



Арзамасское  
Приборостроительное  
Конструкторское  
Бюро

## **Конкурсная работа**

На участие в конкурсе «Авиастроитель года» по итогам 2017 года

Номинация «Лучший инновационный проект»

**Разработка электромеханического привода элерона летательного  
аппарата**

2018 г.

# Содержание

1. Актуальность проведения работы
2. Направления работы
3. Описание исследовательской работы
4. Конструктивные особенности привода
5. Система управления приводом
6. Трудности создания привода
7. Результаты работ
8. Перспективы создания опытного образца
9. Дорожная карта по созданию привода для ЛЛ Т-50



# 1. Актуальность проведения работ

**Р**азвитие программы «более электрический самолет» (МЕА) толкает разработчиков к развитию электромеханических приводов.

**Э**лектромеханические привода – значительный прорыв в системах управления самолетом.

**Ц**ентральная гидравлическая система является сложной системой и трудоёмкой в обслуживании. Электромеханические привода исключают необходимость в центральной гидравлической системе. Исключение гидравлики значительно уменьшит количество вспомогательного оборудования и обслуживающего персонала.

**Э**лектромеханические привода имеют потенциально большую эффективность, чем их гидравлические аналоги. Гидравлическая система должна генерировать и поддерживать постоянное давление, независимо от текущей потребности, электромеханические привода используют электрическую энергию только во время перемещения.

**С**тоимость, вес и надёжность приводных систем является одним из наиболее важных факторов при разработке летательного аппарата. Электромеханические привода легче встраивать в системы с плотной компоновкой, в уменьшающееся пространство крыла, они также способны обеспечить более длительный эксплуатационный ресурс, что является перспективой в авиастроении.



## 2. Направления работы

### ПРИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА:

- ✓ Повышение боевой живучести самолёта
- ✓ Снижение стоимости жизненного цикла на 4-6%
- ✓ Удешевление технического обслуживания
- ✓ Снижение потребления топлива 6-8%
- ✓ Снижение веса оборудования самолёта
- ✓ Повышение эффективности расходования энергии
- ✓ Уменьшение нагрузки на гидросистему самолёта

### 3. Описание исследовательской работы

**В** рамках НИР разработаны три варианта конструкции линейного электромеханического привода элерона для определения возможности замены гидравлических и электрогидростатических приводов летательных аппаратов, оценки достоинств и недостатков привода, отработки конструкции. Заменяемый аналог привод РПД-20.

#### **Основные параметры электропривода:**

- Силовое электропитание - трехфазное 200 В (линейное напряжение);
- Потребляемая мощность – 5 кВт;
- Максимальное усилие на выходном звене – 7500 кгс;
- Сигнальное питание – 27 В;
- Ход выходного звена – 62 мм;
- Скорость выходного звена – 80 мм/с.

#### **В ходе выполнения НИР были выполнены следующие этапы разработки:**

- Разработка линейного электромеханического привода;
- Разработка системы управления электромеханическим приводом;
- Разработка контрольно-проверочной аппаратуры и испытательного оборудования.

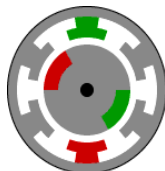


## 4. Конструктивные особенности привода

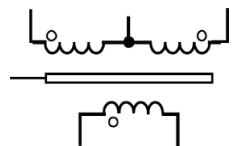
Ролико-винтовая  
передача



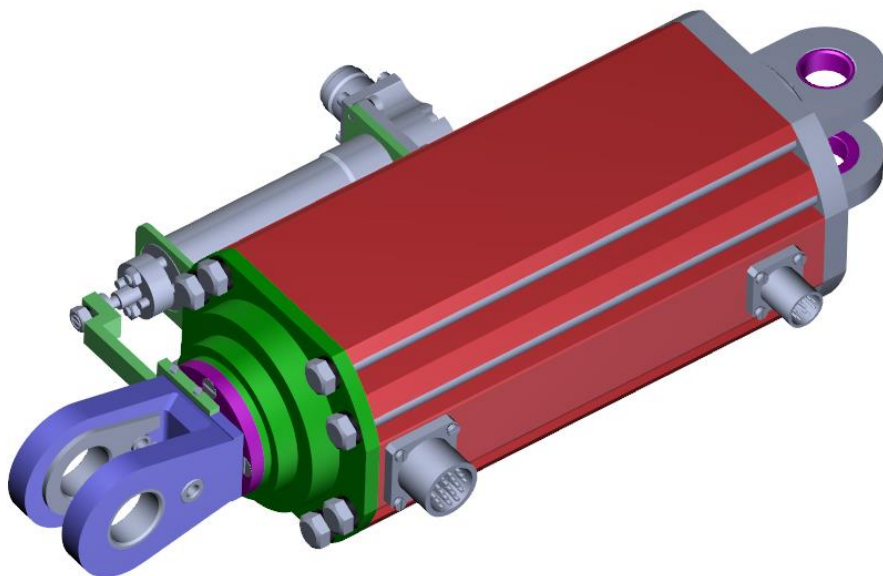
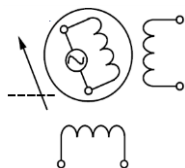
Электродвигатель  
с постоянными  
магнитами (PMSM)



Датчик линейного  
перемещения  
(LVDT)



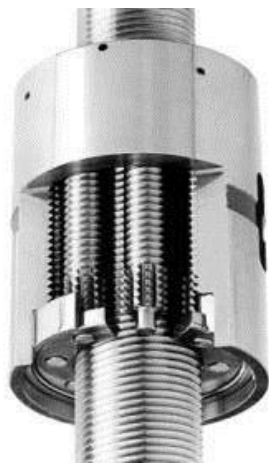
Бесконтактный  
датчик вращения  
ротора (СКВТ)



Разработанный ЭМП предназначен для преобразования электрической энергии в механическую (возвратно-поступательное перемещение). Трансформация вращательного движения двигателя в поступательное выходного вала осуществляется с помощью ролико-винтовой передачи (РВП).

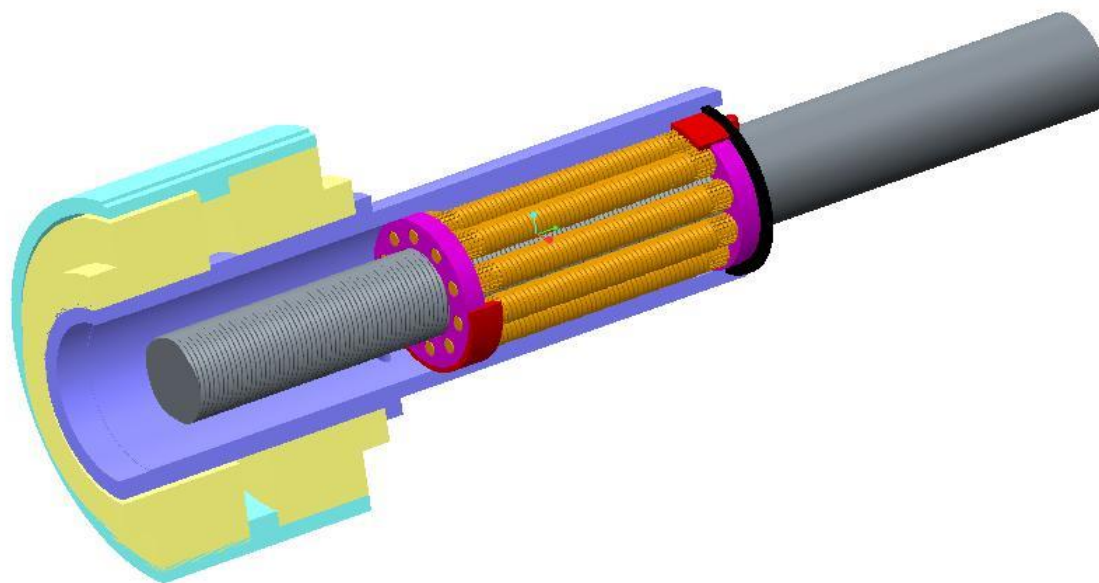
## 4. Конструктивные особенности привода

**К**онструктивно РВП состоит из винта и гайки, внутри которой по окружности расположены ролики, параллельно винту. Нагрузка передается от гайки к винту через все ролики одновременно. Большая площадь контакта резьбы винта, роликов и внутренней поверхности гайки способствует увеличению грузоподъемности и долговечности всей системы.



## 4. Конструктивные особенности привода

**Р**олики находятся между винтом и гайкой, на которых нарезана многозаходная треугольная резьба, профиль которой образован прямыми линиями. Профиль резьбы роликов выпуклый, образованный дугой окружности. Длина резьбовой части роликов равна длине резьбовой части гайки. Углы подъема резьбы роликов и гайки выполнены равными, что предотвращает осевое перемещение роликов относительно гайки. Отношение числа заходов резьбы гайки и роликов равно отношению средних диаметров их резьбы. При вращении гайки или винта ролики совершают планетарное движение.



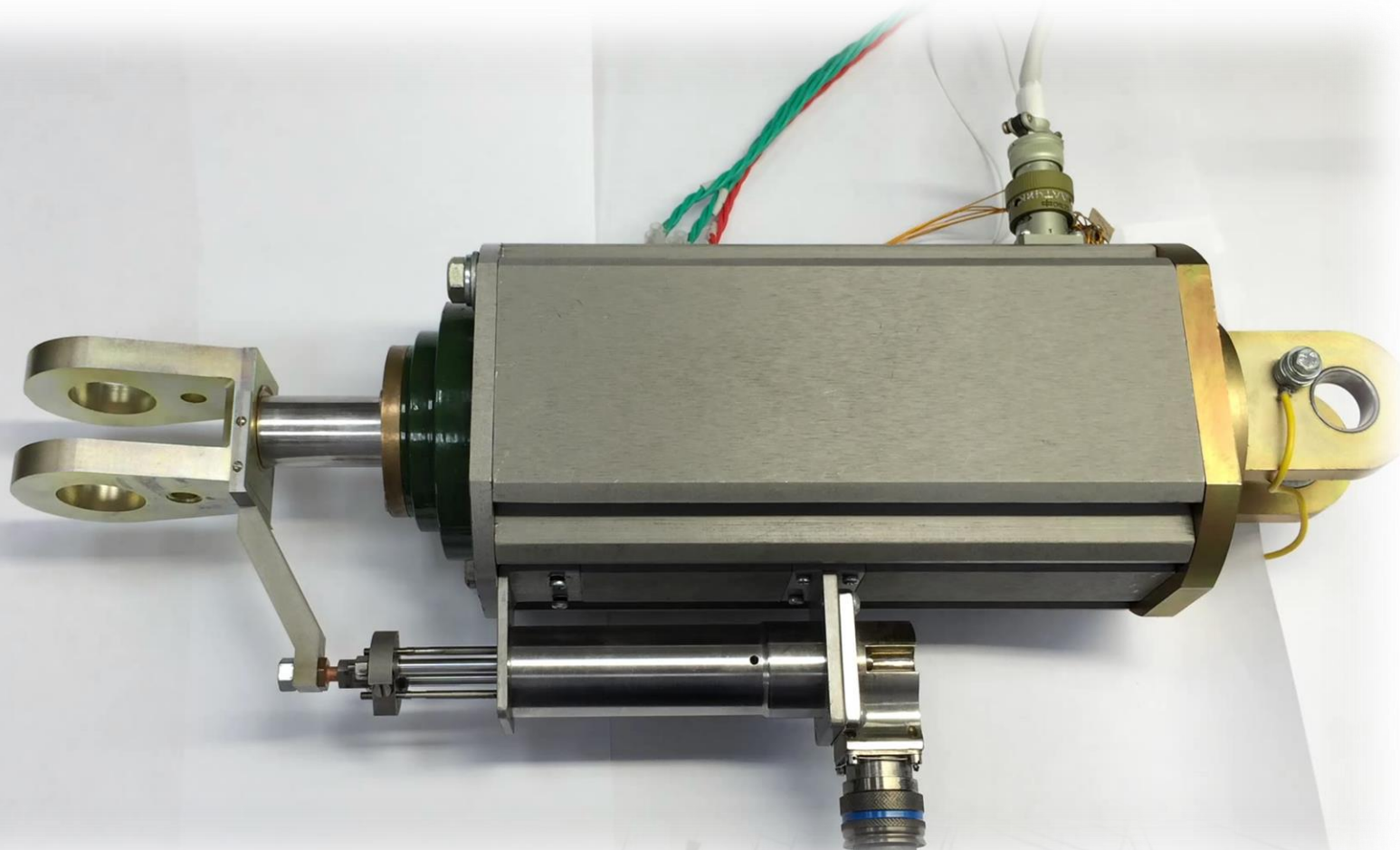
Режим сборки

XX+0.1  
X.XX+0.01  
X.XXX+0.001  
ANG+0.5



## 4. Конструктивные особенности привода

Макетный образец ЭМП с компоновкой «матрёшка»

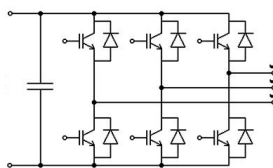


## 5. Система управления приводом

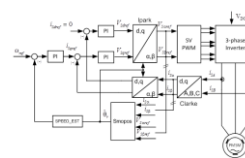
Микропроцессорное управление



Трехфазный IGBT - инвертор



Векторное управление электродвигателем



Интерфейс по ГОСТ Р 52070-2003

MIL-STD-1553

Обработка сигналов с датчиков



Гальваническая изоляция сигнальной части

Программное обеспечение управления приводом



## 6. Трудности создания привода

Подбор и компоновка узлов под заданное усилие и габариты.

Точность изготовления роликовинтовой передачи (РВП) с соблюдением допусков на отклонения по линиям поверхностей (по длине всех витков резьбы).



## Принятое решение

Контроль параметров на шести координатной измерительной машине с разработанным программным обеспечением.

Изготовление резьбы специального профиля шлифованием.

## 6. Трудности создания привода

Обеспечение минимального люфта привода.

Обеспечение одновременного плавного вращения, и отсутствия люфтов (при нагрузке 200кг)

Отсутствие практики разработки РВП в отечественной промышленности, как следствие и литературы.

### Принятое решение

Для наиболее полного выполнения НИР разработка и изготовление **трёх типов приводов** различной конструкции.

**1.Привод:** усилие- 7500кгс, скорость -80 мм/с  
направление резьбы- встречное.  
Проскальзывание при помогающей нагрузке.  
Заменена часть со встречной нарезкой.

**2.Привод:** усилие- 1,8кгс  
скорость -80 мм/с  
направление резьбы- традиционное.  
Испытания пройдены, силовые, скоростные, амплитудо и фазочастотные характеристики сняты.

**3.Привод:** усилие- 7,5кгс  
скорость -80 мм/с  
направление резьбы- традиционное.  
Испытания пройдены, силовые, скоростные.  
**Вышел за рамки НИР для создания опережающих технологий.**



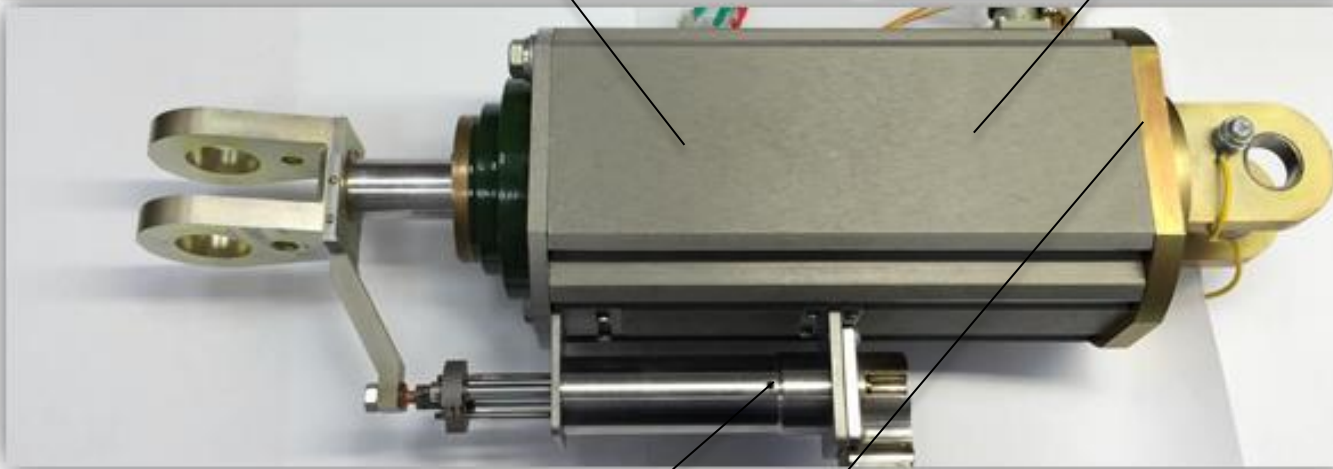
Привод первой и второй конструкции. Отличие конструкций, в нарезке резьбовых линий редуктора.

Привод №1. Неклассический. Обеспечивает требования ТЗ, но помогающая нагрузка приводит к смене коэффициента передачи.

Привод №2. Классический. Повышение динамики - в 5 раз. Уменьшение максимальной нагрузки на выходном звене - в 5 раз.

Место установки электродвигателя с полым ротором внутри которого размещена РВП.

Место установки подшипникового узла.



Датчик линейного перемещения выходного звена.

Место расположения датчика положения ротора электродвигателя.

## ДОСТОИНСТВА

Схема расположения позволяет реализовывать малые габариты.



## Привод №3 развитие опережающих НИР технологий

Передача вращения через понижающую зубчатую ступень.

Место  
установки  
ДПР.

Линейный  
датчик  
размещён  
в корпусе.



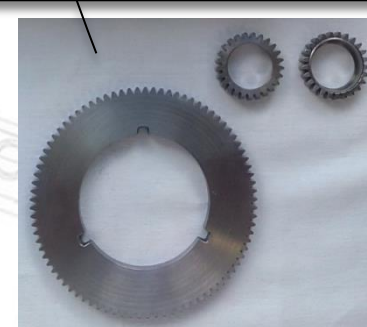
Место  
установки  
электродвига  
теля.

Место  
установки  
РВП.

Ротор, с ведущей шестернёй.



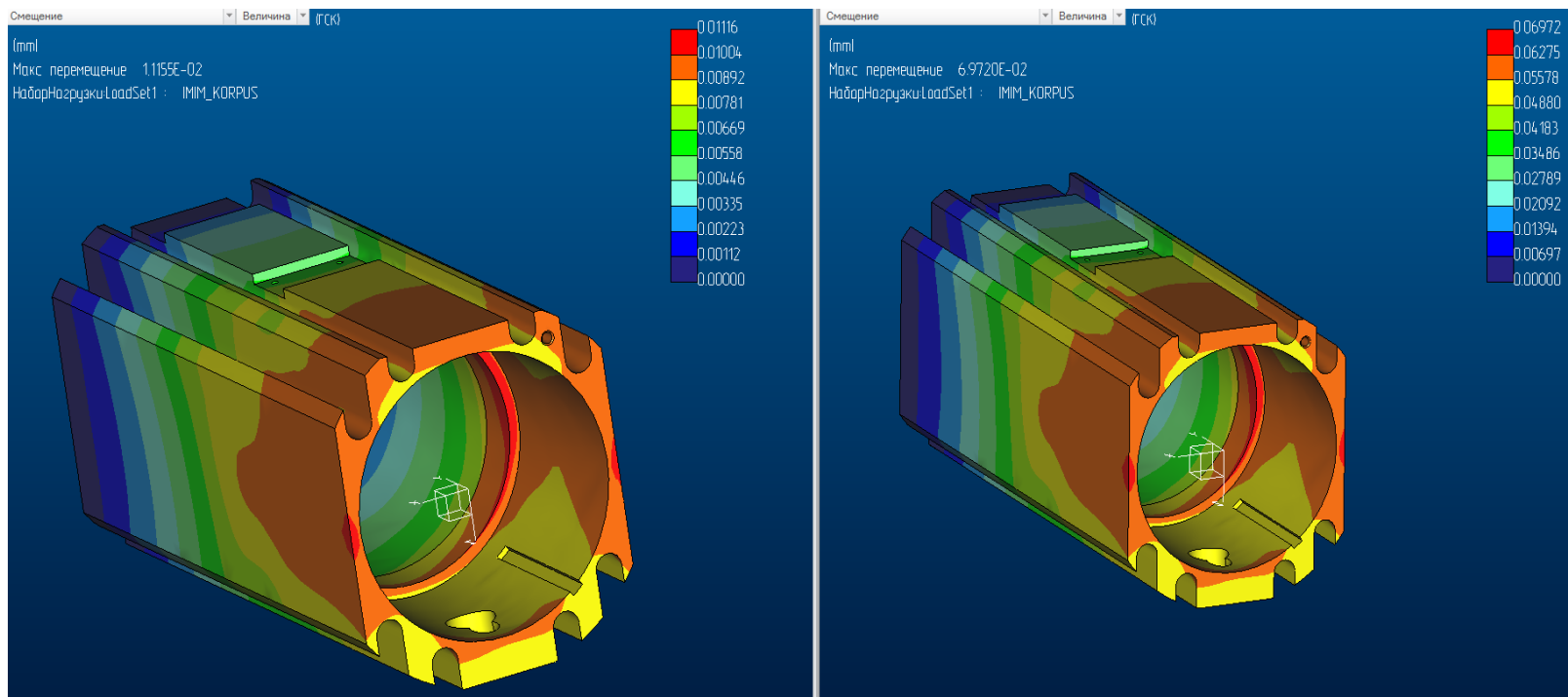
Зубчатая передача.



## 6. Трудности создания привода

Невозможность компьютерного моделирования кинематики РВП.

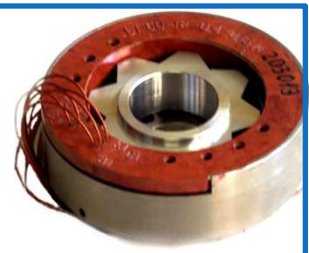
Проведено компьютерное моделирование максимальных нагрузок на привод и его части.



## 6. Трудности создания привода

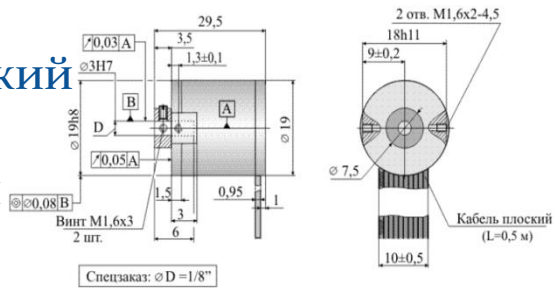
**Помехи на датчик положения ротора (ДПР) расположенного внутри магнитной системы электродвигателя (статора).**

Датчик положения ротора-вращающийся трансформатор



**Помехи**

Переход на оптический датчик Положения ротора



**Эффект:** уменьшение помех, увеличение точности, применимо только на стадии НИР

Изменение схемы обработки сигнала датчика.

**Защита линейного датчика от внешних воздействий и сил проворота.**

Усиление датчика сваркой

Усиление направляющих вала

Размещение датчика в корпусе привода



## 6. Трудности создания привода

**В**ариантность работы привода по линейному датчику и датчику положения ротора.

Изменение  
прошивки

Изменение схемы  
электрической

Изменение  
компоновки

**Эффект:** повышение точности позиционирования.  
Полученная точность позиционирования порядком превышает заданную.

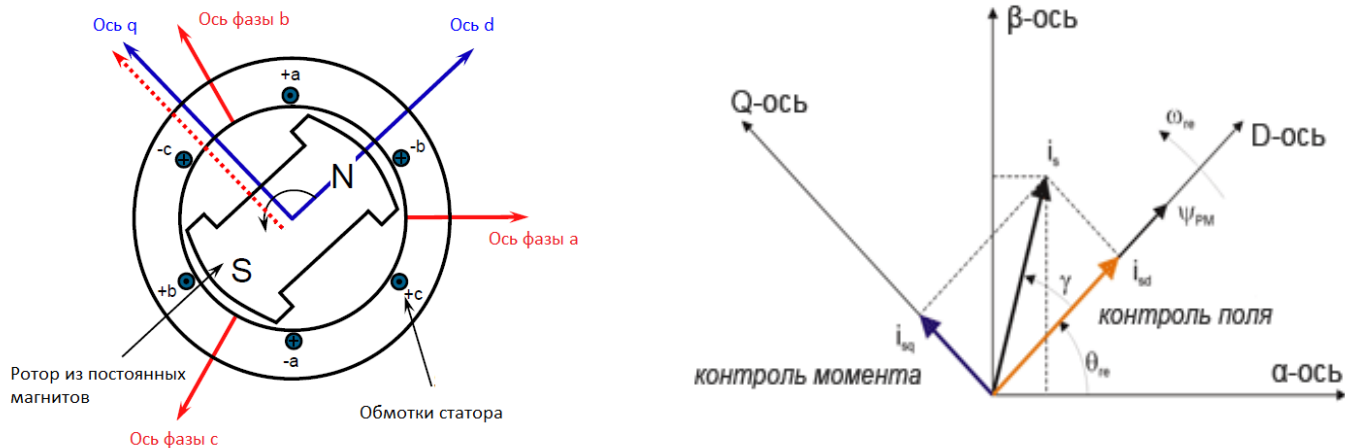
**О**птимизация коэффициентов управления инвертором для обеспечения режимов действующих приводов летательных аппаратов.

Приближение характеристик к действующим гидравлическим аналогам.

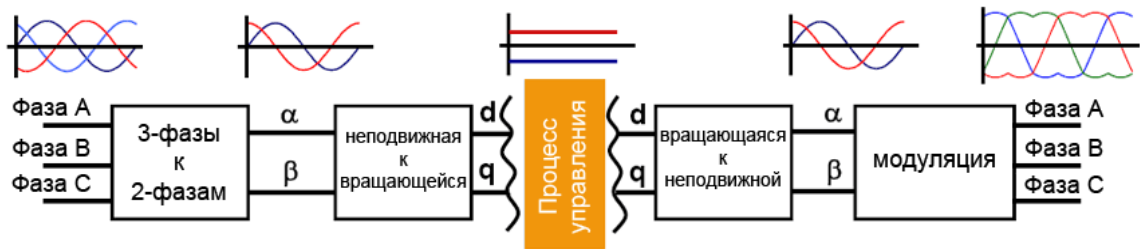


# 6. Трудности создания привода

## Создание системы управления приводом с векторным управлением



### Осциллограммы сигналов на разных этапах преобразования

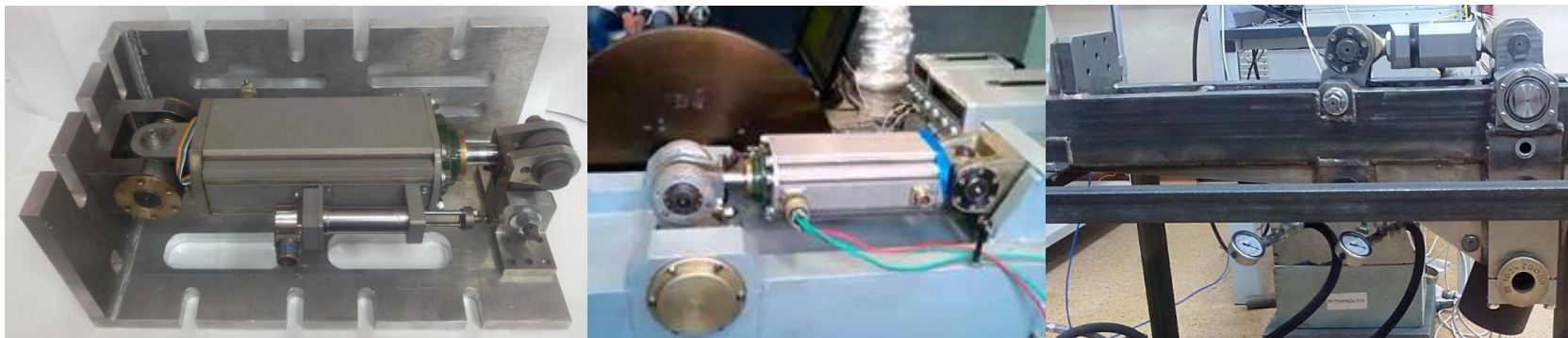


**Эффект:** рациональное использование энергетика.



## 6. Трудности создания привода

Снятие частотных фазовых и силовых характеристик с привода на разработанном оборудовании.



**Результат:** пройдены все конструкторские испытания.

Виды воздействий.

Механические  
воздействия.

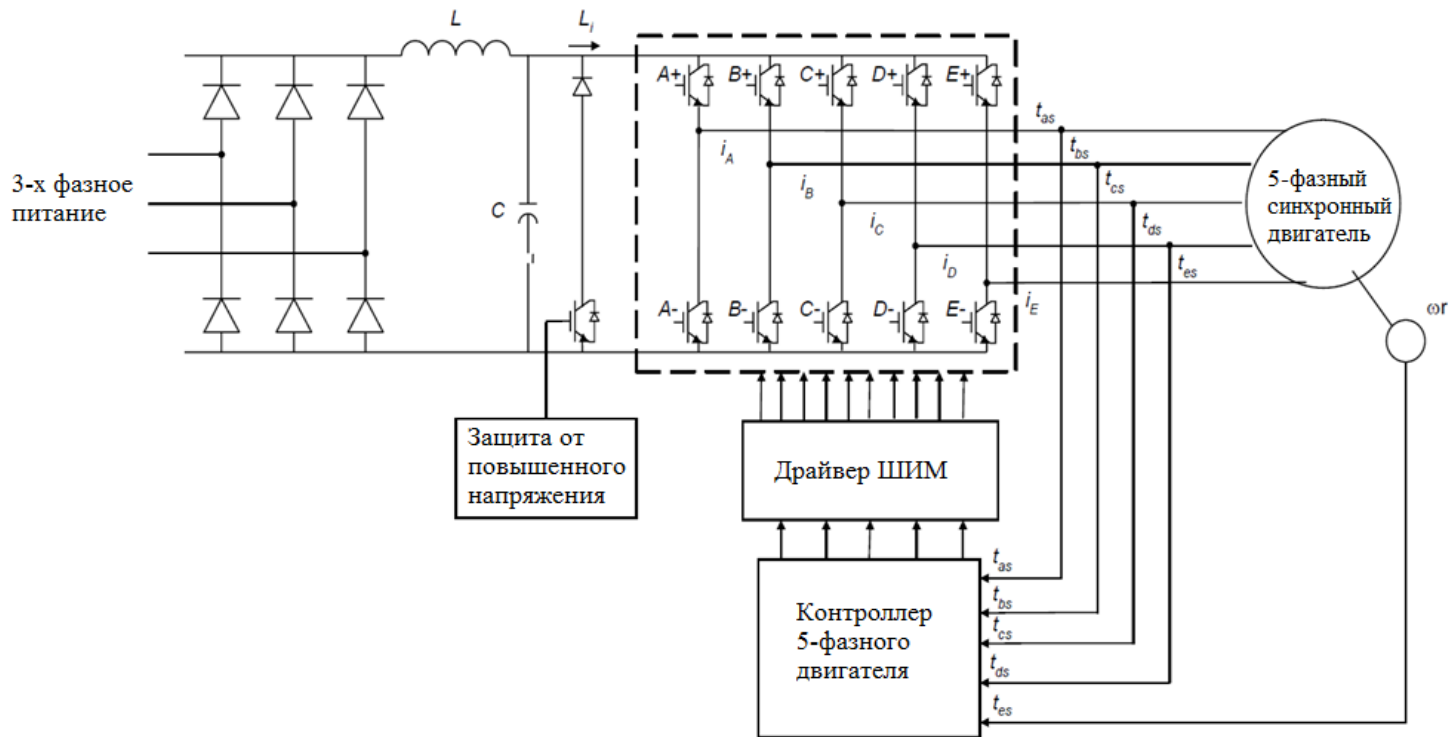
Климатические  
воздействия.

Силовые  
испытания.

Снятие АЧХ, ФЧХ с  
инерционной массой.

## 6. Трудности создания привода

### Построение силового инвертора на дискретных элементах



Выбор транзисторов

Разработка драйверов

Изготовление оборудования

Разработка ПО



## 7. Результат работ по НИР

Создание трёх типов приводов

Разработка испытательного оборудования

Разработка программного обеспечения (ПО) управления приводами

Создание векторного блока управления приводом

Изготовление стендового оборудования

Разработка ПО управления стендовым оборудованием

Разработка ПО для снятия характеристик

**Выход за грань НИР и создание опережающих технологий (Привод №3)**

**Создание привода макетного образца для полунатурных испытаний**



## 8. Перспективы создания опытного образца

**Трудности** на пути разработки привода для ЛЛ Т-50

Поиск оптимального электродвигателя

Замена материала корпуса на титан или аналог

Выбор или разработка датчика положения ротора

Поиск оптимального линейного датчика

Внедрение тензометрического датчика в конструкцию привода

Разработка и интеграция ограничителей хода вала

**НИИ «ЭЛПА»**

Разработка микросборки векторного устройства управления

Разработка модульной конструкции инвертора

Проведение полунатурного испытания от системы управления

**Научно исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова**

**ФГУП «ЦАГИ»**



## 8. Перспективы создания опытного образца



## 9. Дорожная карта по созданию привода для ЛЛ Т-50

**Необходимые работы** с целью доработки разработанного привода до летного опытного образца:

2018г.	Отработка полунатурного моделирования от штатной системы управления на оборудовании ФГУП «ЦАГИ»;
	Формирование ТЗ на привод для ЛЛ Т-50 с учётом проведённого моделирования;
2019г.	Разработка КД на привод для ЛЛ Т-50;
	Изготовление партии приводов для проведения конструкторских испытаний и их проведение;
2020г.	Изготовление опытного привода с ограниченным ресурсом для установки в ЛЛ Т-50;
2021г.	Проведение лётных испытаний;
2022г.	Разработка линейки приводов.

