

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования

**«Пермский национальный  
исследовательский  
политехнический университет»  
(ПНИПУ)**

614990, Пермский край, г. Пермь,  
Комсомольский проспект, д. 29,  
тел. 8(342) 219-80-67,  
факс 8(342) 219-89-27, e-mail: [rector@pstu.ru](mailto:rector@pstu.ru)  
<http://www.pstu.ru>

На № 16.04.2025 от № 40С-54

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке  
и инновациям ПНИПУ,  
д-р физ.-мат. наук, доцент

А.И. Швейкин

2025 г.



### Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Яньюкиной Марии Викторовны  
«Разработка метода обеспечения геометрической точности сборки рабочих  
колёс турбины авиационного ГТД», представленную на соискание учёной  
степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые,  
электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

### Актуальность темы диссертационной работы

Надёжность газотурбинных двигателей (ГТД) зависит от множества факторов, среди которых особое значение имеет точность геометрических параметров деталей и узлов. В своей работе Яньюкина М.В. занимается вопросом компьютеризации процесса сборки одного из важных узлов, определяющих надёжность и ресурс работы ГТД – рабочего колеса турбины.

В исследовании Мария Викторовна обосновывает, что обеспечение соответствия величин геометрических сборочных параметров требуемым значениям позволяет заложить основу надёжности работы изделия. В рабочем колесе (РК) турбины ГТД главным таким параметром является натяг по стыковым поверхностям бандажных полок, а как, следствие, зазоры по бандажным полкам и по замковым полкам соседних лопаток. Достижение оптимальных значений по вышеуказанным параметрам в условиях производства достигается многочисленными переборками (чаще всего ограничиваются 4-5). Однако это влечёт за собой значительные затраты: временные и финансовые. И частичная компьютеризация процесса сборки могла бы их уменьшить.

Входящий № 2025-319  
Дата 21 АПР 2025  
Самарский университет

## Оценка структуры и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы (включающего 78 наименований) и приложения. Общий объём составляет 127 страниц, 44 рисунка и 14 таблиц.

**Во введении** обоснована значимость выбранной темы. Дано краткое описание работы, определена цель и раскрыта научная новизна исследования. Также представлены научные положения, которые выносятся на защиту, и информация об апробации работы.

**В первой главе** работы автор даёт характеристику объекту исследования, говорит об основных методах сборки, приводит их преимущества и недостатки, анализирует факторы, которые влияют на эффективность работы турбины.

По результатам проведенного анализа автор формулирует цель, заключающуюся в «снижении трудоёмкости процесса сборки рабочих колёс турбины авиационного ГТД за счёт разработки и использования метода, позволяющего оценивать и достигать заданную точность натягов и зазоров по бандажным полкам лопаток с учётом качки и силового взаимодействия между ними», а также задачи исследования.

**Вторая глава** является теоретической основой всего исследования. Здесь автор раскрывает суть метода обеспечения геометрической точности сборки РК турбины авиационного ГТД, который учитывает особенности конструкции, связанные с деформацией лопаток и их качкой в пазах диска. В основу метода заложены модель оценки геометрического параметра, учитывающая влияние качки лопаток в замковых пазах диска на взаимное положение в РК турбины, и функциональная зависимость, позволяющая уточнить рассматриваемый параметр, опираясь на взаимное влияние лопаток друг на друга. Описание работы метода Мария Викторовна выполняет применительно к наиболее значимому в РК геометрическому сборочному параметру – натягу.

Для реализации модели и функциональной зависимости автор предлагает разработанные:

- модель размерной цепи для определения геометрического сборочного параметра, образованного двумя соседними лопатками;
- параметрическую модель для оценки качки лопаток в пазах диска;
- конечно-элементную модель, позволяющую уточнить значения натягов лопаток с учётом их жёсткости.

Завершается глава описанием предложенного пошагового алгоритма расчёта геометрических сборочных параметров РК турбины, который можно применить на практике в производстве.

**В третьей главе** представлены результаты теоретических изысканий, посвящённых анализу того, как геометрические параметры РК турбины зависят от точности изготовления его деталей. Проведён сравнительный анализ величин параметров при условии учёта качки лопаток в пазах диска. Теоретически исследовано наличие зазоров между лопатками в собранном РК. Оценено распределение количества лопаток с гарантированным натягом в группах.

Так же автор приводит методику проведения эксперимента, заключающегося в измерении основных геометрических сборочных параметров РК турбины. Проводится анализ результатов теоретических и экспериментальных экспериментов.

**Четвертая глава** посвящена практической реализации диссертационного исследования. Представлен алгоритм комплектования РК турбины авиационного ГТД, в основе которого заложен традиционный подход к сборке, дополненный этапами проверки величин геометрических сборочных параметров средствами компьютерного расчёта.

Приведён сравнительный анализ трудоёмкости сборки РК турбины согласно существующей технологии и с применением разработанного метода. По заключению автора использование компьютерного расчёта позволит сократить количество предварительных сборок до двух, что снизит суммарную трудоёмкость сборки РК на 50 %.

В завершении главы продемонстрирована возможность применения разработанных в исследовании моделей для определения объёмов незавершённого производства.

### **Научная новизна проведенных исследований**

Диссертационная работа направлена на повышение точности и снижение трудоёмкости процесса сборки РК турбины авиационного ГТД.

Указанные автором положения, определяющие научную новизну работы, направлены на разработку моделей и зависимостей, позволяющих обеспечить заданную точность при сборке узла:

1. Создан метод, который позволяет обеспечить точность геометрии при сборке рабочих колёс турбины авиационного ГТД. Особенность этого метода — особый подход к расчёту зазоров и натягов на стыках бандажных полок лопаток.

Метод включает в себя анализ и оценку различных по значимости факторов, которые влияют на геометрические характеристики колёс. Среди них – качка и силовое взаимодействие между лопатками при монтаже, вызванное закручиванием бандажных полок. Для этого используется специальная модель и функциональная зависимость, которые могут быть применены в производственном процессе.

2. Разработана модель оценки натягов по стыковым поверхностям бандажных полок соседних лопаток, учитывающая влияние их качки в замковых пазах диска на взаимное положение в РК турбины авиационного ГТД.

3. Предложена функциональная зависимость для уточнения значений натягов по стыковым поверхностям бандажных полок лопаток РК посредством учёта их кручения, вызванного взаимным действием возникающих при сборке сил, при рассмотрении лопаток в виде эквивалентных балок.

### **Степень обоснованности и достоверности защищаемых положений**

В работе представлены основные тезисы, которые были тщательно обоснованы и логично вытекают из целей, поставленных автором.

Достоверность результатов обеспечивается правильным формулированием задач исследования и применением соответствующих математических методов для их решения.

В работе использовались известные численные методы, которые отличаются высокой точностью при проведении вычислительных экспериментов.

В диссертации представлено достаточное количество иллюстраций и графиков, которые усиливают доказательную базу и подчёркивают новизну исследования.

### **Практическая значимость работы**

Представленный в диссертации алгоритм комплектования деталей для выполнения сборки РК турбины авиационного ГТД составляет основу практической значимости исследования. Алгоритм учитывает особенности рассматриваемой турбины, связанные с присутствием бандажных полок у лопаток, и как следствие, неравномерностью распределения натяга по стыковым поверхностям бандажных полок – основного геометрического сборочного параметра.

Использование алгоритма комплектования в производстве повышает точность и эффективность сборочного процесса.

### **Апробация работы и публикации**

Диссертационная работа Янюкиной М.В. в достаточной мере апробирована. Основные положения представленного исследования отражены в 12 публикациях, из них 4 – в научных журналах из перечня ВАК РФ, 2 – в статьях в изданиях, индексируемых в базах данных Scopus. Так же результаты исследований были представлены на конференциях регионального, российского и международного уровнях.

### **Рекомендации по использованию результатов диссертации**

Полученные в ходе диссертационного исследования результаты можно применить к решению задач:

- комплектации при сборке узлов, имеющих не статичные в ходе сборки детали,
- определении объёмов незавершенного производства.

Результаты работы, при учёте их адаптации, могут быть использованы на предприятиях авиационного отрасли, таких как ПАО «ОДК-Кузнецов», АО «ОДК-ПМ», ПАО «ОДК-УМПО», ПАО «ОДК-Сатурн», АО «218 АРЗ» и ПК «Салют» и иных.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. При указании соответствия паспорту научной специальности присутствует ссылка лишь на один его пункт. Целесообразно указать конкретные ключевые слова пункта. А также можно рассмотреть соответствие пункту «18. Процессы создания и доводки двигателей летательных аппаратов. Способы улучшения характеристик и основных данных двигателей, находящихся в серийном производстве и эксплуатации».

2. Пункт 1 научной новизны информационно перегружен.

3. В тексте автореферата не приводится методика проведения экспериментальных исследований.

### **Заключение по диссертации**

Отмеченные замечания не снижают научной и практической ценности работы. Диссертационное исследование является законченным научным трудом. Янюкина М.В. успешно справилась с поставленной задачей разработки метода обеспечения геометрической точности сборки рабочих колёс турбины авиационного ГТД.

Диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Янюкина Мария Викторовна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Диссертационная работа Янюкиной М.В. на тему «Разработка метода обеспечения геометрической точности сборки рабочих колёс турбины авиационного ГТД» обсуждена и одобрена на заседании Центра высокопроизводительных вычислительных систем ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», протокол заседания №3 от 9 апреля 2025 г.

Отзыв подготовлен:

Декан аэрокосмического факультета,  
Директор Центра высокопроизводительных  
вычислительных систем  
ФГАОУ ВО «Пермский  
национальный исследовательский  
политехнический университет»,  
доктор технических наук, доцент

В.Я. Модорский

Подпись Модорского В.Я.  
ЗАВЕРЯЮ  
Учёный секретарь  
Учёного совета ПНИПУ  
В.И. Макаревич  
«16» апреля 2025 г.