

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НАГРУЗОК НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕЦИАЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

**Подготовила:**

**Большошапова А.А.**

**Руководитель:**

**д.т.н., профессор Тюков В.А.**

# ВВЕДЕНИЕ

## **Актуальность**

Вопросы теории и проектирования электрических машин специального назначения еще недостаточно развиты, ведутся исследования магнитных полей и параметров в различных программных средах, таких как FEMM, MathCad, MotorCad и т. д.

- ▣ **Объект исследования** – синхронный двигатель с постоянными магнитами специального назначения.
- ▣ **Предмет исследования** – электромагнитные нагрузки в СД с постоянными магнитами специального назначения.



# ВВЕДЕНИЕ

## ОСОБЕННОСТИ машины:

- **Высококоэрцитивные магниты** => зависимость работоспособности машины от температуры магнитов
- Синхронный двигатель с ПМ выполнен в габаритах асинхронного двигателя промышленного исполнения с соизмеримой мощностью



# ВВЕДЕНИЕ

**Цель работы – исследование электромагнитных нагрузок для проектирования и конструирования СД с постоянными магнитами специального назначения имеющих лучшие характеристики.**

## **Задачи:**

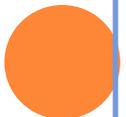
- ▣ провести анализ технического задания и разработать конструкцию электродвигателя;
- ▣ провести ретроспективный анализ проблемной области;
- ▣ провести исследование электромагнитных нагрузок.
- ▣ провести электромагнитный расчет электродвигателя в соответствии с техническим заданием;
- ▣ провести тепловой расчет спроектированного двигателя;
- ▣ описать и обосновать выбранную конструкцию;
- ▣ описать процесс изготовления основных деталей двигателя;
- ▣ рассмотреть вопросы связанные с БЖД и охраной труда в соответствии с СанпиН
- ▣ провести оценку экономической эффективности



# ВВЕДЕНИЕ

В работе получены следующие результаты, характеризующиеся **научной новизной**:

- исследовано влияние электромагнитных нагрузок на характеристики специальных синхронных двигателей с постоянными магнитами.



# РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ

## «Синхронная магнитоэлектрическая машина»

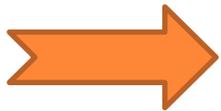
### Распределение количества охранных документов по странам поиска

Страна	США	Германия	Франция	Япония	РФ и СССР	Европейское патентное ведомство	Всемирная организация ИС
Кол.	223	14	14	328	106	127	203

### Интенсивность оформления охранных документов по годам

Год	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Кол.	1	6	2	2	3	3	1	1	2	1
Год	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2012	2013
Кол.	3	4	4	151	199	190	155	236	30	8

Патентные исследования проводились на основе данных, полученных в Патентных фондах: поисковой системе Роспатента (открытые реестры, базы данных Роспатента) с ретроспективой 20 лет



**Возросшие требования к повышению технико-экономических показателей машин обуславливают рост научных исследований в области электромагнитных и тепловых расчётов.**



# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НАГРУЗОК

$A$ - линейная нагрузка [А/м]

$B_{\delta}$  – электромагнитная индукция в зазоре [Тл]

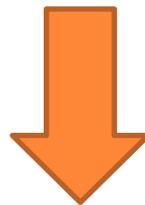
$A$  и  $B_{\delta}$  определяются габаритами машины: чем больше эти величины, тем меньше её размеры. Однако при чрезмерных значениях, происходит насыщение участков магнитопровода машины, что приводит к увеличению размеров машины.



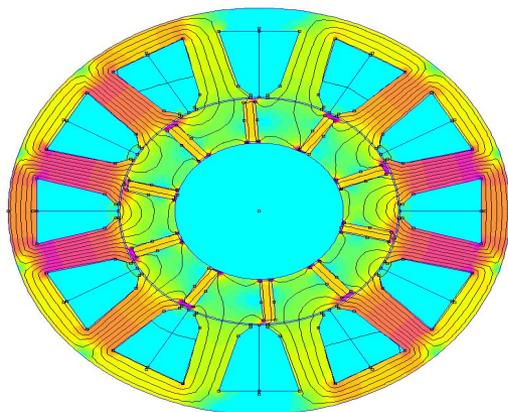
## ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКИ

Для анализа примем значения  $A=42000\text{A/м}$ ,  
 $A=21000\text{A/м}$ ,  $A=10000\text{A/м}$ .

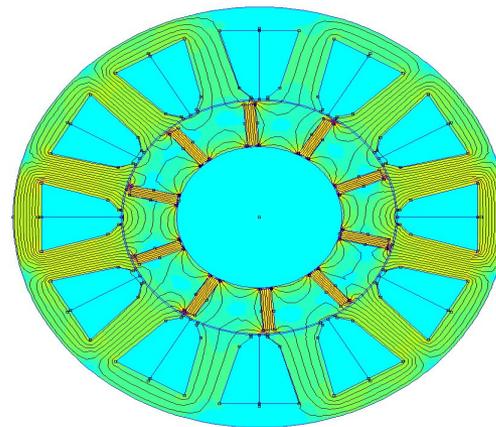
- Пересчитав электромагнитный расчёт на линейные нагрузки указанные выше, построим модели ЭД в программе FEMM. Полученные модели представлены на рисунках.



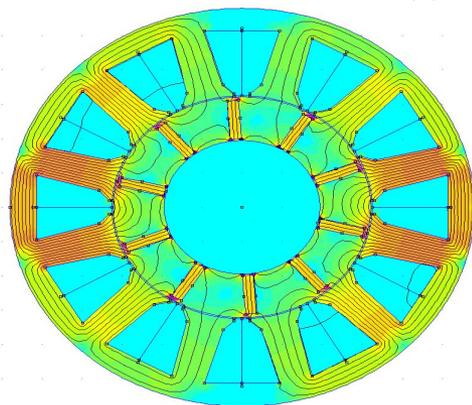
# ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКИ



Модель исследуемого ЭД при линейной нагрузке  $A=42000\text{A/м}$ .



Модель исследуемого ЭД при линейной нагрузке  $A=10000\text{A/м}$ .



Модель исследуемого ЭД при линейной нагрузке  $A=21000\text{A/м}$ .



# ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКИ

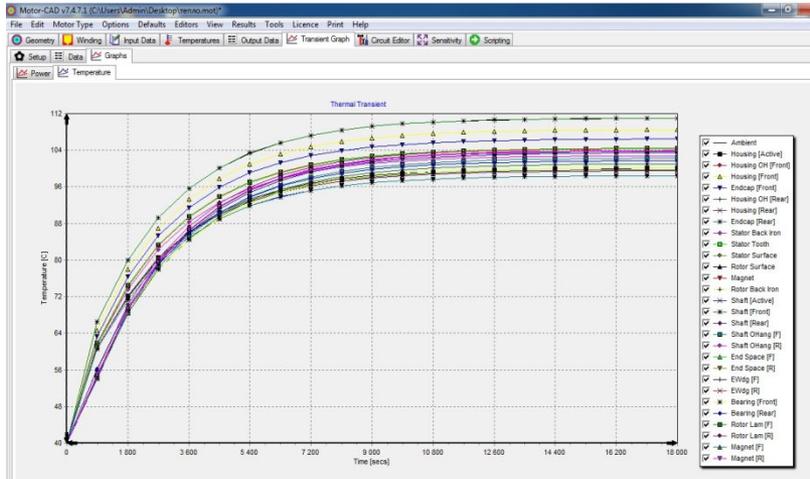


График нагрева исследуемого ЭД при линейной нагрузке  $A=42000\text{A}/\text{м}$ .

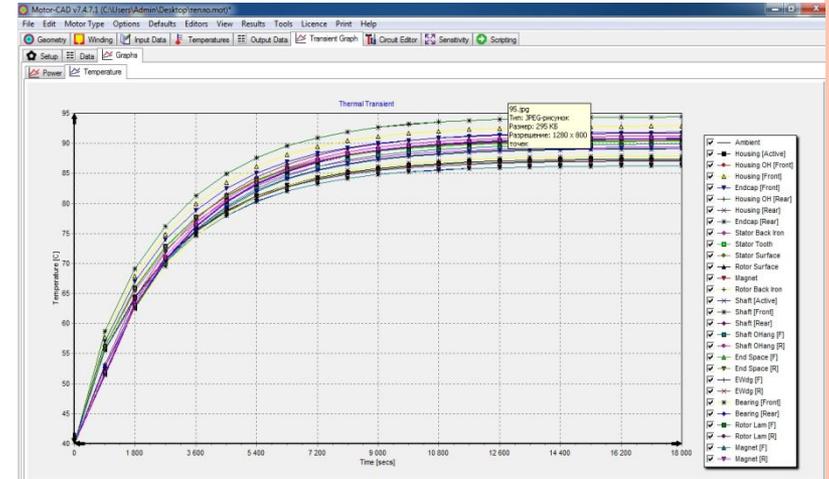


График нагрева исследуемого ЭД при линейной нагрузке  $A=10000\text{A}/\text{м}$ .

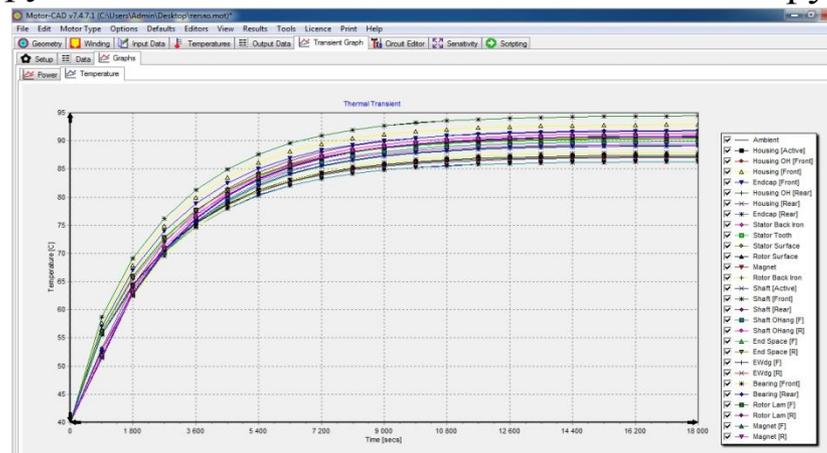


График нагрева ЭД при линейной нагрузке  $A=21000\text{A}/\text{м}$ .



# ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКИ

Линейная нагрузка А, А/м	Плотность тока J, А/м <sup>2</sup>	Максимальный Момент на валу M <sub>макс</sub> , Н*м	Температура нагрева обмотки T, °С.
21000	4,4	12	96,7
42000	8,8	14,2	108,5
10000	2,2	10,4	92,3



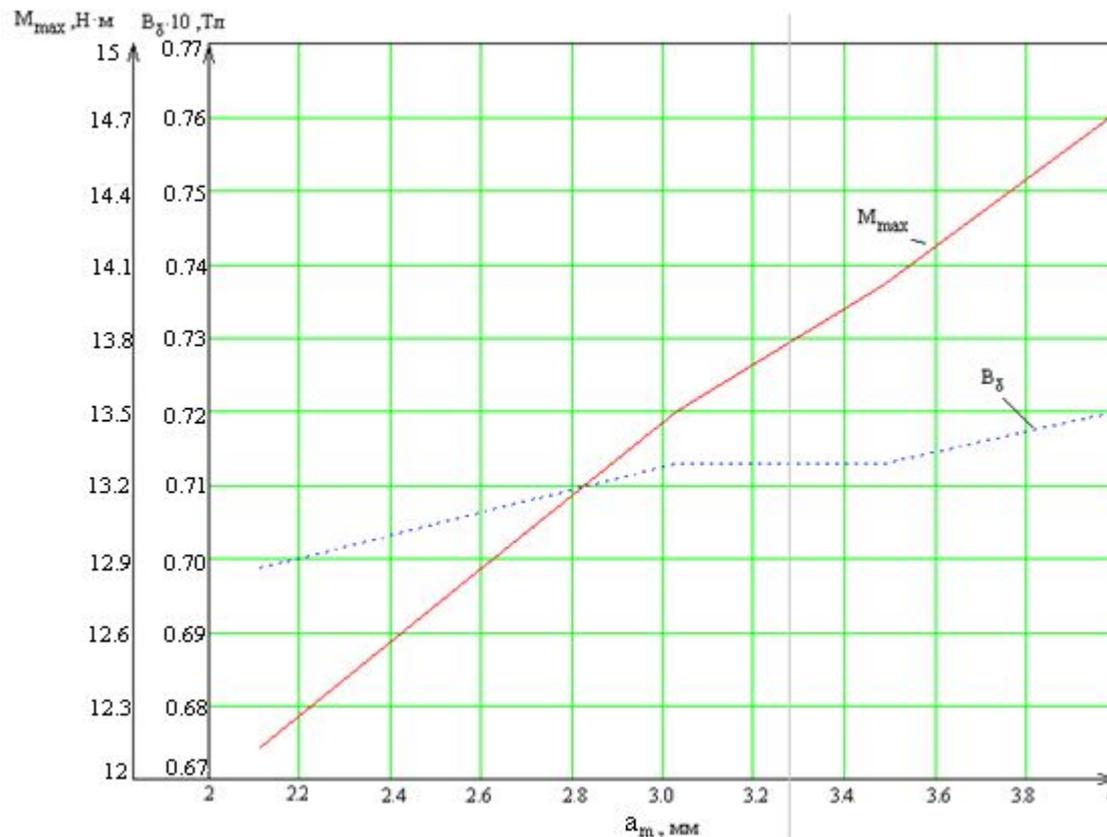
# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Для анализа  $B_\delta$  построим несколько моделей электродвигателя в программе FEMM с различной шириной магнитов, так как именно ширина магнита  $b_m$  влияет на величину магнитной индукции в воздушном зазоре  $B_\delta$ .

Ширина магнита $a_m$ , мм.	Момент $M_{max}$ , Н*м.	Электромагнитная индукция в зазоре $B_\delta$ , Тл.
2	12	0,69
2,8	13,5	0.71
3,5	14,34	0.71
4	14,78	0.72



# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ



Графики изменения момента  $M_{max}$  и индукции  $B_\delta$  от ширины магнита  $b_m$



# АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

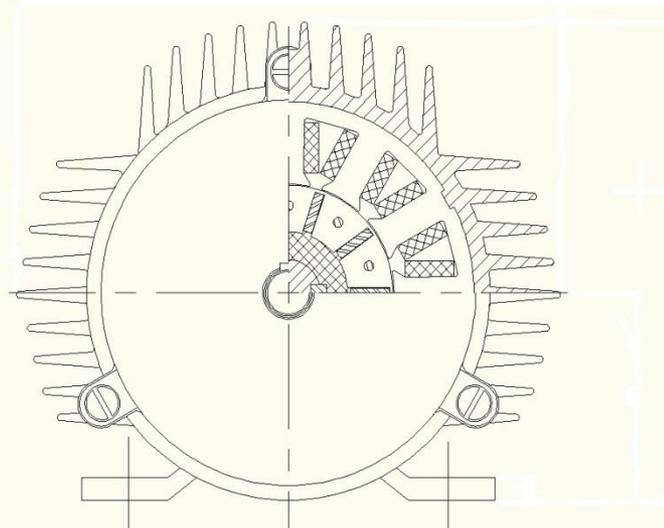
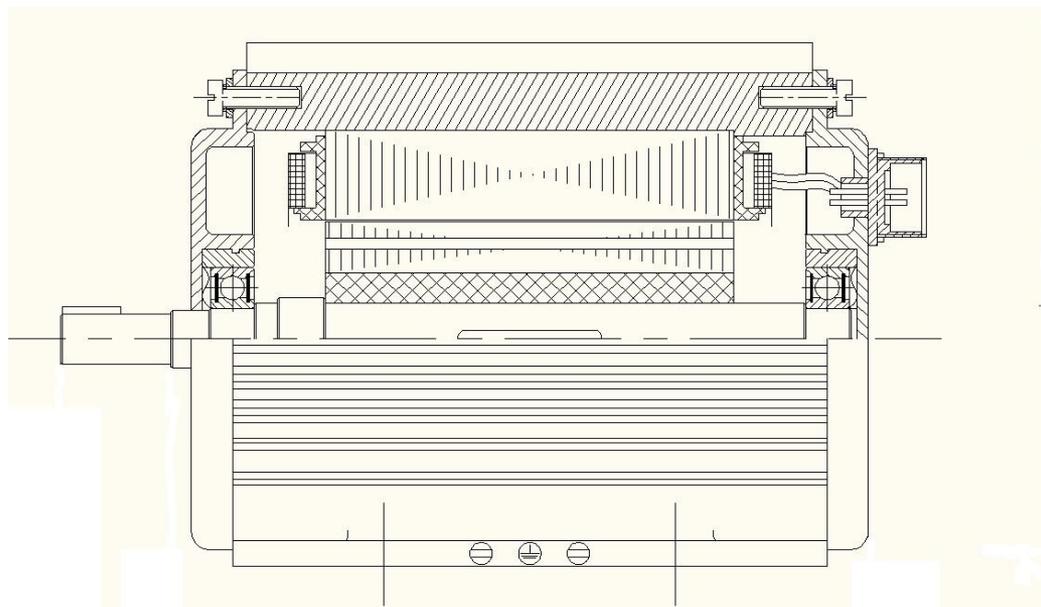
- На основе полученных данных, для СД с постоянными магнитами специального назначения, можно сделать вывод, что при заданных пределах линейной нагрузки, перегрев обмотки статора в пазовой части, имеет допустимые значения. Это позволяет с уверенностью сказать, что изоляция применяемого провода не только выдерживает воздействие максимальной температуры за время работы двигателя, но и обладает хорошим запасом прочности.
- Величина магнитной индукции в зазоре определяется в основном геометрией магнита и его маркой. В конструкции данных машин применяются магниты марки NeFeB. Ширина магнита определяется по формуле:

$$b_m = \alpha_\delta \cdot \tau_2$$

- Допустимо отклонение от  $b_m = \alpha_\delta \cdot \tau_2$   $\pm 10\%$ . При этом в диапазоне, сохраняются прочность и необходимый момент на валу двигателя.



# ОПИСАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ



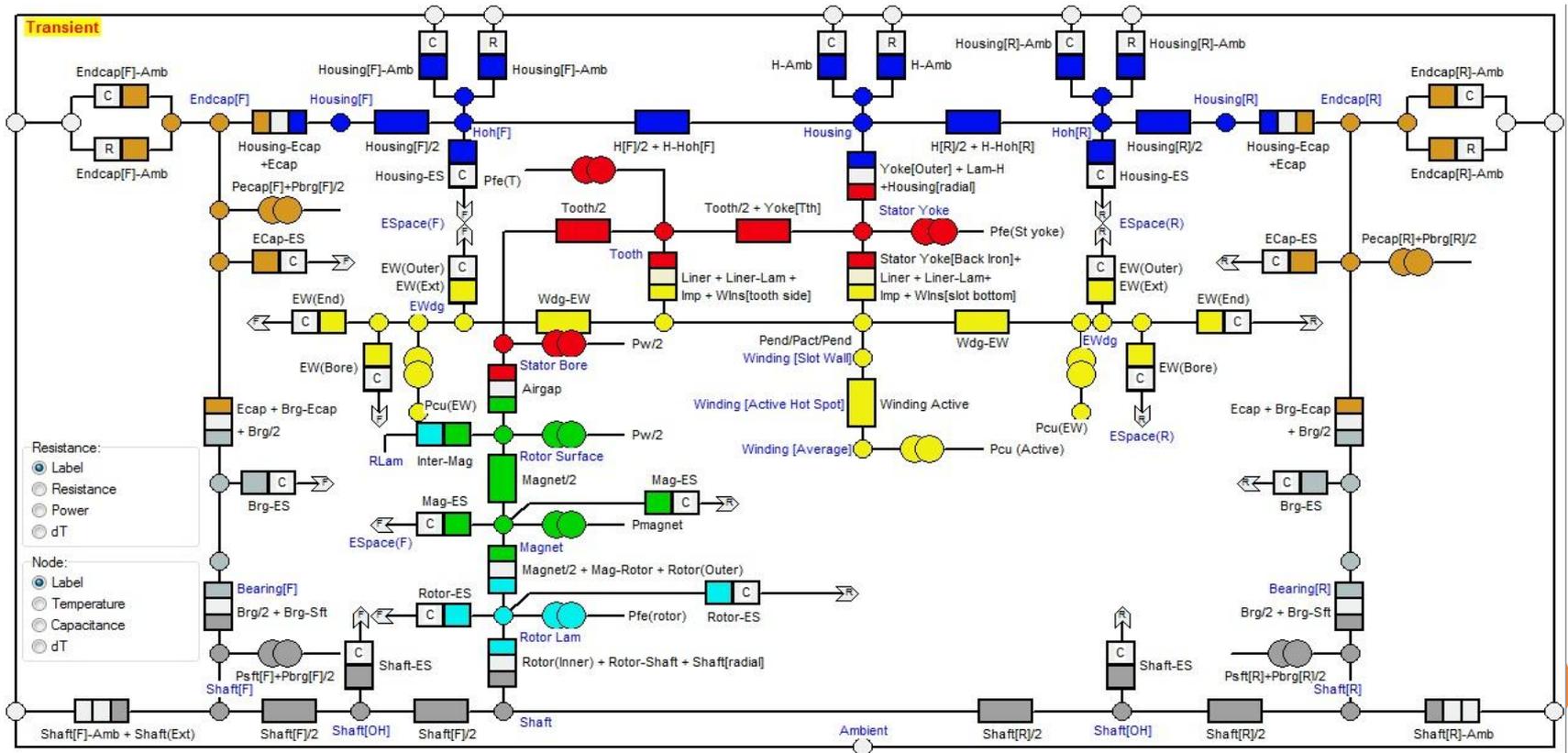
## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАСЧЕТА

№	Параметр	Обозн.	Ед. изм.	Зна-е
1	Напряжение питания (DC в БУ)	$U_{DC}$	В	170
2	Фазное напряжение (действ.)	$U_{\phi}$	В	98.1
3	Номинальный ток (действ.)	$I_n$	А	9.7
4	Номинальный момент	$M_n$	Н·м	10
5	КПД	$\eta$	-	0.889
6	Число пар полюсов	p	-	5
7	Частота вращения	n	об/мин	3000
8	Диаметр расточки	D	м	0.065
9	Зазор	$\delta$	м	0.00035
10	Длина магнитов	$l_m$	м	0.112
11	Диаметр наружный	$D_a$	м	0.116

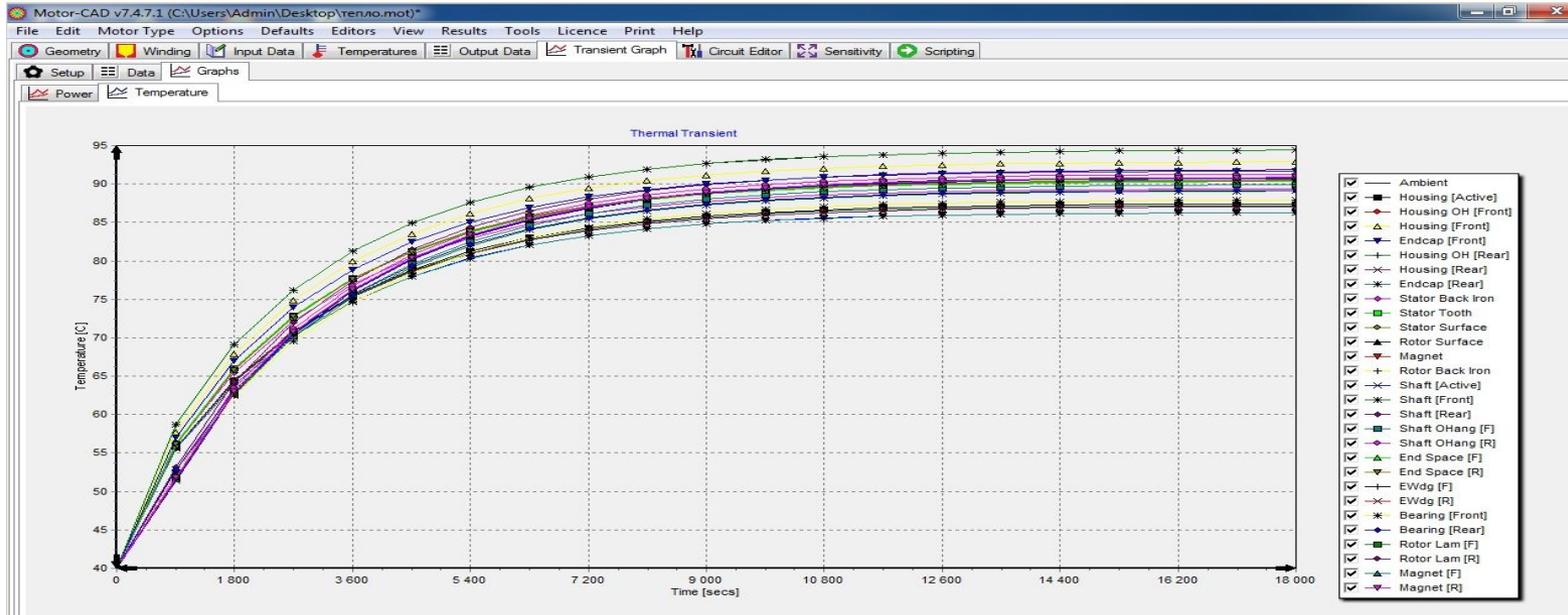


# ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ

Тепловой расчёт выполняется для оценки тепловой надежности ЭД и приближённого определения превышения температуры отдельных его частей. Тепловая схема замещения, используемая для расчета, представлена на рисунке.



# ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ



Параметр	Ед. измерения	Значение
Плотность тока	A/m <sup>2</sup>	4.4
Температура корпуса	°C	91.1
Температура обмотки	°C	96.7
Температура магнитов	°C	94.7
Температура переднего подшипника	°C	91.5
Температура заднего подшипника	°C	92.8



# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

№ п/п	Технические показатели	Единица измерения	АД (4А80В2У3)	СД 1
1	Номинальная мощность	кВт	2.2	2.2
2	Синхронная частота вращения	об/мин	3000	3000
3	Коэффициент мощности	о.е.	0.87	0.9
4	КПД	%	83	88.9
5	Масса	кг	20.4	9.44



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

