимается под понятием эквивалентного зазора (стр.9)? 3) Стр. 12 – «Мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения в манжетном цилиндропоршневом уплотнении, в

первом приближении, можно принимать равной 10 % от индикаторной мощности ступени». Разве она не определялась в представленной работе?

– доктор техн. наук Гукасян А.В. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», профессор кафедры «Технологическое оборудование и системы жизнеобеспечения»: 1) На стр. 7 представлены материалы, которые были исследованы. Необходимо пояснить, на чем основывался выбор материалов и является ли он исчерпывающий? 2) Расчетная схема, представленная на рис. 1 плохо видна. 3) Почему при моделировании учитывается только конвективная составляющая теплообмена как следует из перечня замечаний?

– доктор техн. наук Никифоров А.Г. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Смоленская государственная сельскохозяйственная академия», профессор кафедры «Механизация»: в автореферате имеются отклонения в оформлении от требований ЕСКД и несколько опечаток и неточностей.

Ведущая организация и оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что наиболее существенные научные **результаты, полученные лично соискателем, и их научная новизна** заключаются в следующем:

получены результаты экспериментальных исследований рабочего процесса тихоходного длинноходового поршневого компрессора с новой конструкцией наборного манжетного цилиндропоршневого уплотнения, позволившие осуществить разработку математической модели; зависимость приращения мертвого кольцевого объема в зависимости от количества изношенных манжетных уплотнений;

разработаны уточнённая модель расчёта рабочего процесса тихоходного длинноходового поршневого компрессора с новым наборным манжетным цилиндропоршневым уплотнением, позволяющая выполнять расчёты при

изменении давления газа в рабочей камере в диапазоне от 0,1 МПа до 12,0 МПа, времени рабочего цикла $\tau = 2 \div 4$ с, величине хода поршня $S_{\pi} = 0,2 \div 0,8$ м; математическая модель расчета наборного манжетного цилиндропоршневого уплотнения, позволяющая определять распределение давления газа по длине уплотнения с учетом износа манжет;

установлено, что полученные закономерности по проектированию манжетного цилиндропоршневого уплотнения позволяют повысить индикаторный изотермический КПД на 10 %, коэффициент подачи на 15 % тихоходного длинноходового компрессора; мощность, затрачивая на преодоление сил трения, составляет до 10 % от индикаторной мощности; механический КПД компрессора изменяется в диапазоне $0,85 \div 0,90$.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

усовершенствована математическая модель расчёта рабочего процесса тихоходного длинноходового поршневого компрессора с разработанной конструкцией манжетного цилиндропоршневого уплотнения, позволяющая учитывать изменение эквивалентного зазора в цилиндропоршневом уплотнении в зависимости от давления в рабочей камере;

установлено влияние величины эквивалентного зазора в цилиндропоршневом уплотнении на энергетические характеристики ступени.

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

определен диапазон толщины стенок манжетного цилиндропоршневого уплотнения тихоходного длинноходового компрессора;

разработаны методики экспериментального исследования манжетных цилиндропоршневых уплотнений и стенды для их реализации, учитывающие особенности режимных параметров работы тихоходного длинноходового компрессора; рекомендации по проектированию нового манжетного уплотнения с углом раскрытия 115° и диаметром $D_{\text{в}} = ([0,015 \div 0,02] + 1)D_{\text{ц}}$, при этом рекомендуемое количество уплотнений должно быть 7 шт. при давлении нагнетания 12 МПа; инженерная методика расчета толщины стенки

манжеты для таких материалов как Ф4К20, Ф4К15М5, Криолон-3, Флубон-20, Флувис-20 и износа наборного цилиндропоршневого уплотнения;

создано программное обеспечение для расчёта рабочих процессов и интегральных характеристик длинноходовой поршневой компрессорной ступени, содержащей новое наборное манжетное уплотнение;

предложена конструкция комбинированного уплотнения, позволяющая разгрузить первое манжетное уплотнение и обеспечить равномерный перепад давления на каждом манжетном уплотнении;

внедрены технические предложения по проектированию манжетных цилиндропоршневых уплотнений в АО «ГК «Титан» (г. Омск);

получены патент № 2781089 Цилиндропоршневое уплотнение; свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668478 Методика численного расчета задач гидрогазодинамики в зазоре цилиндропоршневого уплотнения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила следующее:

использованы стандартизированные методы экспериментальных исследований на базе современного оборудования, прошедшего метрологическую поверку; выполнена апробация полученных результатов; получена воспроизводимость результатов и удовлетворительное совпадением экспериментальных и теоретических данных; проведена статистическая обработка полученных данных; в основе математической модели лежат фундаментальные законы сохранения; использованы сертифицированные программные комплексы и компьютерное оборудование.

Личный вклад соискателя состоит в формулировке научной задачи, цели и задач диссертационного исследования, выполнении анализа полученных результатов и разработке рекомендаций по проектированию манжетных цилиндропоршневых уплотнений для тихоходного длинноходового поршневого компрессора. Под руководством и с участием автора разработана и запатентована конструкции комбинированного уплотнения, содержащего обратную манжету, позволяющая разгрузить первое манжетное уплотнение;

выполнены теоретические и экспериментальные исследования, позволившие определить влияние конструктивных параметров манжетных уплотнений на интегральные характеристики тихоходного длинноходовой поршневого компрессора; разработана и апробирована методика расчёта деформированного состояния манжет; получены результаты параметрического анализа; разработана уточнённая математическая модель расчета газодинамических параметров газа в зазоре цилиндропоршневого уплотнения, а также инженерная методика расчета износа цилиндропоршневого уплотнения; созданы методики экспериментального исследования и стенды для их реализации, позволившие определить интенсивность изнашивания исследуемых материалов, коэффициент трения и мощность трения в манжетном уплотнении; участвовал в подготовке научных публикаций.

Соискатель имеет 19 опубликованных работ, общий объемом 8,75 печ. л., все по теме диссертации, в том числе, 6 в ведущих рецензируемых изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание научных степеней доктора и кандидата наук (ВАК РФ), 9 – в научных изданиях, индексируемых международной базой данных Scopus и Web of Science; 3 иных изданиях; 1 патент на изобретение.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, непротиворечивой методологической платформы, основной идейной линии, концептуальности и взаимосвязи выводов. По своему содержанию **диссертация отвечает паспорту специальности 2.5.10. Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы в части:**

п. 1 «Математическое моделирование и оптимизация гидравлических, вакуумных, компрессорных машин, пневмооборудования и гидро- и пневмосистем, технических и технологических систем на их базе» предложена обобщённая модель рабочего процесса тихоходного длинноходового компрессора и модель цилиндропоршневого уплотнения; разработана

усовершенствованная инженерная методика расчёта производительности поршневых компрессорных ступеней применительно к тихоходным длинноходовым ступеням среднего и высокого давления, в том числе уточнённые зависимости для определения объемного коэффициента при износе цилиндропоршневых уплотнений;

п. 2 «Методы расчетов гидравлических, вакуумных, компрессорных машин, пневмооборудования и гидро- и пневмосистем, технических и технологических систем на их базе, а также комплектующего эти системы оборудования» разработаны экспериментальные методики, созданы стенды для их реализации по исследованию рабочих процессов тихоходной длинноходовой ступени, истечению газов через неплотности цилиндропоршневых уплотнений, интенсивности изнашивания различных антифрикционных материалов, нагрузки действующей на цилиндропоршневые уплотнения;

п. 3 – «Методы и методики экспериментального исследования гидравлических, вакуумных, компрессорных машин, пневмооборудования и гидро- и пневмосистем, технических и технологических систем на их базе» выполнены теоретические и экспериментальные исследования взаимосвязи конструктивных и режимных параметров бессмазочных тихоходных длинноходовых компрессорных ступеней и их основных функциональных элементов, и их влияние на интегральные характеристики ступени, а также влияние износа цилиндропоршневых уплотнений на энергетические и ресурсные характеристики бессмазочных тихоходных длинноходовых компрессорных ступеней.

Результаты диссертационной работы можно рекомендовать к использованию при проектировании тихоходных длинноходовых компрессоров на профильных машиностроительных предприятиях (АО «ГК «Титан» г. Омск, ООО «Уфимский компрессорный завод» г. Уфа, ОА «НТК «Криогенная техника» г. Омск), а также в учебном процессе ВУЗов, в том числе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический

университет имени Н.Э. Баумана», ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет» и др.

Критических замечаний по научной новизне, теоретической и практической значимости не было.

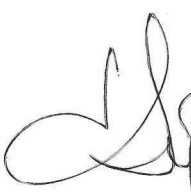
Соискатель, Кобыльский Роман Эдуардович ответил на все замечания в процессе обсуждения работы.

Диссертационным советом сделан вывод, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», в работе изложены новые научно обоснованные технические решения по конструированию манжетного уплотнения, имеющие существенное значение для развития компрессорной техники.

На заседании 03 октября 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Кобыльскому Роману Эдуардовичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.5.10. Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 4 докторов наук по специальности 2.5.10. Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы, участвовавших в заседании, из 10 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 10, против – нет, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета
Ученый секретарь
диссертационного совета



Сергей Иванович
Поникаров
Тимур Наилевич
Мустафин

3.10.15