ОТЗЫВ
официального оппонента Кистойчева Александра Владимировича
на диссертационную работу
Саженкова Николая Алексеевича
« РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕМПФИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН ДЕМПФЕРАМИ СУХОГО ТРЕНИЯ»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.04.12 - Турбомашины и комбинированные турбоустановки

Представленная к защите диссертационная работа Саженкова Николая Алексеевича выполнена на кафедре «Авиационные двигатели» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений и списка литературы из 136 наименований. Весь материал изложен на 160 страницах, содержит 76 рисунков и 11 таблиц. Список литературы включает 136 наименования. По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, включая 1 патент и 5 публикаций в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена:

- Высокой долей повреждения лопаточного аппарата среди всех дефектов, приводящих к отказам турбомашин;
- необходимостью создания экспериментально – расчетной методики оценки эффективности демпферов и их оптимизации на этапе проектирования, что в конечном итоге позволит повысить динамическую надежность как самого лопаточного аппарата, так и турбомашины в целом.
- фактически работа посвящена одному из аспектов важнейшей из проблем, стоящих перед современной промышленностью – попытке максимально снизить затраты на экспериментальную доводку элементов турбомашин за счет их замены численными исследованиями без потери их надежности в ходе дальнейшей эксплуатации.

Содержание работы

Введение содержит обоснование актуальности работы, описание цели, задач, научной новизны и практического значения работы.

В первой главе приводится обзор проблем вибрационной надежности турбомашин. Дается достаточно полный обзор существующих работ (как отечественных, так и зарубежных) с оценкой их результатов и значимости по вопросам решения проблем вибрационной надежности лопаточного аппарата турбомашин. В данной главе диссертант демонстрирует хорошую осведомленность по состоянию вопросов численного моделирования и экспериментальных исследований эффективности демпферов сухого трения.

Во второй главе описана экспериментальные установки, созданные автором для оценки коэффициентов трения и тангенциальной жесткости контакта в паре нержавеющая сталь – жаропрочная сталь, а также для оценки эффективности подполочного демпфера сухого трения. Предлагается критерий оценки эффективности демпфера сухого трения. Приводятся результаты экспериментального определения характеристик трения в паре нержавеющая сталь – жаропрочная сталь, а также результаты экспериментальной оценки эффективности демпферов сухого трения.

В третьей главе рассмотрены вопросы численного моделирования взаимодействия демпфера сухого трения и рабочих лопаток в программном пакете ANSYS. При создании расчетной модели автор ставил целью минимизировать системные требования к компьютеру и расчетное время без потери достоверности результатов. В качестве решения предложена редуцированная модель, в которой нелинейные компоненты расчета были линеаризованы по средствам алгоритма пенальти. При проведении численного моделирования широко использовались результаты экспериментов, изложенных во 2-й главе работы.

В четвертой главе предложенные в диссертационной работе экспериментальные методы применены для оценки эффективности демпфирования рабочих лопаток турбины газотурбинной установки ГТУ-12ПГ-2 демпферами сухого трения. Показана неэффективность существующей конструкции демпфера при помощи предложенного критерия и необходимость модернизации демпфера.

В пятой главе с помощью разработанной в методики моделирования, проведено расчетное сравнение эффективности базового модельного демпфера для модельных лопаток и адаптивного демпфера усовершенствованной

конструкции. Показано преимущество новой конструкции демпфера над базовой конструкцией.

По представленным в диссертации материалам можно сделать следующие **замечания**:

1. Обзор таких проблем вибрационной надежности турбомашин как балансировка роторов или дефекты сборки роторов с насадными деталями, проведенный в первой главе, выглядит излишним и не связан с основным содержанием диссертационной работы.
2. На рис. 43 и 59 перепутаны картинки, построенные для первой и второй форм колебаний пакета лопаток.
3. Предложенный критерий оценки эффективности демпфирования, вероятно, имеет серьезные ограничения применимости, которые необходимо указать. Как минимум среди таких ограничений должны быть пункты, что сравнение амплитуд возможно только при постоянной возмущающей силе и то, что сравнение возможно только для колебаний, реализующихся по одной собственной форме.
4. На стр. 87 и 88 различается величина приложенной нагрузки, при которой наблюдается максимальная эффективность демпфирования: 187…414 Н и 47...187 Н.
5. В диссертации встречаются опечатки. Например, на стр. 87 во фразе «максимальная эффективность демпфирования находится в диапазоне 187…414 Н» пропущено «в диапазоне прижимающей силы».
6. Известно, что увеличение трения в системе приводит к снижению ее собственной частоты. Результаты, представленные автором, говорят об обратном – при увеличении трения в системе «демпфер – рабочие лопатки» собственная частота системы возрастает. В чем причина расхождения результатов с теорией?
7. Складывается впечатление, что в ходе работы над диссертацией автору не в полной мере удалось сопоставить результаты экспериментальных испытаний и численного моделирования (см., например, рис. 56). В эксперименте автору не удалось получить залипание в системе «демпфер – рабочие лопатки», а в численном моделировании система проходила все возможные состояния от проскальзывания до залипания.

Влияние демпфирования на систему в эксперименте и в численном моделировании несколько различается (с точки зрения, влияния на собственные частоты, например). Вероятно, имеет смысл продолжить работы в данном направлении, в том числе, за счет усложнения экспериментальных исследований и изучения поведения рабочего колеса, замкнутого на круг демпферами сухого трения.

Несмотря на недостатки и замечания, следует признать, что к защите представлена законченная научно-исследовательская работа.

Содержание и объем диссертации, ее научная и практическая значимость соответствуют всем требованиям ВАК. Содержание автореферата в достаточной мере отражает все вопросы, рассмотренные в диссертации.

Достоверность представленных в диссертации результатов исследований обеспечивается использованием общепринятых научных методов исследования и расчетных алгоритмов, хорошим согласованием результатов математического моделирования с результатами экспериментальных исследований, применением высокоточного и метрологически аттестованного измерительного оборудования.

Практическая ценность работы заключается в том, что:

1. Результаты работы могут быть использованы в качестве инструмента создания высокоэффективных демпферов сухого трения, используемых для снижения вибронапряжений в рабочих лопатках турбомашин.
2. Предложенная методика оценки эффективности демпферов сухого трения использовалась при создании адаптивной конструкции подполочного демпфера сухого трения для рабочих лопаток турбомашин.
3. Разработанные методики позволяют существенно снизить временный и финансовые затраты на доводку демпферов сухого трения за счет создания уточненных математических моделей нестационарного взаимодействия рабочих лопаток турбин и демпферов сухого трения.
4. Основные результаты работы внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Диссертационная работа Саженкова Николая Алексеевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научно-техническая задача по оптимизации конструкции подполочных демпферов сухого трения рабочих лопаток турбомашин в целях повышения их динамической надежности. Научное направление всех основных разработок и исследований соответствует технической отрасли науки, паспорту научной специальности 05.04.12 - Турбомашины и комбинированные турбоустановки.

Считаю, что диссертационная работа «Расчетно-экспериментальное моделирование демпфирования рабочих лопаток турбомашин демпферами сухого трения», представленная к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук полностью соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Саженков Николай Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.12 - Турбомашины и комбинированные турбоустановки.

Официальный оппонент:
кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры «Турбины и двигатели»
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»
Александр Владимирович Кистойчев 05.10.2017

Место работы:
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», кафедра «Турбины и двигатели»
Адрес: г. Екатеринбург, 620002, ул. Мира, д. 19.
Электронная почта: kistoychev@gmail.com,
тел.: +7(343) 375-48-51,
факс: +7(343) 375-48-51

Подпись А.В. заверяю:

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УРФУ
МОРОЗОВА В. А.