

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОПОНЕНТА

на диссертационную работу Нгуен Ван Винь на тему

"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 ИССЛЕДОВАНИЯ

Большинство механических конструкций и деталей турбомашин при работе в реальных условиях эксплуатации подвержены воздействию изменяющихся во времени нагрузок, приводящим к напряжениям и деформациям в конструкции, которые также изменяются во времени. Если величина изменения напряжения превышает определенный предел, то в материале конструкции будет происходить процесс накопления повреждений, приводящий к образованию трещин, эти трещины будут разрастаться и в конечном итоге разрушать текстуру детали. Лопатки и диски рабочих колес турбомашин работают в условиях огромных статических нагрузок, вызванных воздействием центробежных сил, давления и неравномерного нагрева, а также они испытывают переменные циклические нагрузки при вынужденных колебаниях, обусловленных воздействием газовых сил. При сборке и изготовлении рабочих колес часто бывают небольшие отклонения между лопатками, называемые расстройкой параметров. Это приводит к значительным изменениям их колебательных параметров (форма, частота), а также к увеличению динамических напряжений и снижению ресурса лопаток рабочих колес. Таким образом, разработка математических моделей, методик и программного обеспечения для исследования статических, динамических характеристик и долговечности рабочих колес, а также для увеличения надежности энергетических и транспортных установок с расстройкой геометрических, жесткостных, массовых и др. параметров является актуальной задачей.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Разработаны и применены численные алгоритмы, методики введения блочной расстройки рабочих колес с учетом небольших геометрических изменений в лопатке без нарушения аэродинамических характеристик. Систематизировано и исследовано введение различных вариантов

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, отличающаяся прямоугольным спектром нагружения при проходе сопловой решетки статора. Созданы и верифицированы математические модели чувствительности собственных колебаний высоконагруженных элементов турбомашин от изменения массы. Разработана, верифицирована и применена оригинальная математическая модель оптимизации ресурсных характеристик путем введения преднамеренной расстройки (геометрии, механических свойств материала и др. параметров).

3. Развита и отгестирован численный метод анализа для расчета колебаний и долговечности рабочих колес энергетических турбомашин на основе МКЭ, отличающийся от известных подходов возможностью моделирования всех видов геометрической и эксплуатационной расстройки на резонансных режимах и позволяющий учитывать блочную преднамеренную расстройку по геометрическим и механическим изменениям лопаток для численного анализа и предсказания ресурса рабочих колес энергетических турбин.

4. Создан комплекс оригинальных проблемно-ориентированных программ 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 оригинальные 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

Диссертация соответствует Паспорту специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки). Можно констатировать соответствие следующим пунктам:

- 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.

Имеются принципиально новые результаты из трех областей:

- математическое моделирование. Развита методика создания математических моделей рабочих колес турбомашин, созданы и верифицированы математические модели чувствительности собственных колебаний элементов турбомашин и оптимизации ресурсных характеристик.
- численные методы. Развита численная методика анализа колебаний и долговечности рабочих колес турбомашин, позволяющая учитывать блочную преднамеренную расстройку.
- комплексы программ. Создан комплекс оригинальных проблемно-ориентированных программ для расчета чувствительности колебаний и долговечности рабочих колес турбомашин.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

Теоретическая ценность исследования определяется тем, что она вносит существенный вклад в развитие методов математического моделирования деталей энергетических турбомашин. Практическая ценность диссертации связана с тем, что определена закономерность влияния расстройки параметров на долговечность рабочих лопаток турбомашин для оптимального проектирования деталей турбомашин повышенной прочности. Создан программный комплекс для исследования динамических характеристик и долговечности рабочих колес турбомашин без и с расстройкой параметров на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации циклически симметричных конструкций турбомашин. Выполнена оценка долговечности рабочих колес с расстройкой параметров для проектирования и изготовления турбомашин повышенной надежности, позволяющая сократить временные и материальные затраты на доводку изделий при проектировании новых конструкций турбомашин или продления эксплуатационного ресурса.

ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫНОСИМЫХ НА ЗАЩИТУ

Достоверность и обоснованность результатов исследования сомнений не вызывают. Достоверность численных результатов подтверждена результатами расчетов в программных комплексах (ABAQUS, ANSYS и BLADIS+) и также

данными эксперимента, выполненного в Бранденбургском техническом университете в рамках гранта Германской службы академических обменов.

Основные выводы по теме диссертационного исследования докладывались и обсуждались на разных российских и международных научных конференциях и семинарах по профилю работы.

Публикации по теме диссертации вышли в авторитетных российских и зарубежных изданиях, имеющих надлежащие статус и направленность. Материалы 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. Основные результаты исследования представлены в них достаточно полно.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Диссертация написана в форме, позволяющей получить полное и достаточно подробное представление о материалах исследований, проведенных автором. Оформление работы аккуратное, соответствует установленным требованиям. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 129 наименований и приложения. Общий объем диссертации составляет 176 страницы.

В первой главе описаны основы теории надежности рабочих колес турбомашин и воздействие расстройки параметров на долговечность рабочих колес. Проведены обзорные исследования методов для улучшения конструкции рабочих колес турбомашин с расстройкой геометрических, жесткостных, массовых и др. параметров, и особенно преднамеренной расстройкой.

Во второй главе описаны базовые конечные элементы и варианты применения метода конечных элементов (МКЭ) для данной диссертационной работы. Представлены математические модели на основе МКЭ для решения задач статического и динамического состояния изделий рабочих колес турбомашин с расстройкой параметров под воздействием внешней нагрузки. Разработана математическая модель динамического возбуждения лопатки от парциальности подвода пара или газа. В данной главе автор предложил математические модели для анализа чувствительности и оптимизации введения преднамеренной расстройки с целью получения конструкций с повышенной долговечностью.

В третьей главе создан и реализован программно комплекс оригинальных 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.

В четвертой главе выполнен численный анализ чувствительности колебаний рабочих лопаток академических лопаточных структур с расстройкой на основе конечноэлементных моделей и проанализированы три варианта влияния распределения массы лопаток по ободу рабочего колеса на их долговечность.

В пятой главе представлены результаты численного анализа эффектов преднамеренной расстройки с целью уменьшения максимального коэффициента амплитуды лопаток рабочих колес турбомашин. В данном разделе представлены результаты исследований долговечности академического колеса с учетом преднамеренной расстройки параметров, вносимой в систему путем изменения геометрических и механических характеристик лопаток. Приведены численно-экспериментальные результаты исследования чувствительности и долговечности реального рабочего колеса турбомашин Rolls-Royce с 29-ю лопатками путем внесения расстройки в виде дополнительных масс.

ВОПРОСЫ, ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИИ И АВТОРЕФЕРАТУ

1. Автор использует специфичную терминологию, не давая определений для таких терминов как «расстройка» «академическое колесо». Если первый термин видимо служит успешной попыткой русификации более употребительного в англоязычной литературе “mistuning”, то смысл второго термина остается не совсем ясным из контекста изложения.
2. В автореферате неясно, учитывал ли автор влияния различия температур лопаток и диска на результаты исследования?
3. На стр. 12 автореферата автор написал «В КЭМ в данной главе применяется конечный элемент ТЕТ10 с тремя степенями свободы в узле и...» но не объяснил, почему выбрал именно этот элемент?
4. В четвертой главе автореферата автор пишет, что «При расчете долговечности применены: метод схематизации нагружений Rain-Flow (метод «дождя») и гипотеза накопления усталостных повреждений Palmgren-Miner» (стр. 14). К сожалению, не представлены суть метода Rain-Flow и описание гипотеза накопления усталостных повреждений Palmgren-Miner.
5. Из автореферата и диссертации неясно, как предлагается применять разработанные алгоритмы, методики и комплекс программ при оценке остаточного ресурса конструкции в эксплуатации? Как это может быть реализовано на практике.

В целом, указанные замечания не умаляют высокой оценки диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ


Диссертационная работа Нгуен Ван Винь «Разработка математических моделей, методик и программного обеспечения для создания турбомашин повышенного ресурса с помощью преднамеренной расстройки» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором на высоком научном уровне. Задача актуальна, а ее решение обладает научной новизной. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Автореферат в пределах своего объема адекватно отражает содержание диссертационной работы.

Диссертация отвечает пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденному Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями), и представляет собой завершённую научно-квалификационную работу.

Таким образом, представленная научная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Нгуен Ван Винь, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук,
отдел теплосиловых систем
ИСЭМ СО РАН, ведущий
научный сотрудник



Левин Анатолий Алексеевич

«02» июня 2023 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН),

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130,

Тел. (3952) 500-646 (183),

<https://isem.irk.ru/>, E-mail: levin@isem.irk.ru

