



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ»

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора –  
руководитель приоритетного  
технологического направления  
«Технологии двигателестроения», к.т.н.



Бакрадзе М.М.

«14» 11 2023 г.

### ОТЗЫВ ведущей организации

на диссертационную работу

Печениной Екатерины Юрьевны

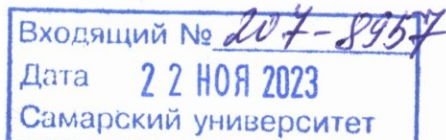
«Совершенствование процесса сборки рабочих колёс с  
антивибрационными полками компрессоров авиационных ГТД»,  
представленную на соискание учёной степени кандидата  
технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые,  
электроракетные двигатели и энергоустановки летательных  
аппаратов

### Актуальность темы исследования

Сборка является важным этапом производственного процесса авиационных газотурбинных двигателей. Она выполняется на авиационных ремонтных заводах (АРЗ) при ремонте или предприятиях производителях авиационных двигателей, большинство из которых входит в контур корпорации АО «ОДК».

Сборочные чертежи рабочих колёс, лопатки которых имеют антивибрационные полки, содержат требования по обеспечению равномерного натяга между контактирующими поверхностями полок. Данное требование в существующей технологии достигается чаще всего за счёт выполнения предварительных сборок узла. Использование промежуточных операций предварительных сборок существенно увеличивает трудоёмкость технологического процесса и не редко ухудшает качество поверхностей как полок, так и хвостовиков лопаток.

Разработка эффективной технологии сборки рабочих колёс компрессора, включение в неё алгоритмов автоматизации принятия решений с использованием



математических моделей процесса и как итог, изготовление рабочего колеса с высокими параметрами надежности является актуальной проблемой. В рамках данной проблемы актуальной является выбранная тема диссертационной работы. Исследуемая тема направлена на разработку модели оценки натягов по антивибрационным полкам лопаток, алгоритма расстановки лопаток и методики сборки с автоматизацией формирования схемы расстановки лопаток.

### **Оценка структуры и содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы (включающего 101 наименование) и восьми приложений. Общий объём диссертации составляет 147 страниц, 47 рисунков и 14 таблиц.

Во введении автор обосновала актуальность темы исследования, сформулировала цель и задачи исследования, изложила научную новизну и практическую значимость работы, представила выносимые на защиту основные положения, сведения о реализации и апробации результатов работы.

В первой главе описан объект исследования и выполнен анализ существующего технологического процесса сборки рабочих колёс с антивибрационными полками компрессоров авиационных ГТД. Выявлены основные недостатки существующих технологий сборки рабочего колеса, среди которых высокая трудоёмкость, изнашивание сопрягаемых поверхностей лопаток и диска, получение недостаточно равномерных натягов по антивибрационным полкам.

По результатам проведённого анализа ранее выполненных и опубликованных работ в части обеспечения заданной точности при сборке рабочих колёс ГТД сделан вывод о целесообразности разработки методики сборки рабочих колёс компрессора ГТД с автоматизацией формирования схемы расстановки лопаток, позволяющей добиться снижения количества предварительныхборок, а также модели оценки натягов и алгоритма расстановки.

Основу теоретической части работы составляют материалы второй главы, где достаточно обоснованно представлена методика сборки рабочих колёс компрессора ГТД с автоматизацией формирования схемы расстановки лопаток. Разработанная методика позволяет сократить время на получение годного рабочего колеса.

Разработана математическая модель оценки натягов по антивибрационным полкам лопаток при их сборке в рабочем колесе. Модель основана на расчёте отклонений натягов со стороны спинки и корыта двух соседних лопаток в двумерной постановке.

Разработан алгоритм расстановки лопаток в рабочем колесе компрессора среднего давления (КСД) ГТД. Алгоритм основан на стратегии поиска, основанной на использовании отклонений натягов, вычисленных с использованием модели оценки натягов по антивибрационным полкам лопаток.

Проведены теоретические исследования по определению влияния геометрических отклонений лопаток и пазов диска на получаемые в результате сборки натяги по антивибрационным полкам. Выявлено, что в результате применения разработанного алгоритма расстановки лопаток происходит уменьшение рассеивания распределения натягов за счёт снижения среднеквадратического отклонения в два

раза. Кроме того, исследования показали, что погрешности пазов слабо влияют на получаемый сборочный параметр.

Экспериментальную часть диссертации составляют материалы цеховых работ по сборке двух рабочих колёс среднего давления. При их выполнении автор справедливо использует свои разработанные и представленные в предыдущей второй главе теоретические разработки. Определена последовательность выполнения теоретико-экспериментальных исследований точности сборки рабочих колёс. Результаты проведённых исследований представлены в третьей главе. Контроль сборочных параметров рабочих колёс, а также входящих в них лопаток и дисков сопровождался использованием существующих средств измерения, включающих координатно-измерительную машину и оптический угломер. Результаты по точности собранных рабочих колёс показали удовлетворительную сходимость с расчётными данными, полученными по разработанной автором модели.

Логическим завершением является глава 4, в которой автор показывает направления реализации полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Предложенные автором программная система для повышения точности и снижения трудоёмкости сборки рабочих колёс компрессора ГТД, и технологическая инструкция, разработанная на основе данного программного приложения, составляют основу технологии сборки рабочего колеса без использования промежуточного трудозатратного этапа – предварительной сборки. Описана последовательность и результаты разработки технического задания, и выполнено проектирование системы. Проведена техническая реализация элементов системы: базы данных, модуля обработки операций, модуля проведения расчётов, модуля интерфейса пользователя (клиентской части). В конце выполнено описание работы с программной системой.

### **Научная новизна полученных результатов**

Научную новизну работы составляют:

- научно обоснованный подход (алгоритм) по расстановке лопаток в рабочем колесе, позволяющий минимизировать рассеивание величин натягов между лопатками, учитывающий отклонения натягов по антивибрационной полке со стороны корыта и со стороны спинки относительно номинально заданных в конструкторской документации значений;
- методика сборки рабочих колёс компрессора ГТД с автоматизацией формирования схемы расстановки лопаток в условиях использования цифрового производства;
- математическая модель оценки натягов лопаток по антивибрационным полкам при их сборке в рабочем колесе, учитывающая отклонения геометрических параметров лопаток, пазов диска и влияние соседних лопаток.

### **Практическая значимость**

Практическая значимость работы очевидна, она заключается в создании отечественного производственного продукта по сборке рабочих колёс компрессора с лопатками, имеющими антивибрационные полки, использование которого позволит

повысить точность (по оценкам автора снижение среднеквадратического отклонения натягов до 40 %) и уменьшить трудоёмкость (по оценкам автора до 50 %) сборочного процесса рабочих колёс ГТД.

### **Достоверность полученных результатов, обоснованность научных положений**

Достоверность полученных результатов подтверждается удовлетворительной сходимостью результатов теоретических исследований с данными по сборке натуральных рабочих колёс в цеховых условиях.

Обоснованность научных положений подтверждена грамотным применением известных и проверенных численных методов, а также использованием в процессе исследований поверенного метрологического оборудования и сертифицированного программного обеспечения.

Диссертация написана корректным, технически грамотным языком, имеет логически связанные разделы, а структура и содержание работы соответствуют представленным целям и задачам исследования. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Поставленные в диссертации задачи решены в полном объёме.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Перспектива дальнейшего развития темы состоит в разработке и апробации методики комплектования лопатками нескольких рабочих колёс компрессора и адаптации разработанной модели для расчёта иных сборочных параметров.

Полученные результаты работы, при учёте их адаптации, могут быть использованы на сборочных участках предприятий двигателестроения, в том числе АО «218 АРЗ», ПАО «ОДК-Кузнецов», АО «ОДК-ПМ», ПАО «ОДК-УМПО» при выполнении сборки рабочих колёс компрессоров газотурбинных двигателей.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. При разработке методики автор указала, что в случае неудовлетворительных результатов сборки рабочее колесо отправляется на перекомплектацию, но не описала в чем заключаются дальнейшие действия по перекомплектации.

2. Рассматривая конкретную конструкцию рабочего колеса КСД, автор не указывает как результаты исследований распространяются на сборку рабочего колеса любой другой ступени. Это ограничивает область возможного использования предложенной автором методики на предприятиях АО «ОДК».

3. Из представленной в работе модели оценки натягов по антивибрационным полкам лопаток не ясно, каким образом учитываются важнейшие факторы (жёсткость лопаток, последовательность их размещения на колесе), играющие заметную роль в надёжной работе такого рабочего колеса в процессе эксплуатации.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности представленной диссертационной работы.



## Заключение

Диссертация Печениной Екатерины Юрьевны, представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук, представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая имеет 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.

Автореферат диссертации достаточно полно отражает её содержание.

Результаты, представленные в диссертационной работе, получены автором лично в процессе научной деятельности.

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 присуждение учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Диссертационная работа и отзыв рассмотрены, отзыв одобрен на заседании секции научно-технического совета АО «Объединённая двигателестроительная корпорация», протокол от 26.10.2023 № 22-45.

Руководитель аппарата руководителя  
приоритетного технологического  
направления «Технологии  
двигателестроения», к.т.н.

Фетисов Максим Викторович

Главный специалист, д.т.н.

Евдокимов Алексей Иннокентьевич

105118, г. Москва, проспект Буденного, 16  
Телефон: +7 (495) 232-55-02 доб. 4732  
E-mail: [center@uecrus.com](mailto:center@uecrus.com)