

ОТЗЫВ

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

Отзыв на диссертационную работу Нгуен Ван Винь составлен в соответствии с п. 23 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, на основе изучения диссертации и опубликованных соискателем работ по теме диссертации.

1. Актуальность избранной темы

Диссертационная работа Нгуен Ван Винь выполнена на актуальную тему, связанную с исследованием воздействия расстройки геометрических, жесткостных, массовых и др. параметров на ресурс рабочих колес энергетических и транспортных турбомашин и оптимизации их ресурсных характеристик с учетом анализа чувствительности. Повышение надежности и долговечности турбомашин требует создания турбин и компрессоров с лопаточными венцами, обладающими повышенным ресурсом. В настоящее время на практике на ресурс рабочих колес турбомашин оказывают влияния множество факторов, поэтому правильный прогноз ресурса рабочих колес турбомашин необходим не только на этапе проектирования новых турбомашин, но и при эксплуатации уже работающих конструкций для оценки их остаточной долговечности.

Численные методы, в частности, метод конечных элементов (МКЭ), позволяют проводить инженерный анализ конструкций любой сложности, моделировать их работу в любых условиях, в короткое время получить результаты. При этом затраты (материальные, финансовые, времени) неизмеримо меньше, чем при проведении натурального эксперимента. В этой связи разработка высокоточных математических моделей на основе метода конечных элементов, эффективных алгоритмов и компьютерных программ для исследования колебаний и долговечности рабочих колес турбомашин является актуальной задачей.

В связи с изложенным, диссертационная работа Нгуен Ван Винь, посвященной разработке методики для оценки ресурса рабочих колес энергетических турбомашин с расстройкой параметров, является актуальной и согласуется с «Приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники РФ».

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается полученными соискателем научными результатами, которые приведены в главах 1- 5 диссертации.

В первой главе описаны основы теории надежности рабочих колес турбомашин и воздействие расстройки параметров на долговечность рабочих колес. Приведены основные результаты численно-экспериментальных исследований динамических характеристик и долговечности рабочих колес турбомашин с расстройкой параметров, описанные другими авторами (Иванов В.П., Crawley E. F., Hall K. C., Castanier M. P., Pierre C., Ottarsson G., Kenyon J. A., Griffin J. H., Jones K., O'Hara R., Lim S. H., Beirow B., Kühhorn A., Choi B. K., Lentz J.,

Rivas-Guerra A. J., Mignolet M. P., Whitehead D.S. и др.).

Во второй главе содержит описание базовых конечных элементов (КЭ) и варианты применения МКЭ для данной диссертационной работы. В данной главе представлены математические модели на основе МКЭ для решения задач статического и динамического состояния изделий рабочих колес турбомашин с расстройкой параметров под воздействием внешней нагрузки. Представлены математические модели для анализа чувствительности на основе МКЭ и оптимизации введения преднамеренной расстройки с целью получения конструкций с повышенной долговечностью. Кроме этого, представлена математическая модель динамического возбуждения лопатки рабочего колеса под воздействием газодинамических сил. С использованием приведенного математического аппарата поставлены и решены задачи исследования статического напряженно-деформированного состояния (НДС), собственных и вынужденных колебаний рабочих колес турбомашин с учетом анализа чувствительности. Приведены основные алгоритмы МКЭ для прогнозирования долговечности элементов турбомашин. Описаны методы для исследования собственных колебаний циклически-симметрических систем, обеспечивающие сходимость и снижение затрат времени расчета на ЭВМ.

В третьей главе представлены основные алгоритмы МКЭ для определения матриц жесткости и масс конечных элементов. Проанализировано использование МКЭ при решении задачи исследования динамических характеристик колебаний и анализе ресурса рабочего колеса с расстройкой параметров деталей турбомашин. 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. Представлены блок-схемы алгоритмов, реализованных в виде комплекса программ на языке программирования пакета MATLAB. В комплексе программ представлены и реализованы основные уравнения, в которых моделируется расстройка.

В четвертой главе выполнен комплексный численный анализ чувствительности колебаний рабочих лопаток энергетических турбомашин и академических лопаточных структур с расстройкой на основе пакетов программ ANSYS и BLISK_SENLIFE. Применение математического моделирования при анализе чувствительности лопатки позволяет значительно уменьшить число дорогостоящих экспериментальных исследований, необходимых для проектирования лопаточных структур энергетических турбомашин, а также сократить время проектирования и увеличить надежность лопаток рабочих колес. В данной главе приведен численно-экспериментальный анализ частот колебаний академического рабочего колеса.

В пятой главе предложены оригинальные варианты введения блочной преднамеренной расстройки и выполнены комплексные исследования по увеличению надежности наиболее нагруженных элементов турбомашин и оптимизации их ресурса. Преднамеренная расстройка получена путем оптимизации алгоритмов и реализована при небольших геометрических изменениях в лопатке (изменение радиуса нижнего края лопатки, в случаях разных толщин лопатки, скоса верхней кромки лопатки и сверлении отверстий в лопатках). В данной главе приведен результат численного исследования ресурса академического рабочего колеса в случае оптимизации преднамеренной расстройки по различным значениям модуля Юнга. 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.

3. Достоверность полученных результатов

Достоверность численных результатов подтверждена результатами расчетов в программных комплексах (ABAQUS, ANSYS и BLADIS+) и также данными эксперимента, выполненного в Бранденбургском техническом университете (БТУ) в рамках гранта Германской службы академических обменов.

4. Новизна полученных результатов

Новизна полученных научных результатов в данной работе, по нашему мнению, состоит в следующем:

- Разработаны и развиты численные алгоритмы и методики введения блочной расстройки рабочих колес с учетом небольших геометрических изменений в лопатке. Систематизировано и исследовано введение различных вариантов преднамеренной расстройки параметров лопаточных дисков турбомашин при их проектировании, доводке и эксплуатации.

- 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, верифицирована и применена оригинальная математическая модель оптимизации ресурсных характеристик путем введения преднамеренной расстройки.

- Развита и отгестирована численная методика анализа для расчета колебаний и долговечности рабочих колес энергетических турбомашин на основе МКЭ.

- Создан комплекс оригинальных проблемно-ориентированных программ (BLISK_SENLIFE и др.) для расчета чувствительности колебаний и долговечности рабочих колес турбомашин без учета и с учетом блочной расстройки параметров.

- 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.

5. Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Реализованы разработанные алгоритмы и программы в виде комплекса программ для расчета параметров колебаний и долговечности рабочих колес турбомашин. Данный комплекс программ предназначен для применения на стадиях проектирования и изготовления (сборки) энергетических турбомашин, а также при их эксплуатации. Определена закономерность влияния расстройки параметров на долговечность рабочих лопаток турбомашин для оптимального проектирования деталей турбомашин повышенной прочности. 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.

6. Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Представленная диссертационная работа соответствует пунктам 2, 3 и 8 паспорта специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы

программ (технические науки). Имеются принципиально новые результаты из трех областей:

- Математическое моделирование. Разработаны и верифицированы математические модели чувствительности собственных колебаний высоконагруженных элементов турбомашин и оптимизации их ресурсных характеристик.

- Численные методы. Развита численный метод анализа для расчета колебаний и долговечности рабочих колес турбомашин, позволяющий учитывать блочную преднамеренную расстройку геометрических и механических параметров.

- Комплексы программ. Создан комплекс проблемно-ориентированных программ для расчета чувствительности колебаний и долговечности рабочих колес турбомашин без учета и с учетом блочной расстройки параметров.

7. Оценка содержания диссертации, ее завершенность

Диссертационная работа Нгуен Ван Винь является завершенной научно-квалификационной работой и содержит научно-обоснованные технические, теоретические и алгоритмические решения для расчета колебаний и прогнозирования долговечности рабочих колес энергетических турбомашин с расстройкой параметров.

Достоверность полученных численных результатов подтверждена результатами расчетов в программных комплексах (ABAQUS, ANSYS и BLADIS+) и также данными эксперимента и других авторов.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты и свидетельствующие о личном вкладе автора в науку. Изложение материала логичное и ясное, диссертация написана в целом хорошим техническим языком, представленные в ней рисунки и схемы наглядны.

В диссертации сделаны ссылки на авторов и источники заимствования отдельных результатов, в том числе выполненных автором диссертации лично или в соавторстве.

Материалы диссертации опубликованы в 32 публикациях, в том числе: 9 публикаций в научных изданиях из перечня, рекомендованного ВАК, из них 2 публикации по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ; 7 публикаций в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus; 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, неоднократно докладывались на научных конференциях.

8. Недостатки в содержании и оформлении диссертации

Основными недостатками в содержании и оформлении диссертации, наш взгляд, являются:

1. В разделе 4.2 приведены экспериментальные данные о собственных частотах без указания на авторство этих результатов. Если автор получил эти результаты самостоятельно, то следовало привести методику и подробное описание результатов, если использовал результаты из литературы - дать ссылку.

2. Возможно ли применение разработанного автором комплекса программ для расчета характеристик колебаний и оценки долговечности ротора многоступенчатой турбомашин?

3. В своей диссертационной работе автор представляет выводы об эффективности предлагаемых методов, моделей и т.д., сокращения временных затрат, уменьшения требуемого объема памяти и т.п. Однако при этом никаких критериев количественных оценок не представлено.

Отмеченные выше недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования Нгуен Ван Винь и на основные теоретические и

практические результаты исследования.

9. Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

В автореферате отражены все основные результаты, полученные в работе. Автореферат диссертации соответствует основному содержанию диссертации и полученным в диссертации научным выводам и рекомендациям.

10. Общее заключение

Диссертационная работа Нгуен Ван Винь представляет собой завершенную научно-квалификационную работу по уровню научной новизны, практической ценности, реализации полученных результатов, объему и содержанию теоретических и экспериментальных исследований. Работа отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней ВАК, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (с изменениями и дополнениями). Соискатель Нгуен Ван Винь заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент

Тятюшкин Александр Иванович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук (ИДСТУ СО РАН), лаборатория оптимального управления, ведущий научный сотрудник.

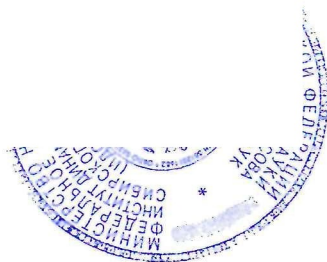
А.И. Тятюшкин

«05» июня 2023 г.

Подпись заверяю:

Наим. отдела делопроизводства
с печатью

Г.Б. Кононенко
05.06.2023



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук (ИДСТУ СО РАН)

664033, Россия, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134, а/я 292

Тел. +7 (3952) 42-71-00, E-mail: tjat@icc.ru