

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Иркутский

государственный университет путей

и сообщения». К.Т.Н.

Димов А. В.



«*июня*» 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Нгуен Ван Винь

«Разработка математических моделей, методик и программного обеспечения для создания турбомашин повышенного ресурса с помощью преднамеренной расстройки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы исследования Диссертационная работа Нгуен Ван Винь посвящена разработке математических моделей, методик и программного обеспечения для создания турбомашин повышенного ресурса с помощью введения, анализа и оптимизации преднамеренной расстройки геометрических, массовых и жесткостных параметров.

Осевые турбомашин широко распространены в авиации, ракетостроении, энергетике, нефтяной, газовой, химической промышленности и др. отраслях. Наиболее нагруженными и уязвимыми элементами турбомашин являются рабочие лопатки и диски турбин. Выход из строя даже одной лопатки может привести к тяжелым экономическим и социальным последствиям. В этой связи, создание лопаточных структур повышенной прочности и максимального ресурса является актуальной проблемой. В рабочих колесах при их изготовлении и эксплуатации всегда имеются малые отличия

лопаток друг от друга (по массе, геометрии, механическим свойствам материалов и пр.), которые приводят к расстройке соответствующих параметров. Расстройка геометрических, массовых и др. параметров обычно нарушает предполагаемую циклическую симметрию рабочих колес, может приводить к локализации колебаний и оказывать значительное влияние на их динамические характеристики и ресурс.

Расстройка может быть как случайным, так и преднамеренным явлением. Преднамеренная расстройка является новым подходом для ослабления негативного влияния существующей случайной расстройки на вынужденную реакцию ротора турбомшины. В последнее время, особый интерес в мире вызывают исследования в области введения так называемой преднамеренной расстройки, которая заключается в специальном намеренном нарушении параметров идеальной циклически симметричной конструкции, в том числе по определенным законам расположения лопаток на диске турбомашин. Преднамеренная расстройка может значительно уменьшить усиление вибрации из-за потенциальной случайной расстройки. Основная задача диссертационной работы заключается в исследовании эффекта преднамеренной расстройки, которая может быть реализована в номинальном проекте на допустимом уровне вводимых изменений и сделать исследуемую конструкцию менее чувствительной к случайной расстройке, а следовательно увеличить ее долговечность и оптимизировать ресурс. В этой связи, разработка математических моделей, развитие численных методов и комплекса программ для исследования статических, динамических характеристик и долговечности рабочих колес, а также для увеличения надежности энергетических и транспортных установок с преднамеренной расстройкой геометрических, жесткостных, массовых и др. параметров является актуальной научной задачей.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке математических моделей и численных методик для анализа чувствительности собственных колебаний лопаток рабочего колеса и оптимизации введения преднамеренной расстройки с целью получения конструкций повышенной долговечности при проектировании и доводке лопаточных структур энергетических и транспортных турбин.

Практическая значимость результатов работы определяется тем, что они могут быть использованы на стадиях проектирования и изготовления энергетических турбомашин, а также при их эксплуатации. В настоящее время результаты, полученные в работе, используются в учебном процессе и выполнении научных исследований на

кафедрах «Технический сервис и общепромышленные дисциплины» и «Энергооборудование и физика» инженерного и энергетического факультетов Иркутского ГАУ, в институте авиамашиностроения и транспорта ИРНТИУ, что подтверждается соответствующими актами внедрения.

Научная новизна диссертационного исследования

В работе получен ряд новых результатов, которые можно свести к следующему:

1. Разработаны и развиты численные алгоритмы и методики введения блочной расстройки рабочих колес с учетом небольших геометрических изменений в лопатке. Систематизированы различные варианты преднамеренной расстройки параметров лопаточных дисков турбомашин при их проектировании, доводке и эксплуатации.
2. Предложены новые и развиты существующие математические модели рабочих колес турбомашин для расчета и анализа их динамических характеристик, а также чувствительности и долговечности. Развита математическая модель динамического возбуждения лопатки от парциальности подвода пара или газа. Созданы и верифицированы математические модели чувствительности собственных колебаний высоконагруженных элементов турбомашин от изменения массы. Разработана математическая модель оптимизации ресурсных характеристик путем введения преднамеренной расстройки геометрических, жесткостных, массовых и др. параметров.
3. Развита и оттестирована численная методика анализа для расчета колебаний и долговечности рабочих колес энергетических турбомашин на основе метода конечных элементов (МКЭ), отличающийся от известных подходов возможностью моделирования всех видов геометрической и эксплуатационной расстройки на резонансных режимах.
4. Создан комплекс проблемно-ориентированных программ BLISK_SENLIFE для расчета чувствительности колебаний и долговечности рабочих колес турбомашин без учета и с учетом блочной расстройки параметров с государственной регистрацией программ для ЭВМ.
5. Предложены различные варианты введения блочной преднамеренной расстройки и выполнены комплексные исследования по увеличению надежности наиболее нагруженных элементов турбомашин и оптимизации их ресурса. Разработаны рекомендации по увеличению или продлению ресурсных характеристик энергетических турбомашин на стадии проектирования новых изделий или их эксплуатации.

Соответствие паспорту специальности

Диссертационная работа соответствует области исследования специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ по:

- п. 2 «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий»;

- п. 3 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента»;

- п. 8 «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента».

Научные положения, выносимые на защиту

1. Математические модели, алгоритмы и методики для численного моделирования лопаток с различными видами расстройки параметров по геометрическим изменениям лопаток.

2. Программный комплекс, предназначенный для анализа чувствительности колебаний, статических и динамических характеристик рабочих колес турбомашин с расстройкой и прогнозирования их ресурса.

3. Результаты численно-экспериментального анализа влияния различных видов расстройки лопаток на свободные и вынужденные колебания, а также долговечность рабочих колес энергетических и транспортных турбомашин.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов диссертационного исследования обеспечена использованием автором метрологически поверенного и сертифицированного инструментального обеспечения, стендового оборудования и программных средств, а также конкретным применением автором метода конечных элементов и анализа чувствительности.

Результаты численных исследований, проведенных автором, подтверждены результатами расчетов в программных комплексах (ABAQUS, ANSYS и BLADIS+) и также данными эксперимента, выполненного в Бранденбургском техническом университете (БТУ) в рамках программы им. Леонарда Эйлера Германской службы академических обменов.

Публикации и апробация диссертационной работы

Материалы диссертации обсуждались на научно-технических семинарах, всероссийских и международных конференциях и с достаточной полнотой отражены в публикациях автора. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 32 научных работах, в том числе: 9 публикаций в изданиях из списка ВАК, из них 2 публикации по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ; 7 публикаций в изданиях, индексируемых в базах Web of Science и Scopus; 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Оценка содержания диссертация, ее завершенность

Диссертация является завершенной научной работой. Она соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также требованиям ГОСТ Р 7.0.11 – 2011. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 129 наименований и приложения. Общий объем диссертации составляет 176 страниц, включая 108 рисунков, 30 таблиц. Содержание и структура диссертации логически взаимосвязаны и соответствуют цели исследования.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы и полностью отражает основные научные и практические результаты диссертационного исследования.

Личный вклад соискателя не вызывает сомнений и состоит в формировании цели и задач исследования, разработке экспериментальных теоретических методов их решения, в обработке, анализе, обобщении полученных результатов и формулировке выводов.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

Считаем, что разработанные автором математические модели, алгоритмы, методики, а также программный комплекс могут быть использованы в организациях, занимающихся проектированием и изготовлением энергетических турбомашин, транспортных газотурбинных двигателей, а также при проектировании и доводке аналогичных конструкций на предприятиях энергетического, транспортного и нефтегазо-химического машиностроения.

Полученные в диссертационной работе результаты и выводы целесообразно использовать в научно-исследовательских и конструкторских организациях для

совершенствования методов оптимального проектирования роторных конструкций и продления эксплуатационного ресурса турбомашин.

Замечания и вопросы по тексту диссертации

1. Математическая модель чувствительности, предложенная автором как новая, не имеет достаточных признаков новизны. В общем случае в работе представлено решение задачи собственных значений частот и форм колебаний пластин (лопаток) при изменении геометрических параметров, вносимых в их конечно-элементные модели.

2. Считаю уравнение 2.100 диссертации (6 - автореферата), заявленное в качестве зависимости динамического поведения рассматриваемой деформируемой системы (см. правую часть уравнения), некорректным по причине отсутствия в его выражении величин, зависящих от времени.

3. Вызывает сомнение возможность использования результатов исследования «академической» лопатки применительно к условиям работы какого-либо из типов реальных рабочих колес турбомашин.

Приведенные замечания не снижают важности выполненных исследований, которая оценивается как достаточно высокая.

Заключение

Общее содержание диссертационной работы Нгуен Ван Винь и полученные в ней новые результаты, имеющие несомненную практическую значимость, позволяют считать, что она является завершенной научной квалификационной работой и соответствует критериям, установленным положением «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденном Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями). Работа содержит совокупность выносимых автором на защиту положений, которые имеют существенное значение для вышеуказанной отрасли знаний. Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в соответствии с требованиями ВАК РФ. Диссертация логично структурирована, имеет внутреннее единство и свидетельствует о личном вкладе автора.

Диссертационная работа «Разработка математических моделей, методик и программного обеспечения для создания турбомашин повышенного ресурса с помощью преднамеренной расстройки» отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Нгуен Ван Винь заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв обсужден и одобрен на расширенном заседании кафедры «Автоматизация производственных процессов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» 11 мая 2023 г., протокол № 14.

Лившиц Александр Валерьевич,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Автоматизация
производственных процессов»

_____ А.В. Лившиц

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Почтовый адрес: 664074, Сибирский федеральный округ, Иркутская область, Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15

Тел.: (3952) 63-83-01, E-mail: mail@irgups.ru, http://ww

