

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.379.10,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 8 декабря 2023 г. № 10

О присуждении Печениной Екатерине Юрьевне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Совершенствование процесса сборки рабочих колёс с антивибрационными полками компрессоров авиационных ГТД», по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов принята к защите 29 сентября 2023 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.2.379.10, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (443086, г. Самара, Московское шоссе, 34), приказом Минобрнауки России от 14 февраля 2023 г. № 229/нк.

Соискатель Печенина Екатерина Юрьевна, 9 февраля 1995 года рождения, в 2018 году с отличием окончила магистратуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королева» по направлению подготовки 24.04.05 – Двигатели летательных аппаратов с присвоением квалификации магистр. В 2023 г. окончила очную аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по направлению подготовки 24.06.01 – Авиационная и ракетно-космическая техника с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь», в настоящее время Печенина Е.Ю. работает в должности ассистента кафедры технологий производства двигателей федерального государственного автономного образовательного

учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре технологий производства двигателей федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Болотов Михаил Александрович, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», доцент кафедры технологий производства двигателей.

Официальные оппоненты:

Семенов Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», профессор кафедры «Технология авиационных двигателей и общего машиностроения»;

Захаров Олег Владимирович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», профессор кафедры «Технология машиностроения»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: акционерное общество «Объединённая двигателестроительная корпорация», в своём положительном отзыве, подписанном Фетисовым Максимом Викторовичем, кандидатом технических наук, руководителем аппарата руководителя приоритетного технологического направления «Технология двигателестроения» АО «ОДК», профессором Евдокимовым Алексеем Иннокентьевичем, доктором технических наук, главным специалистом филиала АО «ОДК» «НИИД», и утверждённым Бакрадзе Михаилом Михайловичем, кандидатом технических наук, заместителем генерального директора – руководителем приоритетного технологического направления «Технологии двигателестроения» АО «ОДК», указала, что диссертационная работа Печениной Е.Ю. является законченной научно-квалификационной работой, имеющей важное значение для снижения трудоёмкости и повышения точности сборки рабочих колёс с антивибрационными полками компрессоров авиационных ГТД за счёт разработки



модели оценки натягов по антивибрационным полкам лопаток, алгоритма расстановки лопаток и методики сборки с автоматизацией формирования схемы расстановки лопаток. Рассматриваемая диссертация выполнена на высоком научном уровне, носит законченный характер и соответствует пункту 9 Положения о присуждении учёных степеней, а её автор, Печенина Екатерина Юрьевна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Соискатель имеет 48 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 8 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Суммарный объем принадлежащего соискателю опубликованного материала составляет 5,31 печатных листа. Из материалов совместных публикаций лично соискателю принадлежат: методика создания цифрового двойника процесса сборки рабочего колеса компрессора ГТД для автоматизации формирования схемы расстановки лопаток; результаты анализа производственных отклонений комплектов лопаток компрессора; алгоритм для расстановки лопаток в рабочем колесе компрессора, позволяющий добиться равномерности распределения натягов; математическая модель для расчёта площадей натягов антивибрационных полок со стороны спинки и корыта, вычисляемых на основании контролируемых геометрических отклонений размеров лопатки. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые работы:

1 Печенина, Е.Ю. Создание цифрового двойника процесса сборки рабочего колеса компрессора / Е.Ю. Печенина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25. – № 1. – С. 28–35 (научная статья 0,5 п.л.).

2 Печенина, Е.Ю. Разработка модели определения натягов по антивибрационным полкам лопаток / Е.Ю. Печенина, Е.В. Кудашов, В.А. Печенин // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2023. – Т. 22. – № 2. – С. 79–90 (научная статья 0,75 п.л./0,4 п.л.).

3 Печенина, Е.Ю. Разработка алгоритма для комплектации рабочих колёс компрессора / Е.Ю. Печенина, М.А. Болотов, В.А. Печенин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Аэрокосмическая техника. – 2022. – № 69. – С. 14–22 (научная статья 0,56 п.л./0,35 п.л.).

4 Pechenina, E.Yu. Development of the compressor impeller configuration algorithm / E. Yu. Pechenina, V.A. Pechenin, M.A. Bolotov // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – Vol. 2373 (научная статья 0,5 п.л./0,35 п.л.).

На диссертацию и автореферат поступило девять отзывов от организаций:

1) ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», отзыв составлен и подписан Смысловым Анатолием Михайловичем, д.т.н., профессором, профессором кафедры технологии машиностроения;

2) ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения», отзыв составлен и подписан Муратовым Алексеем Владимировичем, к.т.н., доцентом, заведующим кафедрой «Тяговый подвижной состав», и Свечниковым Александром Александровичем, к.т.н., доцентом, доцентом кафедры «Тяговый подвижной состав»;

3) АО «Новые инструментальные решения», отзыв составлен и подписан Коряжкиным Андреем Александровичем, д.т.н., генеральным директором АО «НИР»;

4) ПАО «ОДК-Сатурн», отзыв составлен и подписан Барвинком Дмитрием Викторовичем, к.т.н., главным метрологом ПАО «ОДК-Сатурн»;

5) ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», отзыв составлен и подписан Болдыревым Юрием Яковлевичем, д.т.н., профессором, профессором физико-механического института;

6) АО «Металлист-Самара», отзыв составлен и подписан Федорченко Дмитрием Геннадьевичем, к.т.н., доцентом, главным конструктором АО «Металлист-Самара»;

7) ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», отзыв составлен и подписан Силуяновой Мариной Владимировной, д.т.н., доцентом, профессором кафедры «Технология производства и эксплуатации двигателей летательных аппаратов» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»;

8) «Опытно-конструкторское бюро имени А. Люльки» филиала ПАО «ОДК-Уфимское моторостроительное производственное объединение», отзыв составлен и подписан Гуциным Александром Юрьевичем, к.т.н., начальником бригады статической прочности ротора отдела прочности «Опытно-конструкторское бюро имени А. Люльки» филиала ПАО «ОДК-Уфимское моторостроительное производственное объединение»;



9) ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», отзыв составлен и подписан Ковальновым Владиславом Николаевичем, д.т.н., доцентом, заведующим кафедрой «Тепловая и топливная энергетика».

Критическими замечаниями в представленных отзывах являются: раздел «Практическая значимость результатов работы» и раздел «Выводы и основные результаты работы» содержат утверждение о том, что по результатам реализации работы «повышается точность сборки рабочих колёс». Информация, изложенная в автореферате, не содержит подтверждения данного утверждения, количественной оценки достигнутого «повышения точности»; при проведении экспериментальных исследований используются лишь данные, полученные при измерении лопаток и дисков на координатно-измерительных машинах. В то же время, в производстве для контроля лопаток широко используются контрольно-измерительные приспособления, которые не рассматриваются в исследовании; разработанная модель оценки натягов лопаток по антивибрационным полкам описывает их сборку в рабочем колесе в двумерной постановке, в то время как рассматриваемый объект является трёхмерным; вывод о том, что «точность сборки рабочих колёс можно оценить по среднеквадратическому отклонению (СКО) величин натягов по антивибрационным полкам» не обоснован; не ясно, каким образом проводится этап обработки результатов измерения геометрических параметров лопаток и пазов диска, указанный в блок-схеме методики на рисунке 2.

В полученных отзывах отмечено, что указанные замечания в целом не снижают высокой оценки работы, а сама диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, и сделано заключение о возможности присуждения Печениной Е.Ю. учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Выбор Семенова Александра Николаевича в качестве официального оппонента обосновывается его компетенциями в области технологических процессов изготовления и сборки машин, в частности компрессоров газотурбинных двигателей.

Выбор Захарова Олега Владимировича в качестве официального оппонента обосновывается компетенциями исследований в области координатных измерений; теории механизмов и формообразования сложных поверхностей; моделирования и управления сборочными процессами деталей и узлов газотурбинных двигателей.

Выбор акционерного общества «Объединённая двигателестроительная корпорация» в качестве ведущей организации связан с широко известными достижениями в области технологических процессов изготовления деталей и сборочных единиц ГТД и обосновывается наличием специалистов, таких как Бакрадзе Михаил Михайлович – кандидат технических наук, заместитель генерального директора – руководитель приоритетного технологического направления «Технологии двигателестроения», Евдокимов Алексей Иннокентьевич – доктор технических наук, профессор, главный специалист филиала АО «ОДК» «НИИД», области компетенций, которых связаны с разработкой и внедрением технологических процессов изготовления деталей и узлов ГТД, обеспечением качества и надёжности ГТД с использованием технологических методов.

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

**разработаны:**

– математическая модель оценки натягов лопаток по антивибрационным полкам при их сборке в рабочем колесе компрессора ГТД, отличающаяся от известных решений использованием данных по отклонениям геометрических параметров лопаток, пазов диска и учитывающая влияние соседних лопаток;

– алгоритм расстановки лопаток в рабочем колесе компрессора ГТД, позволяющий минимизировать рассеивание величин натягов между лопатками, учитывающий отклонения натягов по антивибрационной полке со стороны корыта и со стороны спинки от конструкторских значений;

– методика сборки рабочих колёс компрессора ГТД с автоматизацией формирования схемы расстановки лопаток в условиях использования цифрового производства, позволяющая снизить количество предварительных сборок, отличающаяся тем, что при расстановке лопаток используются отклонения геометрических параметров лопаток, пазов диска, обобщённые в виде математической модели;

**предложено** два критерия расстановки лопаток в рабочем колесе компрессора ГТД – отклонения натяга по антивибрационной полке со стороны корыта и со стороны спинки, рассчитываемые на основании измеряемых геометрических параметров лопаток и пазов диска.

**доказано**, что применение разработанной методики снижает трудоёмкость процесса сборки рабочих колёс с антивибрационными полками компрессора авиационного ГТД на 41-56% и неравномерность натягов по антивибрационным полкам на 14-43%.



**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

**доказана** эффективность работы разработанного алгоритма расстановки лопаток в рабочем колесе компрессора авиационного ГТД, позволяющего снизить неравномерности натягов по антивибрационным полкам;

**изучен** характер влияния геометрических отклонений лопаток и пазов диска рабочего колеса компрессора авиационного ГТД на получаемые в результате сборки натяги по антивибрационным полкам;

**изложены:**

– блок-схема методики сборки рабочих колёс компрессора ГТД с автоматизацией формирования схемы расстановки лопаток;

– идея решения задачи оптимальной расстановки лопаток с использованием алгоритма поиска, учитывающего отклонения натягов по антивибрационной полке со стороны корыта и со стороны спинки от конструкторских значений.

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

**разработаны и внедрены:**

– программная система, реализующая разработанные модель оценки натягов и алгоритм расстановки лопаток в филиале АО «ОДК» «НИИД» (Научно-исследовательский институт технологии и организации производства двигателей) (акт внедрения от 15.06.2023 г.);

– технологическая инструкция по определению условий выполнения сборки рабочего колеса компрессора с антивибрационными полками на ООО «Самарские турбомоторы» (акт внедрения от 20.04.2023 г.);

– результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс института двигателей и энергетических установок Самарского университета (акт внедрения 13.04.2023 г.);

**представлена** методика сборки рабочих колёс компрессора ГТД с автоматизацией формирования схемы расстановки лопаток.

**Оценка достоверности** результатов исследования выявила:

**результаты экспериментальных исследований** получены на сертифицированном и аттестованном измерительном оборудовании, обеспечивающем воспроизводимость результатов исследования;

**теория** построена на известных, проверенных положениях аналитической геометрии, матричных вычислений, теории алгоритмов, математической статистики и согласуется с опубликованными данными по теме диссертации и смежным темам;

**идеи базируются** на обобщении передового опыта в области совершенствования технологии сборки рабочих колёс компрессоров авиационных двигателей, заключающегося в расчёте натягов по торцам антивибрационных полок лопаток и определении условий выполнения сборки;

**установлено** качественное и количественное совпадение результатов численных и натуральных экспериментов;

**использовано** лицензионное программное обеспечение (MATLAB, PC-DMIS) и известные численные методы, обладающие высокой точностью, при проведении вычислительных экспериментов.

**Личный вклад соискателя состоит** в непосредственном участии в получении исходных данных и проведении теоретических и экспериментальных исследований, в разработке математических моделей и алгоритмов, апробации результатов исследования и подготовке основных публикаций по выполненной работе. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором лично, либо при его определяющем личном участии.

В ходе защиты диссертации было высказано следующее критическое замечание: указанная в теоретической значимости методика сборки рабочих колёс компрессора ГТД больше подходит для практической значимости.

Соискатель согласился с замечаниями, отмеченными в ходе заседания, и ответил на задаваемые в ходе защиты вопросы.

Полученные результаты диссертационного исследования могут быть использованы при производстве и ремонте рабочих колёс компрессоров ГТД на предприятиях двигателестроения, таких как ПАО «ОДК-Кузнецов» (г. Самара), АО «ОДК-Газовые турбины» (г. Рыбинск), ПАО «ОДК-Сатурн» (г. Рыбинск), АО НПП Газотурбостроения «Салют» (г. Москва) и других предприятиях.

Диссертация Печениной Е.Ю. является законченной научно-квалификационной работой, соответствует специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов и отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук (пункт 9 Положения о присуждении учёных степеней). В диссертации содержится решение научной задачи повышения точности и снижения трудоёмкости сборки рабочих колёс компрессоров ГТД за счёт разработки модели оценки натягов по антивибрационным полкам лопаток, алгоритма расстановки лопаток и методики сборки с автоматизацией формирования схемы расстановки лопаток, имеющей существенное значение для развития двигателестроения.

На заседании 8 декабря 2023 г. диссертационный совет принял решение



присудить Печениной Екатерине Юрьевне учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета 24.2.379.10

академик РАН, д.т.н., профессор

Шахматов Евгений Владимирович

Учёный секретарь

диссертационного совета 24.2.379.10

д.т.н., доцент

8.12.2023



Виноградов Александр Сергеевич