

АБДУРАИМОВ АЗИЗБЕК ЕРАЛИЕВИЧ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО
РОТОРА ЦЕНТРИФУГИ С ВОССТАНАВЛИВАЮЩИМИ И
ДЕМПФИРУЮЩИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ УПРУГОЙ
ОПОРЫ**

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени
доктора философии (PhD) по специальности
6D060300 – «Механика»

Актуальность темы исследования. В данной работе разрабатываются новые физические и математические модели, аналитически и численно решаются задачи динамики вибрационных гироскопических роторных машин с идеальным и неидеальным источниками энергии, в т.ч. при учете анизотропии и нелинейности упругой характеристики, линейного и нелинейного кубического демпфирования опоры. Получены аналитические зависимости между колебательными и динамическими характеристиками, их зависимости от динамических параметров вибрационной системы. В подробности, устанавливаются аналитические и графические зависимости амплитуды колебаний, амплитуды момента силы трансмиссивности, и анализируется влияние на них нелинейности жесткости, линейного демпфирования и нелинейного кубического демпфирования и анизотропии опорного материала при стационарном режиме с учетом прыжкового и других нелинейных эффектов. Исследуются влияния линейного и нелинейного кубического демпфирования на отклики динамики гироскопической роторной системы при неравномерности и нелинейности характера жесткости опоры в нестационарном режиме движения при выбеге вверх и выбеге вниз ротора. Экспериментально подтверждается преимущество нелинейного кубического демпфирования вибрации с повышенной амплитудой посредством замены материала опоры вала в резонансной области и в нерезонансных областях скорости вращения, сопоставляются теоретические и экспериментальные результаты, что является очень важным при разработке научно-технической, конструкторской документации и в дальнейшем проектировании вибрационной центрифуги на базе вертикального гироскопического ротора. Рассматриваются динамика регулярного до резонансов, нерегулярного во время прохождения и после резонансов режимов движения и устойчивость вибрационной системы при этих режимах движения, методы управления резонансными колебаниями.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований динамики вибрационных гироскопических роторных машин с нелинейными характеристиками с идеальным и неидеальным источниками энергии будут хорошими основами для подготовки научно-технической и конструкторской документации для проектирования и создания 3D моделей, принципиально новых классов энергоэкономных, виброиспользуемых и виброустойчивых вибрационных роторных машин с оптимальными параметрами и с системой управления для производства высококачественных продуктов, применяемых в фармацевтической, пищевой, нефтегазовой и горнорудной отраслях

промышленности.

Таким образом, **актуальность темы исследования** не вызывает сомнений, представляет научный и практический интерес.

Цель работы: Исследование динамики гироскопической роторной машины с нелинейными упругими и демпфирующими характеристиками, идеальным и неидеальным источниками энергии, в т.ч. при учете анизотропии жесткости упругой опоры, ориентированное на создание принципиально новых классов энергоэкономных, виброиспользуемых и виброустойчивых машин с оптимальными параметрами и системой программного контроля.

В связи с поставленной целью вытекают **следующие задачи исследования:**

- разработка физических и математических моделей новых гироскопических роторных машин с учетом влияния линейного и нелинейного кубического демпфирования опоры на отклик и устойчивость роторной машины, в т.ч. при анизотропии жесткости и учете взаимодействий вибрационной системы с источником энергии;

- теоретическое и экспериментальное исследования влияния линейного и нелинейного кубического демпфирования упругой опоры с нелинейной составляющей жесткости, в т.ч. неравномерности линейной жесткости на амплитудно-частотную характеристику, передаваемость момента сил роторной системы при стационарных колебаниях, на колебания угловых перемещений при нестационарном режиме с целью подбора линейных и нелинейных упругих и демпфирующих характеристик материала опоры, обеспечивающих стабильную работу машины до критических скоростей, во время их прохождения и после критических скоростей;

- исследование регулярного движения до критических скоростей, нерегулярного движения во время и после прохождения критических скоростей, с нелинейными прыжками, других нелинейных эффектов в вибрационных роторных машинах с целью определения причин нерегулярного движения и путей их ослабления и устранения;

- определение областей неустойчивости и контроль колебаниями больших амплитуд вибрационных роторных машин с целью выбора диапазона рабочих скоростей устойчивого движения и для разработки методов контроля нерегулярным движением.

Объект исследования. Центрифуга на базе вертикального жесткого гироскопического ротора.

Предмет исследования. Влияние нелинейной жесткости, линейного и нелинейного демпфирования, анизотропии упругих и демпфирующих свойств опоры на отклик динамики гироскопического ротора.

Методы исследований: Для теоретического исследования в диссертации использованы методы математического моделирования гироскопических роторных машин с учетом влияния линейного и нелинейного кубического демпфирования опоры. Разработка математических моделей гироскопических роторных машин проводилась с использованием пакета численных вычислений MatLab. Составление 3D динамической модели гироскопических роторных машин проведено на программном комплексе Solid Works. Экспериментальные исследования проведены с использованием современных методов тензометрии с использованием интеллектуальных датчиков и модулей измерения

механических параметров.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- регулировании и оптимального подбора жесткости материала опоры и подавления резонансных и за резонансные амплитудные возвышенности и устранения нелинейных прыжковых эффектов;
- сужения границ областей неустойчивости движения;
- исследование влияния анизотропии линейной жесткости и нелинейного кубического демпфирования упругой опоры на динамику роторных машин, в т.ч. гироскопических, при учете нелинейной кубической составляющей жесткости.

Научные положения, выносимые на защиту:

- моделирование динамики гироскопического жесткого ротора с линейным и нелинейным демпфированием и нелинейной жесткостью упругой опоры;
- моделирование динамики гироскопического жесткого ротора с анизотропией восстанавливающих и демпфирующих характеристик упругой опоры;
- резонансные колебания неидеальной гироскопической роторной системы с нелинейными восстанавливающими и демпфирующими характеристиками;
- опытный образец центрифуги на базе вертикального жесткого гироскопического ротора;
- экспериментальные исследования опытного образца центрифуги на базе вертикального жесткого гироскопического ротора.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов диссертационной работы подтверждается применением апробированных методов механики, теории механизмов и машин, теории виброзащиты, применением проверенных программных комплексов MATLAB и SolidWorks. Достоверность результатов подтверждается разработкой и изготовлением опытного образца центрифуги на базе вертикального гироскопического жесткого ротора, испытания которого показали хорошие совпадения с теоретическими результатами при различных режимах работы.

Теоретическая и практическая значимость исследования.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке физических и математических моделей и методов исследования нелинейной динамики гироскопических роторных машин, с неравномерностями линейной жесткости, линейным и нелинейным кубическим демпфированием упругой опоры с нелинейной составляющей жесткости, идеальными и неидеальными источниками энергии при стационарном и нестационарном режимах движения направлены на создание новых энергоэкономных, виброиспользуемых и виброустойчивых машин с оптимальными параметрами, применяемых в фармацевтической, пищевой, нефтегазовой и горнорудной отраслях промышленности, и с высоким качеством производимых продукции.

Практическая значимость диссертационных исследований состоит в экспериментальных исследованиях зависимости амплитуды вибрации вала ротора от скорости вращения при различных значениях коэффициентов линейного и нелинейного демпфирования и влияния демпфирующих

параметров на амплитудно-частотную характеристику с нелинейными эффектами в областях до резонансной скорости, резонансной частоты и высоких скоростей вращения, посредством замены материала упругой опоры ротора при ускорении и замедлении вращения в экспериментальной резонансной кривой.

Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами. Данная диссертационная работа выполнялась в рамках научного проекта, по грантовому финансированию научных исследований молодых ученых по проекту «Молодой ученый» на 2022-2024 годы МНВО РК «Моделирование динамики гироскопического жесткого ротора центрифуги при анизотропии восстанавливающей и демпфирующей характеристики упругой опоры» (ИРН проекта: AP15473701).

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных мероприятиях:

- на Международной конференции «Asian IFToMM Mechanisms and Machine Sciences» (AsianMMS 2021, Hanoi, Vietnam);
- на Международной конференции «4th International Conference of IFToMM Italy» (IFIT 2022, Naples, Italy);
- на Международной конференции «6th International IFToMM Conference» (MeTrApp 2023, Poitier, France);
- на семинарах РГП «Институт механики и машиноведения им. У.А. Джолдасбекова» КН МНВО РК.

Публикации. Автором по теме диссертации опубликовано 6 работ, 5 публикаций в зарубежных научных журналах с ненулевым импакт-фактором (IF) и трудах международных конференций, входящих в базу данных Scopus и Web of Science, 1 Евразийский патент на изобретение.

Опубликованные по теме диссертации работы приводятся в списке литературы.

Личный вклад автора

Основные научные результаты экспериментальных исследований, выводы, изложенные в диссертации, получены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит значительная часть, связанная с программной реализацией и проведение экспериментальных исследований центрифуги на базе вертикального жесткого гироскопического ротора.

Структура и объем диссертации. Диссертация имеет титульный лист, содержание, перечень обозначений и сокращений, введение, шесть разделов, заключение, список использованных источников и приложений. Общий объем диссертации 116 страниц, включая 99 иллюстраций и 1 таблица.

Основное содержание диссертации

Во введении дано описание проблемы, краткий обзор предметной области. Обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы постановка задачи и этапы их решения.

Первый раздел посвящен моделированию динамики гироскопического жесткого ротора с линейным и нелинейным демпфированием и нелинейной жесткостью упругой опоры.

Во втором разделе рассматривается моделирование динамики гироскопического жесткого ротора с анизотропией восстанавливающих и демпфирующих характеристик упругой опоры.

В третьем разделе рассматриваются резонансные колебания неидеальной гироскопической роторной системы с нелинейными восстанавливающими и демпфирующими характеристиками.

В четвертом рассматривается разработка опытного образца центрифуги на базе вертикального гироскопического жесткого ротора. Разработана 3D модель центрифуги на базе вертикального гироскопического жесткого ротора. На основе 3D модели разработана проектно-конструкторская документация (ПКД) опытного образца центрифуги на базе вертикального гироскопического жесткого ротора. Показано изготовление опытного образца центрифуги на базе вертикального гироскопического жесткого ротора.

В пятом разделе приводятся результаты экспериментального исследования влияния нелинейного кубического демпфирования опоры на амплитудно-частотную характеристику опытного образца центрифуги на базе вертикального жесткого гироскопического ротора, результаты исследования влияния анизотропии жесткости и демпфирования на динамику ротора.

В заключении приведены полученные в работе основные результаты и выводы диссертационного исследования.