

В диссертационный совет
Д ПНИПУ.05.18, на базе
Федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет»
614990, г. Пермь,
Комсомольский проспект, д. 29.

ОТЗЫВ

официального оппонента Новикова Д.К. на диссертационную работу Яковкина Вадима Николаевича по теме «Численное и экспериментальное моделирование резонансных колебаний деталей ГТД с демпферами сухого трения» на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Диссертационная работа изложена на 144 листах, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 130 источников, 1 приложения.

Актуальность темы

Известно, что в настоящее время почти половина всех дефектов авиационных ГТД носит вибрационный характер, поэтому именно они и определяют ресурс и надежность двигателя, которые, в свою очередь, влияют на конкурентоспособность отечественных ГТД. Одним из важных факторов, влияющих на вибрацию, является применение демпферов в различных элементах конструкции.

В настоящее время в опорах, куда можно подвести смазку, широко применяются гидродинамические демпферы. Они используются практически во всех современных авиационных ГТД. Однако сейчас все более широко применяются сварные ротора и рабочие колеса конструкции BLISK. В них отсутствуют соединительные элементы (болты, замки), в которых возникали демпфирующие эффекты, вследствие чего такие ротора и

рабочие колеса имеют повышенную виброактивность и возникает необходимость их демпфирования. Масло туда подвести невозможно, вследствие чего требуется введение специально предусмотренных элементов сухого трения. Поэтому тема представленной работы, связанная с исследованием демпферов сухого трения в роторах авиационных ГТД, несомненно, является важной и направлена на решение актуальной научно-технической задачи повышения ресурса и надежности двигателей.

Во введении обоснована актуальность работы, отмечены научная новизна и практическая значимость.

В первой главе представлен интересный и обширный обзор работ по анализу конструкций демпферов сухого трения и методам их расчета, а также поставлены задачи исследования.

Во второй главе описана математическая модель демпфирующей способности системы с сухим трением, которая позволила получить ряд интересных и важных результатов. Например, автором получены соотношения (2.4), позволившие провести линеаризацию силы трения. На основе этой модели он показал, что перемещение линейно зависит от силы трения. Им проведено сравнение точного решения по численной модели и линеаризованной и показано, что результаты расчетов хорошо согласуются. Важен результат, показывающий наличие экстремума работы силы трения от ее величины, что позволяет получить критерии для выбора рациональной конструкции демпфера и его параметров. Автор также получил простое аналитическое выражение для максимального декремента колебаний в зависимости от составляющих жесткостей элементов демпфера. Данная формула позволяет экспертно оценить вклад каждого параметра системы на эффективность демпфера. Интересен график, представленный на рис.2.24, который показывает наличие фиксированной точки (в которой амплитуда не зависит от величины демпфирования), характерной для линейных систем.

В третьей главе приводятся результаты численного и экспериментального исследования демпфирующей способности модельного демпфера для лопатки ГТД в условиях вибростенда. Даны результаты сравнения с другими расчетными и опытными данными.

Описана конструкция демпфера замка лопатки, соответствующая выбранной в гл.2 расчетной схеме и граничным условиям закрепления. Разработан стенд для динамических испытаний созданных моделей и конструкций демпферов, выполненный на очень высоком уровне. Этот стенд позволяет проводить испытания при свободных и вынужденных колебаниях.

Проведенные эксперименты показали хорошее соответствие разработанных моделей с экспериментом. Следует отметить, что при проведении исследований поставлена довольно необычная задача - смоделировать факторы, ухудшающие работу демпфера. Одним из них является отмеченный в работе эффект проскальзывания, возникающий при заклинивании. Продемонстрирована возможность учета в линеаризованной модели влияния эффектов микроскольжения на демпфирующую способность демпфера, оно аналогично эффекту снижения жесткости демпфера. Показано, что с учетом эффектов микроскольжения максимальный декремент снизился до 4,6 %.

В четвертой главе продемонстрировано использование предложенной методики к совершенно другому типу демпферов сухого трения - тарельчатого, используемого для конических зубчатых колес центрального привода и коробки приводных агрегатов в составе двигателя ПС-90А в наземных условиях. Приведены результаты расчетно-экспериментальных исследований демпфирующей способности

В заключении на основании выполненной работы сделаны выводы и определены основные направления дальнейших исследований.

Замечания по диссертации

1. Первая глава содержит излишне избыточный материал. Ее содержание больше подходит для учебного пособия. Однако ничего не сказано о демпферах вентиляторных лопаток двигателя CFM-56, которые давно используются.
2. Непонятно, каким образом получены соотношения (2.4), на основе которых далее делается много важных выводов.

3. Расчеты, проведенные по соотношениям (2.4) и (2.5), выполнены при высоких значениях параметров, не масштабированных к натурным деталям ГТД. Однако эти результаты переносятся на реальные конструкции лопаточных демпферов, имеющих микронные перемещения и высокие частоты колебаний.
4. В третьей главе на с.90, где автор анализирует жесткость упругих элементов, он почему-то измеряет ее в МПа, в то время как жесткость определяется в Н/м.
5. При стендовых испытаниях автором обнаружены следы износа по контактными поверхностям демпфера, но не рассмотрена возможность его учета.
6. Непонятно, каким образом учитывалось влияние плотности стыков в главе 4, а также, почему не учитывалось гидродинамическое трение, которое присутствует в приводных шестернях.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

Основные научные результаты опубликованы в виде 16 научных трудов, из них 5 в реферируемых ВАК научных изданиях, 1 работа опубликована в журнале, индексируемом в Scopus, и 8 работ в трудах конференций и периодических изданиях. Опубликованные работы полностью отражают основные положения диссертации.

Выводы

Автореферат диссертации содержит в кратком виде всю необходимую информацию, характеризующую полученные в процессе исследования результаты. Автореферат в полной мере отражает основное содержание, в нем приведены основные идеи и выводы диссертации.

Диссертационная работа Яковкина Вадима Николаевича «Численное и экспериментальное моделирование резонансных колебаний деталей ГТД с демпферами сухого трения» соответствует паспорту научной специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных

