

# ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИГЛОВАЯ УСТАНОВКА АЭРОТАКСИ

**Иванов НС., к.т.н.**

Начальник лаборатории ЭСУ/ТСУГИШМАИ

Начальник НИО-310 «Электроэнергетические,  
электромеханические и биотехнические системы»



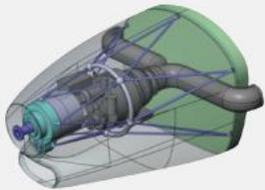
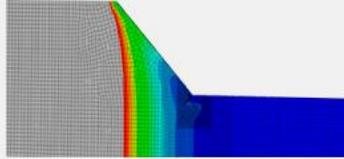
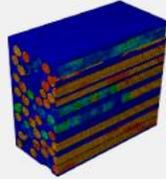
Передовые  
инженерные  
школы

#МАИ #Индустрия2050 #ПИШ

# Тематические направления ПИШ МАИ

## Направление 1

Новые материалы  
и конструкции

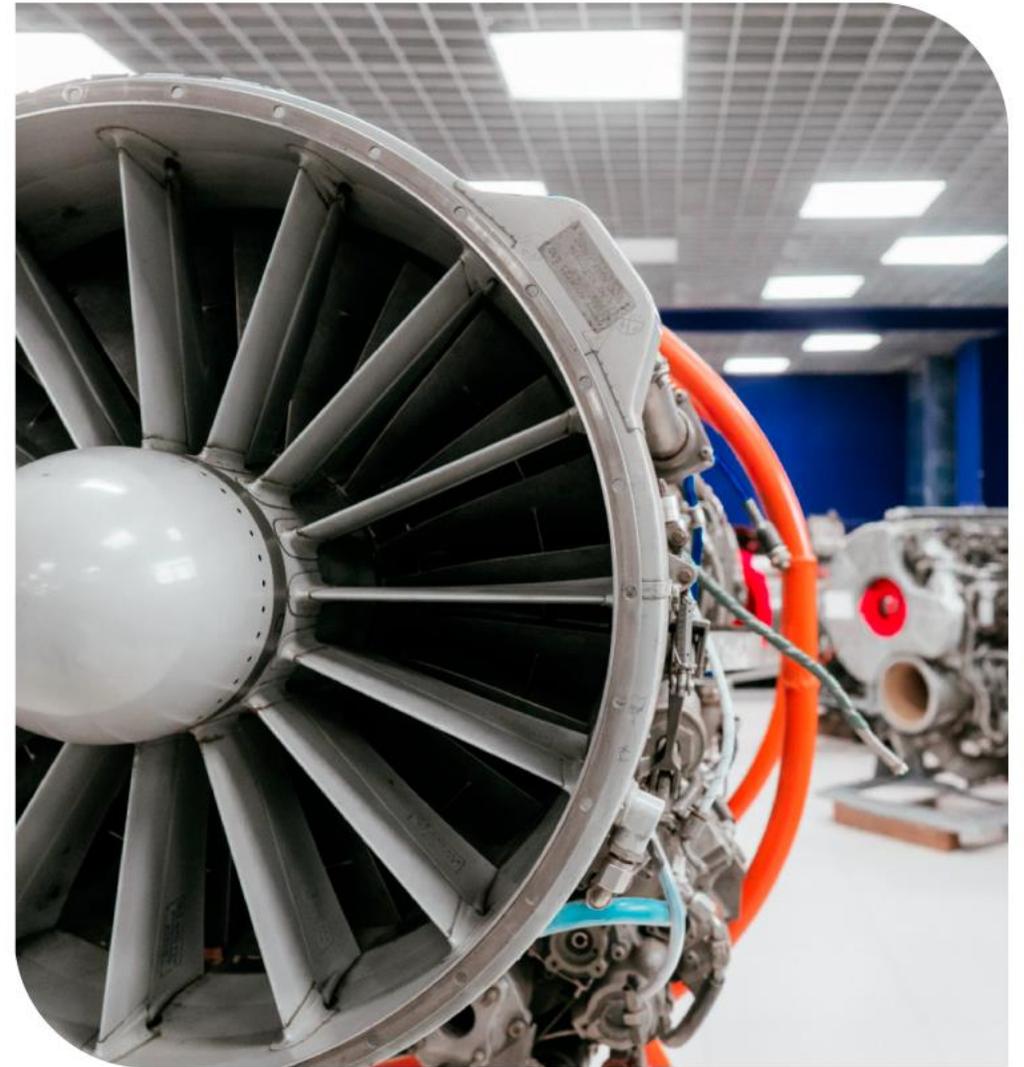


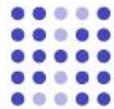
## Направление 2

Электрические  
и гибридные  
силовые установки

## Направление 3

Интеллектуальные  
и беспилотные  
системы





# Электрические и гибридные двигатели

разработка, испытания и сертификация

создание электрического транспорта будущего

## НАЗЕМНАЯ ТЕХНИКА



## МАЛЫЕ БЛА



## АЭРОТАКСИ



## РЕГИОНАЛЬНЫЕ АВИАЛИНИИ



## НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ



2022

Накопитель энергии для тягача «Байконур»

2023

Батарея для ИБП\* (Россети/Газпром)

2025

Гибридная батарея на водороде

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ



2022-23

- ЭСУ для БЛА Кречет
- ЭСУ для Аэротакси



2023

ЭСУ для метро (Трансмашхолдинг)

## ГИБРИДНЫЕ ДВИГАТЕЛИ



2022-23

- ГСУ для ЛМС Байкал
- ГСУ на базе ДВС для БЛА



2025

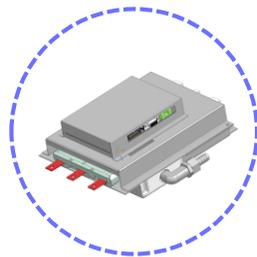
Сверхпроводниковый двигатель

\* источники бесперебойного питания

# ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИЛОВАЯ УСТАНОВКА

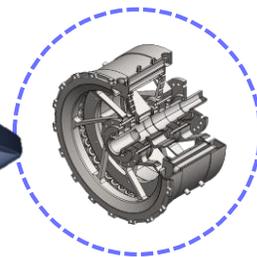
## Частотный преобразователь

- жидкостное охлаждение
- векторное управление двигателем
- мощность до 200 кВт



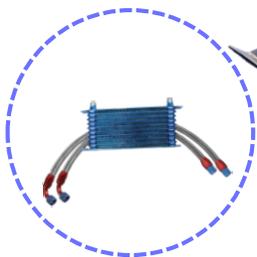
## Электродвигатель

- СДс ГМ
- жидкостное охлаждение
- мощность до 200 кВт (200 кВт в гике)



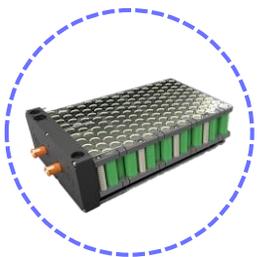
## Система охлаждения

- Конфигурация под конкретную ЭСУ

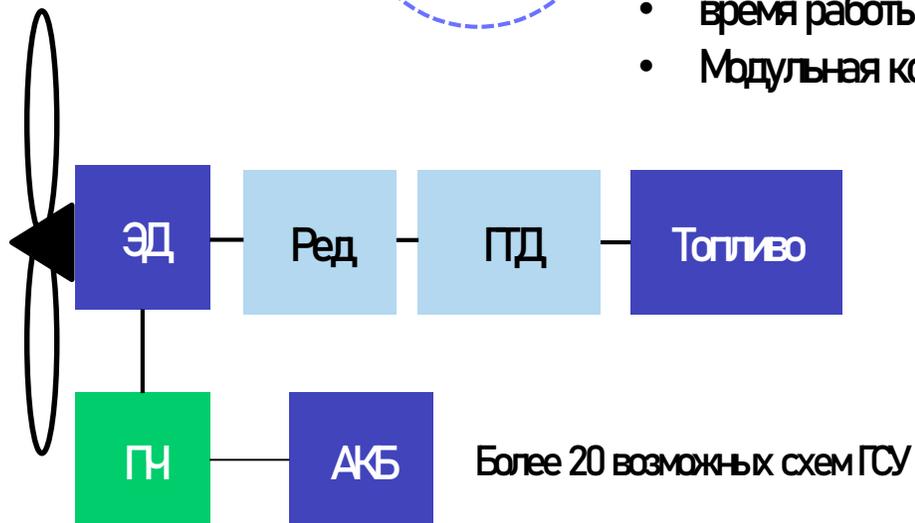


## Аккумуляторная батарея

- время работы до 25 мин
- Модульная конструкция



Может быть использована  
в составе ГСУ



# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭСУ

750..500В

300..240А

180 кВт – 5 мин +

130 кВт – 20 мин

170 кВт – 5 мин +

120 кВт – 20 мин

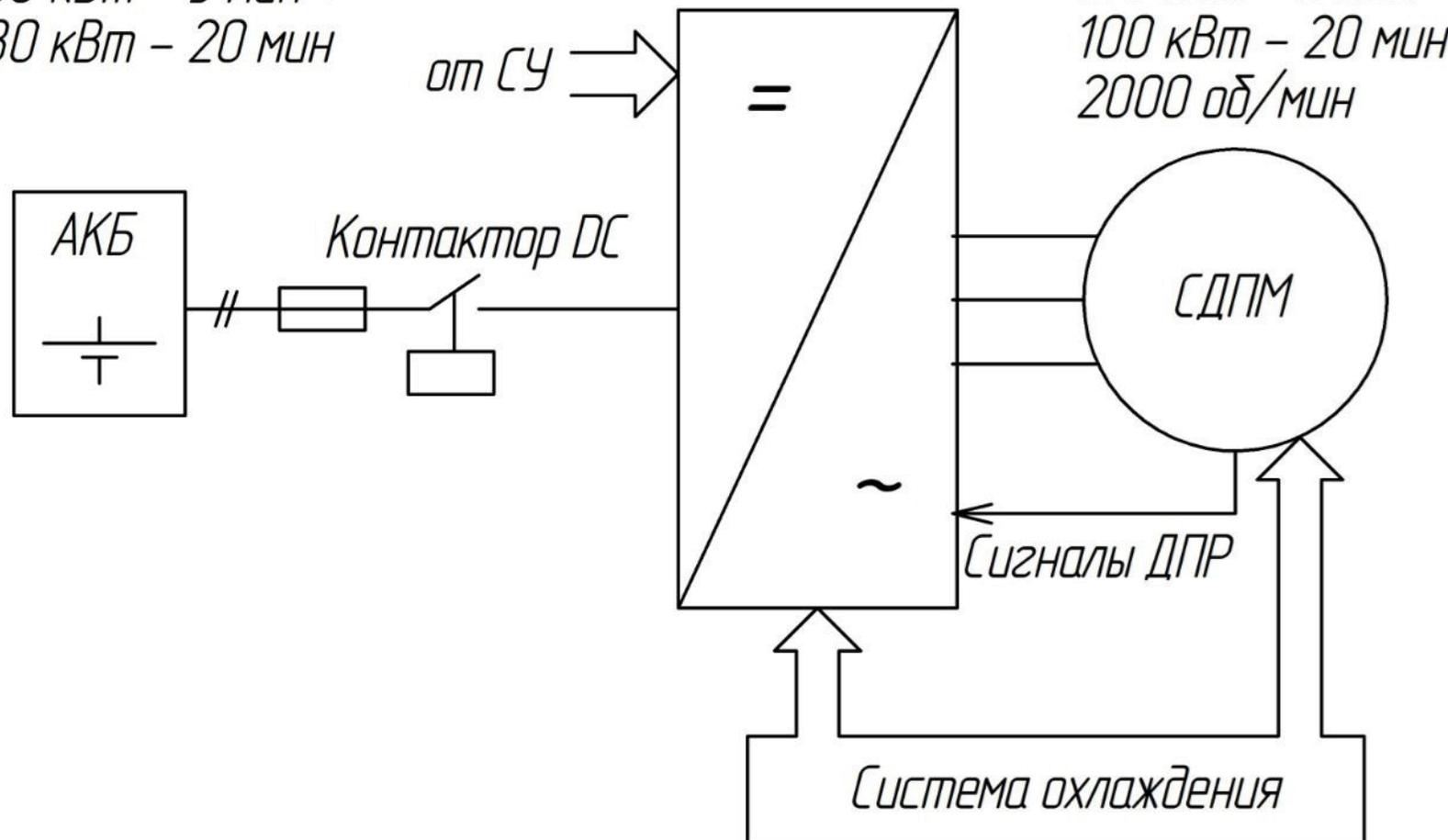
$U_{фд} = 200..240В$

$I_{фд} = 230..340А$

150 кВт – 5 мин +

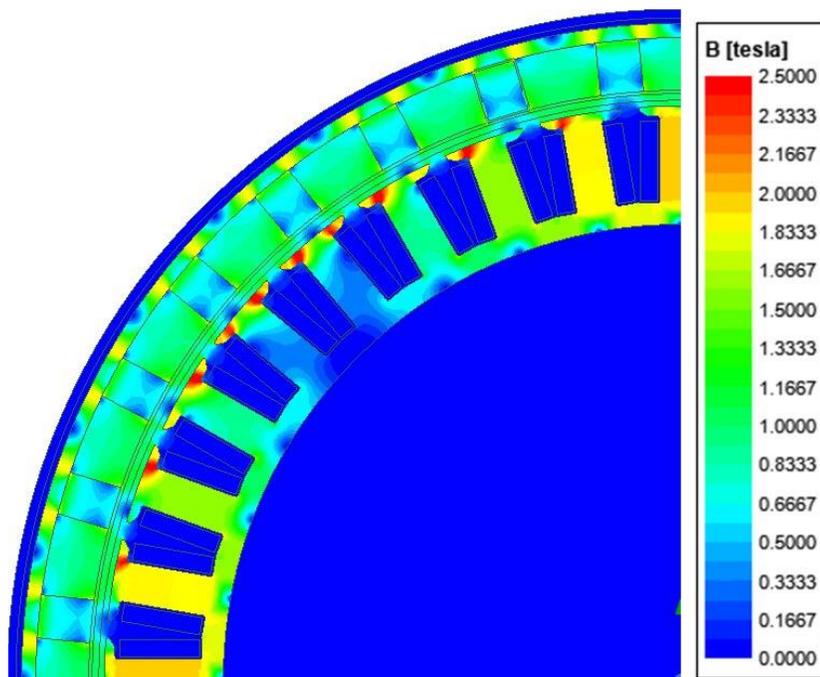
100 кВт – 20 мин

2000 об/мин



# ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ВД-150 МАИ

## Расчеты



150 кВт  
МОЩНОСТЬ

2000 мин<sup>-1</sup>  
ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ

239,5 мм  
Диаметр расточки якоря

85 мм  
Осевая длина якоря (индуктора)

16  
Число пар полюсов

220 °С  
Рабочая температура обмотки якоря

30 А/мм<sup>2</sup>  
Плотность тока

магнитная система Хальбаха

сталь 49К2ФА

магнит N50M

обращенная конструкция

зубцовая обмотка

# ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ВД-150 МАИ

## Охлаждение

- масляное охлаждение
- Хладагент ГМС-5
- капсулирование статора
- продув через предусмотренные отверстия в конструкции щитов и корпуса
- прокачка хладагента через газы статора и каналы над ним и через каналы между проводниками

3 мм

Величина немагнитного зазора

220 °С

Рабочая температура обмотки якоря

100 °С

Рабочая температура ГМ

300 °С

Температура кипения

-64 °С

Температура застывания

980 кг/м<sup>3</sup>

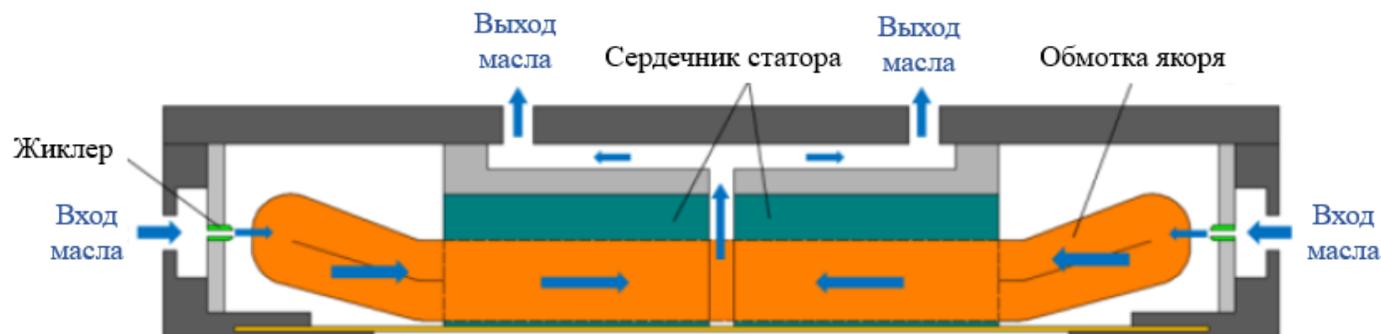
Плотность жидкости

1550 Дж/(кг·К)

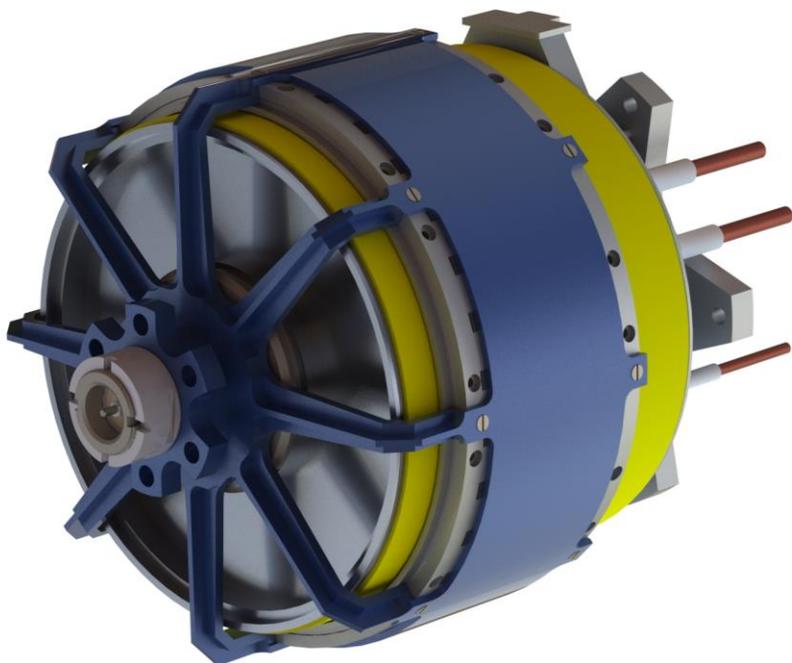
Удельная теплоемкость

0,167 Вт/(м·К)

Теплопроводность



# ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ВД-150 МАИ для привода винтов самолета



**100 кВт – 150 кВт**  
длительная мощность

**200 кВт**  
макс. мощность

**2000 мин<sup>-1</sup>**  
номинальная частота вращения

**4000 мин<sup>-1</sup>**  
макс. частота вращения

**30 кг**  
сухая масса

**240 В**  
напряжение питания

**275 мм**  
внешний диаметр

**344 мм**  
осевая длина

**9000 Н**  
макс. аксиальное усилие

**-50...+60 °С**  
температура эксплуатации



Возможность модификации  
под другое напряжение



Отечественные материалы



Датчик положения ротора



Жидкостное охлаждение



Универсальное применение: авиа, наземное, морское

# СРАВНЕНИЕ ИМВУЩИХСЯ ЭСУ

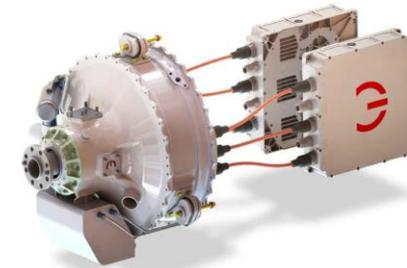
Разработанный электродвигатель не уступает зарубежным аналогам



RR SP260D



RR SP200D



Magni250



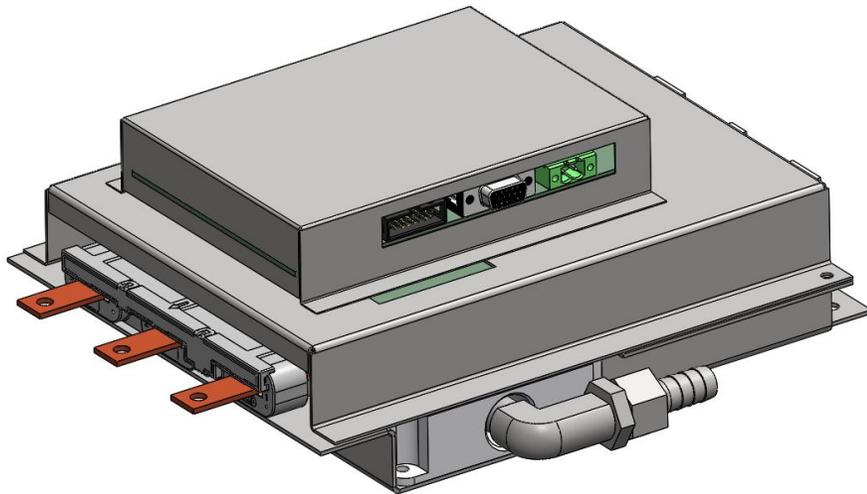
ВД-150 МАИ

Мощность, кВт	260	204	280	150
Частота вращения, об/мин	2500	1300	1900	2000
Напряжение, В	580	450-850	540	500-750
Охлаждение	Масло	Масло Syltherm 800	Масло	Масло
КПД, %	95	-	93	95
Масса, кг	50	49	72	30
Удельная мощность, кВт/кг	5,22	4,16	-	5

Электрические машины с высоким показателем удельной мощности / Н. С. Иванов, С. В. Журавлев, О. А. Харьковина [и др.] // Электротехника. – 2022. – №10. – С. 2-11. – DOI 10.53891/00135860\_2022\_10\_2

# ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ

## Для управления электродвигателем



**120 кВт**  
длительная мощность

**170 кВт**  
максимальная мощность (5 мин)

**500-750 В**  
напряжение питания

**10 кГц** частота ШИМ

**>0,95** КПД

**277x250x89 мм**  
габаритные размеры

**7 кг**  
сухая масса

**-40...+60 °C**  
температура эксплуатации

**CAN RS-485**  
поддерживаемые цифровые интерфейсы

● Компактная конструкция

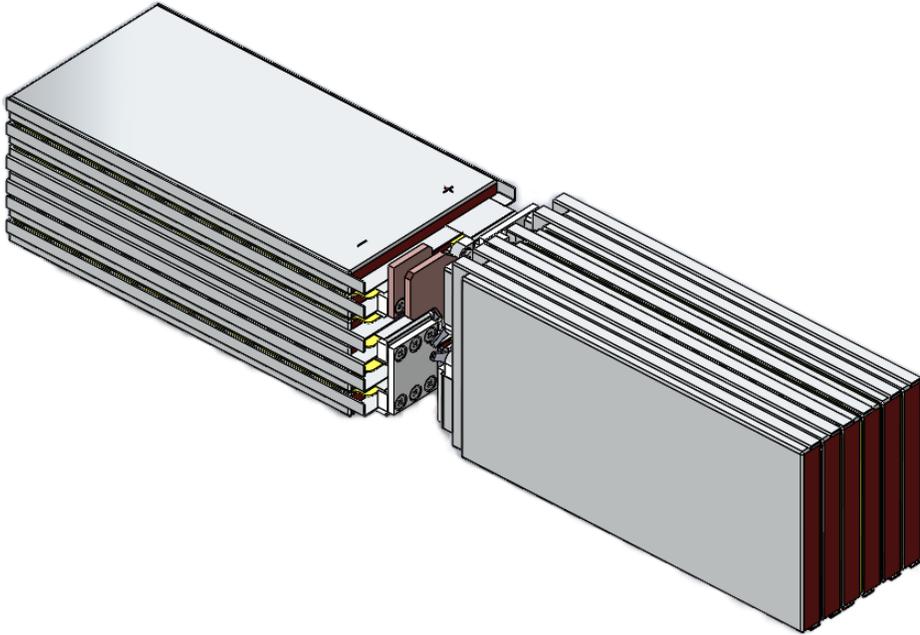
● SiC-транзисторы

● Жидкостное охлаждение

● Векторное управление

● Работает с датчиками положения и без них

# АККУМУЛЯТОРНАЯ БАТАРЕЯ



**130 кВт**  
длительная мощность

**180 кВт**  
максимальная мощность

**750 В- 500 В**  
диапазон выходного напряжения

**90 кВт·ч**  
номинальная емкость

**300 кг**  
масса

**1400x800x300 мм**  
Габаритные размеры

**-30...+50 °С**  
температура эксплуатации

● Воздушное охлаждение

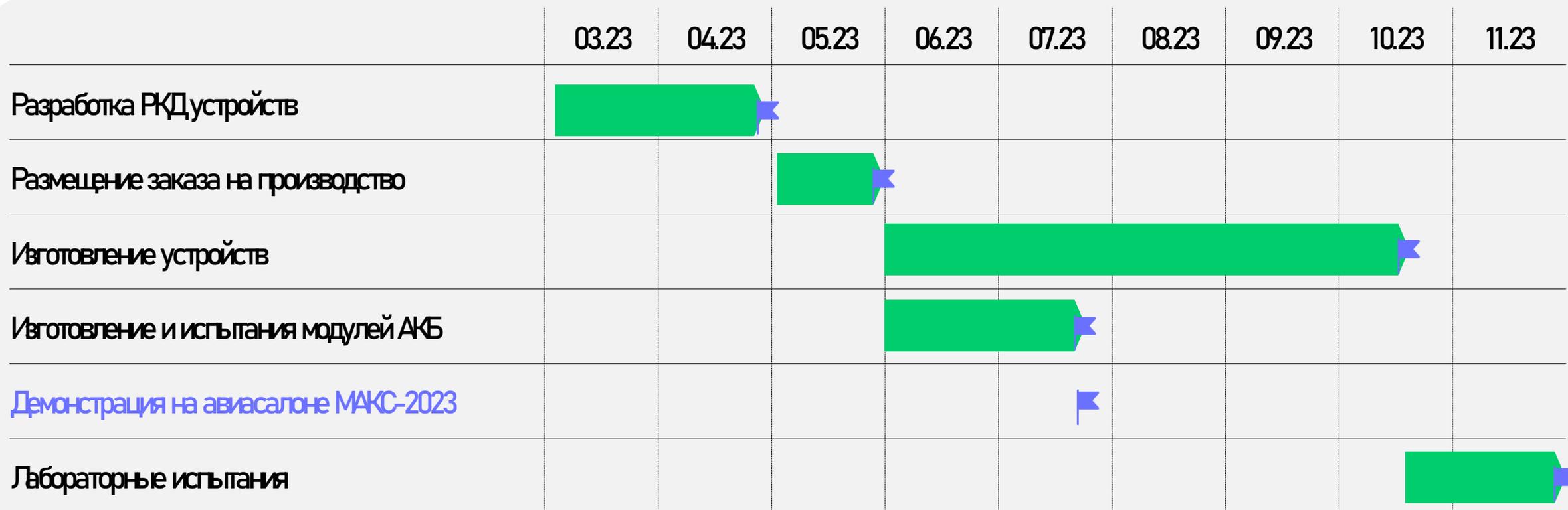
● Модульная конструкция

● Ячейки Li-pol  
-емкость 30 Ач, ток разряда 5С  
- масса 420 г

● Максимально-облегченная конструкция

● Возможность увеличивать емкость путем параллельного включения модулей по 30 Ач

# ДОРОЖНАЯ КАРТА СОЗДАНИЯ ЭСУ



Разработка всех устройств ведется параллельно в тесной кооперации с партнерами. Это позволяет в сжатые сроки получить первый образец и провести его испытания. При этом каждый элемент пройдет автономные исследовательские испытания, после чего вся система в целом будет установлена на стенд для испытаний.

**ПРИГЛАЩАЕМ ВАС ОЗНАКОМИТЬСЯ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ РАБОТЫ НА АВИАСАЛОНЕ МАКС 2023!**

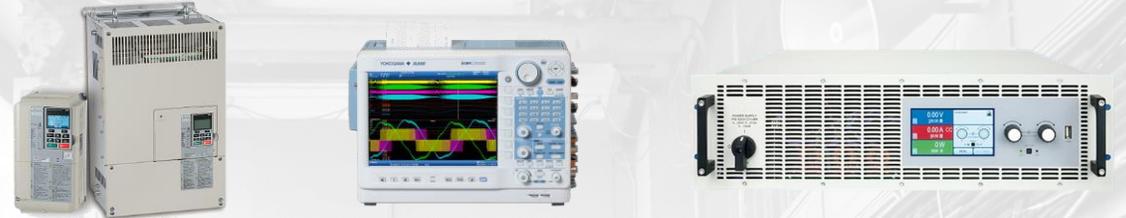
# ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

## СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН МОЩНОСТЬЮ ДО 75 КВТ  
И ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ ДО 6000 ОБ/МИН В СОСТАВЕ

1. Асинхронный двигатель
2. Преобразователи частоты с рекуперацией
3. Источник постоянного тока/возбудитель
4. Датчики момента НВМ, Magtrol
5. Пульт управления на базе ПО LabView Full

- Электронные нагрузки
- Шкаф нагрузок постоянно и переменного тока до 100 кВт
- Управляемые источники постоянного и переменного тока
- Измерительные датчики



# КООПЕРАЦИЯ



Трансконвертер



# КОМАНДА КАФЕДРЫ 310

более 60 сотрудников

17

кандидатов  
технических наук

5

докторов  
технических наук

11

аспирантов

6

студентов



 [www.mai310.ru](http://www.mai310.ru)

 [mai310.ru](https://www.instagram.com/mai310.ru)

 [kaf310@mai.ru](mailto:kaf310@mai.ru)