

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Печениной Екатерины Юрьевны
на тему «Совершенствование процесса сборки рабочих колёс с
антивибрационными полками компрессоров авиационных ГТД»,
представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и
энергоустановки летательных аппаратов

1. Актуальность темы диссертации

Повышение эксплуатационных характеристик ГТД связано с необходимостью обеспечения высокой точности изготовления и сборки рабочих колёс компрессора. В рабочих колёсах, лопатки которых оснащены антивибрационными полками, важным условием сборки является обеспечение равномерного натяга между полками, не выходящим за допустимые пределы. Из-за особенности конструкции рабочих колёс, обеспечение точности лопаток не гарантирует обеспечение точности сборочных параметров в целом. Лопатки не обладают полной взаимозаменяемостью, поэтому технологи в цехах, основываясь на измеренной геометрии лопаток и пазов диска, подбирают лопатки в комплекты и выполняют их расстановку. Отсутствие надёжных моделей, прогнозирующих получаемые результаты по натягам, а также просчёты специалистов, приводят к необходимости повторных сборок рабочих колёс, что плохо сказывается на качестве присоединительных поверхностей и удлиняет цикл изготовления.

Для повышения производительности и точности сборки автор предлагает план расстановки лопаток, основанный на результате моделирования величин натягов в сборке и алгоритм, подбирающий соседние лопатки в соответствии с величинами рассчитываемых натягов. Данные для моделирования берутся с контрольных операций лопаток и дисков, которые проводятся на координатно-измерительных машинах или контрольно-измерительных приспособлениях. Для использования разработанных моделей и алгоритма создана методика сборки рабочих колёс, дополняющая существующий тех-

Входящий № 206-8881
Дата 20 НОЯ 2023
Самарский университет

нологический процесс сборки (на этапе формирования плана расстановки лопаток).

Рассмотрены вопросы внедрения разработанной методики непосредственно на предприятиях авиационного двигателестроения. Для этих целей выполнена реализация разработанных модели и алгоритма в виде программной системы, позволяющей непосредственно в цехах автоматизировано формировать планы расстановки, сокращая не только количество предварительных сборок, но и время на формирование технологом плана расстановки.

На основании этого тема диссертационной работы Печениной Е.Ю. является актуальной, как для развития методов цифровизации, так и в прикладном плане для совершенствования сборочных операций.

2. Новизна проведённых исследований и полученных результатов

Наиболее важными результатами исследований являются:

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

– алгоритм расстановки лопаток в рабочем колесе, 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.

3. Степень обоснованности и достоверности основных положений и выводов диссертационной работы

Автором работы выделены пять основных выводов и научных положений. Все выводы обоснованы результатами исследований, представленными в соответствующих главах диссертации.

Первый вывод констатирует создание математической модели оценки натягов по антивибрационным полкам лопаток при их сборке в рабочем колесе, её отличительной особенностью является использование данных по отклонениям геометрических параметров лопаток, пазов диска и учёт влияния соседних лопаток. Вывод построен на результатах, полученных в главе 2 диссертации (с. 36-41). Далее результат используется в главах 3 и 4.

Второй вывод представляет разработку алгоритма расстановки лопаток в рабочем колесе, позволяющий минимизировать рассеивание величин натягов между лопатками по антивибрационным полкам. В алгоритме учитываются отклонения натяга со стороны корыта и со стороны спинки от конструкторских значений. Автор делает вывод, что применение алгоритма расстановки лопаток позволило в 2 раза снизить рассеивание величины натягов между лопатками, основываясь на данных теоретических расчётов. Вывод основан на результатах главы 2 (с. 41-48). В дальнейшем алгоритм используется в главах 3 и 4.

Третий вывод представляет разработку методики сборки рабочих колёс компрессора ГТД с автоматизацией формирования схемы расстановки лопаток, отличающаяся тем, что при расстановке лопаток используются отклонения геометрических параметров лопаток, пазов диска, обобщённые в виде математической модели. Экспериментальные исследования показали, что использование методики позволяет сократить количество предварительных сборок в 2 раза, тем самым снизив трудоёмкость сборочного процесса на 41-56% и рассеивание натягов по антивибрационным полкам, при этом повысив

точность. Вывод основан на результатах главы 2 (с. 32-36). В дальнейшем методика используется в главе 3.

Четвёртый вывод представляет результаты теоретико-экспериментальных исследований по сборке рабочих колёс 8 ступени компрессора среднего давления в цеховых условиях с применением разработанной методики. В результате применения разработанной методики удалось снизить среднеквадратическое отклонение натягов на 14-43%, при этом расхождение с теоретическими расчётами, основанными на использовании разработанной модели оценки натягов, не превысило 21%. Вывод основан на результатах, приведённых в главе 3 (с. 50-77).

Пятый вывод указывает, что разработанная модель и алгоритм реализованы в виде программной системы на языке программирования JAVA. Время, затрачиваемое на формирование плана расстановки лопаток в рабочем колесе, составило 38мс. Показано, что реализованная программная система позволяет использовать разработанную методику сборки рабочих колёс технологами авиадвигателестроительных предприятий. Вывод основан на результатах, представленных в главе 4 (с.78-93).

В целом представленные в диссертации научные положения и приведённые результаты экспериментальных исследований подтверждают обоснованность принятых подходов при разработке методики сборки рабочих колёс компрессора ГТД с автоматизацией формирования схемы расстановки лопаток. Сравнение результатов моделирования с результатами экспериментальных исследований подтверждает адекватность разработанных модели и алгоритма.

Также достоверность результатов исследований подтверждена апробацией на международных и всероссийских конференциях и актами внедрения в производственный и учебный процессы.

4. Теоретическая и практическая значимость полученных результатов диссертационной работы

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы заключается в разработке: методики сборки рабочих колёс компрессора ГТД, модели оценки натягов по антивибрационным полкам лопаток при их сборке в рабочем колесе, алгоритме расстановки лопаток в рабочем колесе.

Практическая значимость результатов работы заключается в реализации разработанных модели и алгоритма в программной системе, которая позволяет повысить точность и уменьшить трудоёмкость сборки рабочих колёс ГТД в производственных цехах и подтверждается актами внедрения филиале АО «ОДК» «НИИД» и на предприятии ООО «Самарские турбомоторы». Не вызывает сомнения, что результаты исследований найдут дальнейшее применение на предприятиях АО «Объединенная двигателестроительная корпорация».

5. Оценка содержания и оформления диссертации

Диссертация изложена на 147 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы на 101 наименование и 8 приложений. Представленная диссертация характеризуется логичностью изложения и завершенностью.

Диссертационная работа выполнена на хорошем научном уровне. Проведённые исследования решают важную научно-техническую задачу и вносят существенный вклад в теорию и технологию сборки рабочих колёс компрессора ГТД. Представленные материалы написаны корректным, технически грамотным языком, сопровождаются наглядными графическими иллюстрациями. Для подтверждения результатов диссертации автором проведён необходимый объем расчётов и экспериментальных исследований.

В автореферате и публикациях автора достаточно полно отражено содержание диссертационной работы и выдвигаемые на защиту научные положения.

6. Замечания по диссертационной работе

1. В первой главе, в подразделе 1.2.1, автор анализирует существующую технологию сборки рабочего колеса компрессора среднего давления, основываясь на технологии одного предприятия отрасли. Возникает вопрос насколько эта проблема характерна для других предприятий, где в технологии сборки используются результаты контрольных операций и специальные методики расстановки лопаток. В этом случае часть приведённых автором решений не будет актуальными.

2. Полученные результаты по уменьшению погрешности сборки рабочих колёс компрессора ГТД не вызывают сомнения. Вместе с тем предлагаемая технология сборки требует большого объема измерений. Учитываются ли в приведённых данных по повышению производительности сборки время на измерение?

3. При проведении экспериментальных исследований геометрические отклонения лопаток и дисков измерялись с использованием координатно-измерительных машин, в то время как на производствах широко используются контрольно-измерительные приспособления, оснащённые индикаторами часового типа. Поэтому возникает вопрос об эффективности разработанной методики, если используются данные, полученные с контрольно-измерительных приспособлений.

4. В третьей главе приводятся статистические характеристики, такие как среднее выборочное и среднеквадратическое отклонения, рассчитываемые на основании 84 лопаток. Подобный размер статистической выборки может вносить существенные погрешности в расчёт статистических характеристик, на основании которых делаются выводы о повышении точности сборки.

5. В работе отсутствует обоснование целесообразности применения критерия Лилиефорса для оценки статистических гипотез. Общепринятым является критерий Колмогорова.

Приведённые в отзыве замечания не являются принципиальными, а отмеченные недостатки не снижают значимости диссертации и её общей высокой оценки.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения учёных степеней»

Диссертационная работа Печениной Е.Ю. «Совершенствование процесса сборки рабочих колёс с антивибрационными полками компрессоров авиационных ГТД», является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная задача повышения точности и снижение трудоёмкости сборки рабочих колёс компрессоров ГТД. Работа содержит новые научно-обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

В целом считаю, что диссертационная работа «Совершенствование процесса сборки рабочих колёс с антивибрационными полками компрессоров авиационных ГТД» отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям Положения о порядке присуждения учёных степеней ВАК, 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.

Официальный оппонент:

профессор кафедры «Технология машиностроения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», доктор технических наук, доцент

410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77
E-mail: tms@sstu.ru, тел. 8(452)998639

Захаров Олег Владимирович

«Подпись Захарова О.В. заверяю»

Проректор по науке и инновациям
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»



Остроумов И.Г.

14.11.2023