

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и цифровой трансформации
ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный
авиационный технический университет
имени П.А. Соловьева», к.т.н., доцент



А.Н. Сутягин

2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Николаева Ильи Витальевича:

«Исследование шлицевых соединений роторов при наличии несоосности и их влияние на динамическое поведение системы»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

При анализе роторных систем авиационных ГТД возникает необходимость корректного учёта наличия шлицевых соединений и их параметров. В литературе существует значительное количество различных моделей, позволяющих проводить расчёт характеристик шлицевых соединений – в том числе с использованием различных конечно-элементных решений.

Динамические параметры роторов авиационных ГТД существенно зависят от свойств шлицевых соединений. Изменение зазоров между шлицами в работе, перераспределение сил или возникновение перекосов приводит к изменению влияния как амплитудно-частотных характеристик, так и вибрационного поведения ротора в целом. Некорректная оценка жёсткости шлицевого соединения может выражаться в изменении собственных частот и их форм, а также в варьировании нагрузок, приходящихся на опорные узлы роторов.

Одними из важных факторов при оценке жесткости шлицевого соединения являются зазоры между шлицами, появление перекоса между частями шлицевого соединения и учет упругости зубьев. Данные факторы вносят значимый вклад в

Студ. документация
обеспечения МАИ

«23» 11 2023

определение жесткости, поскольку влияют на контакт шлицев и их деформацию. С учетом вышесказанного, разработка математических моделей, позволяющих учитывать данные факторы при расчете шлицевых соединений в составе роторных систем авиационных ГТД является востребованной и актуальной.

В данной работе разработана численная модель шлицевого соединения, позволяющая учитывать зазоры и упругие характеристики зубьев, с использованием инкрементального представления больших поворотов для определения жесткостных характеристик шлицевых соединений при проектировании роторов ГТД. Также показано, что использование обычных методов учета моментной жесткости шлицев приводит к значительной погрешности при расчете собственных частот колебаний и их форм, определении амплитудно-частотных характеристик и нагрузок на опорные узлы.

В диссертационной работе поставлены и решены следующие научные задачи:

- Проведён обзор существующей научно-технической литературы по методикам и подходам для определения жесткостных характеристик шлицевых соединений;
- Разработана численная модель для расчёта жесткостных характеристик шлицевого соединения в условиях перекоса соединяемых валов. Проведена верификация модели путем сравнения с результатами прямого конечно-элементного моделирования;
- Разработана методика и алгоритм учета характеристик шлицевого соединения в задачах динамики роторов;
- Получены результаты по подтверждению влияния шлицевого соединения на динамические характеристики роторной системы ГТД.

Структура и содержание работы:

Рассматриваемая диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и списка сокращений и условных обозначений. Общий объем диссертации составляет 107 страниц, а список литературы включает 70 работ отечественных и зарубежных авторов.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, изложены цель и задачи работы, определена научная новизна и практическая значимость, указаны используемые методы исследования, обоснована достоверность полученных результатов, приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе на основе обзора литературы сформулированы задачи научного исследования и выделены основные требования, предъявляемые к моделям шлицевых соединений.

Во второй главе представлено описание разработанной численной модели шлицевого соединения для определения жесткостных характеристик с учетом зазоров и упругости зубьев.

В третьей главе представлена верификация численной модели путем сравнительного анализа с созданной конечно-элементной моделью.

В четвертой главе приведены результаты моделирования роторной системы ГТД со шлицевым соединением с использованием разработанной модели, подтверждающие влияние жесткости шлицевого соединения на собственные частоты, формы и амплитуды вибраций роторов.

Автореферат диссертации достаточно полно и правильно отражает структуру, основное содержание и результаты выполненной автором диссертационной работы.

Научная новизна результатов, полученных автором диссертационной работы, заключается в следующем:

- Разработана пространственная численная модель шлицевого соединения, обладающая наименьшим количеством степеней свободы и позволяющая учитывать зазоры и упругие характеристики зубьев;
- Показаны результаты, демонстрирующие особенности работы шлицевого соединения с учетом перекоса на основе конечно-элементного решения;
- Доказано существенное влияние жесткости шлицевого соединения на динамические параметры роторной системы ГТД.

Практическая значимость полученных автором результатов заключается в том, что они могут быть использованы при проектировании и разработке роторов авиационных ГТД. Разработанная модель включена в программный комплекс Dynamics R4, который применяется для решения широкого спектра практических задач линейной и нелинейной динамики роторов ГТД на множестве предприятий авиационного двигателестроения (ПАО «ОДК-Сатурн», ПАО «ОДК-Кузнецов», АО «ОДК-Климов», АО «ОДК-Авиадвигатель», ПК «Салют» АО «ОДК», АО «КМПО»). Также полученные результаты позволяют выделить и провести анализ такого феномена как центрирование, отдельным процессом, что существенно при работе шлицевого соединения.

Достоверность полученных результатов подтверждается следующими факторами:

- Строгостью использованных математических методов;
- Полученными физически обоснованными закономерностями;
- Использованием современных методов моделирования и анализа;
- Совпадением полученных в работе результатов при использовании численной модели и методов прямого моделирования.

Апробация работы обеспечена представлением и обсуждением её результатов на отечественных и международных конференциях и публикациями в рецензируемых изданиях.

По диссертационной работе Николаева Ильи Витальевича могут быть сделаны следующие **замечания**:

1. В первой главе некоторые рисунки трудно читаемы;
2. В третьей главе при рассмотрении влияния зазора на нагрузочные характеристики представлена лишь одна величина зазора. Было бы интересно увидеть сравнение результатами расчёта для других значений зазоров;
3. При исследовании эффекта центрирования в третьей главе хотелось бы увидеть схему возникающих усилий на поверхностях зубьев. Также приведены результаты расчётов лишь для одного варианта сетки, без доказательства его рациональности;
4. При рассмотрении влияния трения оценивалось лишь влияние коэффициента на процесс центрирования без использования других моделей законов трения;
5. В главе 4 жесткость шлицевого соединения рассчитана при максимальных нагрузках, возникающих в соединении от действия дисбалансов. Необходима оценка жёсткости на всех типовых режимах работы ГТД;
6. При сравнении амплитудно-частотных характеристик в главе 4 показаны характеристики для штатных мест контроля вибраций. Хотелось бы видеть формы возбуждаемых частот и зависимость возбуждаемых частот от жесткости шлицевого соединения.

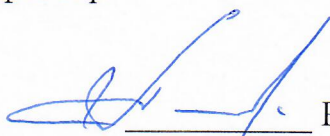
Указанные замечания не снижают общего высокого научного уровня и значимости рассматриваемой диссертационной работы и могут быть рассмотрены в качестве рекомендаций для проведения дальнейших исследований.

Заключение по диссертационной работе:

Диссертационная работа представляет собой законченную научно-техническую квалификационную работу. Научные положения и результаты, выносимые на защиту, подтверждены и обоснованы. По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов, рассматриваемая диссертационная работа соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Николаев Илья Витальевич заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – «Тепловые электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Отзыв на диссертацию Николаева Ильи Витальевича «Исследование шлицевых соединений роторов при наличии несоосности и их влияние на динамическое поведение системы» обсужден и утвержден на заседании кафедры "Авиационные двигатели" ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева, протокол № 5 от 16.11.2023 г., результаты голосования – единогласно.

Заведующий кафедрой "Авиационные двигатели"
ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный
технический университет имени П.А. Соловьева»,
доктор технических наук, профессор



Ремизов Александр Евгеньевич

С отзывом ознакомлен  / Николаев И.В.

24.11.2023