

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«**СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**»
Политехнический институт
институт
Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.Е. Косенко
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2022г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Совершенствование конструкции приспособления для испытаний электрических двигателей прецизионных электромеханических устройств и систем космических аппаратов»
тема

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
код и наименование направления

15.04.05.02 «Технология космических аппаратов»
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	профессор МБК ПФиКТ д-р техн. наук, профессор	<u>В.В. Двирный</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>А.И. Осинцев</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	начальник сектора АО «ИСС», доцент	<u>Д.А. Кафтасьев</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____	профессор МБК ПФиКТ д-р техн. наук, доцент	<u>В.Е. Чеботарев</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2022

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.Е. Косенко
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2020 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Красноярск 2020

Студенту Осинцев Александру Игоревичу.

Группа МТ20-04М.

Направление: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Тема выпускной квалификационной работы: «Совершенствование конструкции приспособления для испытаний электрических двигателей прецизионных электромеханических устройств и систем космических аппаратов».

Утверждена приказом по университету № 17244/С от 06.11.2020г.

Руководитель ВКР: Валерий Васильевич Двирный, профессор МБК «Прикладная физика и космические технологии», д-р техн. наук.

Исходные данные для ВКР: Электродвигатели прецизионных электромеханических устройств и систем космических аппаратов проходят ряд испытаний, позволяющих определить их параметры и характеристики на соответствие требованиям технического задания. Для полноты и достоверности полученных результатов, необходимо проводить ряд испытаний в условиях максимально приближенных к эксплуатационным, что на данный момент невозможно, в связи с отсутствием технического решения и методики к данным испытаниям.

Перечень разделов ВКР:

- 1 Шаговые электродвигатели, область применения.
- 2 Патентные исследования, определение прототипа устройства.
- 3 Проект магнитной муфты, методики испытаний.

Перечень графического материала: 17 чертежей.

Руководитель ВКР

подпись

В.В. Двирный
инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись, инициалы и фамилия студента

А.И.Осинцев

« ____ » _____ 2020 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Совершенствование конструкции приспособления для испытаний электрических двигателей прецизионных электромеханических устройств и систем космических аппаратов» содержит 61 страницу текстового документа, 39 иллюстраций, 6 таблицы, 2 приложения, 17 использованных источников, 17 листов графического материала.

ГИБРИДНЫЙ ШАГОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, МАГНИТНАЯ МУФТА, ТЕРМОВАКУУМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ, ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ, МАГНИТЫ, ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ.

Цель: модернизация конструкции приспособления для испытаний электродвигателя в части разработки и внедрения модуля с магнитной муфтой и написания методик испытаний.

На сегодняшний день, в связи с отсутствием методик измерений фиксирующего момента и предельного крутящего момента электродвигателей в условиях одновременного воздействия критичных значений температур и пониженного давления, а также отсутствием оптимального технического решения в реализации испытательного оборудования, данные измерения проводятся только в нормальных условиях.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы было выполнено:

- разработано и изготовлено приспособление для определения зависимости передачи момента от расстояния воздушного зазора между магнитами;
- проведены испытания магнитной пары, составлен отчет;
- разработана оптимальная конструкция модуля с магнитной муфтой;
- разработаны методики испытаний электродвигателей, позволяющие значительно повысить эффективность приспособления для испытания двигателей космического назначения.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Шаговые электродвигатели, область применения.....	8
1.1 Шаговые электродвигатели.....	8
1.2 Шаговые электродвигатели в машиностроении	9
1.3 Электродвигатели в космической отрасли	10
1.4 Преимущества и недостатки шаговых двигателей.....	12
1.5 Виды испытаний электродвигателей космических аппаратов.....	13
1.6 Приспособления для испытаний электрических двигателей	18
2 Патентные исследования, определение прототипа устройства	22
2.1 Термовакуумные испытания электродвигателей.....	22
2.2 Типы магнитных муфт и их применение.....	23
2.3 Постоянные магниты, применяемые в конструкциях магнитных муфт, и их выбор	27
2.4 Классификация магнитных систем	29
2.5 Магнитные бескорпусные муфты	35
2.6 Определение крутящего момента цилиндрической муфты.....	36
3 Проект магнитной муфты, методики испытаний	40
3.1 Приспособление для измерения зависимости передаваемого момента магнитной пары от расстояния воздушного зазора.....	40
3.2 Этапы сборки приспособления для испытаний	43
3.3 Проект магнитной муфты, описание устройства.....	44
3.4 Этапы сборки муфты	48
3.5 Испытания угловых характеристик муфты	49
3.6 Разработка проекта рабочего места для испытаний электродвигателей...	51
3.7 Методика проверки момента фиксации.....	52
3.8 Методика испытаний электродвигателей в условиях циклического воздействия температур	53

3.9 Методика испытаний электродвигателей в условиях пониженного давления	54
3.10 Методика проверки статического момента синхронного двигателя с электромагнитной редукцией в условиях пониженного давления	55
Заключение	58
Список сокращений	59
Список использованных источников	60
Приложение А.1 Конструкторская документация на приспособление для испытаний.....	62-75
Приложение А.2 Конструкторская документация на магнитную муфту.....	76-83

ВВЕДЕНИЕ

Космический аппарат – это сложное техническое изделие, имеющее множество систем обеспечивающих как жизнедеятельность аппарата, так и использование его по целевому назначению на всем сроке его активного существования.

Одним из ключевых вопросов при наземной экспериментальной обработке и изготовлении электрических двигателей (ЭД) для устройств и систем космического аппарата (КА), является вопрос разработки приспособления, позволяющего с необходимой точностью определить технические характеристики ЭД, как в нормальных условиях, так и в условиях при температурах от минус 70 до плюс 70°C, а также в условиях пониженного давления $1,3 \cdot 10^{-4}$ Па ($1 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.), без потери точности измерений.

Наиболее эффективным способом испытаний, указанных ЭД является создание универсального рабочего места для контроля выходных параметров, характеристик ЭД и имитации инерционной и активной нагрузок, а также включающее в себя оборудование для имитации воздействующих температурных факторов и факторов, имитирующих пониженное давление.

[Изъято глава 1 стр. 8-19; глава 2 стр. 22-39; глава 3 стр. 40-57; Приложение А.1 к ВКР стр.62-75; Приложение А.2 к ВКР стр.76-83]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Известные магнитные муфты на постоянных магнитах, предназначенные для герметичных соединений при использовании в предложенном стенде имеют недостаток, а именно, внешний и внутренний ротор не имеют центрирующего элемента, что усложняет установку (центрирование) ЭД относительно магнитной муфты, что в свою очередь увеличивает сложность изготовления оснастки, используемой в стенде.

Муфта, применяемая в стенде отличается тем, что внешний и внутренний ротор вращаются на подшипниках, имеющих посадочные поверхности на герметизирующем стакане, за счёт чего достигается центрирование роторов. Далее с помощью компенсирующих муфт достигается соединение вала магнитной муфты с валом электродвигателя.

Предложенная схема рабочего места для испытаний с применением модуля из магнитной муфты позволит производить как динамические, так и статические ТИ, ТВИ, что положительно скажется на продуктивности и полноте испытаний электродвигателей в космической отрасли.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ЭД – электрический двигатель;

КА – космический аппарат;

НУ – нагрузочное устройство;

МГТ – муфта гистерезисная тормозная;

ТК – термокамера;

ТБК – термобарокамера;

ТИ – тепловые испытания;

ТВИ – термовакуумные испытания;

СНА – система наведения антенн;

УПБС – устройство поворота батарей солнечных

БМ – блок механический.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Постоянные магниты: справочник / А. Б. Альтман, А. Н. Герберг, П. А. Гладышев и др.; под ред. Ю.М. Пятина. - 2-е изд.; перераб. и доп. – Москва: Энергия, 1980.-488 с. – ФВ Б 71-18/95 ФВ Б 71-18/96.

2 Куневич, А. В. Ферриты: энциклопедический справочник: Т.1. Магниты и магнитные системы / А. В. Куневич, А. В. Подольский, И. Н. Сидоров. – Санкт-Петербург: Изд-во «ЛИК», 2004. - 358 с. – ISBN: 5-86038-126-3.

3 Писаревский, А. Ю. Применение магнитных муфт для передачи движения через герметичную перегородку химических электронасосов / А. Ю. Писаревский, С. Ю. Писаревский // Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве: труды Всерос. конф. – Воронеж: ВГТУ, 2004. — С. 129 - 130. – ISBN 978-5-7731-0230-4.

4 Ганзбург, Л. Б. Проектирование электромагнитных и магнитных механизмов: справочник / Л. Б. Ганзбург, А. И. Федотов. – Ленинград: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. - 364 с. – ISBN 5-06-000103-2.

5 Красильников, А. Я. Особенности использования магнитной муфты в конструкциях герметичных машин / А. Я. Красильников. – Екатеринбург: УГТУ -УПИ, 2007.-144с. – ISBN 978-5-321-02102-6.

6 Клевец, Н. И. Расчет радиальной магнитной муфты / Н. И. Клевец, В. С. Смирнов, М. А. Чохели // XV Междун. конф. по постоянным магнитам: Тез. докл. Суздаль, 2005.

7 Асинхронные двигатели серии 4А: справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболевская. - Москва: Энергоиздат, 1982. – 501 с. – УДК 621.313.333(035)

8 Красильников, А.Я. Определение крутящего момента цилиндрической магнитной муфты / А.Я. Красильников // Вестник машиностроения. – 2009. № 6. – С. 16-18. - ISSN 0042-4633.

9 Патент № 2595264 Российская федерация, МПК H02K49/10 Усовершенствование магнитных муфт; заявитель и патентообладатель Бремен Кристофер, Ильюта Раду; заявл. №2013138181/07, 2012-01-18.; опубл. 2016-08-27.

10 Стёпин, П. А. Сопротивление материалов: учебник для вузов / П. А. Стёпин. — 13-е изд., перераб. и доп. — Москва: Высш. шк., 2014. - 216 с. — ISBN 978-5-8114-1038-5.

11 Осин, И. Л. Электрические машины: синхронные машины: учеб. пособие для вузов / И. Л. Осин, Ю. Г. Шакарян; под ред. И. П. Копылова. — Москва: Высш. шк., 1990. - 304 с. — ISBN 5-06-000737-5.

12 Патент №191054 Российская федерация, СПК G01M 15/02 RU Стенд для испытания электродвигателя/ Новоселов В.Н., Рябов Г.К.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Партнер НКТ"; заявл. №219101788, 23.01.2019г; опубл. 2019.07.22.

13 Патент №182107 Российская федерация, СПК G01R 31/34; Отладочный стенд/ Морозов А.В.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество "Сарапульский электрогенераторный завод" RU 182107 U1, 05.04.2018г.; заявл. №2018112418, 05.04.2018; опубл. 03.08.2018 Бюл. № 22.

14 Бесконтактные магнитные механизмы / Ганзбург Л.Б.[и др.]; — Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1985. -28-36с. — В 1 85-42/354 FB 1 85-42/355.

15 Чеботарев, В. Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения / Чеботарев В. Е., Косенко В. Е.; — Красноярск: СибГАУ, 2011.-488с. — ISBN 978-5-86433-510-9.

16 Силаев, А. А. Стенд для испытаний синхронного бесколлекторного двигателя / Силаев А. А., Марусина М. Я., Невмержицкий Д. А; Известия высших учебных заведений; Приборостроение. — 2019г., Т.62 . №11. 1029–1032 с.

17 Патент SU 1835525 A1 Российская федерация, МПК G01R 31/34 Способ испытаний электродвигателей / Олейников А.М., Гох В.А.; заявл. №4919340,1991.03.14;опубл.1993.08.

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт

Межинститутская базовая кафедра

«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В.Е. Косенко

инициалы, фамилия

« 23 »

подпись

2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИСЕРТАЦИЯ

«Совершенствование конструкции приспособления для испытаний

электрических двигателей прецизионных электромеханических

устройств и систем космических аппаратов»

тема

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительных производств»

код и наименование направления

15.04.05.02 «Технология космических аппаратов»

код и наименование магистерской программы

Научный

руководитель

Выпускник

Рецензент

Нормоконтролер

ПОДПИСЬ, ДАТА

ПОДПИСЬ, ДАТА

ПОДПИСЬ, ДАТА

ПОДПИСЬ, ДАТА

ПОДПИСЬ, ДАТА

профессор МБК ФИКТ
д-р техн. наук, профессор

должность, ученая степень

В.В. Двирный

инициалы, фамилия

А.И. Осинцев

инициалы, фамилия

начальник сектора

АО «ИСС», доцент

Д.А. Кафтасев

инициалы, фамилия

профессор МБК ФИКТ
д-р техн. наук, доцент

должность, ученая степень

В.Е. Чеботарев

инициалы, фамилия

Красноярск 2022