

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

С.В. ШИРИНСКИЙ

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

**Лабораторная работа № 4**

Методическое пособие  
по курсу  
*«Специальные электрические машины»*

для студентов, обучающихся по направлению  
*«Электроэнергетика и электротехника»*

2019

## Лабораторная работа № 4

### ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Работа основана на использовании программы из онлайн курса DriveConstructor, разработанного А.В. Матвеевым и А.А. Гавриловым и доступного по адресу <http://driveconstructor.com>.

Программа позволяет пользователю быстро создавать сложные системы привода, собирая их из стандартных компонентов, рассматривать различные варианты таких систем и проводить их сравнительный анализ. В основу программы положены реальные каталоги производителей оборудования, на базе которых были сформированы усредненные каталоги возможных компонентов. Важно, что каталоги содержат не только техническую информацию, но и сведения о стоимости компонентов. Это позволяет проводить стоимостной анализ проектируемых систем для последующего выбора оптимального варианта. Другой особенностью программы является учет коэффициентов полезного действия компонентов при частичных нагрузках и проведение на их основе анализа эффективности всей системы для различных рабочих циклов нагрузки.

Для удобного сравнения различных вариантов проектируемой системы программа использует инструменты бенчмаркинга. Она позволяет в табличном и графическом виде сравнивать отдельные показатели различных вариантов проектируемой системы.

Целью работы является изучение принципов построения систем электропривода, проведения сравнения и выбора оптимального варианта системы, а также подготовка отчета и доклада о проведенном исследовании.

### Программа работы

1. Ознакомиться с инструкцией пользователя онлайн курса DriveConstructor.
2. Выполнить задание в соответствии с указаниями преподавателя:
  - Задание 1. Исследовать влияние номинальной скорости ЭМ на вес, размер и момент инерции машины.
  - Задание 2. Исследовать влияние класса эффективности ЭМ на стоимость жизненного цикла системы привода.
  - Задание 3. Исследовать влияние способа охлаждения на размер и стоимость электрической машины.
  - Задание 4. Исследовать влияние высоты над уровнем моря и температуры окружающей среды на снижение мощности электрической машины.
3. Подготовить отчет и презентацию к докладу по отчету о выполненном исследовании, содержащие постановку задачи, описание метода исследования, результаты и выводы.

4. Сделать доклад о выполненном исследовании с использованием подготовленной презентации.

### Варианты заданий

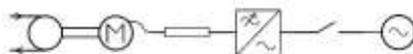
Как правило, каждая бригада выполняет задание, совпадающее с номером бригады.

#### Задание 1. Исследовать влияние номинальной скорости ЭМ на вес, размер и момент инерции машины

Главному инженеру завода предстоит обеспечить работу нового конвейера. На складе есть три косозубых редуктора: два 1-ступенчатых редуктора с передаточными отношениями 1:4 и 1:6 и один 2-ступенчатый редуктор с передаточным отношением 1:12. Для привода конвейера можно купить двигатель, который соответствует редуктору, или двигатель, который соответствует скорости конвейера без использования редуктора.

Рассмотреть две схемы системы привода: с редуктором и без него (прямой привод).

##### Система 1:



- Максимальная скорость барабана конвейера 230 об/мин
- минимальная скорость 80 об/мин.
- Момент – 9 кНм.

Выбрать машину с синхронной скоростью 300 об/мин при частоте сети 50 Гц. Записать вес, стоимость и момент инерции выбранного двигателя.

##### Система 2:



- Максимальная скорость барабана конвейера 230 об/мин
- минимальная скорость 80 об/мин.
- Момент – 9 кНм.

Записать скорость, вес, стоимость и момент инерции двигателей при использовании редукторов с передаточными отношениями: 4, 6 и 12.

На базе четырех рассмотренных вариантов изучить влияние передаточного отношения редуктора на размер, стоимость и момент инерции двигателя.

Дополнительное указание: использовать только синхронные машины с постоянными магнитами.

Представить результаты в табличном виде и в виде диаграммы.

Объяснить полученные результаты, сделать выводы.

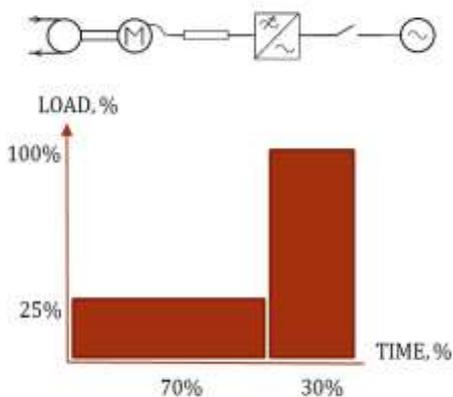
## Задание 2. Исследовать влияние класса эффективности ЭМ на стоимость жизненного цикла системы привода

Главный инженер завода должен рассмотреть варианты замены старого асинхронного двигателя (тип охлаждения IC411, класс защиты IP21) на центробежном насосе новым двигателем с классом эффективности IE3 или IE4 (рассматривать только асинхронные двигатели).

Класс эффективности старого двигателя соответствует IE2. Он получает питание через преобразователь частоты от сети 400 В.

Параметры насоса: напор 50 м, расход 50 л/с, КПД 82%, номинальная скорость 1450 об/мин.

Режим работы насоса: в течение 70% времени – работа на 25% номинальной нагрузки и 30% времени – на полную номинальную нагрузку.



Найти стоимость жизненного цикла (LCC) системы привода для следующих условий эксплуатации:

- Рабочее время насоса – 8 000 час/год;
- Срок службы – 5 лет либо 10 лет;
- Стоимость электроэнергии – 0,07 Евро/кВт·ч либо 0,2 Евро/кВт·ч.

Таким образом, следует рассмотреть следующие варианты:

	Класс эффективности	Стоимость электроэнергии, Евро/кВт·ч	Срок службы, лет
1	IE3	0,07	5
2	IE3	0,07	10
3	IE3	0,20	5
4	IE3	0,20	10
5	IE4	0,07	5
6	IE4	0,07	10
7	IE4	0,20	5
8	IE4	0,20	10

Добавить к сравнению вариант сохранения старого двигателя с классом эффективности IE2 (отсутствуют инвестиции) на срок 10 лет при цене электроэнергии 0,20 Евро/кВт·ч.

Представить результаты в табличном виде и в виде диаграммы. Объяснить полученные результаты, сделать выводы.

### **Задание 3. Исследовать влияние способа охлаждения на размер и стоимость электрической машины**

Главный инженер бумажной фабрики должен спроектировать систему привода для намоточной машины со следующими характеристиками:

- Диаметр пустого барабана – 0,3 м;
- Диаметр полного барабана – 0,6 м;
- Усилие – 16 кН;
- Скорость подачи (номинальная) – 5 м/с.

Способ крепления двигателя – с фланцем и на лапах.

Напряжение питающей сети – 400 В. Имеется в наличии охлаждающая вода с начальной температурой 30°C.

Сравнить разные варианты системы привода по способу охлаждения и классу защиты электродвигателя.

	Способ охлаждения	Класс защиты	Вес, кг	Наружный диаметр, м	Длина, м	Стоимость, Евро
1	IC411	IP54/55				
2	IC416	IP54/55				
3	IC411	IP21/23				
4	IC71W	IP21/23				

При сравнении разных вариантов предусмотреть одинаковый тип машины и класс эффективности.

Представить результаты в табличном виде и в виде диаграммы. Объяснить полученные результаты, сделать выводы.

### **Задание 4. Исследовать влияние высоты над уровнем моря на снижение номинальной мощности электрической машины**

Менеджер по продажам крупной электротехнической компании получил три похожих заказа из городов Мадрид (Испания), Мехико (Мексика) и Эль-Альто (Боливия). В каждом заказе требуется подобрать

асинхронный двигатель для привода центробежного насоса с напором 60 м, расходом 50 л/с, КПД 83% и номинальной скоростью 950 об/мин. Двигатель должен питаться от существующего преобразователя частоты с номинальным напряжением 400 В и мощностью 45 кВА. Расстояние между насосом и преобразователем частоты составляет 30 м. Способы охлаждения во всех вариантах одинаковые.

Подготовить предложения по электродвигателям для этих трех заказов. При необходимости предложить несколько вариантов электродвигателей.

При выборе двигателей учесть, что г. Мадрид расположен на высоте 667 м над уровнем моря, г. Мехико расположен на высоте 2240 м над уровнем моря, г. Эль-Альто расположен на высоте 4150 м над уровнем моря.

Представить результаты в табличном виде и в виде диаграммы. Объяснить полученные результаты, сделать выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие принципы подбора компонентов системы привода использует программа DriveConstructor?
2. Какие типы электрических машин можно использовать в программе DriveConstructor?
3. Какие типы редукторов можно использовать в программе DriveConstructor?
4. Какие типы преобразователей частоты можно использовать в программе DriveConstructor?
5. Что такое класс эффективности? Какие бывают классы эффективности?
6. Что такое исполнение электрической машины по способу монтажа? Какие способы монтажа доступны в программе DriveConstructor?
7. Что такое класс защиты электротехнического оборудования? Какие классы защиты доступны в программе DriveConstructor?
8. Какие бывают способы охлаждения электрических машин? Какие способы охлаждения доступны в программе DriveConstructor?
9. Как влияет температура окружающей среды на срок службы, на номинальную мощность электродвигателя?
10. Как влияет высота над уровнем моря места установки электрооборудования на срок службы, на номинальную мощность?
11. Что такое стоимость жизненного цикла электрооборудования? Что входит в капитальные затраты и в операционные затраты?
12. Что такое режим работы электрооборудования? Приведите примеры режимов работы.

## Литература

1. Онлайн курс DriveConstructor – <http://driveconstructor.com/>.
2. Онлайн курс DriveConstructor по-русски –  
<http://elmech.mpei.ac.ru/driveconstructor/>.