

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Макушев Андрей Святославич  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 01.03.2023 10:01:48  
Уникальный программный ключ:  
4c46f2d9dda3fafb9e57683d11e5a4257b6ddf

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**«Чувашский государственный аграрный университет»**  
**(ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)**

**ИНЖЕНЕРНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра «Механизация, электрификация и автоматизация  
сельскохозяйственного производства»**

**Карчин В.В., Свешников А.Г.**

## **Учебно-методическое пособие для выполнения курсовой работы по дисциплине «Электропривод»**

**Учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки  
35.03.06 – Агроинженерия профиля Электрооборудование и электротехнологии**

УДК 62 - 83  
ББК 31.291  
К-21

Составители: Карчин В.В., Свешников А.Г.

Рецензенты:

Доцент кафедры «Информационные технологии, электроэнергетики, систем управления» ФГБОУ ВО «Чебоксарский институт (филиал) Московского политехнического университета», к.т.н., доцент Венедиктов С.В.

Доцент кафедры электротехнологий, электрооборудования и автоматизированных производств ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова», к.п.н., доцент Мясникова Т.В.

Учебно-методическое пособие для выполнения курсовой работы по дисциплине «Электропривод» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 – Агроинженерия профиля Электрооборудование и электротехнологии / В.В. Карчин, А.Г. Свешников, - Чебоксары: Чувашский ГАУ, 2020. – 71 с.

Учебно-методическое пособие для выполнения курсовой работы по дисциплине «Электропривод» рассмотрено и рекомендовано к изданию методической комиссией инженерного факультета протокол № 1 от 1.09.2020 г.

© Карчин В.В., Свешников А.Г., 2020  
© ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ, 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
1. Структура, содержание и объём курсовой работы .....	7
1.1 Общие требования к оформлению .....	13
1.2 Варианты заданий на курсовую работу .....	14
2. Выбор электродвигателя для электропривода .....	16
2.1 Механика электропривода.....	16
2.3. Конструктивные формы исполнения и способы охлаждения двигателей .....	21
2.4 Режимы работы электроприводов .....	24
2.5 Проверка двигателей на достаточность пускового момента и перегрузочную способность .....	27
2.6 Методика выбора двигателя для кратковременного .....	28
режима работы.....	28
2.7 Расчет и построение механической характеристики .....	30
асинхронного двигателя .....	30
2.8 Пример расчета выбора асинхронного двигателя с .....	33
короткозамкнутым ротором .....	33
2.9 Пример расчета определения возможности пуска электродвигателя .....	37
3 Оформление курсовой работы .....	40
Заключение.....	41
Список литературы.....	42
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	43

## Введение

Характерная особенность сельскохозяйственных комплексов и животноводческих ферм - концентрация в них большого числа электродвигателей и электрооборудования. При таких условиях нормальное функционирование комплексов, ферм, обеспечение необходимой производительности труда и себестоимости продукции, а также соблюдение поточности технологичности процессов возможно только благодаря механизации, электрификации и автоматизации производства. Это в свою очередь, означает необходимость оснащения ферм и комплексов большим количеством разнообразных технических средств: машин, механизмов, агрегатов, линий и т.д., особенностью которых является то, что более 80% их электрифицировано.

В условиях дефицита энергоресурсов это делает особо острой проблему энергосбережения в электроприводе. Принято считать, что сэкономить одну единицу энергетических ресурсов (одна тонна условного топлива) вдвое дешевле, чем её добыть. Нетрудно предвидеть, что в перспективе это соотношение будет меняться: добывать топливо все труднее, т.к. запасы его все убывают

Современный электропривод определяет собой уровень силовой электровооружённости труда и является, благодаря своим преимуществам по сравнению с другими видами приводов, основным и главным средством автоматизации рабочих машин и технологических процессов.

Целью учебного курса является знакомство студентов с возможностями и функциями электропривода, его электромеханическими свойствами, принципами регулирования и вопросами выбора мощности электродвигателей.

Целью дисциплины «Электропривод и электрооборудование» является изучение общих физических закономерностей электропривода, особенностей взаимодействия элементов электромеханической системы, характера статических и динамических процессов в разомкнутых и замкнутых системах. В результате изучения курса обучающийся должен научиться объяснять характер процессов и зависимостей, уметь анализировать влияние изменений параметров, настроек системы и внешних воздействий на работу привода и механизма, строить механические и электромеханические характеристики различных двигателей и электропривода в целом.

Итоговым этапом изучения дисциплины «Электропривод и электрооборудование» является выполнение курсовой работы.

Курсовая работа ставит своей целью:

- закрепить и систематизировать теоретические знания по электрическим машинам и электроприводе, применяемым электродвигателям, электрическому приводу и электрическому оборудованию в помещениях сельскохозяйственных предприятий и агропромышленного комплекса в различных зданиях и сооружениях;
- привить студентам навыки самостоятельного решения инженерных задач по расчету и выбору электрических двигателей применению электрооборудования в сельскохозяйственном производстве;
- подготовить студентов к решению более сложных задач, которые им предстоит решать при подготовке выпускной квалификационной работы, а также в их дальнейшей работе на производстве.

Поставленная цель достигается на примере курсового проектирования. В первой части заданием является: выбор асинхронного короткозамкнутого двигателя для привода сельскохозяйственной машины в кратковременном режиме. Во второй части работы необходимо определить возможность пуска электродвигателя от трансформаторной подстанции с известными данными длины линии и марки провода линии.

Первая часть курсовой работы включает решение следующих задач.

1. Предварительный выбор типа электродвигателя. Заключается в определении эквивалентной мощности. Расчет ведут по известным значениям нагрузки (электрической мощности) и времени.
2. Определяют коэффициент термической перегрузки.
3. Рассчитывают коэффициент механической перегрузки.
4. Определяют мощность двигателя для продолжительного режима. На основании расчета по каталогу выбирают больший или равный по мощности тип двигателя.
5. Определяют номинальный, максимальный и пусковой моменты двигателя.
6. На основании исходных данных (из таблицы) рассчитывают максимальный нагрузочный момент и сравнивают его с максимальным (критическим) моментом выбранного двигателя. Если двигатель «не проходит» по перегрузочной способности, то выбирают из каталога следующий по мощности двигатель. И проверяют его на перегрузочную способность.
7. Выбранный двигатель проверяют по условию пуска
8. По рассчитанным значениям максимального нагрузочного момента и пускового момента определяют предельное значение напряжения, при котором пуск электродвигателя возможен. Действующий ГОСТ 32144-2013 Нормы качества электроэнергии допускают снижение напряжения не более чем на 5%.

Во второй части курсовой работы предусматривается выполнение следующих задач.

1. В соответствии с исходными данными определяют полное сопротивление трансформатора.
2. Рассчитывают активное и индуктивное сопротивление линии.
3. Определяют полное сопротивление короткого замыкания двигателя.
4. Определяют отклонение напряжения на зажимах двигателя при пуске от трансформатора.
5. Определяют допустимое отклонение напряжения на зажимах двигателя.
6. Отклонение напряжения на зажимах двигателя при пуске определенное по пункту 4 должно быть меньше допустимого отклонения на зажимах определенного по пункту 5. Тогда пуск считается успешным. В противном случае необходимо предусмотреть меры, которые обеспечат необходимое условие. При внесении изменений в расчетные данные необходимо выполнить расчет заново, пока не будет выполнено требование пункта 6.

Важной задачей курсовой работы является приобщение студентов к изучению специальной и технической литературы, руководящих материалов по проектированию, овладению современными компьютерными программами по проведению расчетов, приобретению навыков работы с ними, что должно быть продемонстрировано в выполненной студентами работе.

Каждый студент получает от преподавателя индивидуальное задание и согласно учебно-методическому пособию, разрабатывает собственные технические решения.

В выданное задание входят исходные данные для проектирования. При выполнении данной работы студент должен использовать не только рекомендуемую в пособии литературу, но и обращаться к справочной, нормативной, специальной и иностранной технической литературе.

## 1. Структура, содержание и объём курсовой работы

Курсовая работа по электроприводу и электрооборудованию состоит из двух частей. В первой части заданием является: выбор асинхронного короткозамкнутого двигателя для привода сельскохозяйственной машины в кратковременном режиме. Во второй части работы необходимо определить возможность пуска электродвигателя от трансформаторной подстанции с известными данными длины линии и марки провода линии.

Для успешного выполнения первой части работы студентам необходимо проработать теорию выбора двигателей для электроприводов (ЭП) и расчет их требуемой мощности. Особое внимание нужно уделить расчету мощности двигателей для кратковременного режима работы. Расчет требуемой мощности приводного двигателя является наиболее ответственным моментом проектирования электропривода. *Завышение* требуемой мощности двигателя ведет к ухудшению его энергетических показателей (КПД, коэффициента мощности) и, как следствие, увеличению непроизводительных потерь энергии и удорожанию эксплуатации ЭП. *Занижение* требуемой мощности приведет к его чрезмерному перегреву, а в конечном итоге выходу его из строя, непредвиденным остановкам рабочего механизма, дополнительным расходам на ремонт ЭП. Таким образом, только правильный расчет и последующий выбор двигателя по мощности, исполнению (по защите, монтажу и климатическому исполнению) обеспечит надежную работу ЭП с высокими экономическими показателями.

При выборе электродвигателя надо иметь в виду, чтобы перегрузочная способность и начальная величина пускового момента соответствовали предъявляемым требованиям.

### Классификация электроприводов

Общая структурная схема электропривода приведена на рис. 1, где утолщенными линиями показаны силовые каналы энергии, а тонкими — маломощные (информационные) электрические цепи

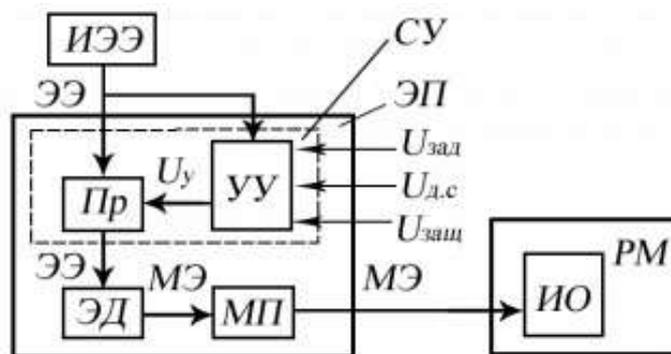


Рис. 1. Структурная схема электропривода

Основным элементом ЭП является электрический двигатель (ЭД), который вырабатывает механическую энергию (МЭ) за счет потребляемой от источника электроэнергии (ИЭЭ) электрической энергии (ЭЭ). В некоторых режимах работы

ЭП электродвигатель осуществляет и обратное преобразование энергии, получая механическую энергию от исполнительных органов (ИО) и работая при этом в генераторном режиме.

От электродвигателя механическая энергия подается на исполнительный орган рабочей машины (РМ) через механическую передачу (МП). В некоторых случаях ИО непосредственно соединяется с ЭД, что соответствует безредукторному ЭП. Электрическая энергия поступает в ЭП от источника электроэнергии через преобразователь электрической энергии (Пр). Функции управления и автоматизации работы ЭП осуществляются устройством управления (УУ). Это устройство вырабатывает сигнал управления  $U_y$  с использованием сигнала задания (уставки)  $U_{зад}$ , задающего характер движения исполнительного органа, дополнительных сигналов  $U_{д.с}$  (сигналов обратных связей), дающих информацию о ходе технологического процесса, характере движения исполнительного органа и работе отдельных элементов ЭП, а также сигналов системы защиты, блокировок и сигнализации  $U_{защ}$ . Сигналы  $U_{д.с}$  и  $U_{защ}$  поступают от соответствующих датчиков переменных ЭП и технологического оборудования. Для преобразования этих сигналов в состав устройства управления входят устройства сопряжения и обработки поступающей информации. Преобразователь Пр вместе с устройством управления УУ образуют систему управления (СУ) электропривода.

Электрическим приводом называют электромеханическую систему, состоящую из взаимодействующих электрических, электромеханических и механических преобразователей, а также управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения, предназначенных для приведения в движение исполнительных органов рабочих машин и управления этим движением в целях осуществления технологического процесса.

Назначение указанных на рис. 1 элементов состоит в следующем.

Электродвигатель — электромеханический преобразователь, предназначенный для преобразования электрической энергии в механическую (в некоторых режимах работы ЭП — для обратного преобразования энергии).

Преобразователь электроэнергии — электротехническое устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии одних параметров или показателей в электроэнергию других параметров или показателей и управления процессом преобразования энергии.

Механическая передача — механический преобразователь, предназначенный для передачи механической энергии от электродвигателя к исполнительному органу рабочей машины и согласования вида и скоростей их движения.

Управляющее устройство — совокупность элементов и устройств, предназначенная для формирования управляющих воздействий в ЭП и обеспечивающая взаимодействие ЭП с сопредельными системами его отдельных частей.

Система управления ЭП — совокупность преобразователя электроэнергии и устройства управления, предназначенная для управления электромеханическим преобразованием энергии в целях обеспечения заданного движения исполнительного органа рабочей машины.

Рабочая машина — машина, осуществляющая изменение формы, свойств, состояния и положения предметов труда. Исполнительный орган рабочей машины

— движущийся элемент рабочей машины, выполняющий технологическую операцию.

В табл. 1 приведены наиболее распространенные примеры реализации элементов ЭП.

Таблица 1

Реализация элементов ЭП

Название	Обозначение на схеме	Возможные виды
Электродвигатель	ЭД	Двигатели постоянного тока с различным возбуждением, асинхронные и синхронные двигатели, шаговый двигатель, вентильный двигатель, двигатели с катящимися и волновыми роторами, редукторные двигатели
Преобразователь электроэнергии	П	Выпрямитель, преобразователь частоты, регуляторы напряжения постоянного и переменного тока, инверторы, импульсные преобразователи напряжения
Механическая передача	МП	Редуктор, волновая передача, передача винт-гайка, реечная передача, цепная и ременная передачи, кривошипно-шатунный механизм
Устройство управления	УУ	Регулятор, микропроцессорные средства управления, программируемый контроллер, релейная схема, устройства памяти, логические устройства, драйверы, цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи (ЦАП, АЦП), датчики переменных ЭП и технологического процесса

ЭП классифицируются по числу используемых электродвигателей, характеру движения, типам электродвигателя и силового преобразователя, структурам и технической реализации систем управления, наличию или отсутствию механической передачи и т.д. Выделим наиболее важные ее составляющие.

По соотношению числа двигателей и исполнительных органов рабочих машин различают:

- групповой ЭП, обеспечивающий движение исполнительного органа нескольких рабочих машин или движение нескольких исполнительных органов одной рабочей машины;

- индивидуальный ЭП, обеспечивающий движение одного исполнительного органа одной рабочей машины;

- взаимосвязанный ЭП, состоящий из двух или более двигателей или механически связанных между собой ЭП, при работе которых поддерживается заданное соотношение их скоростей и (или) нагрузок, и (или) положения исполнительных органов рабочих машин. При наличии механической связи между ЭП взаимосвязанный ЭП называется многодвигательным, при наличии электрической связи — электрическим валом.

По характеру движения исполнительных органов рабочих машин различают:

- ЭП вращательного движения, обеспечивающий вращательное движение исполнительных органов рабочих машин;

- ЭП поступательного движения, обеспечивающий поступательное движение исполнительных органов рабочих машин;

- ЭП возвратно-поступательного движения, обеспечивающий возвратно-поступательное (вибрационное) движение исполнительных органов рабочих машин;

- ЭП непрерывного движения, обеспечивающий непрерывное движение исполнительных органов рабочих машин;

- ЭП дискретного движения, обеспечивающий дискретное перемещение исполнительных органов рабочих машин;

- реверсивный ЭП, обеспечивающий движение исполнительных органов рабочих машин в любом из двух противоположных направлений;

- нереверсивный ЭП, обеспечивающий движение исполнительных органов рабочих машин только в одном направлении;

- многокоординатный ЭП, обеспечивающий движение исполнительных органов рабочих машин по двум или более пространственным координатам;

- моментный ЭП, обеспечивающий заданный момент или усилие на исполнительных органах рабочих машин;

- позиционный ЭП, обеспечивающий перемещение и установку исполнительных органов рабочих машин в заданное положение;

- многоскоростной ЭП, обеспечивающий движение исполнительных органов рабочих машин с любой из двух или более фиксированных скоростей;

- регулируемый ЭП, обеспечивающий управляемое изменение координат движения исполнительных органов рабочих машин;

- нерегулируемый ЭП, не обеспечивающий управляемое изменение координат движения исполнительных органов рабочих машин;

- ЭП согласованного движения, обеспечивающий согласованное движение двух или более исполнительных органов рабочих машин.

По характеру и структуре системы управления различают:

- неавтоматизированные ЭП, операции по управлению, которыми выполняет оператор;

- автоматизированные ЭП, все или часть операций управления в которых выполняют устройства управления;

- следящие ЭП, обеспечивающие перемещение исполнительных органов рабочих машин в соответствии с произвольно изменяющимся входным задающим сигналом;
- ЭП с программным управлением, обеспечивающие перемещение исполнительных органов рабочих машин в соответствии с заданной программой;
- адаптивные ЭП, автоматически избирающие структуру и (или) параметры своей системы управления при изменении возмущающих воздействий;
- ЭП с регулированием энергетических показателей, обеспечивающие заданный закон изменения одного или нескольких энергетических показателей работы;
- ЭП с разомкнутой (замкнутой) системой управления, в которых отсутствуют (имеются) обратные связи по регулируемым координатам и (или) возмущающему воздействию.

По технической (аппаратной) реализации элементов ЭП различают:

- ЭП постоянного (переменного) тока, содержащие двигатели постоянного (переменного) тока;
- тиристорные (транзисторные) ЭП, содержащие тиристорные (транзисторные) преобразователи электроэнергии;
- систему «генератор—двигатель» (система «статический преобразователь—двигатель») — ЭП, в состав которых входят электромашинные (статические) преобразователи электроэнергии;
- ЭП с релейно-контакторным (бесконтактным) управлением, система управления которыми реализована на основе релейноконтакторной (бесконтактной) аппаратуры;
- ЭП с мехатронным модулем, объединяющим двигатель с электронными и электромеханическими компонентами управления, диагностики и защиты;
- редукторные (безредукторные) ЭП, механическая передача которых содержит (не содержит) редуктор;
- маховичные ЭП, механическая передача которых содержит маховик;
- дифференциальные ЭП, представляющие собой многодвигательные ЭП, в которых скорость и момент двигателей алгебраически суммируются с помощью механического дифференциала;
- ЭП с тормозным устройством (управляемой муфтой), механическая передача которых содержит тормозное устройство (управляемую муфту).

### **Структуры электроприводов**

В зависимости от выполняемых функций, вида и числа регулируемых переменных и степени автоматизации технологических процессов реализация ЭП, которая иллюстрируется рис. 2, может быть самой разнообразной. Все ЭП можно разделить на две группы: неавтоматизированные и автоматизированные. Неавтоматизированные — это электроприводы, управление которыми выполняет человек (оператор). Он с помощью простых средств управления осуществляет пуск, остановку ЭП и изменение скорости в соответствии с заданным технологическим циклом. Для помощи оператору ЭП снабжен элементами защиты, блокировок и сигнализации. В автоматизированном электроприводе большинство операций

управления выполняются системой управления (см. рис. 2). На оператора возлагаются функции по включению и отключению ЭП и общему контролю над его работой.



Рис. 2. Классификация электроприводов по степени их автоматизации

Функционирование автоматизированного ЭП является более эффективным и экономически целесообразным, так как позволяет освободить человека от утомительного и однообразного труда, повысить производительность рабочих машин и механизмов и качество выполняемых ими технологических процессов и операций.

Автоматизированные ЭП подразделяются, в свою очередь, еще на две группы: разомкнутые и замкнутые. Работа разомкнутого электропривода характеризуется тем, что все внешние возмущения (для ЭП самым характерным из них является момент нагрузки  $M_c$ ) влияют на выходную переменную ЭП, например, на его скорость. Другими словами, разомкнутый ЭП не отстранен от влияния внешних возмущений, все изменения которых отражаются на его работе. В разомкнутом ЭП по этой причине невозможно обеспечить высокое качество регулирования переменных, хотя он отличается простой схемой.

Для качественного выполнения второй части курсовой работы студентам необходимо проработать темы, связанные с электроснабжением потребителей. В исходных данных этой части приводятся тип двигателя, тип трансформатора, длина линии от трансформаторной подстанции до места установки двигателя и марка провода этой линии. Перед учащимися стоит задача определить возможность пуска электродвигателя, при соответствующих исходных данных.

Проект оформляют в виде расчетно-пояснительной записки и графической части.

Расчётно-пояснительная записка содержит: задание на проектирование и краткую информацию по применяемым электродвигателям на объектах агропромышленного комплекса. Также учащиеся исследуют вопросы применению

электроприводов. Рассматривается специфика работы электрооборудования на фермах и сельскохозяйственных комплексах.

Графическая часть работы содержит чертёж на одном листе формата А3 (А4), на котором должна быть изображена механическая характеристика асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Расчет и построение механических характеристик производится для выбранного электродвигателя из каталога.

### **Общие требования к электроприводу**

Главные показатели, характеризующие электропривод как систему, ответственную за управляемое электромеханическое преобразование энергии:

1. Надёжность – электропривод обязан выполнить заданные функции в оговоренных условиях в течение определённого промежутка времени. Если это не обеспечено, все остальные качества окажутся бесполезными. Неучёт надёжности приводит к тяжёлым последствиям;

2. Точность – главная функция привода – осуществлять управляемое движение с заданной точностью;

3. Быстродействие – способность системы достаточно быстро реагировать на различные воздействия;

4. Качество динамических процессов – обеспечение определённых закономерностей их протекания во времени;

5. Энергетическая эффективность – любой процесс преобразования и передачи энергии сопровождается потерями. Неоправданно большие потери – это зря затраченные энергетические ресурсы и труд людей по превращению их в энергию;

6. Совместимость электропривода с системой электроснабжения, особенно при внедрении тиристорных электроприводов большой мощности;

7. Ресурсоёмкость – материалоемкость и энергоёмкость, заложенная в конструкцию и технологию производства, трудоёмкость изготовления, наладки, ремонта, эксплуатации. Этот показатель – самый сложный, комплексно связан как с предыдущими показателями, так и с уровнем технологии, экономической ситуацией и другими факторами.

#### **1.1 Общие требования к оформлению**

Курсовая работа состоит из расчётно-пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка должна состоять из 30-35 листов формата А4. Графическая часть состоит из одного листа А3 (А4).

В записке четко выделяются разделы, главы, пункты. Все таблицы и рисунки пояснительной записке нумеруются, на них делаются ссылки в тексте записки.

В записке должны быть приведены расчетные формулы с обязательной нумерацией, результаты расчёта и разъяснения всех величин, входящих в формулу. Все расчёты приводятся в системе СИ, основные формулы нумеруются, поясняющие комментируются, по тексту должны быть приведены ссылки на литературные источники.

Курсовая работа должна отвечать требованиям действующих ГОСТов, СНиПов, ПУЭ, требованиям охраны труда и правил техники безопасности, а также других нормативных документов.

Студент должен быть в курсе вопросов выбора типовых решений, использования методов и типовых разработок, применяемых в современных расчетах.

Пояснительная записка должна в краткой и четкой форме раскрывать и пояснять принимаемые в процессе работы решения, раскрывать замыслы и содержать методы исследования и расчета, а также сами расчеты. Текст должен дополняться иллюстрациями (схемами, рисунками, диаграммами, графиками, таблицами и т.п.).

Курсовая работа является самостоятельной творческой работой, поэтому руководитель не должен выбирать или подсказывать учащемуся технические решения. Студент полностью отвечает за принятые в работе решения, правильность выполнения расчетов и литературное изложение пояснительной записки.

По завершении курсовой работы перед защитой он направляется на проверку руководителю от кафедры на рецензию. В рецензии дается оценка решения основной поставленной задачи и на основании этого высказывается мнение о подготовленности студента по данной дисциплине и получении им практических навыков для самостоятельной работы. Руководитель в своем заключении характеризует правильность полученных результатов и выявляет, соответствует ли работа современным методам и способам, применяемых на практике, использованы ли в достаточной мере, новейшие достижения науки и техники, материалы отечественной и зарубежной литературы. Особенно тщательно характеризуется качество пояснительной записки – умение грамотно и логически излагать свои мысли.

## **1.2 Варианты заданий на курсовую работу**

Вариант типового задания на курсовую работу определяется в соответствии с номером студента в списке группы. В таблице 2 приведено задание №1 на курсовую работу, а в таблице №3 приведено задание №2.

### **Задание №1**

Выбрать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором серии 4А (5А) для привода сельскохозяйственной машины для кратковременного режима работы. Выполнить проверку двигателя по перегрузочной способности, если известны нагрузочная характеристика и время работы по графику нагрузки. При расчетах коэффициента термической перегрузки  $\delta_T$  постоянную времени нагрева  $T_n$  принимать ориентировочно 30 мин. Определить: номинальный, максимальный и пусковой вращающие моменты, фазный, линейный и пусковой токи при номинальной нагрузке, ток холостого хода, потери энергии в роторе, общее, активное и индуктивное сопротивление фазы при номинальной нагрузке, частоту

вращения ротора при максимальной нагрузке, частоту тока ротора при номинальной и максимальной нагрузках. Частота вращения двигателя  $n_{\text{ном}} = 1460 \pm 5$  об/мин. Номинальное напряжение сети  $U_{\text{ном}} = 220/380\text{В}$ . Рассчитать и построить механическую характеристику для выбранного электродвигателя.

Таблица 2

№, № п/п вари- анта	$P_1, \text{кВт}/$ $t_1, \text{мин}$	$P_2, \text{кВт}/$ $t_2, \text{мин}$	$P_3, \text{кВт}/$ $t_3, \text{мин}$	$P_4, \text{кВт}/$ $t_4, \text{мин}$	$P_5, \text{кВт}/$ $t_5, \text{мин}$	$P_6, \text{кВт}/$ $t_6, \text{мин}$	$P_7, \text{кВт}/$ $t_7, \text{мин}$	$P_8, \text{кВт}/$ $t_8, \text{мин}$
1	3/2	4/3	2/1	1/4	2/5	3/8	5/2	6/4
2	2/4	4/2	6/5	7/3	8/4	10/4	6/5	5/2
3	1/6	3/5	7/4	6/6	3/2	9/2	3/1	6/3
4	6/3	5/2	5/1	4/4	8/5	10/2	4/4	3/5
5	8/3	9/2	12/3	6/4	7/3	8/2	6/5	8/7
6	5/4	6/2	8/4	10/5	14/4	4/5	3/2	9/3
7	4/5	6/4	5/3	7/5	9/4	8/3	7/2	5/3
8	6/3	9/5	7/4	8/4	7/3	8/4	9/2	4/4
9	7/3	5/2	8/5	7/6	4/4	6/3	7/4	7/2
10	9/2	7/5	4/4	5/5	3/3	9/4	6/4	8/2
11	1/3	4/4	5/5	7/3	5/4	9/3	3/4	2/3
12	6/3	7/4	9/2	5/5	3/2	2/6	1/3	4/4
13	3/2	5/4	6/5	10/4	8/4	9/5	7/2	5/3
14	1/3	2/4	3/2	4/5	6/4	8/2	6/3	4/6
15	4/2	7/4	9/2	6/6	3/5	4/2	8/3	9/5
16	5/3	7/2	4/5	9/4	10/4	12/4	10/5	6/3
17	7/3	5/2	6/4	9/3	6/4	7/5	10/4	5/4
18	2/4	4/6	6/2	4/3	8/4	6/4	7/4	3/2
19	3/6	6/3	7/2	9/3	12/6	10/4	8/3	6/2
20	6/3	5/5	8/4	9/4	10/4	7/3	2/4	12/2
21	8/2	9/4	4/2	6/5	7/6	2/4	5/3	7/3
22	9/2	7/3	6/5	4/5	8/4	10/4	12/2	7/4
23	10/4	12/3	8/4	6/3	5/4	4/2	3/5	6/4
24	1/5	3/4	5/3	4/4	3/5	6/4	8/2	6/2
25	3/4	4/5	6/4	2/4	4/3	7/2	4/4	9/3
26	4/4	5/5	8/3	6/2	5/3	12/4	7/3	6/4
27	5/3	6/3	7/5	8/3	9/5	10/3	6/4	4/3
28	2/4	4/3	3/4	8/5	3/4	5/2	6/3	7/4
29	6/3	2/2	6/3	7/5	3/6	6/4	4/4	3/2
30	7/4	8/3	10/2	12/4	8/6	6/4	4/2	7/3
31	8/5	9/1	5/2	4/5	6/4	9/4	7/3	3/4
32	9/4	6/3	3/4	2/3	1/4	4/5	5/3	8/3
33	10/4	8/3	6/4	5/5	7/4	9/2	10/2	6/4
34	1/4	3/5	6/4	10/3	4/2	6/3	4/5	2/3
35	2/2	4/1	6/3	5/8	4/6	6/4	7/1	7/3
36	3/4	4/2	6/3	7/5	8/2	7/3	4/1	3/2
37	5/2	9/3	3/6	8/2	10/4	12/5	8/3	6/4
38	6/2	7/3	5/1	7/4	8/5	9/3	12/5	10/4

### Задание №2

Определить возможность пуска электродвигателя согласно варианту: где приведены тип электродвигателя, мощность питающего трансформатора и напряжение высокой стороны, параметры передающей линии. В соответствии с

заданием для успешного пуска необходимо определить допустимое отклонение напряжения на зажимах электродвигателя при данных условиях. При неуспешном запуске предусмотреть мероприятия для улучшения условий пуска электродвигателя.

Таблица 3

№, № п/п варианта	Тип двигателя	Тип трансформатора	Марка провода на линии	Длина провода на линии, км	$M_{*гр}$	$M_{*изб}$
1	4A71B2Y3	TM-40/6	A-25	0,9	0,72	0,23
2	4A71B4Y3	TM-40/10	A-25	0,86	0,76	0,24
3	4A80B6Y3	TM-40/6	A-25	0,98	0,78	0,26
4	4A90LB8Y3	TM-40/10	A-25	0,94	0,8	0,22
5	4A80A2Y3	TM-40/6	A-25	0,92	0,74	0,29
6	4A80A4Y3	TM-40/6	A-25	0,88	0,77	0,31
7	4A90L6Y3	TM-63/10	A-25	1,3	0,71	0,34
8	4A112MA8Y3	TM-63/6	A-35	0,96	0,73	0,27
9	4A80B2Y3	TM-63/10	A-25	1,2	0,75	0,28
10	4A90L4Y3	TM-63/6	A-25	1,0	0,79	0,29
11	4A100L6Y3	TM-63/10	A-25	1,1	0,8	0,31
12	4A112MB8Y3	TM-63/10	A-35	0,96	0,79	0,28
13	4A90L2Y3	TM-63/6	A-35	1,26	0,82	0,23
14	4A100S4Y3	TM-63/10	A-35	0,88	0,83	0,3
15	4A112MA6Y3	TM-63/6	A-35	0,99	0,79	0,29
16	4A132S8Y3	TM-63/10	A-35	1,2	0,81	0,25
17	4A100S2Y3	TM-63/10	A-35	0,82	0,87	0,31
18	4A100L4Y3	TM-63/6	A-35	0,84	0,85	0,32
19	4A112MB6Y3	TM-63/10	A-35	1,2	0,75	0,33
20	4A132M8Y3	TM-63/10	A-35	1,3	0,82	0,26
21	4A100L2Y3	TM-63/6	A-35	0,92	0,88	0,29
22	4A112M4Y3	TM-63/10	A-35	0,95	0,84	0,28
23	4A132S6Y3	TM-63/6	A-35	0,88	0,89	0,34
24	4A160S8Y3	TM-63/10	A-35	0,84	0,8	0,24
25	4A112M2Y3	TM-63/6	A-35	0,99	0,86	0,27
26	4A132S4Y3	TM-100/10	A-50	0,98	0,87	0,3
27	4A132M6Y3	TM-100/10	A-50	0,96	0,85	0,26
28	4A160M8Y3	TM-100/6	A-50	0,82	0,74	0,29
29	4A132M2Y3	TM-100/10	A-50	0,98	0,83	0,24
30	4A132M4Y3	TM-100/6	A-50	0,96	0,84	0,26
31	4A160S6Y3	TM-160/10	A-50	0,86	0,87	0,31
32	4A180M8Y3	TM-160/6	A-50	0,95	0,77	0,31
33	4A160S2Y3	TM-250/10	A-50	0,86	0,85	0,32
34	4A160S4Y3	TM-250/6	A-50	0,8	0,89	0,33
35	4A160M6Y3	TM-250/10	A-50	0,9	0,9	0,3
36	4A200M8Y3	TM-250/6	A-50	1,1	0,76	0,27
37	4A160M2Y3	TM-250/10	A-50	0,8	0,75	0,26
38	4A160M4Y3	TM-250/10	A-50	1,2	0,8	0,25

## 2. Выбор электродвигателя для электропривода

### 2.1 Механика электропривода

Уравнение движения электропривода.

Скоростной режим электрического привода определяется при совместном рассмотрении моментов механизма МС и двигателя М и их механических характеристик путем применения основного уравнения движения.

Вид механической характеристики двигателя  $\omega = f(M)$  зависит от его типа. Виды механических характеристик рабочих механизмов  $\omega = f(M_c)$  также отличаются разнообразием и зависят от типа статического момента (момента сопротивления движению).

Реактивный статический момент  $M_c$  (сила  $F_c$ ) препятствует движению и меняет свой знак при изменении направления движения.

Активный статический момент  $M_c$  (сила  $F_c$ ) не изменяет свой знак при изменении направления движения.

Основное уравнение движения электропривода для механизма, у которого все элементы имеют ту же угловую скорость ( $\omega$ ), что и ротор двигателя (насосы, вентиляторы), при суммарном моменте инерции механизма и двигателя  $J_m + J_{об} = J_\Sigma = \text{const}$  имеет вид:

$$M = M_c + M_{дин} = M_c + J_\Sigma d\omega/dt, \quad (1)$$

где  $J_\Sigma d\omega/dt$  — динамический момент.

Для машин, имеющих элементы, вращающиеся с другими угловыми скоростями, или элементы, движущиеся поступательно, для применения (1) получают приведенную механическую часть ЭП из условия сохранения неизменной механической мощности системы.

Приведение моментов (обычно к валу двигателя) осуществляется с учетом потери мощности в механической передаче, поскольку механическая часть ЭП содержит подвижную часть ЭД, рабочий орган РМ и механическое УУ.

Продолжительность переходного процесса пуска, перехода с одной скорости на другую и торможения привода можно определить на основе уравнения движения электропривода. Например, при разгоне со скорости  $\omega_{нач}$  до  $\omega_{уст}$  с постоянными моментами ( $J_\Sigma, M, M_c$ ) приближенно время переходного процесса составит

$$t_n = J_\Sigma (\omega_{уст} - \omega_{нач}) / (M - M_c) \quad (2)$$

При торможении со скорости  $\omega_{нач}$  до  $\omega_{уст}$  ( $M < M_c$ , но  $M \neq 0$ ) время торможения

$$t_T = J_\Sigma (\omega_{уст} - \omega_{нач}) / (M + M_c) \quad (3)$$

## 2.2. Нагревание и охлаждение электродвигателей

При работе двигателя в нем выделяются потери: электрические, магнитные и от трения. Все виды потерь в двигателе преобразуются в теплоту, которая частично идет на нагревание двигателя, а частично отдается в окружающую среду. Условно принято считать, что нагрев происходит равномерно по всему объему двигателя, а

рассеивание теплоты — равномерно со всей его поверхности. В этих условиях уравнение теплового баланса имеет вид:

$$qdt = mcd\tau + S\lambda\tau dt, \quad (4)$$

где  $q$  — количество теплоты, выделяемое в двигателе в единицу времени, Дж;

$$q = \sum P$$

$\sum P$  — суммарные потери мощности в двигателе, Вт;

$mcd\tau$  — количество теплоты, расходуемое на нагревание двигателя;

$m$  — масса нагреваемого двигателя;

$c$  — удельная теплоемкость материала двигателя, т.е. количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг этого материала на 1 °С;

$\tau$  — превышение температуры нагрева двигателя над температурой окружающей среды;

$S\lambda\tau$  — количество теплоты, рассеиваемое с поверхности двигателя в окружающее пространство в единицу времени;

$\lambda$  — коэффициент теплового рассеяния, т.е. количество теплоты, рассеиваемое с единицы поверхности двигателя в 1с при превышении температуры на 1 °С.

В начальный период работы двигатель имеет температуру нагрева, не отличающуюся от температуры окружающей среды  $\theta_1$ , т.е. температура перегрева  $\tau = 0$ . В этом случае рассеяния теплоты в окружающую среду не происходит, т.е.  $S\lambda\tau dt = 0$ , и вся выделяемая в двигателе теплота идет на его нагревание. Затем, когда температура нагрева двигателя начинает превышать температуру окружающей среды, т.е.  $\tau > 0$ , часть теплоты, выделяемой в двигателе, начинает рассеиваться в окружающую среду. И наконец, когда температура нагрева двигателя достигает установившегося значения  $\theta_{уст} = const$ , вся выделяемая в двигателе теплота рассеивается в окружающую среду, т.е. наступает режим *теплового равновесия*:

$$qdt = S\lambda\tau_{уст} dt, \quad (5)$$

$$\text{где } \tau_{уст} = \theta_{уст} - \theta_1 \quad (6)$$

Из (4) получим

$$\tau_{уст} = q / S\lambda \quad (7)$$

Выражение (6) позволяет сделать выводы:

- установившаяся температура перегрева не зависит от массы двигателя  $t$ , а определяется количеством теплоты  $d$ , выделяемой в двигателе в единицу времени, которое эквивалентно мощности потерь двигателя  $\sum P$ ;

- установившаяся температура перегрева обратно пропорциональна площади охлаждаемой поверхности  $S$  и коэффициенту теплового рассеяния  $\lambda$ , т. е. зависит от интенсивности охлаждения двигателя — у двигателей со специальными способами охлаждения (искусственно вентилируемых)  $\tau_{уст}$  меньше, чем у двигателей с естественной вентиляцией (при их одинаковой конструкции и условиях работы).

Если двигатель включается в сеть, когда его температура равна температуре окружающей среды  $\theta_1$ , то зависимость температуры перегрева этого двигателя  $\tau$  от времени  $t$  выражается равенством:

$$\tau = \tau_{уст} (1 - e^{-t/T_H}), \quad (8)$$

где  $e = 2,718$  — основание натуральных логарифмов;

$T_H$  — постоянная времени нагревания, показывающая время (с), необходимое для нагревания двигателя до установившейся температуры, если бы не было теплового рассеяния с его поверхности:  $T = c/A$ , где  $c$  — теплоемкость, Дж/ $^{\circ}$ С,  $A$  — коэффициент теплоотдачи, Дж/с. $^{\circ}$ С.

График нагревания  $\tau = f(t)$ , построенный по (7), представляет собой экспоненциальную кривую, которая показывает, что двигатель нагревается до установившейся температуры перегрева  $\tau_{уст}$  лишь спустя продолжительное время (рис. 5.1, а). Процесс нагревания сначала идет интенсивно, а затем, по мере приближения к установившейся температуре перегрева, замедляется.

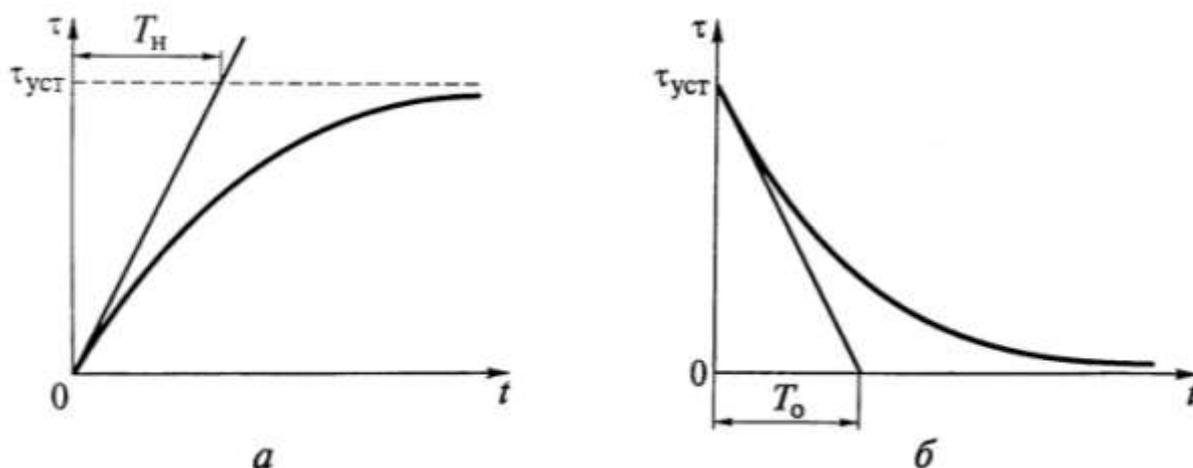


Рис. 3 Графики нагревания (а) и охлаждения (б) двигателя

Теоретически двигатель достигает установившейся температуры перегрева  $\tau_{уст}$  за время  $t = \infty$ . Проведя касательную к графику нагревания в его начальной части, получим отрезок, который в масштабе времени определяет постоянную времени нагревания  $T_H$ . Таким образом, величину  $T_H$  можно рассматривать как время, в течение которого превышение температуры достигло бы установившегося значения  $\tau_{уст}$ , если бы график нагревания представлял собой прямую линию, т.е. если бы отсутствовало бы рассеяние теплоты с поверхности двигателя в окружающую среду.

Если двигатель отключить от сети, прекратив этим его дальнейшее нагревание, то тепловое рассеяние с его поверхности будет происходить за счет накопленной в нем теплоты. При этом температура перегрева двигателя будет понижаться до  $\tau = 0$ , т. е. пока температура двигателя не станет равной температуре окружающей среды. Этот процесс остывания протекает по графику охлаждения (рис. 5.1, б), построенному по уравнению:

$$\tau = \tau_{уст} e^{-t/T_0}, \quad (9)$$

где  $T_0$  — постоянная времени охлаждения, с.

Таким образом, постоянные времени нагревания и охлаждения характеризуют скорость процессов. Например, двигатель нагревается тем быстрее, чем меньше постоянная времени нагревания.

При нагреве электродвигателя, для разных частей двигателя установлены предельно допустимые температуры перегрева. Наиболее чувствительна к перегреву электрическая изоляция обмоток. Под действием температур, превышающих допустимые значения, ускоряется процесс теплового старения изоляции, ухудшающий ее изоляционные и механические свойства. Электроизоляционные материалы, применяемые в электротехнических изделиях, разделяются на пять классов нагревостойкости, обозначаемых буквами А, Е, В, F, и Н, из которых в современных электродвигателях применяют изоляцию трех наиболее нагревостойких классов: В, F и Н. В процессе работы двигателя изоляция обмоток нагревается неравномерно, при этом измерение температуры нагрева в наиболее нагреваемых точках соприкосновения электрической изоляции с токопроводящими проводами технически невозможно. Поэтому, согласно действующему стандарту, предельные температуры нагревания обмоток принимают ниже предельно допустимых значений изоляции соответствующего класса нагревостойкости (табл. 4).

Таблица 4

Температурные параметры изоляции классов нагревостойкости В, F и Н.

Класс нагревостойкости изоляции	В	F	Н
Предельно допустимая температура нагрева изоляции, °С	130	155	180
Предельно допустимая температура нагрева обмоток двигателя, °С	120	140	165
Предельно допускаемые превышения температуры обмоток $\tau_{\text{доп}}$ при $\theta_1 = 40$ °С	80	100	125

$\tau_{\text{доп}}$  – допустимый (нормативный) перегрев двигателя, определяемый классом его изоляции.

В электромашиностроении применяется несколько классов изоляции, каждый из которых имеет определённую допустимую температуру нагрева (табл. 5).

Таблица 5

#### Классы нагревостойкости изоляции

Класс изоляции	Основные компоненты	Допустимая температура нагрева, °С
У	Волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка, натурального шёлка	90
А	х/б ткани, пряжа, бумага, целлюлоза, шелк	105
Е	Синтетические органические материалы (плёнки, смолы и др.)	120
В	Слюда, асбест, стекловолокно, связующие органические	130
F	То же; связующие синтетические	155
Н	То же; связующие кремнийорганические, кремнийорганические эластомеры	180
С	Слюда, керамика, кварц; связующие неорганические	>180

Если температура изоляции обмоток не превышает допустимой для данного класса изоляции, то срок службы двигателя будет 15...20 лет.

Выбор двигателя необходимо осуществлять т.о., чтобы в процессе эксплуатации соблюдалось условие  $\tau_{\max} \leq \tau_{\text{доп}}$

Чрезмерный перегрев двигателя неблагоприятно влияет и на другие его элементы, например подшипники, контактные кольца, коллектор.

Температура нагрева какой-либо части двигателя  $\theta_2$  при известной температуре ее перегрева  $\tau$  и температуре окружающей среды  $\theta_1 = 40^\circ\text{C}$ :

$$\theta_2 = \tau_{\text{вст}} + \theta_1 = \tau_{\text{вст}} + 40 \quad (10)$$

### 2.3. Конструктивные формы исполнения и способы охлаждения двигателей

Конструктивные формы исполнения двигателей определяются степенью защиты, способами охлаждения и монтажа, климатическими условиями и местом эксплуатации.

**Степень защиты** электродвигателей обозначается двумя буквами IP — начальные буквы слов International protection и двумя цифрами.

*Первая цифра* обозначает степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями и от попадания внутрь двигателя твердых тел.

*Вторая цифра* обозначает степень защиты от попадания внутрь двигателя воды. Для двигателей напряжением до 1000 В установлено шесть степеней защиты (первая цифра):

0 — защита отсутствует;

1 — защита от случайного соприкосновения большого участка человеческого тела с токоведущими и вращающимися частями; отсутствует защита от преднамеренного соприкосновения; имеется защита от попадания внутрь твердых тел диаметром более 50 мм;

2 — защита от соприкосновения пальцев человека с токоведущими и вращающимися частями и защита от попадания внутрь двигателя твердых тел диаметром более 12 мм;

3 — защита от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями инструмента, проволоки и других предметов, толщина которых превышает 2,5 мм; защита от попадания внутрь машины твердых тел диаметром более 2,5 мм;

4 — защита от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями предметов толщиной более 1 мм и защита от попадания внутрь двигателя твердых тел толщиной более 1 мм;

5 — полная защита от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями и полная защита от вредных отложений пыли внутри машины.

Существует девять степеней защиты от проникновения воды внутрь двигателя (вторая цифра):

0 — защита отсутствует;

1 — защита от капель сконденсировавшейся воды, падающих вертикально;

2 — защита от капель воды, падающих под углом не более  $15^\circ$  к вертикали;

3 — защита от дождя, падающего под углом не более  $60^\circ$  к вертикали;

- 4 — защита от брызг воды любого направления;
- 5 — защита от водяных струй в любом направлении;
- 6 — защита от воздействий, характерных для палубы корабля, включая захлестывание морской волной;

**Способы охлаждения** двигателей определены стандартом. Обозначение этих способов состоит из начальных букв IC слов International cooling и ряда букв и цифр, обозначающих способ охлаждения. Сначала указывается буква, обозначающая вид хладагента: А — воздух, Н — водород, W — вода и т.д.; если хладагентом является только воздух, то буква опускается. Затем идет несколько цифр: *первая цифра* условно обозначает устройство цепи охлаждения для циркуляции хладагента, например воздуха:

- 0 — хладагент свободно поступает в двигатель и свободно выводится из него;
- 3 — хладагент поступает в двигатель через подводящую трубу и выводится из нее через отводящую трубу;
- 4 — хладагент циркулирует в замкнутом объеме двигателя и отдает свою теплоту через поверхность корпуса (обычно ребристую) в окружающую среду;
- 7 — хладагент циркулирует по замкнутой системе, включающей охладитель, и отдает свою теплоту хладагенту охладителя, встроенному в двигатель;
- 8 — то же, что и 7, но охладитель установлен вне машины.

*Вторая цифра* обозначает способ перемещения хладагента:

- 0 — хладагент перемещается за счет свободной конвекции, вентилирующее действие ротора незначительно;
- 1 — хладагент перемещается вентилятором, расположенным на валу двигателя;
- 2 — хладагент перемещается вентилятором, расположенным не на валу двигателя, но вращаемым этим валом через передающее устройство, например зубчатую или ременную передачи;
- 3 — то же, что и 2, но вентилятор вращается отдельным двигателем, получающим питание от выводов охлаждаемого двигателя;
- 7 — хладагент перемещается независимым вентилятором, установленным вне охлаждаемого двигателя и включенным в сеть, независимо от него;
- 8 — хладагент перемещается внутри двигателя за счет движения этого двигателя через хладагент, например двигатель, установленный на движущемся объекте. Если двигатель имеет несколько цепей охлаждения (например, внутренняя вентиляция и наружный обдув), то в обозначении может быть четыре цифры: две — для обозначения наружной цепи охлаждения и две — для внутренней. Ниже приведены примеры некоторых наиболее применяемых разомкнутых и замкнутых систем охлаждения электрических двигателей.

**Монтаж двигателей** в местах их установки осуществляется обычно на лапах или посредством фланцев. При этом возможно горизонтальное или вертикальное расположение оси вала машины.

Разновидности конструктивного исполнения двигателей по *способу монтажа* определены стандартом. При этом имеется в виду крепление двигателя на месте его установки и способ сочленения с рабочим механизмом.

Условное обозначение этого исполнения состоит из букв IM (начальные буквы слов International Mounting) и четырех цифр. *Первая цифра* — способ крепления двигателя в месте его установки:

- 1 — на лапах с подшипниковыми щитами;
- 2 — на лапах с подшипниковыми щитами, с фланцем на одном или двух щитах;
- 3 — без лап с подшипниковыми щитами, с фланцем на одном или двух щитах;
- 4 — без лап с подшипниковыми щитами, с фланцем на станине;
- 5 — без подшипниковых щитов;
- 6 — на лапах с подшипниковыми щитами со стоячковыми подшипниками;
- 7 — на лапах со стоячковыми подшипниками (без подшипниковых щитов);
- 8 — с вертикальным валом, кроме позиций 1, 2, 3 и 4 данного перечня;
- 9 — специальное исполнение по способу монтажа.

*Вторая и третья цифры* — пространственное положение машины и направление выступающего конца вала.

*Четвертая цифра* — исполнение конца вала (цилиндрический или конический, один или два выступающих конца вала).

**Климатические условия внешней среды** оказывают значительное влияние на надежность эксплуатации электрических двигателей. Климатические условия внешней среды определяются следующими параметрами: температура и диапазон ее колебаний, относительная влажность, атмосферное давление, солнечная радиация, дождь, ветер, пыль, соляной туман, иней, действие плесневых грибов, содержание в окружающей среде коррозионно-активных материалов. Все эти факторы необходимо учитывать при выборе двигателя для электропривода. Климатическое исполнение двигателей обозначается буквами (табл. 6).

### Климатическое исполнение двигателей

Таблица 6

Обозначение	Характеристика
Электрические машины, предназначенные для эксплуатации на суше и озерах для макроклиматических районов	
У	с умеренным климатом
ХЛ	с холодным климатом
УХЛ	с умеренным и холодным климатом
ТВ	с влажным тропическим климатом
ТС	сухим тропическим климатом
Т	как с сухим, так и с влажным тропическим климатом
О	для всех макроклиматических районов на суше (общеклиматическое исполнение)

**Место размещения электрических двигателей при эксплуатации** обозначается цифрой:

- 1 — на открытом воздухе;

2 — на открытом воздухе или в помещениях, где колебания температуры и влажности несущественно отличаются от этих параметров на открытом воздухе (отсутствуют солнечная радиация и атмосферные осадки);

3 — в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий;

4 — в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями;

5 — в помещениях с повышенной влажностью.

Пример обозначения типоразмера двигателя: АИР132М8УЭ — трехфазный асинхронный двигатель серии А И Р (основное исполнение), степень защиты IP44, охлаждение IC0141, высота оси вращения 132 мм, условная длина статора М, число полюсов 8 (синхронная частота вращения 750 об/мин), климатические условия У — умеренный климат, место размещения при эксплуатации 3 — в закрытом помещении с естественной вентиляцией.

## 2.4 Режимы работы электроприводов

Режим работы электропривода (двигателя) — это установленный порядок чередования периодов, характеризуемых величиной и продолжительностью нагрузки, отключений, торможения, пуска и реверса во время его работы. Режимы работы двигателей электроприводов рабочих машин разнообразны и определяются технологическими процессами, реализуемыми этими рабочими машинами. Для иллюстрации этих режимов работы используют нагрузочные диаграммы. Такая диаграмма представляет собой зависимость параметра, характеризующего нагрузку приводного двигателя (полезной мощности  $P$ , момента  $M$  или силы потребляемого тока  $I$ ) от продолжительности  $t$  отдельных циклов, составляющих работу электропривода в течение определенного периода времени.

В действительности нагрузочная диаграмма двигателя может иметь вид графика любого вида: прямой линии, если нагрузка двигателя в рассматриваемый отрезок времени не изменялась, либо кривой линии с плавным переходом от одного уровня нагрузки к другому, если нагрузка изменялась. Плавность перехода уровней нагрузки обусловлена инерционностью процессов в электроприводе. Для упрощения расчета требуемой мощности приводного двигателя криволинейный график нагрузочной диаграммы разбивают на прямолинейные участки, в пределах каждого из которых нагрузка условно остается неизменной (рис. 4). Чем больше таких прямолинейных участков, тем меньше ошибка такой замены, но тем сложнее последующие расчеты.

По нагрузочной диаграмме и тахограмме электродвигателя можно определить мощность на каждом участке и, определив эквивалентную мощность за цикл, получить с учетом коэффициента запаса требуемую мощность ЭД.

При проектировании привода зависимости  $M_c(t)$  и  $\omega(t)$  являются либо заданными, либо в техническом задании на проектирование содержатся данные, достаточные для их расчета и построения.

Согласно действующему стандарту ГОСТ 183-55, существует три основных режима двигателей, различающихся характером изменения нагрузки: 1

- длительный;

- кратковременный;
- повторнократковременный.

В зависимости от режима работы различаются и кривые изменения температуры нагрева двигателя.

**1. Продолжительный режим S1** — когда при неизменной нагрузке  $P_{ном}$  работа двигателя продолжается так долго, что температура перегрева всех его частей успевает достигнуть установившихся значений  $\tau_{уст}$ . Различают продолжительные режимы с неизменной нагрузкой  $P = const$  (рис. 4 а) и с изменяющейся нагрузкой (рис. 4 б). Например, электроприводы насосов, транспортеров, вентиляторов работают в продолжительном режиме с неизменной нагрузкой, а электроприводы металлорежущих станков и т. п. работают в продолжительном режиме с изменяющейся нагрузкой.

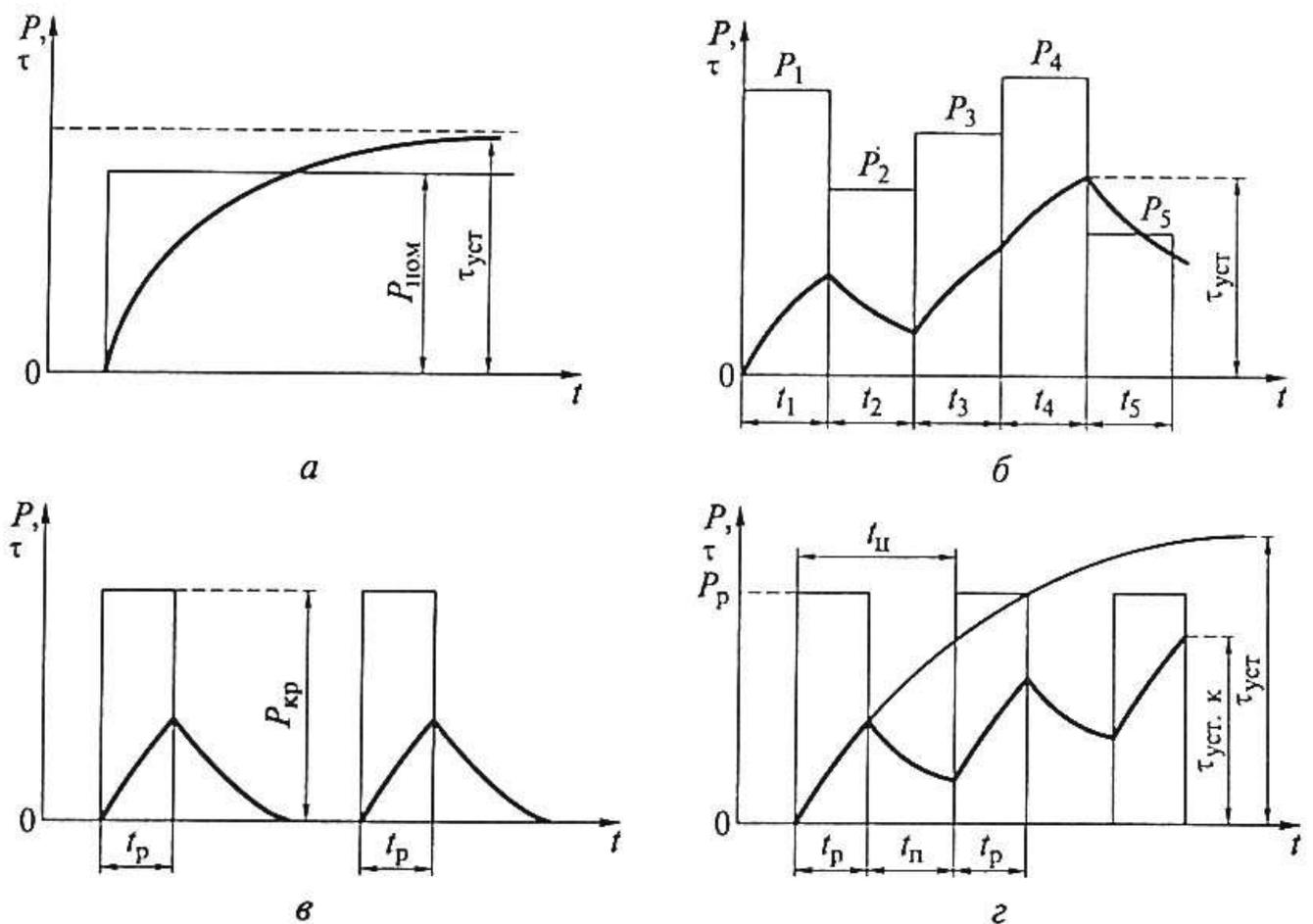


Рис. 4. Нагрузочные диаграммы при продолжительном неизменном (а), продолжительном переменном (б), кратковременном (в) и повторно-кратковременном (г) режимах работы двигателя

**2. Кратковременный режим S2** — когда периоды работы двигателя с неизменной нагрузкой  $t_p$  чередуются с периодами отключения двигателя (рис. 5.2, в). При этом периоды нагрузки двигателя  $t_p$  настолько кратковременны, что температуры нагрева всех частей двигателя не достигает установившихся значений, а периоды отключения двигателя настолько продолжительны, что все части двигателя успевают охладиться до температуры окружающей среды (допускается

превышение температуры не более чем на  $1^{\circ}\text{C}$ ). Кратковременная номинальная мощность – мощность, развиваемая двигателем в течение стандартного времени  $t_p$  и при этом его температура достигает допустимого значения для данного класса изоляции (обмотки не перегреваются).

В этом режиме  $t_p < 3T_n$ , а  $t_o > 3T_0$ . Для этого режима применяют двигатели, рассчитанные на меньшую мощность. На щитке двигателя, предназначенного для кратковременного номинального режима работы, указывается время, в течение которого он может работать с номинальной нагрузкой на валу

Стандартом установлена длительность периодов нагрузки 10; 30; 60 и 90 мин. В условном обозначении кратковременного режима указывается продолжительность периода нагрузки, например S2 — 30 мин. В кратковременном режиме работают электроприводы шлюзов, разного рода заслонок, вентилях и других запорных устройств, регулирующих подачу рабочего вещества (нефть, газ и др.) посредством трубопровода к объекту потребления.

**3. Повторно-кратковременный режим S3** — когда кратковременные периоды работы двигателя  $t_p$  чередуются с периодами отключения двигателя (паузами)  $t_n$ , причем за период нагрузки превышение температуры всех частей двигателя не успевает достигнуть установившихся значений, а за время паузы части двигателя не успевают охладиться до температуры окружающей среды. Общее время работы двигателя в повторно-кратковременном режиме разделяется на периодически повторяющиеся циклы продолжительностью  $t_{ц} = t_p + t_n$ .

При повторно-кратковременном режиме график нагревания двигателя имеет вид пилообразной кривой (рис. 4, г). При достижении двигателем установившегося значения температуры перегрева, соответствующего повторно-кратковременному режиму  $\tau_{уст.к}$ , температура перегрева двигателя продолжает колебаться от  $\tau_{min}$  до  $\tau_{max}$ . При этом  $\tau_{уст.к}$  меньше установившейся температуры перегрева, которая наступила бы, если бы режим работы двигателя был продолжительным ( $\tau_{уст.к} < \tau_{уст.}$ ). Примерами повторно-кратковременного режима являются работа электроприводов лифтов, подъемных кранов, экскаваторов и других устройств, для работы которых характерна цикличность (чередование периодов нагрузки с паузами). При этом продолжительность цикла не должна превышать 10 мин. Если  $t_{ц} > 10$  мин, то режим считают продолжительным.

Повторно-кратковременный режим характеризуется *относительной продолжительностью включения*, %,

$$ПВ = (t_p / t_{ц}) 100 \quad (11)$$

Согласно ГОСТ 183-55 предусмотрены номинальные повторно-кратковременные режимы с ПВ 15, 25, 40 и 60% (для продолжительного режима ПВ = 100 %). В условном обозначении повторно-кратковременного режима указывают величину ПВ, например S3 - 40 %. Рассмотренные три режима считают основными. В каталогах на двигатели, предназначенные для работы в каком-либо из этих режимов, указаны номинальные данные, соответствующие режиму работы.

Помимо рассмотренных трех основных режимов стандартом предусмотрены еще пять дополнительных:

- повторно-кратковременный режим S4 с частыми пусками, с числом включений в час 30, 60, 120 или 240;

- повторно-кратковременный режим S5 с частыми пусками и электрическим торможением в конце каждого цикла;
- перемежающийся режим S6 с частыми реверсами и электрическим торможением;
- перемежающийся режим S7 с частыми пусками, реверсами и электрическим торможением;
- перемежающийся режим S8 с двумя и более разными частотами вращения.

## 2.5 Проверка двигателей на достаточность пускового момента и перегрузочную способность

Выбранный для электропривода двигатель необходимо проверить на достаточность начального пускового момента и перегрузочную способность.

*Двигатели переменного тока* (асинхронные и синхронные) имеют *физический предел* начального пускового и максимального моментов. Поэтому для заданного значения напряжения эти двигатели не могут создать моментов, превышающих значений, указанных в каталоге (исключение составляют асинхронные двигатели с фазным ротором, допускающие увеличение пускового момента до максимального). При превышении статическим моментом  $M_c$  начального пускового момента  $M_n$  при включении двигателя в сеть пуск не произойдет, а при превышении этим моментом максимального момента  $M_{max}$  устойчивая работа двигателя нарушится и ротор остановится.

В каталогах на асинхронные двигатели по каждому типоразмеру указаны значения кратности пускового момента  $\lambda_n = M_n / M_{ном}$  и максимального момента  $\lambda_m = M_{max} / M_{ном}$ , где  $M_{ном}$  — номинальный момент. Для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором общего назначения  $\lambda_n = 1,2 \dots 2,0$ ;  $\lambda_m = 1,8 \dots 2,2$ ; для асинхронных двигателей с фазным ротором  $\lambda_m = 1,7 \dots 3,5$ ; для двигателей крановых и металлургических серий  $\lambda_m = 2,3 \dots 3,3$ ; для синхронных двигателей  $\lambda_m = 2 \dots 3$ .

Если на какой-либо ступени нагрузочной диаграммы мощность  $P_x$  отличается от номинальной, то частота вращения для этого *неноминального режима*, об/мин,

$$n_x = n_1 - P_x / P_{ном} (n_1 - n_{ном}) \quad (12)$$

Для асинхронного двигателя максимальный момент определяется как:

$$M_{max} = m U^2 / 2 \omega_0 X_k, \quad (13)$$

где  $X_k = x_1 + x_2'$

Для синхронного двигателя:

$$M_{max} = m U E / \omega_0 X_c \quad (14)$$

Необходимо также иметь в виду, что в соответствии с действующим стандартом в сетях, питающих электродвигатели, допустимые отклонения напряжения от номинального составляют  $\pm 5\%$ . Как известно, пусковой и максимальный моменты асинхронных двигателей пропорциональны квадрату напряжения. Поэтому при снижении напряжения сети на 5 % указанные моменты и перегрузочная способность двигателя уменьшатся на  $1 - (0,95)^2 = 0,1$ , т.е. на 10%.

Следовательно, если выбранный типоразмер двигателя не удовлетворяет требованиям электропривода, то следует принять следующий (смежный) типоразмер и произвести проверку по достаточности начального пускового момента и перегрузочной способности.

## 2.6 Методика выбора двигателя для кратковременного режима работы

В курсовой работе задача расчета сводится к определению мощности двигателя  $P_{\text{ном.кр}}$ , способного выдержать перегрузку  $P_{\text{кр}}$ , работая в кратковременном режиме в течение времени  $t_{\text{кр}}$  (см. рис. 5.2, в). При этом перегрев двигателя не должен превысить значения  $\tau_{\text{вст}}$ , соответствующего продолжительному режиму работы этого двигателя с номинальной нагрузкой  $P_{\text{ном}}$ . Полученная в результате расчета мощность  $P_{\text{ном.кр}}$  меньше мощности кратковременного режима  $P_{\text{кр}}$  на величину коэффициента механической перегрузки  $\delta_{\text{м}}$ .

Допустим, нагрузочная диаграмма кратковременного режима работы содержит 8 ступеней нагрузки.

Метод эквивалентной мощности применяется для выбора двигателя, если известна нагрузочная диаграмма ЭП  $P = f(t)$ , а мощность, развиваемая двигателем, пропорциональна току. Последнее условие справедливо при  $\Phi = \text{const}$  и  $\omega = \text{const}$ , что позволяет ввести понятие эквивалентной мощности. Условие выбора двигателя по нагреву  $P_{\text{эк}} < P_{\text{ном}}$ , где  $P_{\text{ном}}$  – мощность, развиваемая двигателем в номинальном режиме.

- 1) Для решения поставленной задачи в первую очередь по данным табл. №2 рисуют нагрузочную диаграмму, т.е. зависимость  $P = f(t)$ .
- 2) Следующим действием определяют эквивалентную мощность:

$$P_{\text{э}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (15)$$

Для этого из данных табл. №2 в формулу (1) подставляют текущие значения мощности на участках диаграммы  $P_x$  (кВт) и их продолжительность  $t_x$  (мин).

- 3) По полученным данным из формулы №1 предварительно из каталога двигателей выбирают близкий, больший по мощности и выписывают его данные: номинальную мощность  $P_{\text{ном}}$ ,
- 4) Далее определяют коэффициент термической перегрузки:

$$\delta_{\text{т}} = \frac{P_{\text{кр}}}{P_{\text{ном}}} \quad (16)$$

где  $t_{\text{к}}$  – время работы двигателя в кратковременном режиме (берется из таблицы или графика)

$T_{\text{н}}$  – постоянная времени нагрева для двигателя серии 4А, приводится в условии задачи.

$e$  - основание натурального логарифма, принимается 2,71.

5) По найденному значению коэффициента термической перегрузки рассчитывают коэффициент механической перегрузки:

$$\delta_m = \frac{\Delta P_{\text{пер}}}{\Delta P_{\text{пост}}} \quad (17)$$

где  $\alpha$  – отношение постоянных потерь к переменным,  $\alpha = \Delta P_{\text{пост}} / \Delta P_{\text{пер}}$ , принимается для асинхронных двигателей общего назначения с короткозамкнутым ротором 0,5-0,7.

6) Зная коэффициент механической перегрузки  $\delta_m$  рассчитывают мощность двигателя для продолжительного режима:

$$P'_H = P_{\text{э}} / \delta_m \quad (18)$$

По полученному значению мощности из каталога выбирают ближайший больший по мощности двигатель. И выписывают его технические характеристики:

- номинальную мощность  $P_{\text{ном}}$ ;
- номинальную частоту вращения  $n_H$ ;
- максимальный (критический) момент  $M_{*к}$  в о.е.;
- максимальный пусковой момент  $M_{*п}$  в о.е.;

7) Определяют номинальный  $M_H$ , максимальный  $M_K$  и пусковой моменты  $M_{\text{п}}$  двигателя:

$$\left. \begin{aligned} M_H &= 9550 \cdot P_H / n_H \\ M_K &= M_{*к} \cdot M_H \\ M_{\text{п}} &= M_{*п} \cdot M_H \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

8) Приведенный к валу электродвигателя момент нагрузки при  $n_{\text{сн}} = n_0 (1 - s_H) = \text{const}$

$$M_{\text{нагр}} = 9550 \frac{P_{\text{к}}}{n_{\text{сн}}} \quad (20)$$

где  $P_{\text{к}}$  подставляют из табличных данных или графика, т.о. проверяют по условию перегрузки:

$$M_K < M_{\text{нагр}}, \quad (21)$$

если двигатель «не проходит» по перегрузочной способности, т.е. не соблюдается условие

$$M_K \geq M_{\text{нагр}},$$

то выбирают следующий по мощности двигатель и его проверяют на перегрузочную способность.

9) Выбранный двигатель проверяют по условию пуска (5), считая что:

$$M_{\text{п}} = M_{* \text{п}} \cdot M_{\text{н}}, \text{ при этом}$$

$M_{\text{п}} > M_{\text{тр}} = M_{\text{нагр}}$ , где  $M_{\text{тр}}$  – момент трогания рабочей машины, Н·м

10) Предельное значение уменьшение напряжения, при котором пуск электродвигателей возможен, составляет 10%, т.е. берется коэффициент 0,81 следовательно условие перегрузочной способности:

$$M_{\text{нагр}} < 0,81 \cdot M_{\text{к}} \quad (22)$$

## 2.7 Расчет и построение механической характеристики асинхронного двигателя

Механические характеристики электродвигателей аналитически описывают и графически изображают как момент в функции скорости вращения ротора или, чаще всего, как зависимость скорости ротора от момента нагрузки на валу.

Для построения механической характеристики можно воспользоваться формулой Клосса.

$$M = 2M_{\text{к}} (1 + s_{\text{к}}) / (s_{\text{к}}/s + s/s_{\text{к}} + 2s_{\text{к}}) \quad (23)$$

Практическая польза этой формулы состоит в том, что по ней можно построить механическую характеристику, имея об асинхронном двигателе (АД) лишь информацию, приведенную в справочной литературе. Так кратность максимального момента  $M_{\text{max}} / M_{\text{ном}}$  в каталогах на двигатели указывается. Далее по известному числу полюсов  $2p$  определяют синхронную скорость вращения поля статора  $n_1$ , а по заданной номинальной скорости – номинальное скольжение  $s_{\text{ном}}$ . Теперь в формуле Клосса не известна только одна величина –  $s_{\text{к}}$  (критическое скольжение). Определив ее, можно строить механическую характеристику АД во всем диапазоне скольжений от 0 до 1.

В качестве примера приведен расчет и построение механической характеристики типового электродвигателя.

Рассчитать и построить механическую характеристику АД с короткозамкнутым ротором типа 4А (4А100Л2 У3), у которого  $P_{\text{н}} = 5,5$  кВт;  $s_{\text{н}} = 4$  %;  $\eta_{\text{н}} = 87,5$  %;  $\cos\varphi = 0,91$ ;  $M_{* \text{п}} = 2$ ;  $M_{* \text{к}} = 2,2$ ;  $M_{* \text{min}} = 1,2$ ;  $I_{* \text{п}} = 7,5$ .

Решение.

1. Скорость вращения

$$\omega_o = \frac{2\pi f_1}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314 \text{ рад/с.}$$

2. Скорость вращения вала двигателя при номинальной нагрузке

$$\omega_0 = \omega_0(1 - s_n) = 314(1 - 0,04) = 301 \text{ рад/с.}$$

3. Номинальный момент двигателя

$$M_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\omega_n} = \frac{5,5 \cdot 10^3}{301} = 18,3 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Этих данных достаточно для построения рабочего участка механической характеристики АД по двум точкам: номинальной нагрузки  $(\omega_n; M_n)$  и холостого хода  $(\omega_n; 0)$ .

Для получения всей механической характеристики продолжаем расчет.

4. Определяем критический (максимальный) момент

$$M_k = M_{*k} M_n = 2,2 \cdot 18,3 = 40,3 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

5. Пусковой момент двигателя при  $s = 1$

$$M_n = M_{*n} M_n = 2,0 \cdot 18,3 = 36,6 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

6. Минимальный момент двигателя при  $s = 0,85$

$$M_{мин} = M_{*мин} M_n = 1,2 \cdot 18,3 = 22,0 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

7 Критическое скольжение

$$s_k = \frac{s_n M_{*k} + \sqrt{M_{*k}^2 - 1 + 2s_n(M_{*k} - 1)}}{1 - 2s_n(M_{*k} - 1)} = \frac{0,04 \cdot 2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1 + 2 \cdot 0,04(2,2 - 1)}}{1 - 2 \cdot 0,04(2,2 - 1)} = 0,18$$

8. Текущее значение вращающего момента при заданных величинах определяют по формуле (23): при  $a = R_1 / R_2 = 1$

$$M = \frac{2M_k(1 + s_k)}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k} + 2s_k} = \frac{2 \cdot 40,3(1 + 0,18)}{\frac{0,18}{s} + \frac{s}{0,18} + 0,36} = \frac{95,1}{\frac{0,18}{s} + \frac{s}{0,18} + 0,36}$$

Полученные значения  $M$  и  $\omega$  приведены ниже в таблице 7.

Таблица 7

$s$	1	0,85	0,18	0,1	0,04	0
$M, \text{ Н} \cdot \text{м}$	36,6	22,0	40,3	-	18,3	0
$\omega, \text{ рад/с}$	0	47,1	257,5	282,6	301	314

2. Скорость вращения для заданных значений скольжения определяют по формуле:

$$\omega_k = \omega_0(1 - s_k) = 314(1 - 0,18) = 257,5 \text{ рад/с.}$$

По расчетным данным на рисунке 5 построена механическая характеристика АД.

На рисунке 5 представлена механическая характеристика АД, координаты которой определены только по каталожным данным, а для характеристики 2 момент определяли по формуле (23) значение скольжения, соответствующего минимальному моменту, ориентировочно принимают равным 0,84...0,86.

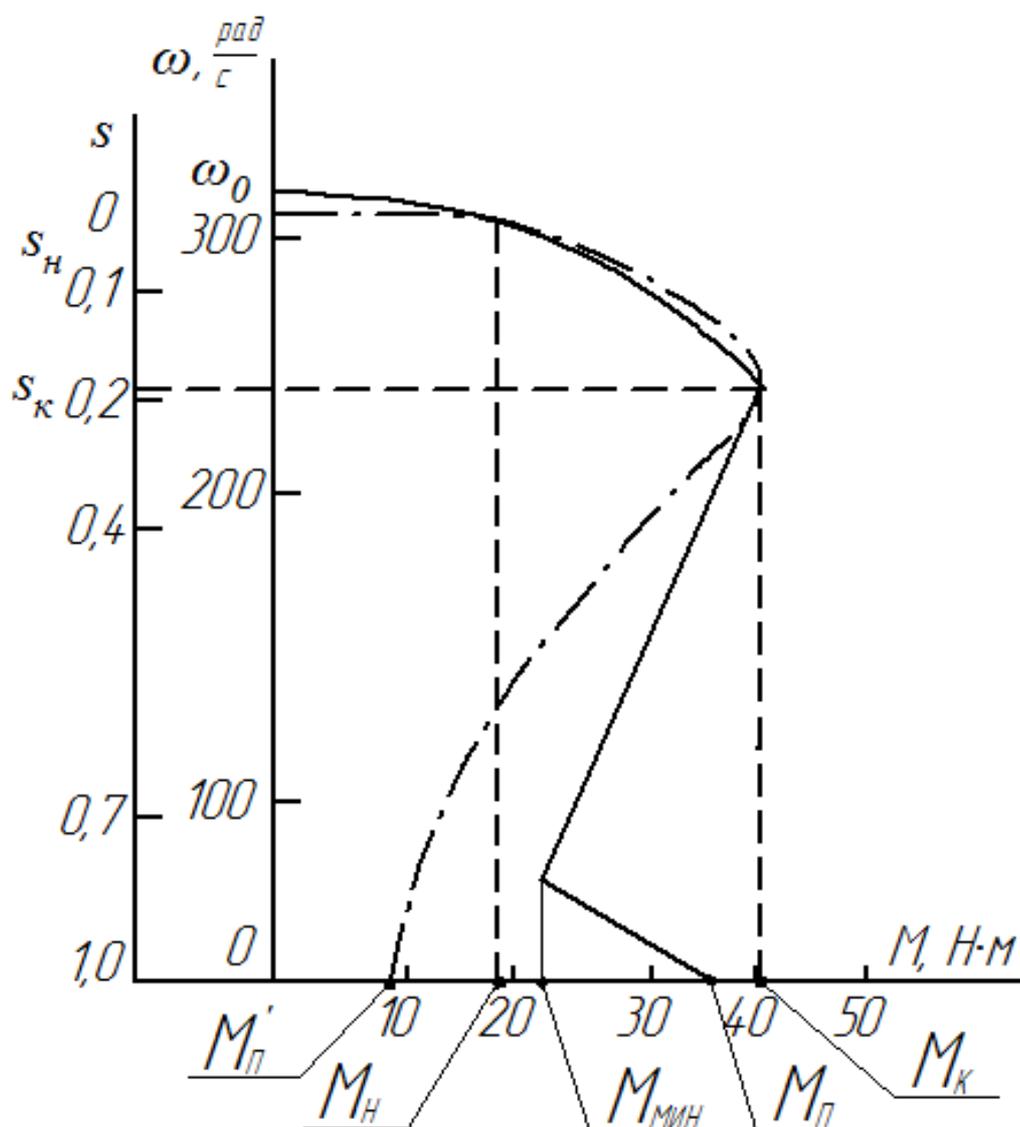


Рис. 5 Механическая характеристика асинхронного двигателя.

## 2.8 Пример расчета выбора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

На начальном этапе проектирования электропривода изучается место рабочей машины в технологическом процессе, ее основные функции и задачи. На основании этого изучения формулируются требования к рабочей машине со стороны технологии. Принцип действия рабочей машины или ее рабочего органа изучается по кинематической схеме. На основании изучения принципа действия рабочей машины определяются требования к электроприводу рабочей машины.

Основными требованиями, которые должны быть безусловно выполнены при проектировании электропривода, являются требования технологические: – надёжность – электропривод обязан выполнить заданные функции в оговоренных условиях в течение определённого промежутка времени. Неучёт надёжности приводит к тяжёлым последствиям; – должна быть обеспечена заданная производительность механизма, никогда снижение производительности не окупается снижением стоимости оборудования; – перемещение рабочего органа должно выполняться в пределах заданного времени; – ускорение рабочей машины не должно превышать заданного (допустимого) значения; – отклонение скорости установившегося режима не должно превышать заданного значения (заданного статизма); – по требованию рабочей машины электропривод должен обеспечивать реверс.

Выбор рода тока и типа электропривода целесообразно производить на основе рассмотрения и сравнения технико-экономических показателей ряда вариантов, удовлетворяющих техническим требованиям данной рабочей машины. На основании исходных данных и требований, предъявляемых к электроприводу, необходимо выбрать вариант электропривода, способный полностью выполнить требования и быть одновременно максимально экономичным.

«Правила устройства электроустановок» рекомендуют начинать процесс выбора рода тока с двигателей переменного тока. Для привода механизмов, не требующих регулирования частоты вращения, независимо от их мощности, рекомендуется применять электродвигатели синхронные или асинхронные с короткозамкнутым ротором. Для привода механизмов, имеющих тяжелые условия пуска или работы либо требующих изменения частоты вращения, следует применять электродвигатели с наиболее простыми и экономичными методами пуска или регулирования частоты вращения, возможными в данной установке. Электродвигатели постоянного тока допускается применять только в тех случаях, когда электродвигатели переменного тока не обеспечивают требуемых характеристик механизма либо не экономичны. Для нерегулируемого привода выбор типа двигателя прост. Двигатели переменного тока проще по конструкции, стоимость их ниже, обслуживание тоже требует меньших затрат.

Для регулируемого привода задача выбора типа привода решается сложнее. В зависимости от диапазона и плавности регулирования скорости, требований к качеству переходных процессов могут быть применены как системы реостатного регулирования скорости, так и системы с индивидуальными преобразователями. При глубоком регулировании скорости в большинстве случаев вопрос решается в пользу приводов постоянного тока. Однако конкурентными по своим свойствам

являются приводы с частотным и частотно-токовым управлением. Преимущества приводов с асинхронными двигателями – простота конструкции и повышенная надежность двигателей, возможность их изготовления в поточном производстве. Препятствием к быстрому внедрению частотно-регулируемых приводов является сложность систем управления, что приводит к недостаточной надежности их работы и повышенной стоимости.

Основные критерии выбора двигателей по мощности задача правильного выбора мощности двигателя связана, с одной стороны, с необходимостью безусловного обеспечения требований технологии, с другой стороны – с обеспечением надежности его продолжительной работы, а также с выполнением проблем энергосбережения. При выборе двигателя заниженной мощности:

- нарушается нормальный режим работы рабочей машины;
- снижается ее производительность; – возникают аварии;
- двигатель преждевременно выходит из строя.

Двигатель повышенной мощности:

- имеет заниженные энергетические показатели  $\eta$  и  $\cos \varphi$ ;
- увеличивает капитальные затраты;
- повышает потери энергии;
- преждевременно выводит из строя механизм;
- увеличивает затраты на ремонт.

Если длительная нагрузка двигателя больше номинальной, выше потери энергии, двигатель перегревается, снижается механическая прочность изоляции обмоток и, как следствие, снижается их электрическая прочность, повышается вероятность пробоя изоляции. Таким образом, основным критерием выбора электродвигателя по мощности является температура его обмоток, его нагрев. Номинальная нагрузка двигателя определяется заводом-изготовителем из условий нагрева. Существует «восьмиградусное правило» – повышение температуры изоляции от номинальной на 8 – 10 градусов сокращает срок службы изоляции в два раза. Задача выбора двигателя по мощности осложняется тем, что нагрузка на его валу в процессе работы, как правило, изменяется во времени, вследствие чего изменяются греющие потери и температура двигателя.

Для рабочих машин, работающих в циклических режимах, строится нагрузочная диаграмма, которая позволяет судить об изменении потерь в двигателе, что в свою очередь позволяет оценить его температуру при известном характере процесса нагрева. Такой подход позволяет выбрать электродвигатель таким образом, чтобы максимальная температура изоляции обмоток не превысила допустимого значения. Это условие является одним из основных критериев для обеспечения надежной работы электропривода в течение всего срока его эксплуатации. Второе условие выбора двигателя по мощности заключается в том, что его перегрузочная способность должна быть достаточной для устойчивой работы электропривода в периоды максимальной нагрузки.

Исходные данные:

Таблица 8

Значения нагрузочной диаграммы	Интервалы участков нагрузочной диаграммы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$P_x, \text{кВт}$	1	3	7	6	3	9	3	6
$t_x, \text{мин}$	6	5	4	6	2	2	1	3

По формуле (15) определяют эквивалентную мощность:

$$P_э = \frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{1^2 \cdot 6 + 3^2 \cdot 5 + 7^2 \cdot 4 + 6^2 \cdot 6 + 3^2 \cdot 2 + 9^2 \cdot 2 + 3^2 \cdot 1 + 6^2 \cdot 3}{6 + 5 + 4 + 6 + 2 + 2 + 1 + 3} = \frac{6 + 45 + 196 + 216 + 18 + 324 + 9 + 108}{39} = \frac{612}{39} = 15,69 \text{ кВт};$$

Из каталога на электрические двигатели типа 4А Предварительно выбираем двигатель 4А112М4У3. Номинальная мощность  $P_n = 5,5 \text{ кВт}$ ;  $n_n = 1445 \text{ мин}^{-1}$ .

Далее по формуле (16) определяют коэффициент термической перегрузки, принимая по условию задания постоянную времени нагрева  $T_n$  равную 30 мин:

$$\delta_T = \frac{P_э}{P_n} = \frac{15,69}{5,5} = 2,85;$$

Следующим действием можно по формуле (17) определить коэффициент механической перегрузки:

$$\delta_M = \frac{P_э}{P_n} = \frac{15,69}{5,5} = 2,85;$$

Определяем мощность двигателя режима S1 для работы в кратковременном режиме S2 с нагрузкой  $P_k = P_э$ . В соответствии с методикой по формуле (18) далее определяют мощность двигателя для продолжительного режима:

$$P = P_э / \delta_M = 15,69 / 2,85 = 5,5 \text{ кВт}$$

По каталогу ближайший большой по мощности двигатель 4А100L4У3:  $P_n = 4 \text{ кВт}$ ;  $n_n = 1430 \text{ мин}^{-1}$ ;  $M_{*к} = 2,4$ ;  $M_{*п} = 2,0$ ;  $\eta = 0,84$

Далее по формулам (19) определяют номинальный  $M_H$ , максимальный  $M_K$  и пусковой моменты  $M_{II}$  двигателя:

$$M_H = 9550 \frac{1}{350} = 9550 \frac{1}{350} = 26,71 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_K = M_{*K} \cdot M_H = 2,4 \cdot 26,71 = 64,1 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{II} = M_{*II} \cdot M_H = 2,0 \cdot 26,71 = 53,42 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Определим по формуле (20) приведённый к валу электродвигателя максимальный момент нагрузки при  $n_{с.н.} = 1430 \text{ мин}^{-1} = \text{const}$ :

$$M_{нагр} = 9550 \frac{1}{135} = 9550 \frac{1}{135} = 71,55 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Проверим выбранный двигатель по условию перегрузки по формуле (21):

В нашем случае  $M_K = 64,1 \text{ Н}\cdot\text{м} < 71,55 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , следовательно, выбранный двигатель не проходит по перегрузочной способности, т.к. не соблюдается условие  $M_K \geq M_{нагр}$ . Необходимо выбрать двигатель большей мощности. Из каталога выбираем двигатель 4А112М4У3. Выписываем его данные для расчета. Номинальная мощность  $P_H = 5,5 \text{ кВт}$ ,  $n_H = 1445 \text{ мин}^{-1}$ ,  $M_{*K} = 2,2$ ;  $M_{*II} = 2,0$ ;  $\eta = 0,84$ .

Далее для вновь выбранного двигателя делаем проверку на перегрузочную способность:

$$M_H = 9550 \frac{1}{260} = 9550 \frac{1}{260} = 36,35 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_K = M_{*K} \cdot M_H = 2,2 \cdot 36,35 = 79,97 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$M_K = 79,97 \text{ Н}\cdot\text{м} > M_{нагр} = 71,55 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , следовательно, двигатель соответствует условию перегрузочной способности ( $M_K > M_{нагр}$ ).

Проверим двигатель 4А112М4У3 по условиям пуска, при этом считаем, что

$$M_{II} = M_{*II} \cdot M_H = 2,0 \cdot 36,35 = 72,7 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{тр} = M_{*нагр} = 71,55 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad M_{II} = 72,7 \text{ Н}\cdot\text{м} > M_{тр} = 71,55 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Определяют предельное значение напряжения, при котором пуск электродвигателя возможен:

$$U_* = \frac{M_{II}}{M_{тр}} = \frac{72,7}{71,55} = 0,99$$

Как известно, ГОСТ 32144-2013 допускает снижение напряжения на зажимах электродвигателей на 5% , следовательно выбор произведен правильно.

## 2.9 Пример расчета определения возможности пуска электродвигателя

Электрическая нагрузка в течение суток всегда меняется, т.е. никогда не остается постоянной. Вследствие изменения нагрузки изменяется потеря напряжения в линии, а следовательно и напряжение у потребителя. Постепенные отклонения напряжения, вызываемые изменениями нагрузки в течение суток и года, называются отклонениями напряжения, происходящих, например, при пусках асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

Отклонения напряжения - это алгебраическая разность между напряжением в данной точке при данном режиме и номинальном напряжении сети. Этот показатель влияет на работу приемников электроэнергии. В частности работа АД также зависит от значения напряжения. При проектировании необходимо помнить, что прямо пропорционально квадрату напряжения изменяется момент вращения. Поэтому при снижении напряжения от номинального нормально загруженные двигатели останавливаются - опрокидываются. Кроме того при работе АД на постоянно пониженном напряжении, изоляция двигателей выходит из строя. Все вышеизложенное показывает, что электрическую сеть нужно проектировать так, чтобы отклонения напряжения у потребителей не выходили за допустимые пределы.

Проверить возможность пуска короткозамкнутого двигателя привода механизма при питании его от трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ с трансформатором мощностью 160 кВА. Воздушная линия, питающая двигатель, имеет длину  $l = 500$  м и выполнена проводом А-50. Расчет выполнить для напряжений сети 220/127 и 380/220 В.

Каталожные данные двигателя 4А200L 4У3:  $P_H = 45$  кВт;  $I_H = 76,05$  А при  $U_H = 380$  В;  $n_H = 1475$  об/мин;  $\eta_H = 92,0$  %;  $\cos \varphi = 0,9$ ; кратность пускового тока  $K_i = 7,0$ ;  $\mu_0 = 1,4$ ;  $\lambda = 2,5$ .

Каталожные данные трансформатора ТМ-160/0,4:  $U_K = 4,5$  %;  $S_H = 160$  кВА. Удельное сопротивление воздушной линии А-50 составляет 0,64 Ом/км. Пуск двигателя осуществляется вхолостую, трансформатор при этом работает также в холостом режиме.

Решение:

Проверим возможность пуска двигателя при  $U_C = 220$  В. Найдем потерю напряжения при пуске двигателя и допустимую потерю, при которой возможен пуск:

$$\Delta U = \frac{Z_{TP} + Z_L}{Z_{TP} + Z_L + Z_{ДВ}} \cdot 100\%$$

где  $Z_{ТР}$  - полное сопротивление короткого замыкания обмоток трансформатора Ом;

$Z_{Л}$  - полное сопротивление соединительной линии, Ом;

$Z_{ДВ}$  - полное сопротивление короткого замыкания асинхронного двигателя, Ом.

$$1. \quad Z_{ТР} = \frac{U_H \cdot U_K}{100 \cdot I_H} ;$$

$$I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot 220} = \frac{160\,000}{\sqrt{3} \cdot 220} = 421 \text{ А};$$

$$Z_{ТР} = \frac{220 \cdot 4,5}{\sqrt{3} \cdot 421 \cdot 100} = 0,013 \text{ Ом.}$$

2. Сопротивление линии

$$Z_{Л} = \rho l,$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление линии, Ом/км;

$l$  - длина воздушной линии, км;

$$Z_{Л} = 0,64 \cdot 0,5 = 0,320 \text{ Ом.}$$

$$3. \quad Z_{ДВ} = \frac{U_H}{K_i \cdot I_{H,дв}}, \quad (K_i = \frac{I}{I_H}).$$

При  $U_H = 220 \text{ В}$

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \phi} = \frac{45\,000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,92 \cdot 0,9} = 143,02 \text{ А};$$

$$Z_{ДВ} = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot 7,0 \cdot 143,02} = 0,13 \text{ Ом.}$$

4. При пуске электродвигателя потеря напряжения

$$\Delta U = \frac{0,013 + 0,320}{0,013 + 0,320 + 0,13} \cdot 100 \% = 71,9 \%$$

5. Допустимая потеря напряжения

$$\Delta U' = (1 - \sqrt{\frac{\lambda_{ТРОГ} + \lambda_{ИЗБ}}{\mu_0}}) \cdot 100 \%$$

где  $\lambda_{\text{ТРОГ}}$  и  $\lambda_{\text{ИЗБ}}$  - кратности моментов  $M_{\text{ТРОГ}}$  и  $M_{\text{ИЗБ}}$  (принимаются при пуске двигателя вхолостую  $\lambda_{\text{ТРОГ}} + \lambda_{\text{ИЗБ}} = 0,3$ ).

Тогда 
$$\Delta U' = (1 - \sqrt{\frac{0,3}{1,4}}) \cdot 100 \% = 54 \%$$

Так как  $\Delta U > \Delta U'$ , включать двигатель в сеть напряжением 220 В нельзя.

Проверим возможность пуска двигателя при  $U_{\text{Н}} = 380$  В:

1. 
$$I_{\text{н.тр}} = \frac{160\,000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 243 \text{ А};$$

$$Z_{\text{тр}} = \frac{380 \cdot 4,5}{\sqrt{3} \cdot 243 \cdot 100} = 0,04 \text{ Ом.}$$

2. Сопротивление линии остается неизменным:

$$Z_{\text{л}} = 0,320 \text{ Ом}$$

3. 
$$Z_{\text{дв}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 7,0 \cdot 76,5} = 0,412 \text{ Ом.}$$

4. При пуске электродвигателя потеря напряжения

$$\Delta U = \frac{0,04 + 0,32}{0,04 + 0,320 + 0,412} \cdot 100 = 46,6 \%$$

$\Delta U < \Delta U'$ , следовательно, прямой пуск двигателя от сети с напряжением 380 В возможен.

### 3 Оформление курсовой работы

Курсовая работа – это практическая деятельность студента по изучаемому профессиональному модулю конструкторского или технологического характера. Настоящие методические указания определяют цели и задачи, порядок

Все расчёты в пояснительной записке приводят так: дают расчётную формулу с пояснениями входящих в неё величин, затем подставляют их численные значения и получают результат. При необходимости расчёт должен быть проиллюстрирован эскизом.

Курсовая работа выполняется самостоятельно и представляется к защите пояснительной запиской в твердой обложке на листах размерами 297x210 мм с полями: слева 30 мм, справа 10 мм, сверху и снизу по 20 мм, поля не отчеркиваются. Объем пояснительной записки 30...40 стр.; графический лист формата А1. Пояснительная записка и чертежи оформляются в соответствии с ГОСТ 7-32-2001 на оформление отчетов научно-исследовательских работ. Основные требования к оформлению пояснительной записки:

1) Пояснительная записка должна быть написана разборчивым почерком или напечатана на ПЭВМ 14-м (13-м) шрифтом с одинарным или полуторным междустрочным интервалом. Заголовки разделов, подразделов и пунктов следует печатать с абзацного отступа с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая.

2) Номер страницы проставляют в центре нижней части листа без точки.

3) Все таблицы и рисунки нумеруются в пределах раздела, они должны иметь название. Их размещают после первого упоминания в тексте в удобном месте, желательно без разрыва таблиц и рисунков.

4) Формула вписывается в отдельную строку. После формулы ставится запятая и с новой строки после слова "где" даются разъяснения символов и коэффициентов.

Например, определение потери напряжения на участке линии производится по формуле  $\Delta U_{уч} = (P_{уч} \cdot R_{0уч} \cdot L_{уч} + Q_{уч} \cdot X_{0уч} \cdot L_{уч}) 100\% / U_{ном}^2$ ,

где  $\Delta U_{уч}$  — потеря напряжения на участке сети в %;  $P_{уч}$ ,  $Q_{уч}$  — поток активной и реактивной мощности на участке;  $R_{0уч}$ ,  $X_{0уч}$  — погонные активное и индуктивное сопротивления Ом/км;  $L_{уч}$  — длина участка сети, км.

5) В записку вносятся вычисления одного примера, а остальные подобные вычисления из черновика переносятся в таблицы. Черновики потребуются при защите курсовой работы. Название таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире.

6) Рисунки в записке выполняются на белой бумаге (допускается на миллиметровке) черной пастой. Слово "рисунок" и его наименование располагают посередине строки после пояснительных данных и располагают следующим образом: Рисунок 1 — Схема питания потребителей.

7) Ссылки на использованную литературу производятся в квадратных скобках в порядке использования в тексте, например [1].

8) Сведения об источниках следует располагать в порядке появления ссылок на источники в тексте и нумеровать арабскими цифрами без точки и печатать с абзацного отступа. Литература в список использованных источников заносится в том порядке, в котором использовалась в тексте 1,2 и т.д..

## Заключение

Электропривод является неотъемлемой частью многих агрегатов и комплексов, используемых в различных отраслях народного хозяйства, науки и техники, в том числе и в сельском хозяйстве. Наряду с тенденцией автоматизации технологических и производственных процессов на базе вычислительной техники, современный электропривод стал наиболее распространенной разновидностью систем автоматического управления техническими объектами. Эти факторы оцениваются как основные, позволившие утроить объем мирового производства за последние десятилетия.

Появление новых научных и технических решений и изменение самого электропривода в современных условиях требует дополнений во многие разделы дисциплины. Физические обоснования явлений, присущих электроприводу как техническому устройству электромеханики, необходимо рассматривать совместно с математическими моделями электропривода как объекта управления в понятиях и терминах теории автоматического управления. Рассмотрение современных систем управления электроприводов требует глубокого усвоения совместной работы двигателя с устройствами преобразовательной техники.

В курсовой работе по дисциплине «Электропривод и электрооборудование» в первом задании является: выбор асинхронного короткозамкнутого двигателя для привода сельскохозяйственной машины в кратковременном режиме.

Во второй части работы учащимся необходимо определить возможность пуска электродвигателя от трансформаторной подстанции с известными данными длины линии и марки провода линии.

## Список литературы

1. Бекишев Р. Ф., Дементьев Ю. Н. Электропривод : учебное пособие для академического бакалавриата. – 2-е изд. – М. : Издательство Юрайт, 2016, 301 с.
2. Воробьев В. А. Электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства : учебник для СПО. – 2-е изд. испр. и доп.. – М. : Издательство Юрайт, 2016, 283 с.
3. Воробьев В. А. Практикум по электроприводу сельскохозяйственных машин и установок М.: КолосС, 2009.
4. Епифанов А. П. Электропривод в сельском хозяйстве СПб.: Лань, 2010
5. Кацман М. М. Справочник по электрическим машинам. — М.: Изд. центр «Академия», 2005.
6. Коломиец А. П. Электропривод и электрооборудование М.: КолосС, 2007.
7. Москаленко В.В. Справочник электромонтера: М.: Изд. центр «Академия», 2008. – 368 с.
8. Никитенко Г. В. Электропривод производственных механизмов СПб.: Лань, 2013
9. Онищенко Г.Б. Электрический привод: М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 288 с.
10. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. – Министерство Энергетики РФ, М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2007.
11. Савченко П.И., Гаврилюк И.А. и др. Практикум по электроприводу в сельском хозяйстве М. : «Колос» 1996.
12. Смирнов А.Д., Антипов К.М. Справочная книжка энергетика. – 4 –е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2014. – 440с.
13. Фролов Ю. М., Шелякин В. П. Электрический привод : краткий курс : учебник для академического бакалавриата / Под ред. Ю. М. Фролова. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2017, 251 с.
14. Шичков Л. П. Электрический привод: М.: КолосС, 2006.
15. Шичков Л. П., Мохова О. П. Практикум по электрическому приводу М.: КолосС, 2010.
16. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для ВУЗов. – М.: «Академия», 2004. – 576с.
17. Ильинский Н.Ф. Основы электропривода: учеб. пособие для ВУЗов. – 2-е изд., - М.:МЭИ, 2003. – 224 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Технические данные асинхронных двигателей серии  
4А закрытого исполнения (1Р44) напряжение 380/220 В

Тип	$P_{\text{НОМ}}$ , кВт	$S_{\text{НОМ}}$ , %	$\eta_{\text{НОМ}}$ , %	$\cos\phi_{\text{НОМ}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{НОМ}}}$	$\frac{M_{\text{П}}}{M_{\text{НОМ}}}$	$S_{\text{к}}$ %	$\frac{I_{\text{П}}}{I_{\text{НОМ}}}$	$J_{\text{д}} \cdot 2$ кгм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Синхронная частота вращения 3000 об/мин									
4АА50А2У3	0,09	8,6	60	0,7	2,2	2	50	5	$2,5 \cdot 10^{-5}$
4АА50В2У3	0,12	9,7	63	0,7	2,2	2	51	5	$2,8 \cdot 10^{-5}$
4АА56А2У3	0,18	8	66	0,76	2,2	2	46	5	$4,2 \cdot 10^{-4}$
4АА56В2У3	0,25	8	68	0,77	2,2	2	51	5	$4,7 \cdot 10^{-4}$
4А63А2У3	0,37	8,3	70	0,86	2,2	2	50,5	5	$7,6 \cdot 10^{-4}$
4А63В2У3	0,55	8,5	73	0,86	2,2	2	54,5	5	$9 \cdot 10^{-4}$
4А71А2У3	0,75	5,3	77	0,87	2,2	2	38	5,5	$9,7 \cdot 10^{-4}$
4А71В2У3	1,1	6,3	77,5	0,87	2,2	2	39	5,5	$1,1 \cdot 10^{-3}$
4А80А2У3	1,5	5	81	0,85	2,2	2	35,5	6,5	$1,8 \cdot 10^{-3}$
4А80В2У3	2,2	5	83	0,87	2,2	2	38	6,5	$2,1 \cdot 10^{-3}$
4А90Л2У3	3	5,4	84,5	0,88	2,2	2	32,5	6,5	$3,5 \cdot 10^{-3}$
4А100S2У3	4	4	86,5	0,89	2,2	2	28	7,5	$5,9 \cdot 10^{-3}$
4А100L2У3	5,5	4	87,5	0,91	2,2	2	29	7,5	$7,5 \cdot 10^{-3}$
4А112M2У3	7,5	2,6	87,5	0,88	2,2	2	17	7,5	0,01
4А132M2У3	11	3,1	88	0,9	2,2	1,6	19	7,5	0,023
4А160S2У3	15	2,3	88	0,91	2,2	1,4	12	7,5	0,048
4А160M2У3	18,5	2,3	88,5	0,92	2,2	1,4	12,5	7,5	0,053
4А180S2У3	22	2	88,5	0,91	2,2	1,4	12,5	7,5	0,07
4А180M2У3	30	1,9	90,5	0,90	2,2	1,4	12,5	7,5	0,085
4А200M2У3	37	1,9	90	0,89	2,2	1,4	12,5	7,5	0,15
4А200L2У3	45	1,8	91	0,9	2,2	1,4	11,5	7,5	0,17
4А225M2У3	55	2,1	91	0,92	2,2	1,2	11	7,5	0,25
4А250S2У3	75	1,4	91	0,89	2,2	1,2	10	7,5	0,47
4А250M2У3	90	1,4	92	0,9	2,2	1,2	10	7,5	0,52
4А280S2У3	110	2	91	0,89	2,2	1,2	8,5	7	1,1
4А280M2У3	132	2	91,5	0,89	2,2	1,2	8,5	7	1,2
4А315S2У3	160	1,9	92	0,9	1,9	1	8,5	7	1,4
4А315M2У3	200	1,9	92,5	0,9	1,9	1	9	7	1,6
4А355S2У3	250	1,9	92,5	0,9	1,9	1	7	7	2,9
4А355M2У3	315	2	93	0,91	1,9	1	7,5	7	3,2
Синхронная частота вращения 1500 об/мин									
4АА50А4У3	0,06	8,1	50	0,6	2,2	2	58,5	5	$2,9 \cdot 10^{-5}$
4АА50В4У3	0,09	8,6	55	0,6	2,2	2	59	5	$3,3 \cdot 10^{-5}$
4АА56А4У3	0,12	8	63	0,66	2,2	2	49	5	$7,7 \cdot 10^{-4}$
4АА56В4У3	0,18	8,7	64	0,64	2,2	2	50,5	5	$7,9 \cdot 10^{-4}$
4АА63А4У3	0,25	8	68	0,65	2,2	2	48	5	$1,2 \cdot 10^{-3}$
4АА63В4У3	0,37	9	68	0,69	2,2	2	48	5	$1,4 \cdot 10^{-3}$
4А71А4У3	0,55	8,7	70,5	0,70	2,2	2	39	4,5	$1,3 \cdot 10^{-3}$
4А71В4У3	0,75	8,7	72	0,73	2,2	2	40	4,5	$1,4 \cdot 10^{-3}$

4A80A4Y3	1,1	6,7	75	0,81	2,2	2	34	5	$3,2 \cdot 10^{-3}$
4A80B4Y3	1,5	6,7	77	0,83	2,2	2	34,5	5	$3,3 \cdot 10^{-3}$
4A90L4Y3	2,2	5,4	80	0,83	2,2	2	33	6	$5,6 \cdot 10^{-3}$
4A100S4Y3	3	5,3	82	0,83	2,2	2	31	6,5	$8,7 \cdot 10^{-3}$
4A100L4Y3	4	5,3	84	0,84	2,2	2	31,5	6	0,011
4A112M4Y3	5,5	5	85,5	0,86	2,2	2	25	7	0,017
4A132S4Y3	7,5	3	87,5	0,86	2,2	2	19,5	7,5	0,028
4A132M4Y3	11	2,8	87,5	0,87	2,2	2	19,5	7,5	0,04
4A160S4Y3	15	2,7	89	0,88	2,2	1,4	16	7	0,1
4A160M4Y3	18,5	2,7	90	0,88	2,2	1,4	16	7	0,13
4A180S4Y3	22	2	90	0,9	2,2	1,4	14	7	0,19
4A180M4Y3	30	2	91	0,89	2,2	1,4	14	7	0,23
4A200M4Y3	37	1,7	91	0,9	2,2	1,4	10	7	0,37
4A200L4Y3	45	1,8	92	0,9	2,2	1,4	10	7	0,45
4A225M4Y3	55	2	92,5	0,9	2,2	1,2	10	7	0,64
4A250S4Y3	75	1,4	93	0,9	2,2	1,2	9,5	7	1,0
4A250M4Y3	90	1,3	93	0,91	2,2	1,2	9,5	7	1,2
4A280S4Y3	110	2,3	92,5	0,90	2	1,2	8,5	7	2,3
4A280M4Y3	132	2,3	93	0,9	2	1,2	6,5	6,5	2,5
4A315S4Y3	160	2	93,5	0,91	1,9	1	6,5	7	3,1
4A315M4Y3	200	1,7	94	0,92	1,9	1	5,0	7	3,6
4A355S4Y3	250	1,7	94,5	0,92	1,9	1	4,0	7	6,0
4A355M4Y3	315	1,7	94,5	0,92	1,9	1	4,0	7	7,0
Синхронная частота вращения 1000 об/мин									
4AA63A6Y3	0,18	11,5	56	0,62	2,2	2	55,5	4	0,0018
4AA63B6Y3	0,25	10,8	59	0,62	2,2	2	62,5	4	0,0022
4AA71A6Y3	0,37	8	64,5	0,69	2,2	2	49	4	0,0017
4AA71B6Y3	0,55	8	67,5	0,71	2,2	2	49	4	0,002
4A80A6Y3	0,75	8	69	0,74	2,2	2	37	4	0,0031
4A80B6Y3	1,1	8	74	0,74	2,2	2	38	4	0,0046
4A90L6Y3	1,5	6,4	75	0,74	2,2	2	31	5,5	0,0073
4A100L6Y3	2,2	5,1	81	0,73	2,2	2	25,5	5,5	0,013
4A112M6Y3	3	5,5	81	0,76	2,2	2	37	6	0,017
4A112MB6Y3	4	5,1	82	0,81	2,2	2	38	6	0,021
4A132S6Y3	5,5	4,1	85	0,8	2,2	2	36	7	0,04
4A132M6Y3	7,5	3,2	85,5	0,81	2,2	2	26	7	0,058
4A160S6Y3	11	3	86	0,86	2,0	1,2	15	6	0,14
4A160M6Y3	15	3	87,5	0,87	2	1,2	14	6	0,18
4A180M6Y3	18,5	2,7	88	0,87	2	1,2	13,5	6	0,22
4A200M6Y3	22	2,5	90	0,9	2	1,2	13,5	6,5	0,4
4A200L6Y3	30	2,3	90,5	0,9	2	1,2	13,5	6,5	0,45
4A225M6Y3	37	2	91	0,89	2	1,2	11,5	6,5	0,74
4A250S6Y3	45	1,5	91,5	0,89	2	1,2	9	7	1,2
4A250M6Y3	55	1,5	92	0,88	2	1,2	9,5	7	1,3
4A280S6Y3	75	2	92	0,88	1,9	1,2	8,3	7	2,9
4A280M6Y3	90	2	92,5	0,89	1,9	1,2	8,3	7	3,4
4A315S6Y3	110	2	93	0,9	1,9	1	8,2	7	4
4A315M6Y3	132	2	93,5	0,9	1,9	1	8,2	7	4,5
4A355S6Y3	160	1,8	93,5	0,9	1,9	1	6,5	7	7,3
4A355M6Y3	200	1,8	94	0,9	1,9	1	6,4	7	8,8

Таблица 2

Параметры схемы замещения асинхронных двигателей серии  
4А закрытого исполнения (IP44) – в относительных единицах

Тип	$X_{\Sigma}^*$	$R_1^*$	$X_1^*$	$R_2^*$	$X_2^*$
Синхронная частота вращения 1500 об/мин					
4AA50A4Y3	1,2	0,16	0,17	0,22	0,17
4AA50B4Y3	1,2	0,13	0,16	0,21	0,17
4AA56A4Y3	1,2	0,18	0,087	0,15	0,15
4AA56B4Y3	1,3	0,18	0,090	0,16	0,17
4AA63A4Y3	1,4	0,15	0,082	0,14	0,17
4AA63B4Y3	1,4	0,17	0,086	0,14	0,18
4AA71A4Y3	1,6	0,13	0,086	0,11	0,20
4AA71B4Y3	1,5	0,11	0,084	0,11	0,20
4A80A4Y3	1,7	0,12	0,078	0,068	0,12
4A80B4Y3	1,9	0,12	0,078	0,069	0,12
4A90L4Y3	2,1	0,098	0,076	0,060	0,13
4A90S4Y3	2,2	0,078	0,079	0,053	0,13
4A100L4Y3	2,4	0,067	0,079	0,053	0,14
4A112M4Y3	2,8	0,064	0,078	0,041	0,13
4A132S4Y3	3,0	0,048	0,085	0,033	0,13
4A132M4Y3	3,2	0,043	0,085	0,032	0,13
4A160M4Y3	4,0	0,047	0,086	0,025	0,13
4A160M4Y3	4,3	0,042	0,085	0,024	0,13
4A180S4Y3	4,0	0,041	0,080	0,021	0,12
4A180M4Y3	3,9	0,034	0,068	0,018	0,12
4A200M4Y3	4,4	0,039	0,086	0,018	0,14
4A200L4Y3	4,6	0,034	0,082	0,017	0,14
4A225M4Y3	4,2	0,027	0,086	0,015	0,14
4A250S4Y3	4,4	0,025	0,089	0,014	0,11
4A250M4Y3	5,0	0,024	0,093	0,014	0,12
4A280S4Y3	4,9	0,023	0,122	0,019	0,16
4A280M4Y3	4,5	0,021	0,115	0,018	0,15
4A315S4Y3	4,6	0,018	0,107	0,017	0,15
4A315M4Y3	4,1	0,014	0,086	0,014	0,12
4A355S4Y3	4,6	0,013	0,090	0,013	0,13
4A355M4Y3	5,7	0,012	0,099	0,014	0,14

Таблица 3

Параметры схемы замещения асинхронных двигателей серии 4А  
закрытого исполнения (IP44) – в относительных единицах

Тип	$x_{\mu}$	$R_1^*$	$x_1^*$	$R_2^*$	$x_2^*$
Синхронная частота вращения 3000 об/мин					
4AA50A2Y3	2,5	0,15	0,092	0,14	0,16
4AA50B2Y3	2,3	0,11	0,076	0,12	0,14
4AA56A2Y3	2,0	0,178	0,052	0,094	0,067
4AA56B2Y3	2,4	0,16	0,053	0,11	0,079
4AA63A2Y3	2,5	0,14	0,052	0,096	0,080
4AA63B2Y3	2,5	0,13	0,049	0,096	0,083
4A71A2Y3	2,6	0,12	0,052	0,064	0,077
4A71B2Y3	2,8	0,13	0,054	0,069	0,084
4A80A2Y3	2,5	0,084	0,051	0,049	0,081
4A80B2Y3	2,7	0,076	0,050	0,049	0,087
4A90L2Y3	3,4	0,072	0,057	0,047	0,10
4A100S2Y3	3,4	0,054	0,055	0,036	0,099
4A100L2Y3	3,8	0,050	0,054	0,036	0,11
4A112M2Y3	3,7	0,046	0,058	0,028	0,14
4A132M2Y3	4,2	0,040	0,061	0,025	0,12
4A160S2Y3	4,0	0,052	0,092	0,022	0,12
4A160M2Y3	4,5	0,049	0,092	0,022	0,12
4A180S2Y3	3,6	0,039	0,091	0,020	0,11
4A180M2Y3	3,8	0,030	0,073	0,018	0,11
4A200M2Y3	4,1	0,029	0,094	0,021	0,12
4A200L2Y3	4,9	0,027	0,088	0,020	0,13
4A225M2Y3	5,6	0,026	0,092	0,019	0,12
4A250S2Y3	4,8	0,021	0,080	0,015	0,13
4A250M2Y3	5,2	0,020	0,078	0,016	0,13
4A280S2Y3	3,8	0,017	0,097	0,013	0,10
4A280M2Y3	4,2	0,017	0,095	0,013	0,10
4A315S2Y3	5,0	0,015	0,093	0,012	0,12
4A315M2Y3	4,9	0,012	0,080	0,011	0,19
4A355S2Y3	5,7	0,013	0,091	0,011	0,10
4A355M2Y3	6,1	0,013	0,088	0,011	0,11

Таблица 4

Параметры схемы замещения асинхронных двигателей серии 4А  
закрытого исполнения (IP44) – в относительных единицах

Тип	$X_{\mu}$	$R_1^*$	$X_1$	$R_2'^*$	$X_2'^*$
Синхронная частота вращения 1000 об/мин					
4AA63A6Y3	1,3	0,24	0,15	0,22	0,18
4AA63B5Y3	1,4	0,18	0,13	0,21	0,19
4AA71A6Y3	1,3	0,17	0,12	0,15	0,16
4AA71B6Y3	1,4	0,16	0,11	0,15	0,17
4AA80A6Y3	1,5	0,16	0,12	0,120	0,20
4A80B6Y3	1,6	0,12	0,11	0,11	0,19
4A90L6Y3	1,8	0,11	0,11	0,088	0,21
4A100L6Y3	1,9	0,090	0,11	0,067	0,21
4A112MA6Y3	1,9	0,085	0,074	0,063	0,10
4A112MB6Y3	2,0	0,077	0,073	0,062	0,11
4A132S6Y3	1,9	0,067	0,072	0,041	0,11
4A132M6Y3	2,1	0,060	0,070	0,040	0,11
4A160S6Y3	3,0	0,073	0,11	0,030	0,15
4A160M6Y3	3,0	0,062	0,10	0,028	0,16
4A180M6Y3	2,9	0,056	0,11	0,026	0,13
4A200M6Y3	4,1	0,050	0,11	0,024	0,14
4A200L6Y3	3,7	0,046	0,12	0,022	0,13
4A225M6Y3	3,7	0,042	0,10	0,019	0,13
4A250S6Y3	3,8	0,037	0,090	0,015	0,14
4A250M6Y3	3,4	0,034	0,083	0,014	0,13
4A280S6Y3	3,7	0,032	0,12	0,021	0,13
4A280M6Y3	3,5	0,030	0,11	0,019	0,12
4A315S6Y3	3,9	0,026	0,10	0,018	0,12
4A315M6Y3	3,5	0,023	0,099	0,018	0,12
4A355S6Y3	3,8	0,020	0,10	0,015	0,14
4A355M6Y3	3,6	0,018	0,091	0,014	0,13

Таблица 5

Технические данные электродвигателей серии 4МТК с короткозамкнутым ротором, ПВ = 40%, 380 В, 50 Гц

Тип	$J_{д'}$ , кгм <sup>2</sup>	2р	$P_{ном}$ , кВт	$n_{ном}$ , об/мин	$I_1$ , А	$\cos\phi$	$\eta_{ном}$ %	$M_{max}$ , Н·м	$M_{п}$ , Н·м	$I_n$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4МТКФ(Н)112L6	0,035	6	2,2	880	6,8	0,73	64	64	62	22, 7
4МТКФ(Н)112LB6	0,045	6	3,7	870	10,6	0,75	67	114	114	37, 2
4МТКФ(Н)132L6	0,09	6	5,5	900	13,6	0,75	74	155	145	57
4МТКФ(Н)132LB6	0,11	6	7,5	900	18,3	0,7	76	225	216	79
4МТКФ(Н)160L6	0,23	6	11	910	29	0,76	77,5	395	340	148
4МТКФ(Н)160LB6	0,28	6	15	930	36,5	0,78	81	560	480	203
4МТКФ(Н)200L6	0,57	6	22	935	51	0,79	82,5	760	706	275
4МТКФ(Н)200LB6	0,68	6	30	935	70	0,78	83,5	980	932	380
4МТКФ(Н)160L8	0,23	8	7,5	690	24	0,71	73,5	310	260	91, 5
4МТКФ(Н)160LB8	0,29	8	11	700	33,5	0,74	76,5	500	420	141
4МТКФ(Н)200L8	0,62	8	15	695	40	0,71	80	657	638	185
4МТКФ(Н)200LB8	0,74	8	2,2	700	60	0,69	80,5	981	932	295
4МТКН225М8	1,07	8	30	700	68	0,77	84	1128	1128	336
4МТКН225L8	1,42	8	37	710	86	0,78	84,5	1470	1390	460

Таблица 6

Расчетные данные асинхронных короткозамкнутых двигателей серии 4МТК, 380 В, 50 Гц

Тип 4МТКФ, 4МТКН	$I_0$ , А	$R_k$ , Ом	$x_k$ , Ом	$k_r =$ $k_e^2$	$t^0 = 20^0C$ $R_1$ , Ом
112L6	4,81	9,66	5,87	5,9	2,97
112LB6	7,97	5,7	3,34	2,44	1,55
132L6	8	3,36	2,87	1,97	1,07
132LB6	10,1	2,37	1,91	1,2	0,68
160L6	20,4	1,15	1,18	0,69 5	0,35
160LB6	22,7	0,81	0,864	0,39	0,236
200L6	31,3	0,5	0,63	0,31 9	0,235
200 LB6	42,1	0,36	0,455	0,17 3	0,132
160L8	16,4	1,81	2,24	1,67	0,48
160LB8	25,2	1,1	1,43	0,79	0,265
200L8	25,4	0,77	0,9	0,54 6	0,235
200 LB8	43,3	0,47	0,58	0,29 3	0,14
225M8	38,8	0,45	0,57	0,38 6	0,14

Таблица 7

Технические данные односкоростных двигателей серии МАП в режиме работы 1 час

Тип электродвигателя	$P_{\text{ном}}$ , кВт	$U_{\text{ном}}$ , В	$I_{\text{ном}}$ , А	$n_{\text{ном}}$ , об/мин	$\eta_{\text{ном}}$ , %	$\cos \phi_{\text{ном}}$	$\cos \phi_0$	$M_{\text{max}}$ , Нм	$M_{\text{п}}$ , Нм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
МАП121-4	2,4	380/220	6,0/10,4	1450	80	0,75	0,103	55	42
МАП122-4	4,4	380/220	10,5/18,2	1420	82	0,8	0,091	94	86
МАП211-4	7,0	380/220	15,3/26,5	1440	86	0,82	0,082	159	118
МАП421-4	10,0	380/220	19,2/33,2	1425	87	0,9	0,082	216	157
МАП421-4	14,0	380/220	28,0/48,5	1425	85	0,87	0,077	314	255
МАП422-4	20,0	380/220	39,5/68,5	1450	89	0,88	0,078	549	373
МАП511-4	34,0	380/220	61,0/105	1450	91	0,92	0,083	883	785
МАП621-4	67,0	380/220	125/215	1455	93	0,9	0,07	1619	981
МАП622-4	90,0	380	165	1435	93	0,91	0,125	2452	1864
Синхронная скорость вращения 1000 об/мин									
МАП121-6	1,2	380/220	4,6/8,0	890	66	0,64	0,129	41	41
МАП122-6	2,2	380/220	8,0/13,8	890	69	0,61	0,10	83	83
МАП211-6	4,0	380/220	11,8/20,5	905	84	0,67	0,089	147	147
МАП421-6	8,0	380/220	22,3/38,6	925	80	0,68	0,088	353	353
МАП422-6	15,0	380/220	36/62,2	880	79	0,8	0,073	540	540
МАП511-6	25,0	380/220	49,5/85,5	930	89	0,9	0,075	834	589
МАП621-6	50,0	380/220	100/173	960	90	0,85	0,065	1619	1275
МАП622-6	65,0	380/220	130/225	970	89	0,85	0,068	2650	1570

Продолжение таблицы 7

Тип электро- двигателя	$I_n, A$	$R_1, \text{Ом}$	$R'_2, \text{Ом}$	$x_1, \text{Ом}$	$x'_2, \text{Ом}$	$I_{op}, A$	$I_{oa}, A$	$\Delta P_0, \text{Вт}$	$\Delta P_{ст}, \text{Вт}$	$GD^2, \text{кгм}^2$
1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
МАП121-4	37/64	2,46	1,675	2,83	1,66	4,07	0,42	277	155	0,07
МАП122-4	61/105	1,3	1,045	1,76	1,09	5,25	0,478	315	207	0,12
МАП211-4	100/173	0,628	0,64	1,4	0,855	7,95	0,655	432	312	0,21
МАП421-4	130/225	0,439	0,541	0,914	0,473	7,1	0,586	387	320	0,5
МАП421-4	185/320	0,276	0,387	0,653	0,34	11,3	0,875	577	463	0,5
МАП422-4	320/555	0,168	0,20	0,387	0,198	15,4	1,21	797	677	0,8
МАП511-4	550/865	0,076	0,093	0,256	0,115	19,5	1,63	1080	980	2,3
МАП621-4	1000/1720	0,032	0,053	0,152	0,069	41,6	2,92	1921	1755	4,45
МАП622-4	1510	0,062	0,096	0,273	0,128	28,3	3,56	2350	2200	5,8
Синхронная скорость вращения 1000 об/мин										
МАП121-6	15,5/26,8	4,55	7,65	5,1	3,12	3,68	0,475	313	128	0,07
МАП122-6	28/48,5	1,556	4,44	3,01	1,84	5,95	0,595	392	198	0,12
МАП211-6	48/83	0,877	2,36	2,12	1,345	8,58	0,765	505	312	0,21
МАП421-6	115/200	0,438	0,97	0,888	0,442	15,9	1,4	923	590	0,5
МАП422-6	160/277	0,258	0,80	0,612	0,308	19,15	1,41	930	645	0,8
МАП511-6	280/485	0,146	0,185	0,524	0,211	16,3	1,23	811	695	2,3
МАП621-6	700/1210	0,053	0,07	0,207	0,089	44,0	2,87	1890	1580	4,45
МАП622-6	1000/1730	0,03	0,05	0,141	0,065	57,3	3,89	2565	2220	5,8

Таблица 8

Технические данные крановых электродвигателей серии 4 МТФ(Н) с фазным ротором: 380 / 220 В, 50 Гц, ПВ = 40 %

Тип	2р	P <sub>ном</sub> , кВт	n <sub>ном</sub> , об/мин	I <sub>1ном</sub> , А	cos φ <sub>ном</sub>	I <sub>2ном</sub> , А	U <sub>2ном</sub> , В	M <sub>max</sub> , Нм	J <sub>д,2</sub> <sup>2</sup> , кгм <sup>2</sup>	R <sub>1</sub> при t=20°C, Ом	η <sub>ном</sub> , %	R <sub>2</sub> при t=20°C, Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4МТФ(Н)112L6	6	2,2	810	7,2	0,76	11	144	55	0,035	2,97	64	0,565
4МТФ(Н)112LB6	6	3,7	900	11,2	0,79	13,8	190	88	0,045	1,55	70	0,462
4МТФ(Н)132L6	6	5,5	915	14,8	0,74	18,3	213	135	0,09	1,07	74	0,306
4МТФ(Н)132L6B6	6	7,5	935	18,2	0,77	20,7	242	190	0,11	0,68	77	0,3
4МТФ(Н)160L6	6	11	910	32	0,76	41	179	325	0,23	0,35	79	0,072
4МТФ(Н)160L6B6	6	15	930	39	0,77	48	213	460	0,28	0,236	81	0,073
4МТФ(Н)200L6	6	22	935	55	0,79	60	235	638	0,57	0,235	82	0,054
4МТФ(Н)200LB6	6	30	935	75	0,78	73	235	932	0,68	0,132	84	0,04
4МТФ(Н)225M6	6	37	965	78	0,818	77	293	1000	0,9	0,1	84,5	0,048
4МТН225L6	6	55	970	115	0,9	115	290	1530	1,02	0,053	88	0,026
4МТН280S6	6	75	970	142	0,89	178	270	2160	3,3	0,041	86	0,019
4МТН280M6	6	110	975	205	0,89	160	420	3490	4,1	0,025	88	0,024
4МТФ(Н)160L8	8	7,5	695	25	0,73	22	227	248	0,23	0,48	73	0,095
4МТФ(Н)160LB8	8	11	705	38	0,74	39	185	400	0,29	0,265	76	0,096
4МТФ(Н)200L8	8	15	710	42	0,71	48,8	206	569	0,62	0,235	79	0,082
4МТФ(Н)200LB8	8	22	715	57	0,7	59	241	800	0,74	0,14	80,5	0,068
4МТН225M8	8	30	720	74,6	0,72	71	252	1030	1,07	0,14	83	0,051
4МТН225L8	8	37	725	87,4	0,74	79	302	1390	1,43	0,1	86	0,049
4МТН280S8	8	55	720	112	0,84	170	196	2160	4,3		83	
4МТН280M8	8	75	725	154	0,82	165	277	2940	5,2		86	
4МТН280L8	8	90	730	179	0,84	162	355	3470	6,3		86	
4МТН355S8	8	132	710	270	0,85	-	-	-	-	-	-	-
4МТН280S10	10	45	576	103	0,76	146	181	1940	4,3	0,06	85	0,017

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4MTH280M10	10	60	580	124	0,75	135	239	2670	5,2	0,047	85	0,021
4MTH280L10	10	75	582	166	0,77	142	308	3480	6,3	0,031	87	0,024
4MTH355S10	10	110	584	266	0,7	250	272	4560	10,2	0,019	89	0,012
4MTH355M10	10	132	585	315	0,68	250	327	5690	12,8	0,014	89	0,014
4MTH355L10	10	160	586	392	0,61	245	408	7310	15	0,012	90,3	0,015

Расчетные данные электродвигателей серии 4МТ с  
фазным ротором: 380 В, 50 Гц

Типы 4МТФ, 4МТН	$I_0$ , А	$\cos \phi_0$	$x_1$ , Ом	$\sigma_1$	$X_2'$ Ом	$K_e^2 = K_r$
112L6	5,51	0,135	3,11	1,084	3,95	5,9
112LB6	7,7	0,125	1,95	1,073	3,2	3,84
132L6	8,96	0,13	1,3	1,056	2,1	2,82
132LB6	11,1	0,11	0,98	1,053	1,44	2,22
160L6	23,5	0,12	0,59	1,087	1,01	4,31
160LB6	25,6	0,1	0,42	1,051	0,67	2,89
200L6	39,7	0,08	0,27	1,052	0,55	2,37
200LB6	37,3	0,077	0,33	1,049	0,34	1,96
225M6	37,2	0,069	0,23	1,076	0,31	1,45
225L6	55,9	0,07	0,14	1,084	0,197	1,21
280S6	51,1	0,052	0,13	1,071	0,125	1,38
280M6	70	0,05	0,08	1,076	0,083	1
160L8	19,2	0,118	1,08	1,1	1,53	2,37
160LB8	29,9	0,101	0,67	1,1	1,02	3,5
200L8	29,8	0,083	0,51	1,074	0,725	2,96
200LB8	37,3	0,08	0,31	1,076	0,47	2,03
225M8	46,7	0,07	0,23	1,052	0,42	1,65
225L8	52,3	0,08	0,17	1,04	0,31	1,42
280S10	57,8	0,08	0,21	1,06	0,24	3,72
280M10	70,6	0,06	0,15	1,06	0,19	2,1
280L10	89,5	0,06	0,11	1,06	0,146	1,26
355S10	155	0,042	0,078	1,06	0,134	1,74
355M10	183	0,044	0,064	1,06	0,11	1,21
355L10	247	0,042	0,048	1,06	0,085	0,78

Технические данные электродвигателей постоянного тока  
серии 2П

P <sub>ном</sub> , кВт	U <sub>ном</sub> , В	n, об/мин		η <sub>ном</sub> , %	Сопротивления обмотки при 15°С, Ом			J <sub>д</sub> , кгм <sup>2</sup>
		n <sub>ном</sub>	n <sub>max</sub>		R <sub>я</sub>	R <sub>д.п.</sub>	R <sub>в</sub>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип 2ПО132МУХЛ4, 2ПО132МГУХЛ4								
1,3	110	800	3000	65,5	0,472	0,308	175	0,038
	220	800	2500	66,5	1,88	1,39	46,5	
	440	800	1850	66,5	9,1	5,3		
1,8	110	1000	4000	70	0,346	0,224	175	0,038
	220	1000	3000	64,5	1,38	1	46,5	
2,8	110	1500	4000	75,5	0,14	0,094	175	0,038
	220	1500	4000	76,5	0,601	0,454	46,5	
	440	1500	3750	77	253	1,58		
4,5	110	2200	4000	75,5	0,067	0,049	175	0,038
	220	2240	4000	76,5	0,271	0,204	46,5	
	440	2240	4000	77	1,08	0,763		
5,5	220	3000	4000	83	0,185	0,148	175	0,038
	440	3000	4000	83	0,74	0,486	46,5	
Тип 2ПО132ЛУХЛ4, 2ПО132ЛГУХЛ4								
1,6	110	800	3000	71	0,322	0,27	138	0,048
	220	750	3000	71	1,57	1,06	37,4	
	440	750	1850	70,5	6,42	4,45		
2,2	110	1000	4000	74	0,22	0,196	138	0,048
	220	1000	3000	75,5	0,88	0,64	37,4	
	440	1000	2500	75,5	3,84	2,66		
3,4	110	1500	4000	79	0,12	0,089	138	0,048
	220	1600	4000	81	0,412	0,296	37,4	
	440	1500	3750	80	1,98	1,38		
5,3	110	2200	4000	83,5	0,055	0,039	138	0,048
	220	2200	4000	83,5	0,22	0,196	37,4	
	440	2240	4000	84,5	0,88	0,64		
6,7	220	3000	4000	86	0,12	0,089	138	0,048
	440	3000	4000	86,5	0,518	0,323	37,4	
Тип 2ПО160МУХЛ4, 2ПО160МГУХЛ4								
2,5	110	750	3000	75	0,235	0,151	148	0,083
	220	750	2500	76,5	0,836	0,647		

	440	800	1850	77,5	3,15	2,21	40,7	
3,2	110	1120	4000	80,5	0,11	0,078	148	0,083
	220	1000	3000	79,5	0,516	0,407	40,7	
	440	1120	2500	81	1,78	1,44		
6	220	1600	4000	84,5	0,235	0,151	148	0,083
	440	1500	3750	84,5	0,99	0,72	40,7	
8	220	2240	4000	86,5	0,145	0,101	148	0,083
	440	2200	4000	86,5	0,51	0,407	40,7	
9,5	110	3000	4000	86	0,02	0,018	148	0,083
	220	3000	4000	87,5	0,081	0,056	40,7	
	440	3000	4000	88	0,278	0,175		
Тип 2ПО160L, 2ПО160ЛГ								
3,2	110	750	3000	78	0,13	0,12	117	0,1
	220	750	2500	79	0,525	0,414	32,8	
	440	750	1850	78,5	2,27	1,87		
4	110	950	4000	80,5	0,096	0,073	130 32,7	0,1
	220	1000	3000	82	0,328	0,227	117	
	440	1000	2500	82	1,31	1,45	32,8	
7,5	110	1500	4000	85	0,044	0,031	130	0,1
	220	1500	4000	85,5	0,171	0,131	32,7	
	440	1500	3750	86	0,609	0,526	117 32,8	
10	220	2360	4000	88,5	0,069	0,049	117	0,1
	440	2120	4000	88,5	0,328	0,227	32,8	
12	220	3000	4000	89	0,044	0,031	117	0,1
	440	3000	4000	89,5	0,171	0,131	32,8	
Тип 2ПО180М, 2ПО180МГ								
4,5	220	750	2500	79,5	0,486	0,292	114	0,2
	440	750	1850	80	1,95	1,17	30,2	
6,3	220	1000	3000	82,5	0,232	0,154	85,9	0,2
	440	1000	2500	82,5	0,902	0,54	23,1	
10	220	1500	3500	86,5	0,121	0,071	150	0,2
	440	1500	3500	88,5	0,486	0,296	23,1	
Тип 2ПО180М, 2ПО180МГ								
14	220	2120	3500	89	0,058	0,037	98	0,2

	440	2120	3500	89	0,232	0,154	23,1	
17	220	3000	3500	89	0,038	0,025	$\frac{132}{35}$	0,2
	440	3000	3500	90	0,15	0,092		
Тип 2ПО180L, 2ПО180ЛГ								
5,2	110	800	3000	80,5	0,065	0,044	$\frac{72,5}{20,1}$	0,23
	220	800	2500	81,5	0,26	0,183		
	440	800	1850	82	1,06	0,67		
7,5	110	1000	3500	83	0,042	0,03	$\frac{72,5}{20,1}$	0,23
	220	1000	3000	84	0,168	0,11		
	440	1120	2500	84,5	0,585	0,462		
16	220	2120	3500	89	0,042	0,03	$\frac{72,5}{20,1}$	0,23
	440	2120	3500	89,5	0,168	0,11		
20	220	3000	3500	90	0,025	0,018	$\frac{98,5}{26,6}$	0,23
	440	3150	3500	81	0,094	0,067		
Тип 2ПО200М, 2ПО200МГ								
6	110	750	3000	81,5	0,071	0,041	$\frac{96}{26,6}$	0,25
	220	750	2500	83,5	0,294	0,1		
	440	750	1850	86	1,09	0,594		
9	220	1060	3000	86	0,143	0,073	$\frac{96}{26,6}$	0,25
	440	1060	2500	86	0,57	0,325		
14	220	1500	3500	88	0,0710	0,041	$\frac{96}{26,6}$	0,25
	440	1500	3500	88	0,294	0,172		
20	220	2360	3500	89,5	0,026	0,016	$\frac{96}{26,6}$	0,25
	440	2200	3500	90	0,143	0,073		
Тип 2ПО200L, 2ПО200ЛГ								
7,1	220	750	2500	83,5	0,22	0,15	$\frac{102}{23,7}$	0,3
	440	750	1850	83,5	0,925	0,652		
11	220	1000	3000	86,5	0,125	0,08	$\frac{102}{23,7}$	0,3
	440	1000	2500	87	0,5	0,264		
17	220	1500	3500	89	0,055	0,037	$\frac{102}{23,7}$	0,3
	440	1500	3500	89	0,22	0,15		
24	220	2360	3500	90	0,031	0,037	$\frac{102}{23,7}$	0,3
	440	2120	3500	90,5	0,125	0,15		
Тип 2ПН225М, 2ПН225МГ								
15	220	750	2500	80,5	0,146	0,0637	62,2	0,534
22	220	1000	2500	82	0,086	0,0429	62,6	
37	220	1500	3000	86,5	0,0366	0,0159	45,75	
Тип 2ПН225L, 2ПН225ЛГ								

18,5	220	750	2500	83	0,095	0,05	52,32	0,616
30	220	1060	2500	84,5	0,049	0,0197	38,6	
45	220	1500	3000	87,5	0,237	0,0125	38,6	
Тип 2ПН250М, 2ПН250МГ								
15	220	530	1500	80	0,142	0,078	37,9	1,05
18	220	630	2100	80,5	0,11	0,054	37,9	
22	220	750	2000	81	0,074	0,039	37,9	
37	220	1060	2500	85	0,035	0,019	28,7	
50	440	1500	1800	87	0,11	0,054	29,8	
55	220	1500	2800	87	0,0185	0,0098	26,8	
Тип 2ПН250L, 2ПН250ЛГ								
22	220	600	2100	82	0,082	0,047	33,4	1,28
28	440	750	1900	83	0,26	0,11	33,4	
30	220	750	2000	84	0,051	0,031	33,4	
45	220	1000	2500	85,5	0,03	0,016	25,09	
71	440	1500	2800	88,5	0,0653	0,031	31,2	
75	220	1500	2800	89	0,013	0,0077	23,5	
Тип 2ПН280М, 2ПН280МГ								
22	220	530	1250	83	0,062	0,033	39,6	2,2
30	220	600	1500	84,5	0,046	0,022	23	
45	220	750	2000	86	0,034	0,015	28	
75	220	1000	2250	88,5	0,016	0,0083	22,8	
90	440	1500	1500	89				
110	220	1500	2600	89,5	0,0075	0,0038	22,8	
Тип 2ПН280L, 2ПН280ЛГ								
30	220	500	1250	83,5	0,05	0,025	26,7	2,32
37	220	600	1500	86	0,037	0,017	25,2	
55	220	750	2000	87,5	0,025	0,012	25,2	
85,5	440	1000	2250	88,4	0,05	0,025	19,7	
90	220	1060	2000	88,4	0,012	0,0053	19,7	
132	220	1500	2600	90,6	0,00604	0,034	25,2	

Таблица 11

Технические данные электродвигателей серии Д при ПВ = 40%

Тип	при ПВ=40% кВт при		Последовательное возбуждение				Параллельное возбуждение				Р <sub>ном</sub> при ПВ=25% кВт при		J <sub>д</sub> , кгм <sup>2</sup>	
	220В	440В	I, А при		n, об/мин при		I, А при		n, об/мин		220В	440В		
			220 В	440 В	220 В	440 В	220В	440В	220В	440В				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	
Тихоходное исполнение	Д12	2,4	-	15	-	1150	-	14	-	1230	-	3	-	0,05
	Д21	3,6	3,1	22	10	1040	1230	21	10	1080	1300	4,5	4	0,125
	Д22	4,8	-	28	-	970	-	26	-	1150	-	6	-	0,15
	Д31	6,8	5,2	39	16	900	900	37	15	880	910	8,5	7,5	0,3
	Д32	9,5	-	53	-	760	-	57	-	800	-	12	-	0,425
	Д41	13	12,5	21	35	730	760	20	34	720	720	16	15	0,8
	Д806	17	-	92	-	640	-	84	-	710	-	20	-	1
	Д808	24	24	125	63	615	615	112	56	630	630	30	30	2
	Д810	35	35	182	91	610	610	148	74	600	600	40	40	3,65
	Д812	47	45	242	115	560	590	192	92	565	570	53	51	7
	Д814	70	66	356	168	550	565	280	138	560	560	80	80	10,2
Д816	85	85	430	215	540	540	350	175	535	540	97	97	16,3	
Д818	106	100	530	250	500	515	415	205	470	470	130	130	27,5	
Быстроходное исполнение	Д21	4,4	-	26	-	1340	-	25	-	1500	-	5,3	-	0,125
	Д22	6,5	5,6	37	17	1300	1300	34	16	1570	1550	8	7	0,15
	Д31	9,5	-	53	-	1190	-	51	-	1420	-	12	-	0,3
	Д32	13,5	12,6	72	34	1100	1200	68	32	1240	1240	16	15	0,425
	Д41	18	-	96	-	1060	-	91	-	1160	-	22	-	0,8
	Д806	23	23	120	60	1010	1010	110	55	1060	1060	27,5	27,5	1
	Д808	30	-	155	-	850	-	134	-	825	-	35	-	2

Таблица 12

Обмоточные данные двигателей последовательного  
возбуждения серии Д при ПВ = 40 %

Тип	N	2а	$R_{я} + R_{д.п.}$ , Ом	$w_{в}$	$R_{в}$ , Ом	$\Phi$ , $10^{-2}$ Вб
Напряжение 440 В. Тихоходные двигатели						
Д21	1610	2	2,8	210	1,8	0,55
Д31	1476	2	1,13	142	0,63	0,85
Д41	894	2	0,7	76	0,24	1,58
Д808	556	2	0,21	60	0,14	3,59
Д812	418	2	0,1	40	0,04	5,01
Д814	310	2	0,052	29	0,024	7,38
Д816	504	8	0,035	24	0,018	9,32
Д818	504	8	0,026	22	0,013	9,82
Напряжение 440 В. Быстроходные двигатели						
Д22	1044	2	1,69	140	0,96	0,84
Д32	738	2	0,53	82	0,27	1,36
Д806	492	2	0,2	50	0,1	2,49

Таблица 13

Обмоточные данные двигателей серии Д последовательного возбуждения при  
ПВ = 40 %

Тип	N	2а	$R_{я} + R_{д.п.}$ , Ом	$w_{в}$	$R_{в}$ , Ом	$\Phi$ , $10^{-2}$ Вб
Напряжение 220 В. Тихоходные двигатели						
Д12	990	2	1,63	83	0,59	0,45
Д21	920	2	0,94	92	0,28	0,57
Д22	696	2	0,57	82	0,26	0,83
Д31	738	2	0,42	67	0,11	0,86
Д32	558	2	0,28	48	0,097	1,34
Д41	492	2	0,16	40	0,049	1,65
Д806	372	2	0,11	36	0,052	2,5
Д808	278	2	0,054	30	0,031	3,53
Д810	234	2	0,035	24	0,016	4,31
Д812	210	2	0,023	21	0,01	5,28
Д814	608	8	0,13	15	0,007	7,5
Д816	504	8	0,0091	12	0,005	9,26
Д818	505	8	0,0066	11	0,003	9,77
Напряжение 220 В. Быстроходные двигатели						
Д21	690	2	0,53	92	0,28	0,61
Д22	522	2	0,32	63	0,19	0,85
Д31	492	2	0,19	67	0,11	0,95
Д32	372	2	0,12	39	0,05	1,47
Д41	310	2	0,072	40	0,05	1,85
Д806	246	2	0,047	26	0,03	2,48
Д808	210	2	0,029	24	0,02	3,47

Таблица 14

Обмоточные данные двигателей серии Д параллельного возбуждения при ПВ = 40 %

Тип	$w_B$ на полюс	$R_B$ , Ом	$I_B$ , А	$\Phi 10^{-2}$ , Вб		$w_{\text{пос}}$ на полюс		$\Phi 10^{-2}$ , Вб	
				Тихоходное исполнение	Быстроходное исполнение	220В	440В	Тихоходное исполнение	Быстроходное исполнение
Д12	1800	260	0,7	0,48	-	6,5	0,49	0,49	-
Д21	1790	142	1,2	0,58	0,59	5,5	5,5	0,6	0,6
Д22	1480	130	1,35	0,75	0,76	4,5	-	0,77	0,78
Д31	1870	120	1,45	0,93	0,83	4,5	4,5	0,95	0,87
Д32	1470	94	1,85	1,35	1,37	4,5	-	1,4	1,42
Д41	1480	70	2,5	1,76	1,81	3	3	1,81	1,87
Д806	1400	65	2,7	2,5	2,52	2	-	2,55	2,58
Д808	1250	44	3,93	3,81	3,72	2	2	3,86	3,85
Д810	1500	46	3,9	4,76	-	2	3	4,82	-
Д812	1350	34	5,3	5,71	-	1	2	5,68	-
Д814	1300	34	5,5	8,22	-	1	2	8,33	-
Д816	1140	26	7,1	10,4	-	1	2	10,5	-
Д818	1210	22	8,3	11,1	-	1	2	11,3	-

Таблица 15

## Редукторы общего назначения

Тип	Вид редуктора	Передаточное число $j$	К.п.д. $\eta$
ЦУ	Цилиндрические одноступенчатые горизонтальные	2 – 6,3	0,98
Ц2У	Цилиндрические двухступенчатые горизонтальные	8 - 40	0,97
2ЦУ-Н	То же с зацеплением Новикова	8 - 50	0,97
Ц3У	Цилиндрические трехступенчатые горизонтальные	45 - 200	0,96
Ч	Червячные одноступенчатые универсальные	8 - 80	0,41 – 0,94
РЦ1-150А	Цилиндрические одноступенчатые горизонтальные	1,83 – 6,61	0,97
РЦД-400	Цилиндрические двухступенчатые горизонтальные	10 - 40	0,96
РМ	Цилиндрические двухступенчатые горизонтальные	8,23 – 48,57	0,96
КЦ1	Коническо-цилиндрические двухступенчатые	6,3 – 27,5	0,94
КЦ2	То же трехступенчатые	28,3 - 182	0,91
ВК	Цилиндрические трехступенчатые вертикальные	19,7 – 109,6	0,91

Таблица 16

Основные технические данные двухступенчатых крановых редукторов с передаточными числами  $j = 8,32 – 50,940$ 

Тип редуктора	п входного вала, об/мин	Максимальная мощность, кВт, на быстроходном валу при передаточном числе $j$									Масса, кг
		50,9 4	41,34	32,4 2	24,9	19,88	16,3	12,4 1	9,8	8,32	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ц2-250	600	3,9	4,2	5,2	7	9,4	11	15	17	19	85
	750	4,2	5,6	7,6	9,4	11	13	17	20	23	
	1000	6	7,3	9,2	12	14	17	20	24	27,1	
	1500	8,5	9,8	12	16	19	24	25	30	34	
Ц2-300	600	5,6	6,8	8,3	13	15	18	25	29	34	136
	750	7,4	8,3	10	16	18	22	29	36	40	
	1000	10	12	15	18	21	25	31	40	44	
	1500	12	14	19	21	26	31	40	48	56	
Ц2-350	600	9,4	10	12	17	22	27	34	37	46	204
	750	11	13	17	22	26	32	43	52	61	
	1000	14	17	22	27	33	37	51	61	72	
	1500	20	24	30	30	44	51	70	85	97	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ц2-400	600	16	20	25	36	44	48	48	53	63	317
	750	20	26	29	39	46	54	54	59	63	
	1000	24	30	34	44	49	54	54	68	73	
	1500	31	37	37	49	64	81	81	91	102	
Ц2-500	600	32	34	43	63	75	82	113	120	137	505
	750	37	42	52	75	89	103	112	140	163	
	1000	49	58	69	91	104	122	143	178	197	
	1500	63	82	83	116	147	174	189	217	248	

Таблица 17

Технические данные планетарных редукторов  
ServoFit фирмы Stöber

Тип			P3	P4	P5	P7	P8
число ступеней			1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
динамический момент	$M_{дин}$	н·м	50	100	250	500	1100
номинальный выходной момент	$M_{2ном}$	н·м	40	80	200	400	800
максимальная входная скорость	$n_{1max}$	об/мин	6000	6000	6000	6000	4500
номин. входная скорость: $i > 5 / i < 5$	$n_{1ном}$	об/мин	$\frac{4000}{3000}$	$\frac{4000}{3000}$	$\frac{3500}{2800}$	$\frac{3000}{2500}$	$\frac{2500}{2000}$
угловой зазор	$\Delta\phi$	дуг.мин(°)	1,5-5	1,5-5	1-5	1-4	1-4
жесткость	c	$\frac{н \cdot м}{угл.мин}$	4	10	25	50	145
осевая нагрузка	$F_{2,ос}$	Н	1000	1500	2000	3000	4000
радиальная нагрузка	$F_{2,рад}$	Н	$\frac{3000}{4000}$	$\frac{4500}{6000}$	$\frac{7000}{9000}$	$\frac{9000}{12000}$	$\frac{15000}{18000}$
к.п.д.	$\eta$	%	$\frac{97}{95}$	$\frac{97}{95}$	$\frac{97}{95}$	$\frac{97}{95}$	$\frac{97}{95}$
масса	m	кг	$\frac{2,6}{4,0}$	$\frac{4,0}{5,3}$	$\frac{6,5}{8,5}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{26}{32}$
передаточное число 1-й ступени	j	о.е.	3, 4, 5, 7, 10				
передаточное число 2-й ступени	j	о.е.	15, 20, 25, 35, 49, 50, 70, 100				

Таблица 18

Максимальные моменты, передаваемые планетарными редукторами ServoFit в зависимости от передаточного числа

Тип редуктора	Передаточное число j												
	3	4	5	7	10	15	20	25	35	49	50	70	100
P3	75	100	100	90	100	75	100	100	100	90	100	100	100
P4	150	200	200	175	200	180	200	200	175	175	200	200	200
P5	375	500	500	350	500	375	500	500	300	400	500	500	500
P7	750	1000	1000	875	1000	750	1000	1000	625	875	1000	1000	1000
P8	1500	2000	1750	2000	1500	2000	2000	1250	1750	2000	2000	2000	2000

Таблица 19

Моменты инерции планетарных редукторов ServoFit, приведенные к входному валу ( $10^{-4}$  кгм<sup>2</sup>), в зависимости от передаточного числа

Тип редуктора	Передаточное число j												
	3	4	5	7	10	15	20	25	35	49	50	70	100
P3	0,84	0,72	0,68	0,34	0,32	0,68	0,68	0,68	0,34	0,34	0,32	0,34	0,32
P4	1,84	1,54	1,43	0,85	0,81	0,70	0,68	0,68	0,68	0,34	0,38	0,34	0,32
P5	5,46	4,44	4,07	2,02	1,87	1,50	1,46	1,44	0,86	0,85	0,94	0,85	0,81
P7	12,49	9,08	7,80	5,01	4,50	4,30	4,16	4,11	2,04	2,02	2,29	2,01	1,87
P8	54,47	34,38	30,04	16,75	13,92	9,12	8,31	8,14	5,19	5,07	6,03	5,01	4,50

Основные степени защиты асинхронных электродвигателей серии АИР

Обозначение исполнения	Характеристика	Высота оси вращения, мм
IP 44	Оболочка электродвигателя защищает от попадания внутрь твердых тел размером более 1 мм и от прикосновения токоведущих или движущихся частей с твердыми телами размером более 1 мм. Вода в виде брызг, попадающая на двигатель в любом направлении, не может вредно повлиять на его работу. Вводное устройство степени защиты IP54	45...35 5
IP 54	Полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями; пыль, попадая внутрь машины, не нарушает ее номинальную работу. Вода в виде брызг, попадая на двигатель в любом направлении, не может вредно повлиять на его работу. Вводное устройство степени защиты IP54	45...35 5
IP 23	Оболочка электродвигателя защищает от попадания внутрь твердых тел с диаметром более 12,5 мм или от случайного прикосновения к токоведущим (или движущимся) частям пальцев или предметов длиной не более 80 мм. Вода в виде брызг, попадая под углом не более 60° к вертикали, не оказывает вредного влияния на работу электродвигателя. Вводное устройство степени защиты IP54 и IP44	200...3 55

Категории помещений, их характеристика и рекомендуемые для этих помещений исполнения электродвигателей серий АИР или 4А

Категория помещения по ПУЭ	Параметры среды		Виды помещений	Исполнения электродвигателя
	Температура, °С	Относительная влажность при 20 °С, %		
Сухие	10...25	до 60	Ремонтные мастерские, инкубаторы, отапливаемые склады, гаражи, котельные и другие помещения.	IP44 АИР...УЗ, 4А...УЗ
Влажные	10...25	60...75	Подсобные помещения, склады. Помещения, примыкающие к коровникам, помещения для холодильного оборудования, для ремонта оборудования и т. п.	IP44 АИР... У5, 4А...У5
Сырые	5...25	>75, но <100; кратковременно, но возможна конденсация влаги	Цеха по переработке продуктов животноводства, плодов и овощей; периодически не отапливаемые помещения, вакуум-насосные, кормонавозные проходы, помещения для теплогенераторов и т. п.	IP44 АИР... У5, АИР... У2, 4А...У5, 4А...У2
Особо сырые	– 40...+4 0	75...100; потолок, стены и предметы покрыты влагой	Кормоприготовительные цеха для влажных кормов, овощехранилища, фруктохранилища, парники, теплицы, молочные отделения цехов, доильные залы, молочные блоки и отделения, силосные и сенажные блоки, наружные установки под навесом, сараи и подсобные неотапливаемые помещения с температурой и влажностью, не отличающимися от наружных условий, и т. п.	IP44 АИР...У2, АИР...Х Л2, 4А...У2, 4А...ХЛ2
Особо сырые с химически активной средой	5...20	То же, но дополнительно в воздухе пары аммиака, сероводорода или других газов	Помещения для содержания крупного рогатого скота, свиней, птицы и др. животных при отсутствии в них установок по созданию микроклимата. Склады минеральных удобрений, помещения для протравливания семян и т. п.	IP44 АИР...С У1, АИР...Х У3, 4А...СУ1, 4А...ХУЗ

Пыльные (запыленнос ть 60... ...250 мг/м <sup>3</sup> ); пыль оседает на оборудование	5...25	До 60	Мельницы, цеха по приготовлению сухих концентрированных кормов, склады сыпучих материалов, после- уборочной обработки зерна и техниче- ских культур, элеваторы и т. п.	IP54 AIP...УП У3, 4А..УПУ3
---	--------	-------	---	-------------------------------------

Таблица 22

Тип электродвигателя серии АИР	Номинальная мощность, кВт	Постоянная времени нагрева $T_n$ , мин	Тип электродвигателя серии АИР	Номинальная мощность, кВт	Постоянная времени нагрева $T_n$ , мин
$\xi_{\Phi} = 314$ рад/с			...160S6	11	33,51
...50A2	0,09	20,21	$\xi_{\Phi} = 157$ рад/с		
...50B2	0,12	18,54	...50A4	0,06	22,8
...56A2	0,18	18,73	...50B4	0,09	13,76
...56B2	0,25	14,09	...56A4	0,12	22,16
...63A2	0,37	15,34	...56B4	0,18	17,98
...63B2	0,55	13,07	...63A4	0,25	19,09
...71A2	0,75	18,98	...63B4	0,37	15,01
...71B2	1,1	18,05	...71A4	0,55	20,30
...80A2	1,5	16,70	...71B4	0,75	19,03
...80B2	2,2	17,56	...80A4	1,1	16,20
...90L2	3	18,20	...80B4	1,5	17,15
...100S2	4	21,63	...90L4	2,2	19,77
...100L2	5,5	21,90	...100S4	3	19,66
...112M2	7,5	22,95	...100L4	4	23,20
...132M2	11	25,60	...112M4	5,5	28,65
...160S2	15	30,78	...132S4	7,5	32,48
...160M2	18,5	28,85	...132M4	11	26,71
...180S2	22	47,10	...160S4	15	16,00
...180M2	30	43,66	...160M4	18,5	14,80
...200M2	37	46,08	...180S4	22	56,60
...220L2	45	44,	...180M4	30	49,08

		15			
...225M2	55	51, 65	...200M4	37	58,80
...250S2	75	54, 20	...200L4	45	53,30
...250M2	90	48, 35	...225M4	55	58,25
$\xi_{\text{д}} = 104,5$ рад/с			...250S4	75	67,66
...63A6	0,19	14, 56	...250M4	90	60,15
...63B6	0,25	15, 05	$\xi_{\text{д}} = 104,5$ рад/с		
...71A6	0,37	23, 48	...160M6	15	32,11
...71B6	0,55	20, 41	...180S4	18,5	59,70
...80A6	0,75	21, 56	...200M6	22	66,26
...80B6	1,1	20, 80	...200L6	30	54,00
...90L6	1,5	21, 40	...225M6	37	60,00
...100L6	2,2	26, 50	...250S6	45	76,95
...112M A6	3	29, 83	...250M6	55	69,41
...112M B6	4	27, 60	...280S6	75	75,41
...132M6	7,5	32, 06	...280M6	90	74,60

Приближенное значение постоянной времени нагрева асинхронных электродвигателей с нормальным КЗ ротором мощностью до 90 кВт серии

Таблица 23 – Автоматические выключатели

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Число полюсов	Тип расцепителя	Номинальный ток расцепителя, А
BA14-26-14	32	1	Тепловой, электромагнитный	6; 8; 10; 16; 20; 25; 32
BA14-26-34	32	3	Тепловой, электромагнитный	6; 8; 10; 16; 20; 25; 32
BA16-25-14	25	1	Тепловой, электромагнитный	6,3; 10; 16; 20; 25
BA21-29	63	1	Комбинированный	0,6; 1; 1,6; 2; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63
BA24-29B	32	1	Комбинированный	6,3; 10; 16; 20; 25; 31,5
BA51-31-1	31...100	1	Комбинированный	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100

BA51-31-3	31...100	3	Комбинированный	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100
AE1031	25	1	Комбинированный	6; 10; 16; 25
A3715	63	2	Тепловой, электромагнитный	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160
A3716	63	3	Тепловой, электромагнитный	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160
A63	63	1	Комбинированный, электромагнитный	0,6; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
A63	63	2	Комбинированный, электромагнитный	0,6; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
A63	63	3	Комбинированный, электромагнитный	0,6; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
AE2026	16	3	Комбинированный	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 3; 2,5; 3,15; 4,5; 6,3; 8; 10; 16
AE2034	25	1	Тепловой	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2
AE2036	25	3	Комбинированный	2,5; 3,15; 4; 10; 12,5; 16; 20; 25
AE2044	63	1	Электромагнитный	0,6; 0,8; 1; 1,25
AE2046	63	3	Комбинированный	1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63
АП50	63	2; 3	Комбинированный	1,6; 2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 50; 63

Учебно-методическое пособие

Карчин Виктор Васильевич  
Свешников Артемий Григорьевич

**Учебно-методическое пособие для выполнения курсовой работы по  
дисциплине «Электропривод»**

Учебно-методическое пособие для выполнения курсовой работы для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 – Агроинженерия профиля подготовки Электрооборудование и электротехнологии

Компьютерный набор, верстка Карчин В.В.

Подписано в печать \_\_\_\_2020. Формат 210×297/16.

Бумага писчая. Печать оперативная.

Усл. п.л. 5,0. Тираж 30 экз. Заказ \_\_

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет»  
428000, Чебоксары, ул. К. Маркса, 29

Отпечатано на участке оперативной полиграфии  
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет»  
428000, Чебоксары, ул. К. Маркса, 29