

Генеральный конструктор

П. В. ЧУПИН

2024 г.



на автореферат диссертации Сундукова Александра Евгеньевича на тему «Разработка методов анализа динамических процессов и оценки технического состояния планетарных редукторов ГТД», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.15 – «Тепловые и электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Зубчатые передачи являются неизбежной принадлежностью большинства машин, работа которых основана на вращательном движении и есть потребность в приводе полезной нагрузки или приводе обслуживаемых машину и объект эксплуатации агрегатов в диапазонах частот вращения, отличных от частоты вращения собственно двигателя.

При этом, степень неизбежной дискретности и соответствующая динамика передаваемых зубчатыми соединениями нагрузок зависят от:

- общей идеологии, положенной в основу реализуемого варианта зубчатых передач (тип, коэффициент перекрытия и пр.);
- принятых конструктивных решений (вариант передачи – простой и многопоточный перебор, планетарная, дифференциальная передача и пр.);
- качества реализации конструктивных решений при компоновке и изготовлении (допуски на геометрию и контролируемые параметры, отклонения и пр.);
- эксплуатационных изменений и повреждений (износы, деформации, разной природы трещины, разрушения и пр.).



Особенности динамики передаваемых зубчатой передачей нагрузок отражают их текущее состояние и во многом определяют надёжность как элементов конструкции самих зубчатых передач, так и конструкций привода и потребителей мощности.

Соответственно, физическое понимание, моделирование и, наконец, контроль текущего состояния динамических процессов, генерируемых зубчатыми зацеплениями с точки зрения их опасности для конструкций машин, всегда были и остаются **важнейшими и часто критическими** задачами обеспечения их надёжности, решаемыми при проектировании, доводке, производстве и эксплуатации машин.

Наиболее актуально их решение для редукторов привода винтов турбовинтовых и вертолётных газотурбинных двигателей. На авиационных двигателях обычно реализуется близкая к предельной для требуемых ресурсных показателей нагруженность их конструкций. Это определяется крайне жёсткими требованиями к массогабаритным характеристикам мотора. и, естественно, приводит к неизбежным для конструкций с динамическими контактами износам с соответствующей интенсификацией вибронагружения по мере их роста и увеличением вероятности повреждений и отказов.

Больше того, выход на следующее поколение авиационных газотурбинных двигателей для гражданской авиации с большой долей вероятности предполагает создание двухконтурных турбореактивных или турбовинтовентиляторных моторов со сверхвысокой двухконтурностью, в которых использование редукторов сложных схем с крайне высокой нагруженностью становится просто неизбежным.

Требуемые надёжность, долговечность и безопасная виброактивность таких редукторов в соответствии с сформулированными Генеральным конструктором академиком Н. Д. Кузнецовым общими принципами обеспечения конструкционной прочности сложных высоконагруженных машин должны быть:

- на стадии проектирования - обеспечены системными средствами моделирования, основанными на создании и отработке качественных разного уровня моделей конструкций и динамических процессов;

- на стадии доводки и сертификации - доведены до требуемых показателей надёжности, подтверждённых необходимым объёмом исследований и испытаний с использованием, в том числе, современных средств измерения и анализа быстропеременных случайных процессов;
- в эксплуатации обеспечены отработанными моделями развития повреждений, средствами диагностики и контроля состояния.

По существу, созданию инструмента для решения большинства из этих задач и посвящена диссертационная работа.

Не менее **актуально** решение таких задач для наземных газотурбинных силовых установок с редукторными приводами потребителей мощности в связи с существенно (в разы) большими, чем у авиационных ГТД ресурсными показателями и разрешёнными наработками.

Для разнообразных экспериментальных испытательных установок с внешним приводом через редукторы или мультипликаторы, надёжный контроль состояния (диагностика) зубчатых зацеплений в ходе специальных, часто перегрузочных, испытаний является практически единственным средством избежать аварийных разрушений, вовремя остановив работы для ремонта передаточного устройства.

Таким образом, как работа в целом, так и выполненные автором отдельные исследования, связанные с:

- общими принципами и необходимым уровнем моделирования динамических процессов в редукторах с целью понимания особенностей нагружения и формирования систем их контроля и диагностики;
- отработкой оптимальных настроек и направлений современных цифровых методов регистрации и методологий анализа результатов различных вариантов измерений быстропеременных случайных динамических процессов с целью установления наиболее информативных их параметров для контроля состояния и диагностики типовых и специфических вариантов зубчатых зацеплений;
- обоснованным выбором конкретных параметров для диагностирования технического состояния зацеплений шестерён с подтверждением успешной

реализации методологии решения конкретных диагностических проблем конкретного ТВД с дифференциальным редуктором

крайне актуальны сейчас и уверенно предполагается рост их актуальности в будущем.

Привязка темы работы к конкретному типу редуктора и конкретному двигателю связана с объектом исследований на котором отработывались методологии диагностирования. Это ни коим образом не ограничивает область их использования для других конструкций с зубчатыми передачами, и самым наглядным образом подтверждает эффективность их применения в **решении конкретной практической задачи** диагностики технического состояния дифференциального редуктора двигателя НК-12МППМ.

И, наконец, что очень важно для объективного планирования любых проектных процессов, диссертационная работа показывает объём экспериментальных исследований и их оснащение, необходимые для формирования рабочей системы диагностики газотурбинного двигателя с редуктором.

Несмотря на то, что само по себе направление технической диагностики зубчатых передач, как научное активно развивается уже давно и имеются достаточно многочисленные, доведенные до практического применения решения, целый ряд научно-методических подходов и результатов испытаний, таких, как:

- использование диагностических признаков по параметрам девиации мгновенных значений частот узкополосных динамических процессов;
- новый метод демодуляции на основе анализа максимумов широкополосного вибрационного процесса;
- комплекс математических моделей, позволяющих оценивать ширину спектральных линий зубцовой составляющей в регистрируемых динамических процессах и связывать её с износом зубчатого зацепления;
- большой объём накопленной информации в виде живых и обработанных зарегистрированных на достаточно большом количестве двигателей в разном их состоянии динамических процессов

и ряд других **сформулированы, научно обоснованы, систематизированы и экспериментально подтверждены автором впервые.**

Достоверность и обоснованность выносимых на защиту результатов работы подтверждается корректной постановкой задач, использованием отработанного математического аппарата анализа быстропеременных случайных процессов, отсутствием значимых расхождений при тестировании методических подходов обработкой экспериментов других авторов, выполнением, отработкой и подтверждением эффективности всех методических подходов на реальных опытных и серийных турбовинтовых двигателях семейства НК-12.

Практическая ценность полученных автором результатов, состоит в реализации методологии в виде:

- действующей системы диагностики состояния редуктора на производимом в ПАО «ОДК – Кузнецов» двигателе НК-12МПМ, где она и отрабатывалась;
- системы контроля качества ремонта в ПАО «ОДК – Кузнецов» редукторов других модификаций двигателя НК-12 в ходе сдаточных испытаний;
- системы оценки технического состояния мобильных электростанций ПАЭС 2500, ГТЭС 2500 ГЖ на базе двигателей АИ-20 с редукторным приводом электрогенератора.

Апробация работы. Основные положения по тематике работы докладывались на целом ряде научных конференций и форумов, опубликованы в большом (57 статей) объёме научных публикаций, в том числе в публикациях в изданиях, рекомендованных ВАК – 25 статей и индексируемых РИНЦ – 27 публикаций. На отдельные решения автора, в основном это способы диагностики, получено 5 авторских свидетельств.

В качестве недостатков можно отметить отсутствие, по крайней мере в автореферате, формулировок перспективных задач и направлений исследований в области диагностики современных редукторных ГТД. К примеру, на современных двигателях давно уже не применяются генераторные датчики частоты вращения, работа с сигналом которого более или менее понятна и автором хорошо выполнена для конкретного двигателя НК-12. Но подход к её решению на НК-12 практически лишён прямой перспективы

использования на современных моторах с дискретно-импульсными ДЧВ. С ними задача сильно усложняется, наверное – разрешима, но требует, вероятно, дискретно – фазовых подходов. Хотелось бы понимать перспективу её решения и собирается ли автор для себя такую задачу поставить.

Кроме того, есть несколько чисто оформительских замечаний по тексту автореферата: например - ведущая организация «ЦИАМ им. П.И. Баранова» в тексте Пётр Ионович стал А. И. и прочие опечатки, стилистические и орфографические неточности.

Первое замечание, если в тексте самой работы этого нет, скорее пожелание, второе чисто оформительское, и оба они, естественно, не критичны.

В целом работа выполнена на актуальную научно-техническую тему, содержит необходимый уровень научной новизны, имеет явную практическую направленность, апробирована в необходимом объёме докладов и публикаций и вполне соответствует требованиям ВАК России, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Сундуков Александр Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.15 – «Тепловые и электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Эксперт ОКБ СГК ПАО «ОДК-Кузнецов»
кандидат технических наук (01.02.06)



Е.П. Кочеров

Почтовый адрес: 443009, г. Самара, Заводское шоссе, 29, ПАО «Кузнецов», тел. +7 (846) 312-60-56, e-mail: kotchegov_ep@kuznetsov-motors.ru.

Я, Кочеров Евгений Павлович, эксперт ОКБ СГК ПАО «Кузнецов» г. Самара, даю согласие на обработку персональных данных при формировании документов по защите диссертации Сундукова А. Е.

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ОДК-КУЗНЕЦОВ»

ЗАВОДСКОЕ ШОССЕ, Д. 29,
САМАРА, РОССИЙСКАЯ
ФЕДЕРАЦИЯ, 443009

КПП 631901001
ОГРН 1026301705374
ИНН 6319033379

Т.: +7 846 312-71-01
+7 846 955-16-12
Ф.: +7 846 992-64-65

UEC-KUZNETSOV.RU
INFO@UEC-KUZNETSOV.RU

31.10.2024 № 29713 СК

Ученому секретарю
диссертационного совета
ФГАОУ ВО "Самарский
национальный исследовательский
университет им. академика
С.П. Королева"

А.С. Виноградову

443086, г. Самара, Московское
шоссе, 34

О направлении отзыва

Уважаемый Александр Сергеевич!

Направляю Вам отзыв на автореферат диссертации Сундукова Александра Евгеньевича на соискание учёной степени Доктора технических наук «Разработка методов анализа динамических процессов и оценки технического состояния планетарных редукторов ГТД».

С уважением,
Генеральный конструктор



П.В. Чупин

Кородченкова Анна Сергеевна
8 (846) 998-58-08

Входящий № 204-8102
Дата 02 НОЯ 2024
Самарский университет