

приоритет



Южно-Уральский
государственный
университет
Национальный
исследовательский
университет

Использование возможностей искусственных
нейронных сетей с машинным обучением для
оптимального проектирования электрических
машин общепромышленного назначения

Студент: Денисов Вадим Денисович

Руководитель: д-р т.н., профессор, член-корреспондент АЭН РФ

Ганджа Сергей Анатольевич

Актуальность темы

Современное развитие промышленного производства и повышение его энергоэффективности требует использования высококачественных электродвигателей. Постоянное совершенствование их характеристик и улучшение эксплуатационных свойств являются приоритетными задачами на всех этапах разработки.

Промышленные серии асинхронных электродвигателей



Промышленные серии АД, АИР, АИРМ, 5АМХ, 5АМ, А, АД, АДМ, АДММ, 4А, 4АМ,
5АМУ, 4АМУ, 6АМУ, 6А, АИР, АИРМ, 5АМХ, 5АМ, А, АД, АДМ, АДММ, 4А, 4АМ, 5АМУ,
4АМУ, 6АМУ, 6А

В процессе развития электроэнергетики в стране с 1920 г. в разные периоды создано несколько серий асинхронных электродвигателей. Они постоянно совершенствуются, и проектирование новых серий электродвигателей является весьма актуальной задачей.

Электродвигатели 5АИ

Категории



Общепромышленные
электродвигатели



Взрывозащищенные
электродвигатели



Высоковольтные
электродвигатели



Крановые
электродвигатели



Однофазные
электродвигатели



Электродвигатели с
тормозом



Специальные
электродвигатели

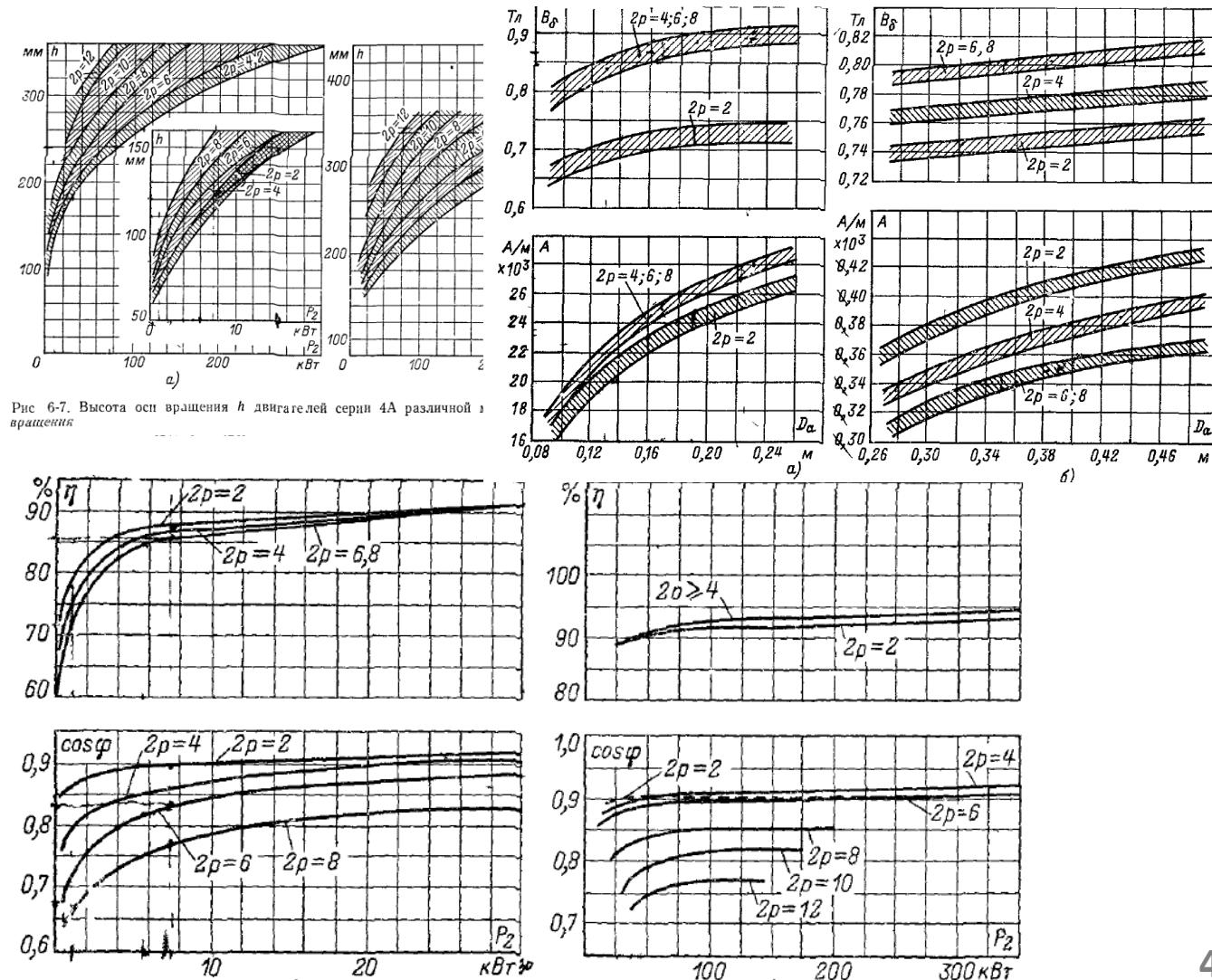


Запасные части и
комплектующие для
электродвигателей

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Под редакцией И. П. КОПЫЛОВА

Качество проектирования во многом зависит от опыта проектировщика. Одну и ту же машину разные разработчики проектируют по-разному и получают отличный друг от друга результат. Это обусловлено тем, что при проектировании возникает необходимость выбора параметров, которые варьируются в широком диапазоне.



Цель работы

Цель представляемой вашему вниманию работы заключается в том, чтобы на основе большой статистики уже спроектированных электродвигателей определить закономерности и использовать их для проектирования АД произвольной мощности и частоты вращения. А также, чтобы двигатели, близкие к апробированным, проектировали не только люди с большим опытом, но и начинающие конструктора.

Задачи

1. Аналитический обзор научно-технической, нормативной и методической литературы по тематике работы.
2. Разработка базы данных для асинхронных двигателей серии 4А и их коэффициентов.
3. Проектирование удобного интерфейса.
4. Проведение тестов программного кода.

Справочный материал

Первым этапом выполнения ВКР было формирования статистической базы.

За основу статистической базы взят справочник по общепромышленной серии 4А. Из этого справочника была сформирована структурированная база данных.

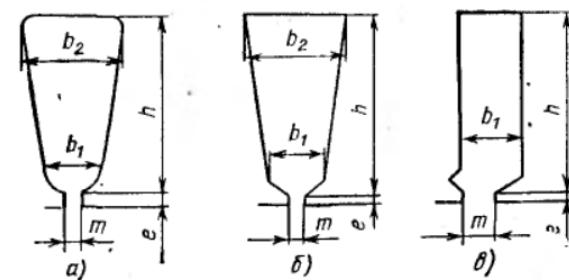


Рис. 6.1. Форма и размеры пазов статора.

n — число элементарных проводников в одном эффективном;
 a — число параллельных ветвей обмотки фазы;
 d — номинальный диаметр проволоки;
 d' — средний диаметр провода;
 $a \times b$ — номинальные размеры прямоугольной проволоки;
 $A \times B$ — номинальные размеры прямоугольного провода; при волновой обмотке ротора — размеры стержня с гильзовой изоляцией;
 $k_{об}$ — обмоточный коэффициент;
 l_w — средняя длина витка;
 $r_{1(20)}$ — активное сопротивление обмотки фазы статора при 20°C;
 $r_{2(20)}$ — активное сопротивление обмотки фазы ротора при 20°C;
 G_m — масса обмотки;
 a_k — средний размер короткозамыкающего кольца в аксиальном направлении;
 b_k — средний размер короткозамыкающего кольца в радиальном направлении.
Обозначения размеров пазов статора приведены на рис. 6.1, а—в,

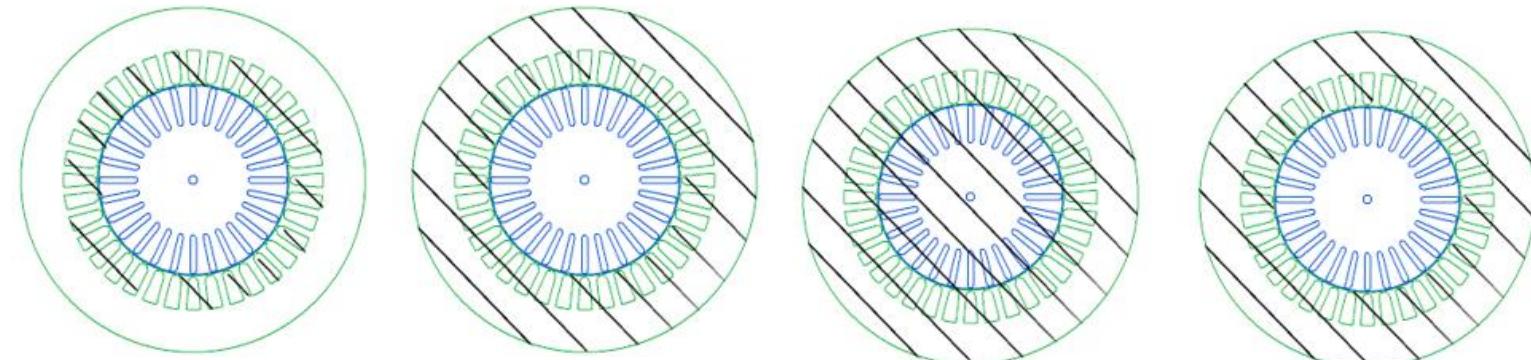
Формирование обобщенных переменных

После обработки этой базы данных для всех двигателей серии определены так называемые обобщенные переменные.

Они представляют собой отношение площадей активных зон.

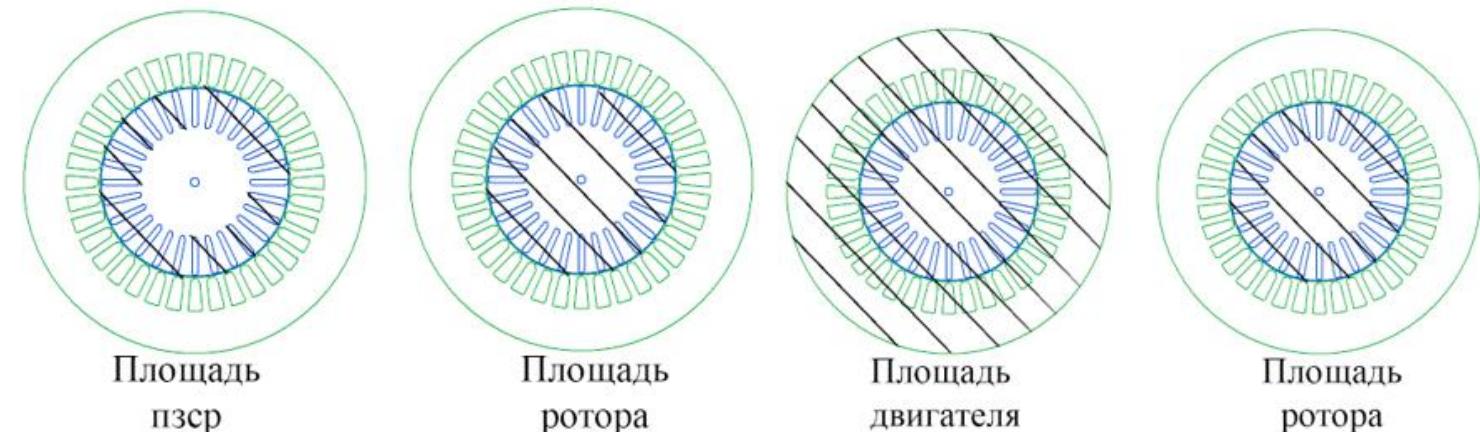
$$f_{e1} = \frac{S_{\text{пзср}}}{S_{\text{статора}}}$$

$$f_{s1} = \frac{S_{\text{статора}}}{S_{\text{двигателя}}}$$



$$f_{e2} = \frac{S_{\text{пзср}}}{S_{\text{ротора}}}$$

$$f_{s2} = \frac{S_{\text{ротора}}}{S_{\text{двигателя}}}$$

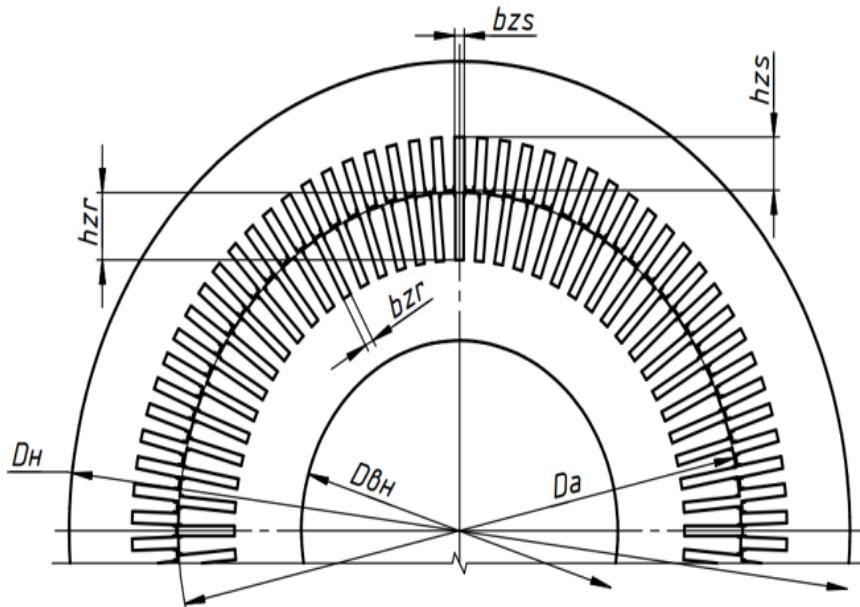


Определение геометрии нового АД на основе обобщенных переменных

Определены:

1. Статистические зависимости диаметра расточки якоря от мощности и числа полюсов.
2. Статистические зависимости обобщенных переменных от диаметра расточки якоря.

Эти зависимости имеют сложный непредсказуемый характер. Для их формирования используются возможности современных нейросетей, которые приспособлены для аппроксимации сложных зависимостей.



$$D_{\text{BH}} = D_H \times \sqrt{1 - f_s};$$

$$D_a = D_H \times \sqrt{1 - f_s + f_a \times f_s};$$

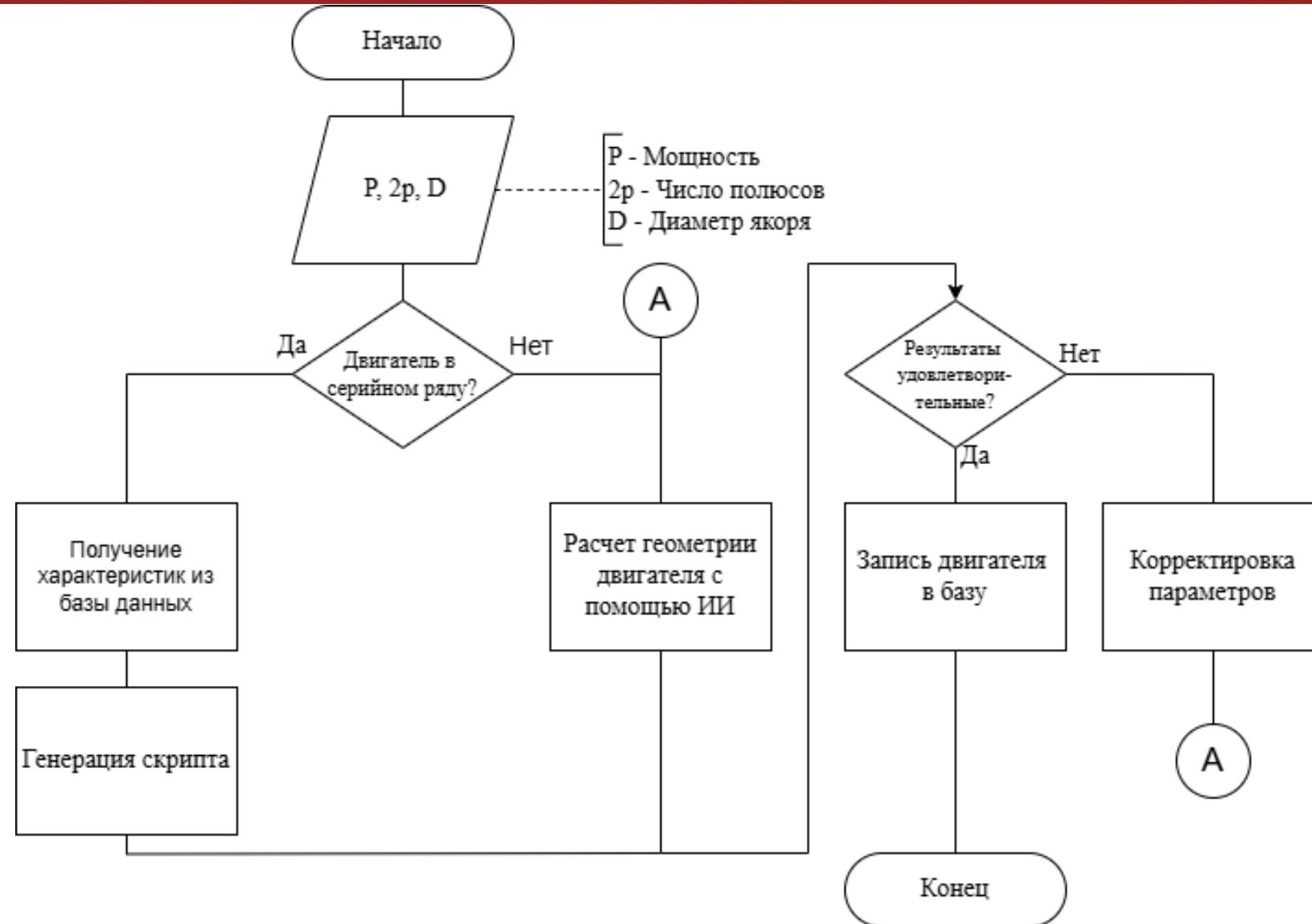
$$h_{zr} = 0,5 \times D_H \times (\sqrt{1 - f_s + f_a \times f_s} - \sqrt{1 - f_s + f_a \times f_{er} + f_a \times f_s});$$

$$b_{zr} = \frac{\pi \times D_H \times f_{zr}}{2 \times z_p} * (\sqrt{1 - f_s + f_a \times f_s} + \sqrt{1 - f_s + f_a \times f_{er} + f_a \times f_s});$$

$$h_{zs} = 0,5 \times (\sqrt{f_{es} \times D_H^2 - (D_a + 2 \times \delta)^2} \times (f_{es} + 1) - D_a - 2 \times \delta);$$

$$b_{zs} = \frac{f_{zs} \times f_{es} \times \pi \times (D_H^2 - (D_a + 2 \times \delta)^2)}{4 \times z_s \times h_{zs}}$$

Блок-схема процесса проектирования



База данных

 База данных параметров двигателей

База данных параметров двигателей

Добавить двигатель

Просмотреть двигатели

Экспорт базы данных

Импорт базы данных

 Добавить новый двигатель

Основные параметры **Параметры статора** **Обмотка статора** **Параметры ротора** **Обмотка ротора**

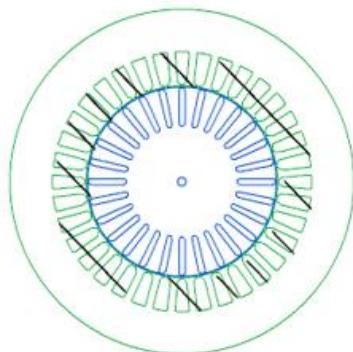
Основные параметры

Обозначение (name):	<input type="text"/>
Мощность (power) (кВт):	<input type="text"/>
Число полюсов (pole_number):	<input type="text"/>
Высота оси вращения (shaft_height) (мм):	<input type="text"/>
Линейное напряжение (voltage):	<input type="text"/>
Коэф. добавочных потерь (Stray_Loss_Factor):	<input type="text"/>
Потери на трение (Frichional_loss) (W):	<input type="text"/>
Потери на вентиляцию (Windage_loss) (W):	<input type="text"/>
Номинальная скорость (Reference_speed) (RPM):	<input type="text"/>
Номинальная мощность (Rated_Output_Power) (W):	<input type="text"/>
Номинальное напряжение (Rated_Voltage) (V):	<input type="text"/>
Номинальная скорость (Rated_Speed) (RPM):	<input type="text"/>
Рабочая температура (Operating_Temperature) (°C):	<input type="text"/>
Тип соединения фаз (Winding_connecting):	<input type="text"/>
Частота питающего напряжения (Frequency) (Hz):	<input type="text"/>

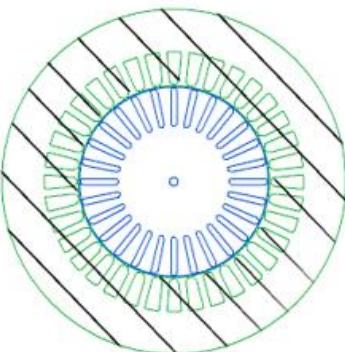
id	обозначение	мощность_квт	число_полюсов	высота_оси	напряжение	индукция_в_зазоре	линейная_нагрузка	плотность_тока	KPD	cosfi	наружный_диаметр
1	4A200L2Y3	45.0	2	200.0	220/380	0.79	40700.0	4.9	0.91	0.9	349.0
2	4A200L2Y3	45.0	2	200.0	380/660	0.79	40700.0	4.9	0.91	0.9	349.0
3	4A200L4Y3	45.0	4	200.0	220/380	0.73	36200.0	5.6	0.92	0.9	349.0
4	4A200L4Y3	45.0	4	200.0	380/660	0.73	36200.0	5.6	0.92	0.9	349.0
6	4A250S6Y3	45.0	6	250.0	220/380	0.76	36600.0	5.1	0.915	0.89	437.0
7	4A250S6Y3	45.0	6	250.0	380/660	0.76	36600.0	5.1	0.915	0.89	437.0
9	4A250M8Y3	45.0	8	250.0	220/380	0.83	38200.0	5.4	0.91	0.84	437.0
10	4A250M8Y3	45.0	8	250.0	380/660	0.83	38200.0	5.4	0.91	0.84	437.0
11	4A280M10Y3	45.0	10	280.0	220/380	0.78	41100.0	4.6	0.915	0.78	520.0
12	4A315S12Y3	45.0	12	315.0	220/380	0.75	38400.0	4.2	0.91	0.75	520.0

Формирование обобщенных переменных

$$f_{e1} = \frac{S_{\text{пзсст}}}{S_{\text{статора}}}$$

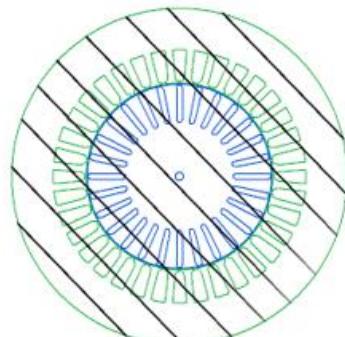


Площадь
пзсст

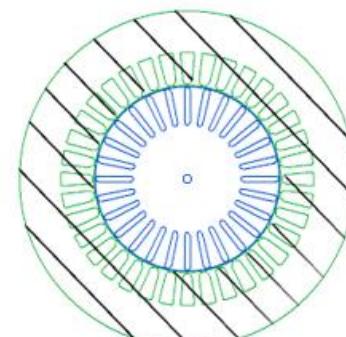


Площадь
статора

$$f_{s1} = \frac{S_{\text{статора}}}{S_{\text{двигателя}}}$$

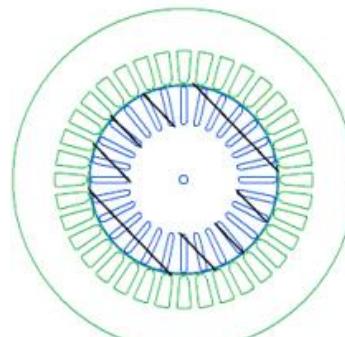


Площадь
двигателя

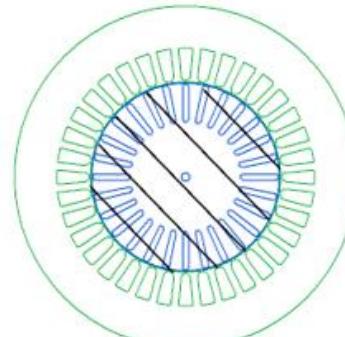


Площадь
статора

$$f_{e2} = \frac{S_{\text{пзср}}}{S_{\text{ротора}}}$$

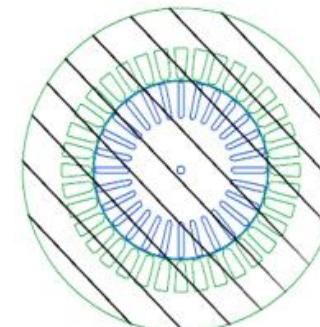


Площадь
пзср

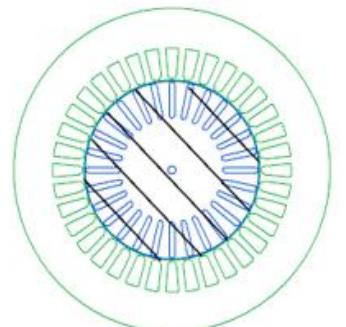


Площадь
ротора

$$f_{s2} = \frac{S_{\text{рот}}}{S_{\text{двигателя}}}$$



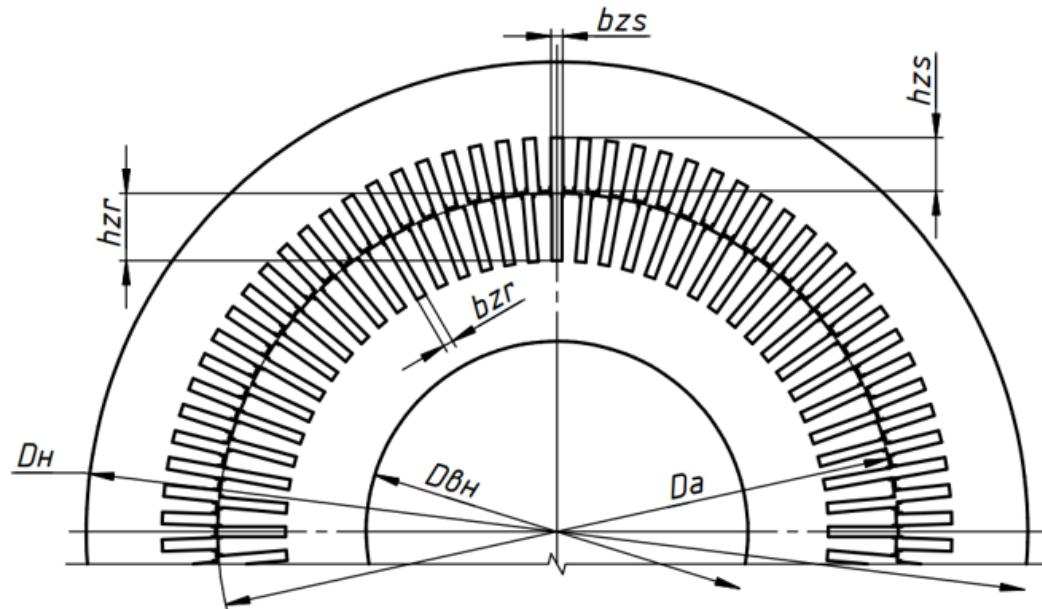
Площадь
двигателя



Площадь
ротора

Определение геометрии нового АД на основе обобщенных переменных

Формируется зависимость обобщенных переменных от диаметра якоря



$$D_{\text{ВН}} = D_{\text{Н}} \times \sqrt{1 - f_s};$$

$$Da = D_{\text{Н}} \times \sqrt{1 - f_s + f_a \times f_s};$$

$$h_{zr} = 0,5 \times D_{\text{Н}} \times (\sqrt{1 - f_s + f_a \times f_s} - \sqrt{1 - f_s + f_a \times f_{er} + f_a \times f_s});$$

$$b_{zr} = \frac{\pi \times D_{\text{Н}} \times f_{zr}}{2 \times z_p} * (\sqrt{1 - f_s + f_a \times f_s} + \sqrt{1 - f_s + f_a \times f_{er} + f_a \times f_s});$$

$$h_{zs} = 0,5 \times (\sqrt{f_{es} \times D_{\text{Н}}^2 - (Da + 2 \times \delta)^2} \times (f_{es} + 1) - Da - 2 \times \delta);$$

$$b_{zs} = \frac{f_{zs} \times f_{es} \times \pi \times (D_{\text{Н}}^2 - (Da + 2 \times \delta)^2)}{4 \times z_s \times h_{zs}}$$

Формирование скрипта для анализа в Ansys

Скрипт Ansys для 4A200L2Y3

```

# -*- coding: utf-8 -*-
#
# -----
# Script Recorded by ANSYS Electronics Desktop Version 2021.1.0
# 11:57:13  map 20, 2025
# -----
import ScriptEnv
ScriptEnv.Initialize("Ansoft.ElectronicsDesktop")
oDesktop.RestoreWindow()
oProject = oDesktop.NewProject() # Создаем новый проект
oProject.InsertDesign("RMxprt", "RMxprtDesign1", "Three Phase Induction Motor", "")
oDesign = oProject.SetActiveDesign("RMxprtDesign1")
# Начинается редакция таблиц
oEditor = oDesign.SetActiveEditor("Machine")
oEditor.ChangeProperty(
# Редакция вкладки Machine
[
    "NAME:AllTabs",
    [
        "NAME:Machine",
        [
            "NAME:PropServers",
            "Machine"
        ],
        [
            "NAME:ChangedProps",
            [
                "NAME:Number of Poles",
                "Value:=" , "2"          # Число полюсов
            ],
            [
                "NAME:Stray Loss Factor",
                "Value:=" , "0.01" # Коэффициент добавочных потерь
            ],
            [
                "NAME:Frictional Loss",
                "Value:=" , "10W"       # Потери на трение
            ],
            [
                "NAME:Windage Loss",
                "Value:=" , "10W"       #Потери на вентиляцию
            ],
            [
                "NAME:Reference Speed",
                "Value:=" , "2900rpm" #Номинальная частота вращения
            ]
        ]
    ]
]

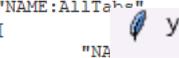
```

Скрипт Ansys для 4A200L2Y3

```

# -*- coding: utf-8 -*-
#
# -----
# Script Recorded by ANSYS Electronics Desktop Version 2021.1.0
# 11:57:13  map 20, 2025
# -----
import ScriptEnv
ScriptEnv.Initialize("Ansoft.ElectronicsDesktop")
oDesktop.RestoreWindow()
oProject = oDesktop.NewProject() # Создаем новый проект
oProject.InsertDesign("RMxprt", "RMxprtDesign1", "Three Phase Induction Motor", "")
oDesign = oProject.SetActiveDesign("RMxprtDesign1")
# Начинается редакция таблиц
oEditor = oDesign.SetActiveEditor("Machine")
oEditor.ChangeProperty(
# Редакция вкладки Machine
[
    "NAME:AllTabs",
    [
        "NAME:Machine",
        [
            "NAME:PropServers",
            "Machine"
        ],
        [
            "NAME:ChangedProps",
            [
                "NAME:Number of Poles",
                "Value:=" , "2"          # Число полюсов
            ],
            [
                "NAME:Stray Loss Factor",
                "Value:=" , "0.01" # Коэффициент добавочных потерь
            ],
            [
                "NAME:Frictional Loss",
                "Value:=" , "10W"       # Потери на трение
            ],
            [
                "NAME:Windage Loss",
                "Value:=" , "10W"       #Потери на вентиляцию
            ],
            [
                "NAME:Reference Speed",
                "Value:=" , "2900rpm" #Номинальная частота вращения
            ]
        ]
    ]
]

```

 Успех

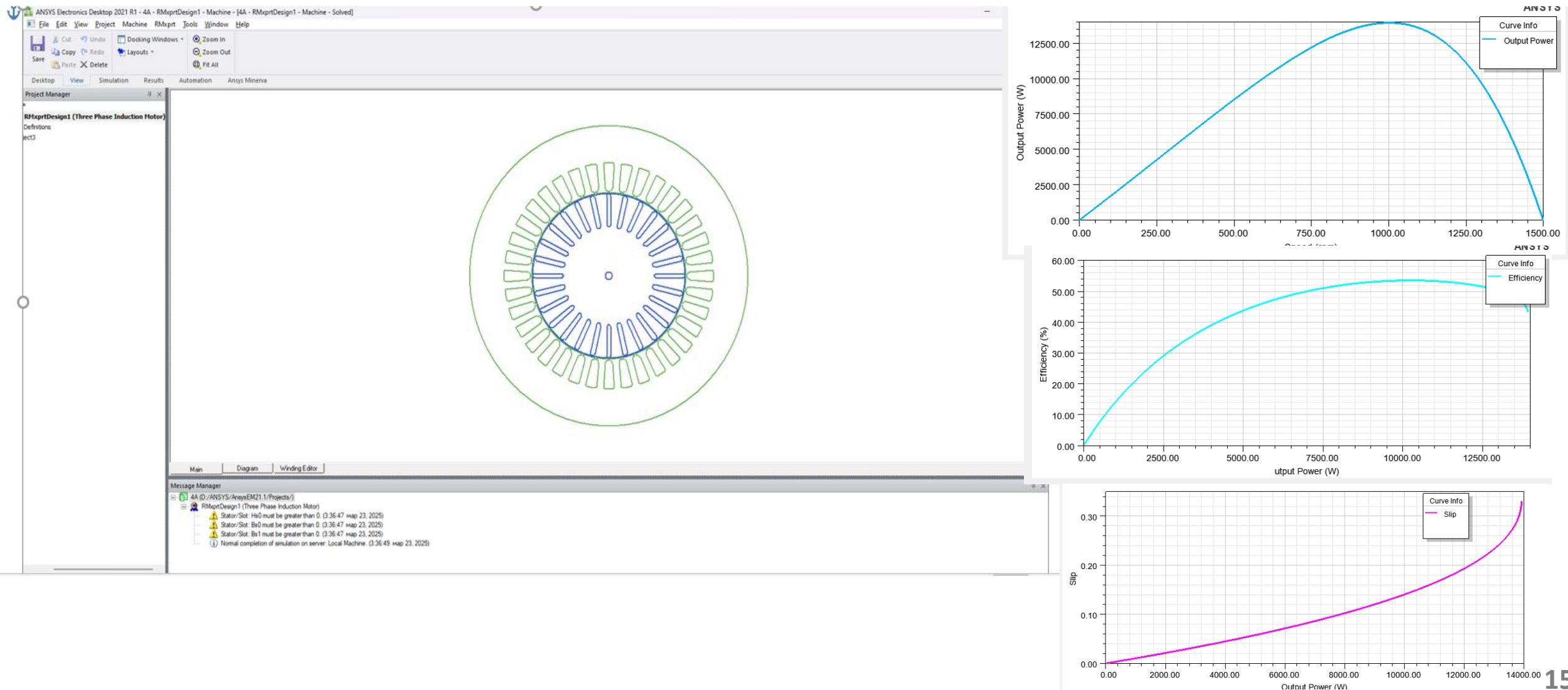
 Скрипт отправлен в ANSYS для выполнения

 OK

Копировать в буфер Сохранить в файл Запустить в ANSYS

Закрыть

Спроектированный двигатель



Заключение

- Таким образом, из разработанной проектной системы вы можете получить полную информацию о существующих серийных общепромышленных электродвигателей и без сложной процедуры оптимизации геометрии спроектировать новый электродвигатель, потратив на это несколько секунд. Спроектированный электродвигатель по параметрам будет очень близок к апробированным промышленным образцам. Проектирование двигателей станет не только мало затратным по ресурсам и времени, но и станет доступным конструктору с малым опытом проектирования.
- Данная работа была представлена на конференции ППС, а также по ней была написана статья, которая выложена в сборник 77-й конференции.
- Результаты данной работы планируется внедрить на электромашиностроительном предприятии АО «Русские электродвигатели».

Спасибо за внимание!

Готов ответить на Ваши вопросы