

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д212.210.01 НА БАЗЕ  
ФГБОУ ВО «РЫБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А. СОЛОВЬЕВА»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 24 сентября 2019 г. № \_\_\_\_\_

О присуждении Осипович Дарье Андреевне, гражданке РФ ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка технологии цифровой сборки сопловых аппаратов турбины ГТД на основе измерений лопаток фотограмметрическим методом» по специальности 05.02.08 – «Технология машиностроения» принята к защите 22.07.2019 г., протокол №233-п диссертационным советом Д212.210.01 на базе ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 152934, Россия, Ярославская область, г. Рыбинск, ул. Пушкина, 53, приказ №714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Осипович Дарья Андреевна, 1989 года рождения, в 2011 году с отличием окончила Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Пермский государственный технический университет с присуждением квалификации инженер по специальности «Технология машиностроения».

С 2011 по 2015 года обучалась в заочной аспирантуре ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по специальности 05.02.08 «Технология машиностроения».

На момент защиты диссертации работает старшим преподавателем кафедры «Инновационные технологии машиностроения» в ФГБОУ ВО

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»  
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Инновационные технологии машиностроения» в ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Ярушин Станислав Геннадьевич.

Официальные оппоненты:

Бочкарев Петр Юрьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Техническая механика и детали машин» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов.

Польский Евгений Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск в своем положительном заключении, подписанном Осетровым Владимиром Григорьевичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Конструкторско-технологическая подготовка машиностроительных производств», и утвержденном Кузнецовым Андреем Леонидовичем, доктором экономических наук, профессором, проректором по научной и инновационной деятельности ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» указала, что представленная на отзыв диссертация Осипович Д.А. является

законченной научно-квалификационной работой, в которой изложено научно обоснованное решение актуальной технологической задачи авиационного двигателестроения, и соответствует требованиям к кандидатским диссертациям, изложенным в «Положении о присуждении ученых степеней».

Соискатель имеет 19 опубликованных работ по теме диссертации, из них 6 опубликовано в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК РФ и 1 - в журнале, цитируемом в МБЦ Scopus. Авторский вклад соискателя в публикациях составляет 4,9 п.л. Научные публикации соискателя направлены на исследования процессов контроля и обеспечения требуемой величины площади проходного сечения межлопаточных каналов сопловых аппаратов турбин ГТД, а также поиску оптимального метода оцифровки геометрии лопаток фотограмметрическим методом. Большинство из них выполнены самостоятельно или совместно с научным руководителем. Наиболее значимыми работами являются:

1. Осипович Д.А. Разработка технологического процесса контроля деталей типа «рабочее колесо» с использованием оптических методов измерения [Текст] // Ползуновский вестник. Барнаул, - 2012 - №2/1, С.184-187.

2. Осипович Д.А. Способ контроля геометрии проходного сечения лопаточной решетки соплового аппарата с использованием технологии оптических измерений [Текст] // Ползуновский вестник. Барнаул, - 2013 - №2, С.187-191.

3. Осипович Д.А. Анализ направлений модернизации методики определения фактической площади проходного сечения соплового аппарата по данным оцифровки на измерительном комплексе ATOS [Текст] / Осипович Д.А., Ярушин С.Г., Червонных С.А. // Сборка в машиностроении, приборостроении. - 2014. - №3. - С. 29-34.

4. Осипович Д.А. Оценка применимости оптических методов измерений геометрических параметров для обеспечения качества деталей

ГТД [Текст] / Осипович Д.А., Нуртдинов А.С.// Естественные и технические науки. Москва, - 2015 – №8(86), с. 38-43.

5. Осипович Д.А. Математическое моделирование процесса трехмерной оптической оцифровки геометрии [Текст] / Осипович Д.А., Ярушин С.Г., Мельников С.А.//Научное обозрение, Саратов, - 2015 - №17, с. 165-172.

6. Осипович Д.А. Исследование алгоритмов подбора лопаток при сборке сопловых аппаратов газотурбинного двигателя [Текст] / Осипович Д.А., Ярушин С.Г., Макеев А.Б. //Сборка в машиностроении, приборостроении, Москва, - 2018 - №7(216), с. 313-319.

7. Osipovich D. A. Development and Verification of Mathematical Model of Optical Measuring System [Текст] / Osipovich D. A., Jarushin S.G., Melnikov S.A.// International Journal of Applied Engineering Research Volume 10, Number 19 (2015) pp 40481-40487.

На автореферат поступило 13 положительных отзывов:

1. АО «Пермский научно-исследовательский технологический институт», г. Пермь, отзыв подписан генеральным директором Шимкевичем Александром Владимировичем и заместителем генерального директора по науке, доктором технических наук, Шендеровым Ильей Борисовичем.

Замечания:

- В п.4 раздела «Заключение» на стр.15 записано, что «вероятность достижения требуемых показателей величины и распределения ППС без переборок при использовании разработанного алгоритма прямого подбора лопаток по отклонениям формы и расположения пера составляет 90%». Из автореферата не ясно, получено указанное значение опытным путем или математическим моделированием, из набора лопаток, предназначенных для комплектования одного диска ротора турбины, или из большой базы данных.

- В п.5 «Заключения» записано, что «внедрение цифровой технологии сборки сопловых аппаратов позволяет снизить трудоемкость сборки и контроля, повысить точность измерения ППС до 0,5 мм<sup>2</sup>, повысить тягу



двигателя». Это утверждение не вполне корректно: для повышения тяги нужно снижать не погрешность измерения, а отклонение фактическое ППС от заданной. Кроме того, как следует из описания главы 4 на стр. 13, ППС не измерялась, а рассчитывалась – по результатам измерений профиля лопаток.

- В автореферате не сказано, учитывались ли в алгоритме математического моделирования расстановки лопаток в сопловом аппарате ГТД погрешности изготовления замковых соединений дисков ротора турбины и влияют ли эти погрешности (в пределах реальных допусков на изготовление) на результаты расчета.

2. ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград, отзыв подписан заведующим кафедрой «Технология машиностроения», доктором технических наук, Чигиринским Юлием Львовичем.

Замечания:

- В автореферате не приведены количественные оценки трудозатрат при использовании оптимальных стратегий, в сравнении с рекомендациями производителя 3D сканера ATOS (стр. 5). Чем продиктована необходимость повышения скорости оцифровки, если производитель прибора гарантирует распознавание 16 млн.точек/сек?

- В автореферате отсутствует явное обоснование вывода (стр. 15, заключение 5) о повышении к.п.д. и тяги двигателя в результате внедрения цифровой технологии сборки.

- Вывод о повышении конкурентоспособности (стр. 15, заключение 5) двигателей на мировом рынке также должен быть обоснован сравнительным анализом характеристик изделия (технических и экономических) с аналогичными характеристиками продукции ведущих мировых производителей.

- Основные публикации по теме исследования датированы 2012...2015 г.г. К этому же периоду относятся и доклады на конференциях. Последняя

публикация – лето 2018 г. С чем связано такое «отставание» защиты результатов исследования от самого исследования?

- Данное исследование логично было бы представлять к защите по двум специальностям, поскольку по решаемым задачам (стр. 4, задача 2), научной новизне (стр. 4, п.п. 1-2) и практической значимости (стр. 5, п. 4) данное исследование может быть отнесено также к научной специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы».

3. АО «ФНПЦ «Титан-Баррикады», г. Волгоград, отзыв подписан главным технологом, кандидатом технических наук, Ингеманссоном Александром Рональдовичем

Замечания:

- В автореферате не отражен п.3 из списка поставленных задач для достижения поставленной цели диссертационной работы.

4. АО «ОДК-СТАР», г. Пермь, отзыв подписан и.о. главного технолога, кандидатом технических наук, Крохиным Андреем Николаевичем, и.о. первого зам. управляющего директора – главного инженера Усаниным Романом Геннадьевичем.

Замечания:

- в расчетах, при сопоставлении распознанных участков, полученных теоретически и экспериментально, не учтена погрешность самого прибора измерения ATOS III.

- отсутствует практическое подтверждение предложенной методики снижения трудоемкости сборки ГТД применительно к конкретной продукции.

5. ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль, отзыв подписан доцентом кафедры «Компьютерно-интегрированная технология машиностроения», кандидатом технических наук Кулебякиным Алексеем Александровичем.

Замечания:

- К замечаниям по работе можно отнести отсутствие более подробных данных о способе измерения параметров лопаток и о структуре математического обеспечения, включающего в себя алгоритмы и компьютерные программы, что вполне объяснимо ограниченностью объема автореферата.

6. ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г.Тула, отзыв подписан профессором кафедры технологии машиностроения, доктором технических наук, Ямниковым Александром Сергеевичем.

Замечания: по сути работы замечаний нет.

7. ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск, отзыв подписан профессором кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств», доктором технических наук Журавлевым Диомидом Алексеевичем.

Замечания:

- при обеспечении точности площади проходного сечения межлопаточных каналов с учетом отклонений целесообразно было бы использовать планирование эксперимента, например, с помощью системы Design Expert.

8. ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г, Самара, отзыв подписан доцентом кафедры технологии производства двигателей, кандидатом технических наук, Болотовым Михаилом Александровичем.

Замечания:

- По тексту автореферата можно сделать замечание о недостаточности описания сведений о реализации процедуры прямого подбора вариантов расстановки лопаток, в том числе данных о трудоемкости подбора и требований к вычислительным ресурсам. Данные параметры существенны для организации сборки сопловых аппаратов.

9. ЗАО «ЧелябНИИконтроль», г. Челябинск, отзыв подписан директором, кандидатом технических наук, Сурковым Игорем Васильевичем

Замечания:

-В тексте автореферата отсутствует обоснование приведенных в заключении численных результатов о вероятности достижения требуемых показателей величины и распределения площади проходного сечения соплового аппарата без переборок при использовании разработанного алгоритма (п.4) и экономическом эффекте от внедрения результатов работы (п.6);

- В разработанной математической модели процесса фотограмметрической оцифровки не учитывается влияние оптических искажений использованных фотокамер измерительной установки на расчетные прогнозируемые координаты точек поверхности объекта;

- При выборе конфигурации измерительной установки для экспериментальной проверки разработанной модели и величины "приемлемой" погрешности прогнозирования границ распознаваемых участков не производится сопоставление фактической погрешности оцифровки с допустимыми отклонениями размеров, формы и расположения поверхностей измеряемых лопаток.

10. ФГБОУ ВО «Псковский государственный университет», г. Псков, отзыв подписан заведующим кафедрой технологии машиностроения, кандидатом технических наук, Дмитриевым Сергеем Ивановичем, доцентом кафедры технологии машиностроения, кандидатом технических наук, Самаркиной Еленой Ивановной, доцентом кафедры технологии машиностроения, кандидатом технических наук, Самаркиным Александром Ивановичем.

Замечания:

- В целом, поставленная автором задача является задачей о трехмерном сканировании и расчете параметров специфических деталей. Следует отметить, что само по себе трехмерное сканирование известно достаточно давно. Можно отметить как ряд контактных, так и целый ряд бесконтактных методик, реализованных в значительном количестве серийно выпускаемых



моделей трехмерных сканеров. В частности, широкое применение находит сканирование структурированным светом, обеспечивающая точность измерения порядка 0,1 мм. В связи со сказанным выбор фотограмметрического метода измерения представляется дискутируемым, особенно в связи с его невысокой точностью;

- Само по себе сканирование производится автором методом «грубой силы». Представляется более производительным использовать предварительный анализ изображения для распознавания образов на изображениях. В частности, это может быть сделано с применением нейронных сетей, что выглядит достаточно перспективно для изделий одного вида, либо с применением более традиционных методик сегментации изображений.

- Как следует из содержания реферата, облако точек, по которым строится модель изделия, получается при совместном анализе изображений, полученных с двух камер. Проблема однозначной идентификации (определения координат) точек в трехмерном пространстве достаточно сложна математически, во всяком случае единственность такого определения не доказана автором работы.

- Приведенные в заключении (пп. 4-6) численные значения достигнутых показателей не обосновываются в тексте автореферата;

- В автореферате не приводится количественная оценка трудоемкости сборки сопловых аппаратов по существующей и предложенной технологии.

11. ФГБОУ ВО «Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева», г. Ковров, отзыв подписан профессором кафедры «Технология машиностроения», доктором технических наук, Житниковым Юрием Захаровичем.

Замечания:

- Во введении следовало бы привести конкретные цифры или доводы, указывающие на причины «плохой» повторяемости сборки, сложности обеспечения качества сборки;

- Во второй главе при описании разработки математических моделей процесса фотограмметрической оцифровки сложнопрофильных деталей следовало бы описать на основании каких предположений были представлены три геометрических условия для распознавания на снимке цифровой камеры элементов объекта;

- В работе следовало бы указать, в каких областях машиностроения можно применить метод фотограмметрической оцифровки или метод справедлив только для деталей сопловых аппаратов.

12. ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ), г. Челябинск, отзыв подписан заведующим кафедрой «Технология автоматизированного машиностроения», доктором технических наук, Гузеевым Виктором Ивановичем, доцентом кафедры «Технология автоматизированного машиностроения», кандидатом технических наук, Шипулиным Леонидом Викторовичем.

Замечания:

- На с.10 автореферата сказано, что «...при оценке достоверности результатов моделирования приемлемой является величина погрешности в 1 мм». В связи с тем, что для машиностроения такая величина является достаточно большой, возникает вопрос – почему выбрано именно такое значение и не является ли оно завышенным?

- Хотелось бы более конкретно узнать, если это возможно, каким образом результаты диссертационного исследования использованы на АО «ОДК-Пермские моторы», какой эффект и на каких операциях при этом достигнут, как изменились (улучшились) параметры продукции.

13. ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, отзыв подписан заведующим кафедрой «Технология машиностроения», кандидатом технических наук, Голубовским Виталием Вадимовичем.

Замечания:

- на странице 8 автореферата приводится описание условий распознавания точки с указанием параметров и ссылкой на рисунок 2, на котором эти параметры отсутствуют (например, точка Р на рис. 2а).

- в заключении п.5 говорится о повышении к.п.д. и тяги двигателя без указания числовых значений, что носит не конкретный характер.

- из автореферата не ясно, каким образом учитывается дисбаланс лопаток при их автоматизированном комплектовании?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработан** комплекс математических моделей и алгоритмов для создания новой цифровой технологии сборки сопловых аппаратов турбин ГТД, призванной обеспечить требуемое качество их изготовления с минимальными затратами труда;

**предложен** подход к повышению точности изготовления сопловых аппаратов, основанный на эффективном получении и использовании цифровых данных о фактической геометрии лопаток;

**доказана** перспективность использования фотограмметрической оцифровки в качестве метода получения данных для контроля лопаток и виртуальной сборки в качестве инструмента обеспечения требуемой величины площади проходного сечения соплового аппарата турбины;

**введены** параметры отклонений размера, формы и расположения проточной части лопатки относительно установочных поверхностей и методы их измерения на основе данных фотограмметрической оцифровки.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**доказан** экстремальный характер зависимости результата фотограмметрической оцифровки сложнопрофильных деталей от

пространственного положения рабочих органов измерительной системы, позволяющий эффективно использовать оптимизационные алгоритмы для повышения производительности процесса оцифровки;

применительно к проблематике диссертации результативно **использованы** существующие базовые методы теоретических и экспериментальных исследований, включая численное математическое моделирование, многопараметрическую оптимизацию, а также математическую статистику;

**изложены** особенности стадий технологического процесса изготовления сопловых аппаратов турбины ГТД, для которых введение цифровых технологий обеспечивает наибольшую эффективность;

**раскрыты** особенности механизма формирования величины площади проходного сечения межлопаточных каналов при сборке соплового аппарата в зависимости от геометрических параметров входящих в него лопаток;

**изучено** влияние конструктивных параметров фотограмметрической измерительной установки и технологических параметров процесса оцифровки на точность и производительность получения трехмерных данных о фактической геометрии сложнопрофильных деталей ГТД;

**проведена модернизация** алгоритмов подбора деталей на основе виртуальной сборки для применения к расстановке лопаток в сопловых аппаратах турбины по фактическим данным об их сложнопрофильной геометрии.

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

**разработаны** и реализованы в виде программного обеспечения алгоритмы для оптимизации схемы и параметров процесса фотограмметрической оцифровки сложнопрофильных деталей, а также для определения последовательности расстановки лопаток в сопловом аппарате при сборке;



**определены** области эффективного применения разработанной технологии цифровой сборки сопловых аппаратов турбины ГТД и перспективы ее совершенствования для новых изделий;

**создан** систематизированный комплекс моделей для обеспечения эффективности применения разработанной технологии цифровой сборки сопловых аппаратов турбины ГТД;

**представлены** технологические рекомендации по использованию разработанной методики оптимизации стратегии оцифровки сложнопрофильных деталей и предложенных алгоритмов расстановки лопаток и блоков в сопловых аппаратах различных ступеней турбины ГТД.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**для экспериментальных работ** использовано современное сертифицированное и поверенное оборудование;

**теория** построена на известных, проверяемых научных положениях технологии машиностроения и подтверждена результатами проведенных экспериментальных исследований;

**идея базируется** на анализе практики производства изделий с высокими требованиями к показателям качества и точности параметров, формируемых при сборке из сложнопрофильных деталей, в условиях сквозной информационной поддержки;

**использованы** данные о методе виртуальной сборки, методе индивидуального подбора и понятии компенсирующей способности, предложенных в ранее выполненных работах;

**установлено** качественное соответствие авторских результатов с результатами работы, выполненных ранее в области обеспечения точности и производительности сборки;

**использованы** обоснованные выборочные совокупности объектов для тестирования разработанных алгоритмов.

Личный вклад соискателя состоит в:

- анализе исходного технологического процесса сборки и контроля площади проходного сечения сопловых аппаратов турбины ГТД и выявлении направлений его эффективной модернизации;
- установлении условий распознавания точки и разработке виртуальных моделей процесса фотограмметрической оцифровки различных уровней детализации;
- планировании, проведении и обработке результатов эксперимента по верификации разработанной модели процесса фотограмметрической оцифровки;
- выявлении закономерностей производительности фотограмметрической оцифровки сложнопрофильных деталей от технологических параметров реализуемой стратегии;
- разработке, тестировании и программной реализации теоретических положений и алгоритмов оптимизации стратегий фотограмметрической оцифровки сложнопрофильных деталей;
- проведении и обработке результатов экспериментальных исследований по оцифровке сопловых лопаток ГТД при определении эффективности разработанной методики оптимизации стратегии фотограмметрического измерения;
- формулировании параметров лопаток для расстановки методом прямого подбора и разработке способа их измерения;
- разработке и тестировании вариантов алгоритма прямого подбора лопаток по данным об их фактической геометрии;
- разработке программного обеспечения и технологических рекомендаций по комплектованию и расстановке лопаток в сопловом аппарате с использованием алгоритма прямого подбора;
- подготовке публикаций по основным результатам диссертационной работы и проведении апробации результатов исследования на международных и всероссийских конференциях;

- написании текста диссертации и автореферата, подготовке электронной версии доклада для апробации и защиты.

На заседании 24 сентября 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Осипович Д.А. ученую степень кандидата технических наук.

Диссертация Осипович Дарьи Андреевны «Разработка технологии цифровой сборки сопловых аппаратов турбины ГТД на основе измерений лопаток фотограмметрическим методом» полностью соответствует паспорту специальности 05.02.08 – «Технология машиностроения».

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (п.9), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук за решение задачи технологического обеспечения качества сборки сопловых аппаратов турбины ГТД путем эффективного использования фотограмметрического метода измерений при контроле и комплектовании лопаток.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 4 докторов наук по специальности 05.02.08 «Технология машиностроения», участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 15, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного

совета

Учёный секретарь диссертационного

совета



Полетаев Валерий Алексеевич

Надеждин Игорь Валентинович