

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ  
ФГОУ ВПО «Пензенская ГСХА»



А.В. ПОЛИКАНОВ

# Электропривод и электрооборудование

*Методические указания и задания к контрольной работе*



Пенза 2009

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

ФГОУ ВПО «Пензенская ГСХА»

**А.В. Поликанов**

# **ЭЛЕКТРОПРИВОД И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ**

Методические указания и задания к контрольной работе  
для студентов высших учебных заведений, обучающихся  
по специальности 110301 – Механизация сельского хозяйства

Пенза 2009

УДК 621.313-83 (075)

ББК 40.76 (я<sup>7</sup>)

П 50

Рецензент – доктор технических наук, профессор кафедры «Тракторы, автомобили и теплоэнергетика» ФГОУ ВПО «Пензенская ГСХА» С.В. Тимохин.

Печатается по решению методической комиссии инженерного факультета от 23.03.2009 г., протокол № 7.

**Поликанов, А.В.**

**П50** Электропривод и электрооборудование: методические указания и задания к контрольной работе / А.В. Поликанов. – Пенза: РИО ПГСХА, 2009. – 78 с., ил.

В учебном пособии, предназначенном для студентов 5 курса инженерного факультета заочного отделения (специальность 110301 Механизация сельского хозяйства), рассматривается основное содержание изучаемых разделов дисциплины «Электропривод и электрооборудование», приведены методические рекомендации по изучению теоретических вопросов, а также методические указания к выполнению контрольной работы. После содержания каждого раздела приводится рекомендуемая литература, а также список контрольных вопросов для самоконтроля знаний студентами.

Методические указания могут быть использованы в качестве учебного пособия при выполнении самостоятельной работы студентами очного отделения.

© ФГОУ ВПО

«Пензенская ГСХА», 2009

© А.В. Поликанов, 2009

## СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	5
2 СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ.....	8
2.1 Основы электропривода и электротехнологии в сельскохозяйственном производстве.....	8
2.1.1 Методические советы по первому разделу.....	9
1.1.2 Контрольные вопросы к первому разделу.....	16
2.2 Электрооборудование сельскохозяйственной техники и ремонтного производства.....	19
2.2.1 Методические советы по второму разделу.....	20
2.2.2 Контрольные вопросы ко второму разделу.....	26
2.3 Автоматизация сельскохозяйственных технологических и рабочих процессов машин .....	28
2.3.1 Методические советы по третьему разделу.....	28
2.3.2 Контрольные вопросы к третьему разделу.....	29
3 ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ.....	30
3.1 Общие методические указания.....	30
3.2 Методические указания к решению задачи № 1 .....	31
3.3 Методические указания к решению задачи № 2 .....	39
3.3.1 Выбор рубильников, пакетных выключателей и переключателей .....	39
3.3.2 Выбор кнопочных станций (кнопок управления).....	40
3.3.3 Выбор пре дохранителей.....	40
3.3.4 Выбор автоматических выключателей.....	42
3.3.5 Выбор магнитных пускателей.....	43
3.4 Методические указания к решению задачи № 3 .....	44
4 ПРИМЕР РЕШЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	46
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	56

## ВВЕДЕНИЕ

Электрификация сельского хозяйства – один из важнейших факторов повышения производительности труда, улучшения условий работы работников сельскохозяйственных предприятий, а также улучшения культурно-бытового обслуживания сельского населения.

Курс дисциплины «Электропривод и электрооборудование» имеет существенное значение при подготовке инженера, работающего в сельском хозяйстве. Изучая эту дисциплину, студент должен представлять, что электропривод отдельных машин и агрегатов и применение электрической энергии позволяют увеличить производительность труда, повысить надежность работы агрегатов и снизить себестоимость сельскохозяйственной продукции.

Студент должен уметь производить необходимые расчеты, выбирать наиболее целесообразный тип электропривода для конкретной рабочей машины или установки, а также современное электрооборудование для стационарных и мобильных машин.

Настоящие методические указания написаны в соответствии с примерной программой курса «Электропривод и электрооборудование» для высших учебных заведений по направлению 660300 «Агроинженерия», утвержденной учебно-методическим объединением вузов по специальности 110301 «Механизация сельского хозяйства» и соответствует Государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования по специальности 110301 «Механизация сельского хозяйства», утвержденного 05.04.2000 г. (номер государственной регистрации 312 с/дс).

## **1 ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Цель дисциплины – освоение устройства и работы электрооборудования сельскохозяйственных машин и установок, а также систем автоматического управления ими.

Задачи дисциплины – изучение студентами основ электро-привода и электротехнологии, электрооборудования сельскохозяйственной техники и ремонтного производства и способов автоматизации сельскохозяйственных технологических и рабочих процессов машин.

Учебная работа студента заочного отделения по изучению дисциплины «Электропривод и электрооборудование» складывается из следующих основных элементов: посещение и прослушивание лекционного курса в объеме 10 часов, обязательное выполнение лабораторного практикума в объеме 10 часов, самостоятельное изучение дисциплины по учебникам и учебным пособиям и выполнение контрольной работы общей трудоемкостью 100 часов. Календарно-тематический план приведен в *Приложении 1*.

Студентам заочного отделения рекомендуется:

- подробно конспектировать прослушиваемый курс лекций;
- прослушанный на лекциях материал нуждается в закреплении, т. е. в повторном и вдумчивом прочтении, а при необходимости и самостоятельной проработке по учебным пособиям в день проведения лекции;
- изучать дисциплину систематически в течение всего семестра, изучение дисциплины в сжатые сроки перед сессией не даст глубоких и прочных знаний;
- выбрав какое-либо учебное пособие, рекомендуемое преподавателем в качестве основного для определенной части курса, придерживаться данного пособия при изучении всей части или, по крайней мере, ее раздела. Замена одного пособия на другое в процессе изучения может привести к утрате логической связи между отдельными вопросами;

- пользоваться консультациями преподавателя в установленные для этого дни, по вопросам, возникающим в процессе подготовки к лабораторным работам и при выполнении контрольной работы;
- аккуратно оформлять журнал лабораторных работ;
- самостоятельную работу по изучению дисциплины подвергать систематическому самоконтролю, придерживаясь тех временных сроков, которые устанавливает преподаватель;
- перед экзаменом следует проверить собственные знания дисциплины с применением компьютерной программы «Тестинг-6».

## Литература

1. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок / И.Ф. Кудрявцев, Л.А. Калинин, В.А. Карасенко и др.; под ред. И.Ф. Кудрявцева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 480 с., ил.
2. Фоменков, А.П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий / А.П. Фоменков. – М.: Колос, 1984. – 288 с., ил.
3. Фокин, В.В. Практикум по электрооборудованию сельскохозяйственного производства / В.В. Фокин. – М.: Агропромиздат, 1991. – 160 с., ил.
4. Поликанов, А.В. Электропривод и электрооборудование: лабораторный практикум / А.В. Поликанов, С.И. Щербаков. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – 192 с., ил.
5. Поликанов, А.В. Электрические машины и электропривод: методические указания / А.В. Поликанов, А.Г. Стерлигов, М.А. Ивлиева. – Пенза: РИО ПГСХА, 2005. – 125 с., ил.
6. Москаленко, В.В. Электрический привод / В.В. Москаленко. – М.: Высшая школа, 1991. – 430 с., ил.
7. Чиликин, М.Г. Общий курс электропривода / М.Г. Чиликин. – М.: Энергия, 1971. – 431 с., ил.
8. Глебович, А.А. Электрооборудование машин и электропривод / А.А. Глебович, С.Л. Киселев. – М.: Колос, 1975. – 303 с., ил.
9. Савченко, П.И. Практикум по электроприводу в сельском хозяйстве / П.И. Савченко, И.А. Гаврилюк, И.Н. Земляной. – М.: Колос, 1996. – 224 с., ил.
10. Кацман, М.М. Электрические машины / М.М. Кацман. – М.: Академия, 2003. – 496 с., ил.
11. Брускин, Д.Э. Электрические машины: Ч. 1. Ч. 2. / Д.Э. Брускин, А.Е. Зохорович, В.С. Хвостов. – М.: Высшая школа, 1979. – 288 с., ил.

12. Жилинский, Ю.М. Электрическое освещение и облучение / Ю.М. Жилинский, В.Д. Кумин. – М.: Колос, 1982. – 272 с., ил.
13. Асинхронные электродвигатели серии 4А: справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин и др. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с., ил.
14. Соколова, Е.М. Электрическое и электромеханическое оборудование / Е.М. Соколова. – М.: Мастерство, 2001. – 224 с., ил.
15. Акимов, Н.А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования / Н.А. Акимов. – М.: Мастерство, 2002. – 296 с., ил.
16. Новиков, Г.В. Электро-, светотехника в животноводстве / Г.В. Новиков, Н.В. Кириллов, П.В. Зайцев. – Чебоксары: Чувашская ГСХА, 1999. – 400 с., ил.
17. Фролов, Ю.М. Основы электрического привода / Ю.М. Фролов, Шелякин В.П. – М.: КолосС. – 252 с., ил.
18. Онищенко, Г.Б. Электрический привод / Г.Б. Онищенко. – М.: Академия, 2006.– 288 с., ил.

## **2 СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

Дисциплина «Электропривод и электрооборудование» содержит три раздела: «Основы электропривода и электротехнологии в сельскохозяйственном производстве», «Электрооборудование сельскохозяйственной техники и ремонтного производства» и «Автоматизация сельскохозяйственных технологических и рабочих процессов машин».

### *Введение*

Электрификация и автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства, их роль в совершенствовании и развитии агропромышленного комплекса.

Особенности работы электрооборудования и средств автоматизации в условиях сельскохозяйственного производства.

### *2.1 Основы электропривода и электротехнологии в сельскохозяйственном производстве*

Общие сведения об электроприводе. Понятия, определения, терминология. Типы электроприводов. Основные направления развития электропривода.

Механические характеристики электроприводов. Механические характеристики производственных механизмов и электрических двигателей. Уравнение движения электропривода. Механические характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения в двигательном и тормозном режимах. Построение механических характеристик двигателя параллельного возбуждения по каталожным данным. Механические характеристики асинхронного двигателя в двигательных и тормозных режимах. Построение механических характеристик асинхронного двигателя по каталожным данным. Регулирование угловой скорости электроприводов. Основные показатели регулирования угловой скорости электроприводов. Регулирование угловой скорости двигателя постоянного тока

параллельного возбуждения. Регулирование угловой скорости асинхронного двигателя.

Динамика электропривода. Моменты и силы, действующие в электроприводе. Время переходных процессов. Нагрузочные диаграммы электроприводов.

Расчет мощности электроприводов. Нагрев и охлаждение электродвигателей. Классификация режимов работы электроприводов. Методы определения мощности электродвигателя для различных режимов работы. Общая методика выбора электроприводов.

Аппаратура управления и защиты электрических установок. Релейно-контактная и бесконтактная аппаратура управления и защиты. Назначение, устройство. Общая методика выбора аппаратуры управления и защиты.

Типовые узлы разомкнутых схем управления.

Электрическое освещение и облучение. Воздействие оптического излучения на биологические объекты.

Способы преобразования электрической энергии в тепловую, характеристика, области применения. Электронагрев сопротивлением. Приближенный расчет нагревателей.

### *2.1.1 Методические советы по первому разделу*

При изучении этого раздела следует обратить внимание на экономическую эффективность применения электропривода при механизации технологических процессов сельскохозяйственного производства. При изучении назначения отдельных элементов, составляющих машинное устройство или производственный агрегат, следует обратить внимание на определение понятий «привод» и «электропривод».

Необходимо выяснить преимущества электропривода по сравнению с другими видами приводов, а также преимущества работы электрического двигателя в сравнении с работой поршневого теплового двигателя внутреннего сгорания в аналогичных производственных условиях. Изучить способы соединения электрического двигателя с рабочими машинами и механизмами, обратив особое внимание на классификацию электроприводов.

Классификация электропривода производится по виду движения, по принципам регулирования скорости и положения по роду механического передаточного устройства, по роду электрического преобразовательного устройства, по способу передачи механической энергии исполнительному органу.

Изучение подраздела «Механические характеристики рабочих машин и электродвигателей» следует начать с классификации рабочих машин и механизмов, с уяснения понятий механических характеристик рабочих машин и механических характеристик электродвигателей. При этом надо помнить, что механическая характеристика рабочей машины является основой как для выбора мощности приводного электродвигателя, так и для расчета всех элементов электропривода и его режимов работы. Механические же характеристики электродвигателей отражают способность электродвигателей в той или иной степени изменять свою скорость при изменении их нагрузки.

Необходимо обратить особое внимание на классификацию механических характеристик по степени жесткости, знать, как они выражаются аналитически и изображаются графически. Для обеспечения производительной работы машины, приводимой в движение от электропривода, необходимо соответствие механических характеристик рабочей машины и электродвигателя. Знание механических характеристик помогает выяснить поведение агрегата в целом не только при установившемся, но и при переходном режиме.

Студент должен овладеть методикой построения механических характеристик электродвигателей переменного тока (асинхронных с короткозамкнутым ротором, с фазным ротором, однофазных и синхронных). Обратить особое внимание на механические характеристики асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором и на основные параметры характеристики (пусковой момент, максимальный момент, номинальный момент, номинальная угловая скорость и др.).

Технология производственного процесса предъявляет ряд требований к форме механической характеристики. В одних случаях требуется, чтобы при изменении нагрузки угловая скорость оставалась постоянной или изменялась незначительно, в других –

необходимо, чтобы электродвигатель при возрастании нагрузки резко снижал угловую скорость.

Если естественная характеристика имеющихся типов электродвигателей не удовлетворяет предъявляемым требованиям, приходится получать искусственные характеристики. Поэтому, изучая различные формы механических характеристик как естественных, так и искусственных, необходимо овладеть методами регулирования угловой скорости электродвигателей.

В практике электропривода часто приходится встречаться, с необходимостью изменить направление вращения электродвигателя. Для изменения направления вращения электродвигателя нужно изменить направление момента, развиваемого электродвигателем.

Поэтому следует изучить схемы включения, способы пуска и реверсирования (изменение направления вращения) электродвигателей.

Студент должен знать тормозные режимы работы электродвигателя, усвоить методы и овладеть способами, позволяющими снижать величину пускового тока, потребляемого из сети при осуществлении пуска электродвигателя, так как  $I_{пуск} > I_{ном}$ .

Изучение данного подраздела студент должен увязать с практическими навыками и приемами, полученными на производстве.

При изучении подраздела «Динамика электропривода и переходные процессы в электроприводах» следует обратить внимание на работу электрифицированных агрегатов, состоящих из электропривода и рабочей машины, которая часто сопровождается изменением установившегося нагрузочного режима.

Поэтому анализ механических переходных режимов работы агрегата имеет большое практическое значение и может быть проведен на основе уравнения движения электропривода. Уравнение движения электропривода позволяет решать графически и аналитически самые разнообразные задачи, связанные с определением времени разбега и торможения системы.

На его основе можно установить производительность агрегата, если имеют место частые пуски и остановки системы, производить проверку системы на статическую и динамическую устойчивость. Для этого студенту необходимо усвоить основные

положения из области динамики электропривода, проводить анализ уравнения движения электропривода и поведения агрегата в случаях:

- a)* равенства вращающего момента электродвигателя и момента статического сопротивления рабочей машины или механизма;
- б)* когда вращающий момент двигателя больше статического момента сопротивления;
- в)* когда вращающий момент двигателя меньше статического момента сопротивления.

При изучении этого подраздела также необходимо обратить внимание: на зависимости по определению приведенного статического момента сопротивления механизма к валу двигателя; на способы определения приведенных моментов инерции и маховых моментов; на аналитические зависимости, с помощью которых можно определять время пуска и торможения электропривода (при различных законах изменения момента двигателя и статического момента сопротивления сельскохозяйственных машин).

Определяющим фактором выбора мощности электродвигателя для привода рабочей машины или механизма является его нагрев. Нагрев электродвигателя происходит за счет потерь, возникающих в нем при преобразовании электрической энергии в механическую. Изучая процессы нагрева, необходимо твердо усвоить, какие именно виды потерь имеют место в двигателе и как они, превращаясь в тепловую энергию, влияют на «старение» изоляции машины, а также каково влияние температуры окружающей среды, конструктивных факторов и эксплуатационных показателей на величину номинальной мощности электродвигателя.

Тепловой баланс при работе электродвигателя следует представить с физической точки зрения и уметь изобразить его математическими зависимостями. При рассмотрении теплового режима электродвигателя необходимо уделить внимание постоянной времени нагрева, ее физическому смыслу и способам определения.

В результате изучения данной темы студент должен овладеть методикой расчета и построения кривых нагрева и охлаждения электродвигателя.

При рассмотрении процессов нагрева электрических двигателей следует иметь в виду, что расчетная температура окружающей среды принимается, равной 40 °C.

При изучении подраздела «Режимы работы электродвигателей и определение потребной мощности» необходимо знать, что, в зависимости от характера нагрузки и длительности работы производительных машин и механизмов, установлено восемь номинальных режимов работы электрических машин, из которых четыре режима ( $S_1$   $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_6$ ) находят наибольшее применение в практике сельскохозяйственного электропривода.

В результате изучения данной темы студент должен овладеть методикой расчета и построения кривых нагрева и охлаждения электродвигателя при различных режимах работы, а также уяснить способы определения мощности электродвигателя по эквивалентным величинам при длительном, кратковременном, повторно-кратковременном и перемежающемся режимах работы, как при постоянной, так и при переменной нагрузках. При этом, как правило, исходными являются эмпирические формулы или нагрузочные диаграммы  $I = f(t)$ ,  $M = f(t)$  и  $P = f(t)$ , полученные непосредственно путем записи самопищащими приборами или косвенно с применением различных технических средств измерения. Поэтому необходимо уделить внимание способам построения нагрузочных диаграмм, определению мощности по расчетным формулам, снятию нагрузочных диаграмм экспериментальным путем.

Надо также внимательно изучить выбор мощности электродвигателя при ударной нагрузке, как при маховиковом, так и при безмеханическом электроприводе.

При определении величины мощности и выборе электродвигателя следует учитывать электротехнические показатели электропривода (коэффициент полезного действия и коэффициент мощности) и технико-экономические показатели (производительность, качество выпускаемой продукции, технологичность процесса и срок службы электрооборудования).

Проектирование рационального электропривода сводится к обеспечению заданного технологического процесса и обеспечению надлежащей производительности данной рабочей машины с высокими технико-экономическими показателями (обеспечение качества продукции, поддержание технологических параметров, незначительные капитальные затраты, минимальный расход электрической энергии на единицу вырабатываемой продукции).

Прежде чем приступить к проектированию электропривода, необходимо ознакомиться с технологическим процессом, особенностями приводных характеристик, условиями эксплуатации; пределами регулирования угловой скорости и требованиями к автоматизации.

Основными параметрами при выборе электропривода для принятой технологии являются мощность, вращающий момент, угловая скорость и перегрузочная способность электродвигателя. Поэтому студент должен овладеть методами по определению этих параметров. Кроме того, необходимо знать тип электродвигателя по конструктивному выполнению и по защите его от внешних воздействий окружающей среды. Выбор электропривода связан с обоснованием типа передачи от двигателя к рабочей машине. Поэтому при выборе электропривода следует обращать внимание на конструктивное выполнение передаточного устройства от электродвигателя к рабочей машине.

В сельском хозяйстве преимущественное распространение имеют электродвигатели переменного тока, однако надо отчетливо представлять условия, при которых выбирают электродвигатели постоянного тока и электродвигатели специального сельскохозяйственного назначения. Вообще выбор рода тока, прежде всего, определяется требованиями обеспечения регулируемости электропривода – диапазоном и плавностью регулирования, длительностью работы на пониженных скоростях, жесткостью механических характеристик и т. д. Если необходим широкий диапазон изменения скорости и длительное время работы в области пониженных скоростей, используют системы привода с электродвигателями постоянного тока. Во всех остальных случаях применяются электродвигатели переменного тока, преимущественно асинхронные.

Выбор номинального напряжения определяется условиями электроснабжения. Для стационарных электроприводов чаще всего применяется система переменного тока 380/220 В с глухозаземленной нейтралью. Иногда питание асинхронных короткозамкнутых электродвигателей осуществляется от сельскохозяйственных потребительских подстанций малой мощности.

Причем пуск электродвигателей сопровождается большими колебаниями напряжения сети, которые существенно влияют на работу других потребителей электроэнергии. Поэтому необходимо научиться производить проверку выбранного электродвигателя по условиям пуска и по условиям обеспечения устойчивой работы ранее включенных электродвигателей.

Повышение производительности машин и высокое качество выпускаемой ими продукции могут быть обеспечены лишь при надлежащем сочетании статических и динамических характеристик приводами рабочей машины. Поэтому необходимо научиться производить расчет по определению времени пуска и торможения системы, по определению величины номинального пускового и максимального моментов.

При выборе электродвигателя следует принимать во внимание их конструктивное исполнение. Так как в сельскохозяйственном производстве электродвигатели могут работать в тяжелых специфических условиях (значительная увлажненность, запыленность, большое содержание газообразных активных веществ и т. д.), то важным фактором оказывается выбор типа электродвигателя с учетом защиты его от вредного воздействия окружающей среды. При этом необходимо иметь в виду, что для сельского хозяйства изготавливаются электродвигатели специального сельскохозяйственного назначения.

Аппаратура управления в современном электроприводе, особенно в автоматизированном, выполняет весьма разнообразные и сложные функции. Она служит для включения, регулирования, защиты и отключения электрических установок. От работы аппаратуры управления во многом зависят надежность и долговечность приемников электроэнергии.

Поэтому изучение данного подраздела предусматривает приобретение студентом знаний по устройству, назначению и применению аппаратуры как ручного, так и автоматического

управления электроприводами. Студент должен овладеть навыками по выбору аппаратуры управления и защиты в зависимости от величины тока и напряжения, а также уметь выбирать плавкую вставку предохранителя, нагревательного элемента теплового реле, встраиваемого в магнитный пускатель, уставку теплового и электромагнитного расцепителя автомата.

При изучении подраздела «Электрическое освещение и облучение» студент должен изучить биологическое действие оптического излучения на организм животных и человека, основные способы электронагрева и методики расчета простейших электронагревательных установок.

### *2.1.2 Контрольные вопросы к первому разделу*

1. Какова роль электропривода при электрификации технологических процессов сельскохозяйственного производства?
2. Назовите основные элементы, входящие в определение понятия «электропривод».
3. Каковы основные преимущества электропривода по сравнению с другими видами приводов?
4. Перечислите основные способы соединения электродвигателя с рабочей машиной или механизмом.
5. Как классифицируются электроприводы на группы в зависимости от числа машин, обслуживаемых электродвигателем?
6. Перечислите преимущества и недостатки одиночного электропривода.
7. Каковы преимущества автоматизированного электропривода?
8. Что входит в понятие электрической трансмиссии?
9. Какова экономическая эффективность от внедрения электропривода в технологические процессы сельскохозяйственного производства?
10. Механические характеристики электродвигателей и их классификация по степени жесткости.
11. Что называется механической характеристикой производственной машины?
12. Напишите обобщенное аналитическое выражение механической характеристики рабочей машины или исполнительного механизма и изобразите механические характеристики рабочих машин при  $x = -1; 0; 1; 2$  графически.
13. Напишите упрощенное уравнение механической характеристики асинхронного электродвигателя (упрощенная формула Клосса).

14. Изобразите графически механическую характеристику асинхронного короткозамкнутого электродвигателя и укажите на ней характерные точки.

15. Объясните, что такое перегрузочная способность электродвигателя и каким параметром электродвигателя она характеризуется.

16. Напишите уравнение механической характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

17. Изобразите графически механическую характеристику двигателя постоянного тока (последовательного и параллельного возбуждения).

18. Перечислите основные способы регулирования угловой скорости двигателей постоянного тока и объясните, как при этом изменяется жесткость механической характеристики.

19. Объясните, каким образом можно регулировать угловую скорость асинхронного электродвигателя и как при этом изменяется механическая характеристика.

20. Какова кратность пускового тока у асинхронных двигателей и какие существуют способы для уменьшения величины пускового тока?

21. Какое назначение имеет предохранитель и как его выбрать?

22. Как изменяется момент асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором при изменении напряжения питающей сети?

23. Перечислите тормозные режимы работы электродвигателей постоянного и переменного тока и способы их осуществления.

24. Что такое реверсирование и как оно осуществляется у электродвигателей постоянного и переменного тока?

25. Какими каталожными данными необходимо располагать при выборе электропривода?

26. Какая разница между искусственной и естественной механической характеристиками электродвигателя?

27. Как аналитически записывается основное уравнение движения электропривода в дифференциальной форме?

28. Что понимается под статическим моментом сопротивления рабочей машины или механизма?

29. Что такое динамический момент?

30. Напишите эмпирическое уравнение статического момента рабочей машины в общем виде.

31. Что понимается под приведенной системой и на основании какого закона осуществляется приведение?

32. Что называется приведенным статическим моментом?

33. Как аналитически записывается приведенный к валу электродвигателя момент инерции системы, имеющей звенья, движущиеся поступательно и вращательно?

34. Как аналитически определяется время разбега, и какие вы знаете графические и графоаналитические способы его определения?

35. Каково влияние момента инерции на время разбега электропривода?
36. Чему равен расход электроэнергии при пуске электродвигателя и от чего он зависит?
37. Чем характеризуется работа электропривода в переходных режимах?
38. Каков физический смысл электромеханической постоянной времени? Как она записывается аналитически?
39. Чем определяется нагрев электродвигателя?
40. На какие классы по нагревостойкости делятся изоляционные материалы, применяемые в электромашиностроении?
41. Какие превышения температуры над окружающей средой допускаются в электродвигателях для различных классов изоляции?
42. Чем определяется срок службы электродвигателей?
43. Напишите выражение, определяющее количество тепла, выделяемого в электродвигателе при его работе.
44. Как записывается уравнение теплового баланса электродвигателя и каковы величины, входящие в него?
45. Как записываются уравнения нагрева и охлаждения электродвигателя?
46. Как влияют конструктивные параметры электродвигателя на его нагрев?
47. Какой физический смысл постоянной времени нагрева электродвигателя и как она определяется аналитически и графически?
48. Как выбирается мощность электродвигателя при температуре окружающей среды, отличной от стандартной?
49. Дайте классификацию и определение режимам работы электродвигателей в зависимости от характера нагрузки и длительности работы производственных машин и механизмов.
50. Перечислите методы выбора мощности электродвигателя при длительном режиме работы при различных графиках нагрузочной диаграммы рабочей машины.
51. Как выбирается мощность электродвигателя при кратковременном и повторно-кратковременном режимах работы?
52. Как осуществляется выбор мощности маховикового и безмаховикового электропривода при ударной нагрузке?
53. Каково назначение и устройство автомата? Как определить уставку автомата?
54. Как защитить электродвигатель от работы на двух фазах?
55. Назначение и принцип работы магнитного пускателя.
56. Объясните устройство и назначение реле тока, напряжения, времени, давления, температуры.
57. Назначение и принцип работы дросселя насыщения и магнитно-

го усилителя.

58. Покажите условные обозначения, применяемые в электрических схемах автоматизированного электропривода.

59. Перечислите основные принципы автоматизации пуска в ход электродвигателей.

60. Приведите схему управления двухскоростным электродвигателем.

61. Приведите схему управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором при торможении противовключением.

62. Приведите схему управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором при динамическом торможении.

63. Приведите схему пуска асинхронного электродвигателя с фазным ротором.

64. Какие приводные характеристики необходимо знать для выполнения расчета по определению мощности электропривода?

65. В чем заключается методика выбора мощности электродвигателя для привода рабочей машины по нагрузочной диаграмме?

66. Как производится выбор мощности электродвигателя, если источник электроснабжения имеет соизмеримую мощность?

67. Какие требования необходимо соблюдать при выборе угловой скорости электродвигателя и типа передачи, если угловая скорость электродвигателя и рабочей машины не совпадают?

68. Как подразделяется аппаратура управления электроприводами?

69. Основное отличие аппаратуры ручного управления от аппаратуры автоматического управления.

70. Какая аппаратура относится к ручному управлению?

71. Перечислите аппаратуру автоматического управления электроприводами.

72. Как выбирается аппаратура управления?

## *2.2 Электрооборудование сельскохозяйственной техники и ремонтного производства*

Электрооборудование мобильных и стационарных сельскохозяйственных машин, агрегатов и установок для послеуборочной обработки зерна.

Электрооборудование машин и механизмов для приготовления и раздачи кормов, уборки навоза, доильных установок и установок первичной обработки молока.

Электрооборудование систем обеспечения микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях, в сооружениях защищенного грунта и плодоовощехранилищах.

Требования к электроприводу поточных линий. Электропривод поточных линий зерноочистительно-сушильных пунктов и комплексов.

Электрооборудование для холодного и горячего водоснабжения.

Электрооборудование ремонтного производства подъемно-транспортных механизмов, сварочных и наплавочных установок, металлообрабатывающих и деревообрабатывающих станков, стендов для обкатки и испытания двигателей внутреннего сгорания.

Электротермическое оборудование для тепловой обработки сельскохозяйственных материалов. Области применения и классификация. Электрооборудование установок электрического освещения и облучения.

Методы, средства и установки для рационального использования электрической энергии и энергосбережения в технологических процессах сельскохозяйственного производства.

### *2.2.1 Методические советы по второму разделу*

Одним из важнейших мероприятий по повышению производительности животных и птицы является создание оптимальных параметров микроклимата, таких, как: температура воздуха в помещении, влажность, газовый состав. Для поддержания требуемых параметров используется систематическая вентиляция помещений с обменом воздуха во всех слоях.

Следует изучить принципы построения отопительно-вентиляционных систем для животноводческих и птицеводческих помещений, особенности электропривода вентиляционных установок, методику расчета мощности электродвигателя.

Необходимо рассмотреть вопросы электропривода кормоприготовительных машин и конструктивное выполнение соединения электродвигателя с рабочей машиной.

Современная тенденция к конструированию кормоприготовительных машин заключается в создании комбинированных кормоприготовительных машин, выполняющих одновременно

мойку, резку, запаривание корнеплодов, размятие их и смешивание с концентратами. При изучении этих вопросов следует обратить внимание на особенности автоматизации кормоприготовительных установок в животноводстве.

При изучении технологических процессов, связанных с машинным доением, первичной обработкой и переработкой молока, необходимо уделить внимание электроприводу применяемых машин и способу соединения их с электродвигателем. Разбирая вопросы машинной стрижки овец, необходимо усвоить особенности электропривода стригальных машинок, источников электроснабжения, а также обратить внимание на экономические показатели этого процесса.

При изучении электромеханизации птицеводства студент должен уяснить преимущества крупных электромеханизированных птицеферм (птицефабрик) по сравнению с мелкими птичниками, значение применяемого электропривода и электрооборудования (как отечественного, так и импортного производства) при механизации и автоматизации технологических процессов с целью обеспечения надлежащих условий работы и повышения производительности труда. Здесь же следует обратить внимание на автоматизацию технологических процессов инкубации.

Электрификация и автоматизация водоснабжения дают наибольший экономический эффект. Поэтому студенту надо научиться определять объем электрификации в области водоснабжения, иметь представление о современном электрооборудовании.

Современные сельскохозяйственные электрифицированные агрегаты и установки представляют собой комплекс машин, включенных в единую технологическую систему (поточную линию). В соответствии с требованиями технологического процесса нужна определенная последовательность включения и остановки электродвигателей, приводящих в действие рабочие органы. Студенту следует ознакомиться с основными требованиями, предъявляемыми к автоматизации поточных линий.

В результате изучения материала этого подраздела студенты должны получить навыки по расчету электрифицированных установок, а также научиться правильно подбирать необходимое электрооборудование, электроаппаратуру и машины.

В настоящее время основой механизации сельского хозяйства в полеводстве является тракторная техника, базирующаяся на использовании дизельных двигателей.

Несмотря на большое народнохозяйственное значение и перспективный характер электрификации мобильных процессов в растениеводстве (обработки почвы, уход за растениями, уборка и др.), электрифицированные (мобильные) агрегаты к настоящему времени не получили широкого внедрения в сельскохозяйственное производство.

Основной трудностью применения электроэнергии для электрификации процессов в растениеводстве является то, что имеющиеся мобильные машины в большинстве своем тихоходны, а экономичные и транспортабельные источники электрической энергии в настоящее время не разработаны.

Электрические аккумуляторы имеют большую массу на единицу мощности и недостаточную емкость, чтобы использовать их для питания электродвигателей, предназначенных для передвижения мобильных машин. Поэтому применение электрифицированных машин с аккумуляторами не получило распространения в сельском хозяйстве. Не разрешен еще вопрос беспроводной передачи электрической энергии на расстояние.

Электрификация мобильных полевых машин может быть осуществлена на базе электротрансмиссий, когда рабочие органы сельскохозяйственных орудий (лафетные жатки, сенокосилки и др.) приводятся в действие от электродвигателей, получающих питание от генератора, устанавливаемого на тепловом тракторе. Однако это усложняет его конструкцию. Поэтому в данный момент в растениеводстве получили распространение электрификация стационарных процессов полеводства (зерноочистительные пункты, пункты первичной обработки зерна), оросительные установки, установки защищенного грунта, машины на молотьбе, электрификация внутритечничных работ, а также применение электрифицированных орудий для механизации трудоемких процессов в садах и ягодниках (вакуумные установки для сбора крыжовника и смородины, электропульпы для побелки фруктовых деревьев, электровибрирующие устройства для рыхления почвы, уборки фруктов, борьбы с вредителями и др.).

Изучая электрификацию стационарных процессов полеводства, главное внимание следует обратить на организацию и оборудование зерноочистительных пунктов, так как они являются пока главными потребителями электрической энергии в растениеводстве. Зная оборудование, применяемое на зерноочистительных пунктах, необходимо уметь выбрать технологическую схему пункта первичной обработки зерна в зависимости от климатической зоны, количества перерабатываемого зерна и других специфических условий.

Студент должен уметь читать развернутую электрическую схему автоматизированного зерноочистительного пункта, знать порядок включения машин в работу по различным рабочим (технологическим) схемам.

Следует уделить внимание мелиорации, орошению и электроприводу насосных установок, а также электроприводу установок, выполняющих мелиоративные работы.

При изучении подраздела «Электрооборудование ремонтного производства» следует остановиться на особенностях электропривода станков, уяснить, как основные параметры технологического процесса обработки металлов (глубина резания, подача, скорость резания) влияют на определение мощности привода станков. Нужно рассмотреть общие вопросы энергетики современного станка, каким образом распределяется общая мощность многодвигательного привода станка между его отдельными узлами. Особое внимание обратить на методику расчета главного привода станка. На примере конкретных станков ознакомиться со структурой схем управления приводом станков.

При изучении раздела «Электропривод ручных инструментов» необходимо обратить внимание на факторы, определяющие оптимальную частоту вращения двигателей для привода ручных инструментов, на принципы работы преобразователей частоты и схемы включения трехфазных двигателей в однофазную сеть.

Приступая к изучению электропривода кузнечно-прессового оборудования, следует предварительно ознакомиться с теорией маховикового электропривода, используемого в машинах с ударной нагрузкой.

Рассматривая вопросы привода грузоподъемных механизмов, надо обратить особое внимание на способы торможения

электродвигателей, используемых в механизмах этого типа, а также виды электроприводов, используемых в транспортных устройствах.

В сельскохозяйственном производстве в животноводческих помещениях, в мастерских, в холодильных установках применяется сжатый воздух. Машины для производства сжатого воздуха (или другого газа) давлением выше  $4 \cdot 10^5$  Па называются компрессорами. При изучении этого раздела необходимо ознакомиться с приводными характеристиками различных компрессоров – поршневых, ротационных, центробежных (турбинных), а также областями их применения и особенностями выбора мощности электропривода. Кроме того, следует ознакомиться со схемами автоматизации компрессорных установок.

В мастерских сельскохозяйственных предприятий могут применяться универсальные электротормозные стенды для обкатки и испытания тракторных и комбайновых двигателей различных марок. На стенде электродвигатель может работать как в режиме двигателя, так и в режиме генератора с отдачей электрической энергии в сеть. В первом случае он служит приводом при холодной обкатке двигателя внутреннего сгорания, а во втором – электротормозом для нагрузки двигателя внутреннего сгорания при горячей обкатке. Необходимо знать требования, предъявляемые к электроприводу стендов, основными из которых являются: обеспечение плавного регулирования скорости вращения в широких пределах, наличие достаточного момента при трогании двигателя внутреннего сгорания и обеспечение режима горячей обкатки, когда стены должны работать в качестве тормоза. Этим режимам работы электродвигателя необходимо уделить особое внимание. Надо также знать механические характеристики двигательного и тормозного режимов обкаточных стендов.

Нагрев и термическая обработка играют существенную роль в процессах ремонта сельскохозяйственной техники. Некоторые виды ремонта вообще невозможны без термической обработки. Поэтому студенту следует уяснить цели и способы электронагрева. Ознакомиться с установками низкотемпературного

нагрева, электросварочным и электротермическим оборудованием, научиться читать их электрические схемы.

При изучении этого подраздела необходимо ознакомиться с устройством различных источников света и способами включения их в электрическую сеть. Овладеть методами расчета электрического освещения. Уяснить требования, предъявляемые к типам проводок, выбору светильников и осветительной аппаратуре в различных сельскохозяйственных помещениях (коровниках, свинарниках, птичниках, кормоцехах, молочных др.), научиться технически грамотно эксплуатировать электроосветительные установки в сельском хозяйстве.

Особое внимание надо уделить основным светотехническим единицам и нормам освещенности.

В практике электрификации сельскохозяйственного производства установился наиболее простой метод определения мощности для освещения – это метод удельной мощности на единицу освещаемой поверхности или площади. На основании установленных норм инженер должен уметь правильно определять необходимую мощность для освещения сельскохозяйственного объекта.

Следует обратить внимание на экономию электрической энергии, так как в настоящее время значительная часть электрической энергии затрачивается на освещение. С этой целью следует применять новые источники света, которые позволяют получать световую энергию при более высоком коэффициенте полезного действия. Необходимо усвоить особенности установки и эксплуатации новых источников света, таких, как: люминесцентные лампы (энергосберегающие с электронной пусковой аппаратурой), дуговые, светодиодные и др.

Изучение применения электрической энергии в специальных целях рекомендуется начать с рассмотрения спектра электромагнитных колебаний и особенно тех областей его, которые имеют практическое применение в биологических и технологических процессах сельскохозяйственного производства (ультрафиолетовые, рентгеновские, инфракрасные лучи, токи высокой частоты, сильные электрические поля и др.).

Следует обратить внимание на биологическое действиелучей, область их применения, устройство и принцип действия раз-

личных облучающих установок, в том числе установок для сушки сельскохозяйственных продуктов и дезинсекции помещений.

В практике сельскохозяйственного производства применение электрической энергии в биологических и технологических процессах находит все большее применение.

Свет и лучистая энергия оказывают сильное воздействие на рост и развитие растений, что имеет важное значение при выращивании рассады в раннее весеннее время, когда солнечная радиация еще невысокая.

Особенно благоприятное воздействие на животных и птиц оказывает ультрафиолетовое облучение. Поэтому необходимо ознакомиться с источниками лучистой энергии, облучающими установками, бактерицидными, эритемными и ультрафиолетовыми, а также с источниками инфракрасных лучей, применяемыми в сельскохозяйственном производстве.

Следует обратить внимание на непосредственное воздействие лучистой энергии и ее ультрафиолетовой части на животных, превращающих неусвояемый провитамин D в организме животного в усвояемый витамин D.

Основными видами технического обогрева в практике сельскохозяйственного производства являются пароводяной обогрев от специальных котельных, работающих на твердом или жидким топливе, и электрический обогрев. Исходной величиной теплового расчета сельскохозяйственных потребителей теплоты являются количество теплоты, отдаваемой единицей нагреваемой поверхности в единицу времени, и экономические показатели, определяющие стоимость получения одного джоуля.

Изучая подраздел «Электротермическое оборудование для тепловой обработки сельскохозяйственных материалов», студент должен обратить внимание на принцип преобразования электрической энергии в тепловую, на приемы конструктивного выполнения электронагревательных установок, применяемых для нагрева воды, для запаривания кормов, для подогрева воздуха, почвы, подогрева полов в животноводческих помещениях, для нагрева металла, и на способы поддержания и регулирования температуры.

Необходимо обратить внимание на основные принципы электрического расчета нагревательных устройств и обеспечения условий безопасности при их эксплуатации.

### *2.2.2 Контрольные вопросы ко второму разделу*

1. Какие электродвигатели применяются для привода кормоприготовительных машин?
2. Что такое поточная линия, какова ее структура?
3. Перечислите основные технико-экономические показатели электромеханизированного транспорта.
4. Для каких целей применяется электронагрев при кормоприготовлении и какой экономический эффект он дает?
5. Как определить мощность электродвигателя для привода центробежного и поршневого насосов?
6. Составьте схему автоматизации электроводокачки для хозяйственного водоснабжения с башней и без башни. Какие принципы положены в основу автоматизации насосных станций?
7. Объясните устройство электропривода в доильных установках и в молочных машинах.
8. Приведите схему резервного доильного агрегата.
9. Какие особенности имеет электропривод для стригальных агрегатов?
10. Как устроены передвижные агрегаты для стрижки овец? Их особенности при эксплуатации.
11. Перечислите основные электрифицированные процессы в птицеводстве.
12. Объясните устройство агрегата с электрической трансмиссией и перечислите его основные технико-экономические показатели.
13. Перечислите электрифицированные орудия, применяемые при механизации трудоемких процессов в садах и ягодниках, а также в защищенном грунте.
14. Перечислите основные принципиальные технологические схемы пунктов первичной обработки зерна.
15. Как осуществляется автоматизация регулирования температуры и влажности в парниках и теплицах при их электрификации?
16. Перечислите принципы построения обкаточно-тормозных стендов.
17. Назовите преимущества электростенда по сравнению с гидротормозом.
18. Нарисуйте характеристики электропривода обкаточного стенда в двигательном и генераторном режимах.

20. Какие особенности имеют схемы автоматического управления электроприводом стендов для обкатки двигателей внутреннего сгорания?
21. Как классифицируются компрессоры по конструкции и по принципу действия?
22. Как можно регулировать подачу компрессора?
23. Напишите формулу мощности электродвигателя для привода компрессора.
24. Какие системы и виды электроосвещения применяются в сельском хозяйстве?
25. В каких единицах измеряются по системе СИ световой поток, яркость и освещенность, какова их размерность?
26. Какие существуют нормы освещенности сельскохозяйственных помещений?
27. В чем заключается принцип работы люминесцентной лампы?
28. На какие области делится спектр электромагнитных колебаний и какое значение имеет каждая область спектра для сельскохозяйственного производства?
29. Какое действие оказывает ультрафиолетовое облучение на животных и птиц?
30. Назовите источники ультрафиолетового излучения.
31. Какое значение в сельском хозяйстве имеют инфракрасные лучи?
32. Какие вы знаете источники инфракрасных излучений?
33. Каково назначение электрической изгороди?
34. Для какой цели могут применяться в сельскохозяйственном производстве сильные электрические поля?
35. Назовите методы расчета электрического освещения. В чем заключаются различия этих методов расчета?
36. Каково назначение осветительной арматуры?
37. Перечислите основные типы светильников, применяемых в сельскохозяйственных помещениях.

### *2.3 Автоматизация сельскохозяйственных технологических и рабочих процессов машин*

Технологические процессы как объекты автоматизации. Параметры и характеристики технологических процессов. Этапы подготовки объектов к автоматизации.

Автоматизация технологических процессов приготовления и раздачи кормов, уборки навоза, доения и первичной обработки молока.

Автоматизация технологических процессов создания и поддержания оптимального микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях в сооружениях защищенного грунта и плодоовоощехранилищах.

Автоматизация технологических процессов ремонтного производства.

### *2.3.1 Методические советы по третьему разделу*

Студент обязан получить не только общее представление о способах и методах автоматизации производственных процессов, но самое главное – усвоить принципы автоматизации электропривода.

Системы управления электроприводом разделяются на неавтоматизированные и автоматизированные. Автоматизированные, в свою очередь, подразделяются на разомкнутые и замкнутые. Системы с обратной связью являются основным видом замкнутых систем автоматизированного электропривода.

Студент должен ознакомиться с основами построения замкнутых систем автоматического управления электроприводами, основными способами построения электрических схем автоматизации. Научиться разбираться в принципиальных и монтажных схемах, отображающих различные пусковые и рабочие режимы электродвигателей.

При этом схемы должны выбираться для конкретных установок, применяемых в сельскохозяйственном производстве.

Особое внимание следует уделить принципам автоматического пуска, торможения и реверса электродвигателей переменного тока (асинхронных) в функции тока, времени, угловой скорости, пути.

Необходимо также разобраться в вопросах использования различных датчиков для автоматизации сельскохозяйственных процессов (датчики влажности, давления, температуры и т. д.).

### *2.3.2 Контрольные вопросы к третьему разделу*

1. Как классифицируется электропривод по способу управления?
2. Дайте определение термину «автоматическое управление».
3. Какое технико-экономическое значение имеет автоматизирован-

ный электропривод, в каких отраслях сельскохозяйственного производства его надлежит применять в первую очередь?

4. Как классифицируются регуляторы?
5. Назовите основные направления автоматизации процессов приготовления и раздачи кормов.
6. Назовите основные направления автоматизации процессов удаления навоза.
7. Назовите основные направления автоматизации процессов доения и первичной обработки молока.
8. Назовите основные направления автоматизации процессов создания и поддержания микроклимата в животноводческих помещениях.

### **3 ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ**

#### *3.1 Общие методические указания*

Контрольное задание состоит из трех задач: первая по разделу «Электропривод», вторая и третья – по разделу «Электрооборудование». Задание выдается каждому студенту индивидуально. Работа, выполненная не в соответствии с заданием, не зачитывается.

Прежде чем приступить к выполнению контрольного задания, студенту необходимо изучить соответствующую литературу, решить задачи и упражнения, приведенные в рекомендованных учебниках, с тем, чтобы получить полное представление по рассматриваемому вопросу.

При выполнении контрольного задания необходимо соблюдать следующие правила:

- a) в работе должны быть переписаны условия задачи соответственно решаемому варианту;*
- б) выполнение каждой работы должно сопровождаться краткими объяснениями, необходимыми обоснованиями, подробными вычислениями;*
- в) при вычислении каждой величины нужно указать, какая величина определяется;*
- г) решение задачи надо произвести сначала в общем виде (формулы в буквенных выражениях) и после необходимых преобразований подставлять соответствующие числовые значения;*

д) необходимо указать размерность как всех заданных в условиях задачи величин, так и полученных результатов;

е) графический материал желательно выполнять на миллиметровой бумаге;

ж) в конце работы необходимо дать перечень использованной литературы, подписать ее и указать дату окончания работы.

Пример оформления титульного листа контрольной работы приведен в *Приложении 2*.

На экзамене контрольные работы сдаются экзаменатору (без контрольных работ студент к экзамену не допускается).

### **Задача № 1**

Для системы «трехфазный асинхронный двигатель – рабочая машина», по данным нагрузочной диаграммы, используя метод эквивалентных величин, определить необходимую мощность асинхронного трехфазного электродвигателя общего назначения серии 4А, определить номинальный и пусковой ток электродвигателя. Рассчитать и построить механическую характеристику электродвигателя  $\omega = f(M)$ , определить мощность, потребляемую из сети в номинальном режиме. Рассчитать и построить на том же графике механическую характеристику рабочей машины, приведенную к угловой частоте вращения вала электродвигателя. Определить графоаналитическим методом (методом площадей) продолжительность пуска электродвигателя с нагрузкой при номинальном напряжении.

Оценить условия запуска электродвигателя с нагрузкой при снижении питающего напряжения на  $\Delta U$ , проц. Для нечетных вариантов  $\Delta U = 10$  процентов, для четных вариантов  $\Delta U = 20$  процентов. Двигатель питается от сети напряжением 380/220 В. Исходные данные в зависимости от варианта, приведены в *Приложении 3*.

### **Задача № 2**

Для выбранного в задаче №1 трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором подобрать аппаратуру управления и защиты с учетом конкретных условий: типа

электроустановки, места размещения, типа привода (нереверсивный или реверсивный).

В нечетных вариантах рекомендуется следующая схема: разъединитель (пакетный выключатель), плавкий предохранитель, магнитный пускатель, кнопочная станция. В четных вариантах задания – автоматический выключатель, магнитный пускатель, кнопочная станция. Выполнить электрическую схему управления электроприводом.

### Задача № 3

По данным задания определить мощность электроводонагревательной установки типа УАП (ВЭТ) выбрать тип и количество нагревательных элементов. Привести принципиальную электрическую схему водонагревателя. Исходные данные в зависимости от варианта приведены в *Приложении 4*.

#### 3.2 Методические указания к решению задачи № 1

Исходные данные для расчета оформляем в виде таблицы 3.1.

Эквивалентная по нагреву мощность нагрузки на валу электродвигателя рассчитывается по формуле

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}, \quad (3.1)$$

где  $P_i$  – мощность на валу электродвигателя в  $i$ -й период работы,  $kW$ ;

$n$  – количество периодов нагрузки;

$t_i$  – продолжительность  $i$ -го периода работы, мин.

Таблица 3.1 – Исходные данные к решению задачи № 1

$P_1$ , $kW$	$P_2$ , $kW$	$P_3$ , $kW$	$P_4$ , $kW$	$t_1$ , мин	$t_2$ , мин	$t_3$ , мин	$t_4$ , мин	$\eta_{\text{ПЕР}}$ , %	$n_{PM}$ , мин $^{-1}$	$M_{PM}$ , $H/m$	$J_{ДВ}$ , $кг/m^2$	$J_{PM}$ , %, $om$	$x$
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------------------	---------------------------	---------------------	------------------------	--------------------------	-----

												$I_{ДВ}$	

Мощность электродвигателя при его полном охлаждении во время паузы в работе выбираем по каталогу, исходя из условия:

$$P_{_H} \geq \frac{P_{\text{экв}}}{K_{_M}}$$

$$n_{\text{раб}} \geq n_{\text{ном}},$$

где  $K_M$  – коэффициент механической перегрузки, в данной задаче принять  $K_M = 1$ .

Принимаем, пользуясь *Приложением 5*, электродвигатель серии 4А и вписываем его номинальные каталожные параметры в таблицу 3.2):

*Таблица 3.2 – Каталожные параметры выбранного электродвигателя*

Марка электродвигателя	$P_{_H}$ , кВт	$U_{_H}$ , В	$\mu_K$	$\mu_{\Pi}$	$i_{\Pi}$	$\cos \varphi_{_H}$	$\eta_{_H}$ , %	$S_{_H}$ , %	$S_{_K}$ , %

Ток, потребляемый двигателем, определяется по формуле

$$I_{_H} = \frac{P_{_H}}{\sqrt{3} \cdot U_{_H} \cdot \cos \varphi_{_H} \cdot \eta_{_H}}, \quad (3.2)$$

где  $U_{_H}$  – номинальное напряжение электродвигателя, В;

$\cos \varphi_{_H}$  – коэффициент мощности электродвигателя;

$\eta_{_H}$  – коэффициент полезного действия передачи.

Пусковой ток электродвигателя определим по формуле

$$I_{\Pi} = i_{\Pi} \cdot I_{_H}, \quad (3.3)$$

где  $i_{\Pi}$  – кратность пускового тока.

Механическую характеристику асинхронного электродвигателя  $\omega = f_1(M)$  строим на основании расчета его врачающих моментов для угловых скоростей, соответствующих скольжениям:

$$S = 0; S = S_{_H}; S = S_{_K}; S = 0,3; S = 0,5 \text{ и } S = 1,0.$$

Вращающий пусковой момент электродвигателя при  $S=1,0$  при ( $\omega = 0$ ) следует определять, используя кратность пускового момента  $M_{\Pi}$  по выражению:

$$M_{\Pi} = M_H \cdot \mu_{\Pi}, \quad (3.4)$$

где

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad (3.5)$$

где  $M_H$  – номинальный вращающий момент электродвигателя,  $N\cdot m$ ;

$\omega_H$  – номинальная угловая скорость электродвигателя,  $rad/s$ ;

$n_H$  – номинальная частота вращения вала электродвигателя,  $min^{-1}$ .

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} = 0,105 \cdot n_H \quad (3.6)$$

$$n_H = n_0 \cdot (1 - S_H) \quad (3.7)$$

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{P}, \quad (3.8)$$

где  $n_0$  – синхронная частота вращения магнитного поля статора электродвигателя,  $min^{-1}$ ;

$P$  – число пар полюсов (число полюсов указывается в марке электродвигателя).

Остальные вращающие моменты электродвигателя для скольжений от 0 до 0,5 рассчитываются на основании упрощенной формулы Клосса.

На участке скольжения от 0,5 до 1,0 формула Клосса дает заниженное значение момента  $M$ , поэтому кривую  $\omega = f_1(M)$  аппроксимируют прямой до точки  $M = M_{\Pi}$ .

$$M = \frac{\frac{2 \cdot M_K}{S} - \frac{S_K}{S}}{\frac{S_K}{S} + \frac{S}{S}}, \quad (3.9)$$

где  $M_K$  – максимальный вращающий момент электродвигателя,  $N\cdot m$ .

$$M_K = M_H \cdot \mu_K. \quad (3.10)$$

Данные расчета механической характеристики  $\omega = f_1(M)$  сводим в таблицу 3.3. Переход от скольжения к угловой скорости производим по формуле

$$\omega_i = \omega_0 \cdot (1 - S), \quad (3.11)$$

где  $\omega_0$  – синхронная угловая скорость магнитного поля статора электродвигателя,  $c^{-1}$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{P}. \quad (3.12)$$

*Таблица 3.3 – Данные к построению механической характеристики асинхронного электродвигателя*

$S$	0	$S_H$	0,1	$S_K$	0,3	0,5	1,0
$\omega$							
$M$							

Для приведения моментов рабочей машины к валу электродвигателя необходимо использовать следующее соотношение:

$$M_c = \frac{M_{PM}}{i \cdot \eta_{PER}}, \quad (3.13)$$

где  $i$  – передаточное отношение передачи от электродвигателя к рабочей машине.

$$i = \frac{n_H}{n_{PM}}. \quad (3.14)$$

Приведенный момент статического сопротивления на валу электродвигателя определим по формуле

$$M_C = \frac{1}{i \cdot \eta_{PER}} \cdot \left[ M_{PMo} + (M_{PM_H} - M_{PMo}) \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_H} \right)^x \right]. \quad (3.15)$$

Придавая значения  $\omega$  от 0 до  $\omega = \omega_0$ , рассчитываем зависимость  $\omega = f_2(M_C)$ . Принять  $M_{PMo}$  равным  $0,2 \cdot M_{PM_H}$ . Результаты расчета сводим в таблицу 3.4.

*Таблица 3.4 – Данные к построению механической характеристики рабочей машины*

$\omega, c^{-1}$							
$M_c, \text{Н}\cdot\text{м}$							

На основании расчетных данных (см. таблицы 3.3 и 3.4) строим кривую  $\omega = f_1(M)$  и кривую  $\omega = f_2(M_C)$  на одном графике, рисунок 3.1.

Определяем приведенный момент инерции системы «электродвигатель – рабочая машина», относительно вала электродвигателя по формуле

$$J_{PP} = K \cdot J_{dB} + \frac{J_{PM}}{i^2}, \text{ кг}\cdot\text{м}^2, \quad (3.16)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий момент инерции передачи от электродвигателя к рабочей машине. Принимаем  $K = 1,2$ .

Используя построенные механические характеристики электродвигателя  $\omega = f_1(M)$  и рабочей машины  $\omega = f_2(M_C)$ , графически находим их разность – кривую избыточного (динамического) момента, вычитая из ординаты  $M$  ординату  $M_C$

$$M_{IZB} = M - M_C \quad (3.17)$$

Эту кривую заменяем ступенчатой с участками, на которых избыточный момент постоянен и равен его средней величине  $M_{IZB\_i}$ .

Продолжительность разгона электропривода на каждом участке угловых скоростей рассчитываем по выражению

$$\Delta t_i = J_{PP} \cdot \frac{\Delta \omega_i}{M_{IZB\_i}}, \quad (3.18)$$

где  $\Delta \omega_i$  – интервал угловой скорости на  $i$ -м участке,  $\text{с}^{-1}$ ;

$$\Delta \omega_i = \omega_i - \omega_{i-1}, \quad (3.19)$$

$M_{IZB\_i}$  – средний избыточный момент на  $i$ -м участке, принимаемый постоянным,  $\text{Н}\cdot\text{м}$ .

Полная продолжительность пуска равна сумме частичных продолжительностей.

$$t_{\Pi} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \quad (3.20)$$

Результаты расчетов заносим в таблицу 3.5.

*Таблица 3.5 – Данные расчета продолжительности пуска электропривода с нагрузкой*

Номер участков по направлению разгона	1	2	3	4	5	6
$\omega_{НАЧ}, \text{с}^{-1}$						
$\omega_{КОН}, \text{с}^{-1}$						
$\Delta \omega_i = \omega_{КОН} - \omega_{НАЧ},$						

$c^{-1}$						
$M_{u36i}, H \cdot M$						
$\Delta t_i, \text{с}$						
$t = \sum \Delta t_i, \text{с}$						

Вращающий момент асинхронного электродвигателя для любой фиксированной частоты вращения прямо пропорционален квадрату приложенного напряжения, поэтому для всех частот вращения справедливо соотношение

$$M_{(U')} = M_{(U_H)} \cdot U_*^2, \quad (3.21)$$

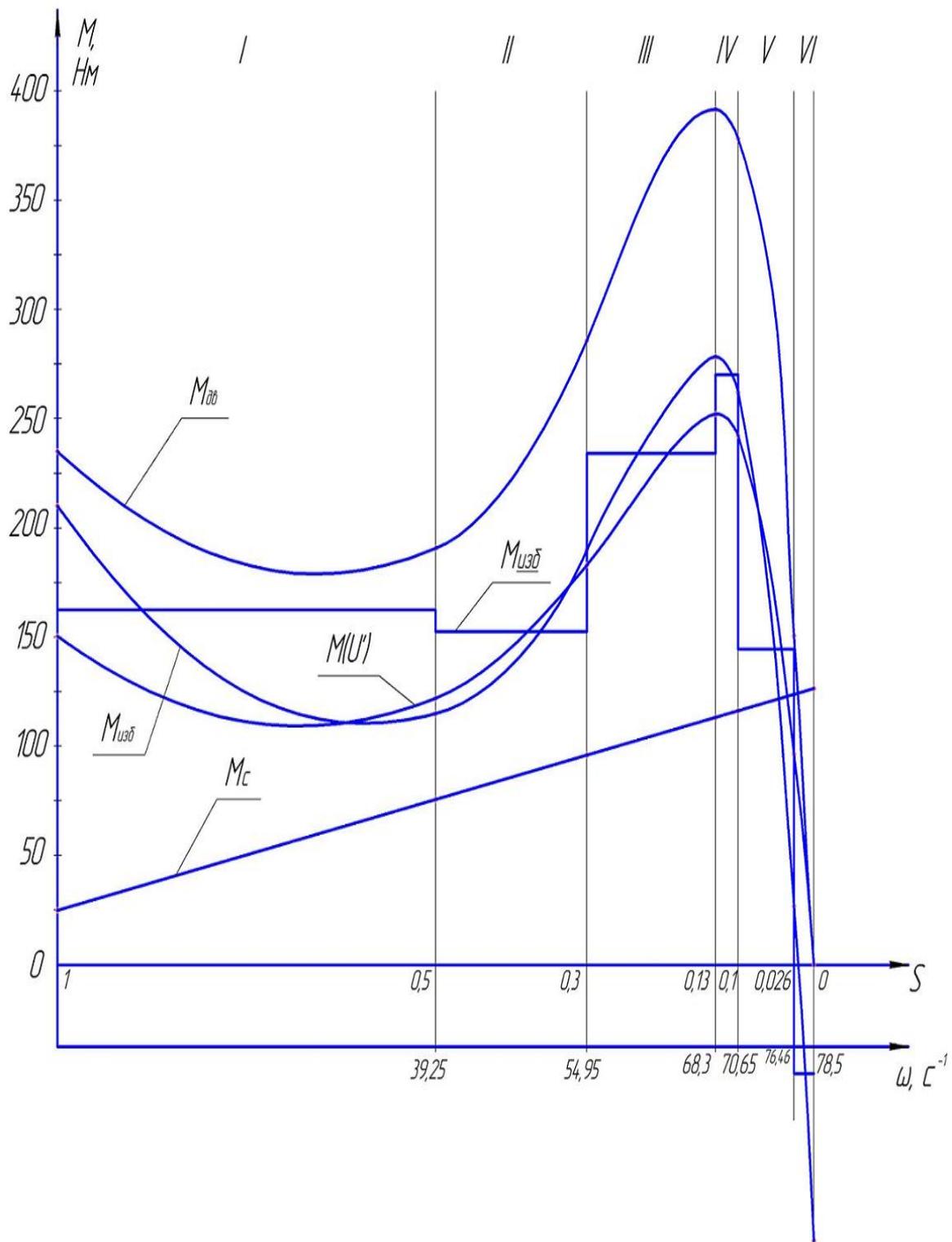


Рисунок 3.1 – Совмещенные механические характеристики трехфазного асинхронного электродвигателя и рабочей машины

где  $M_{(U_n)}$  – вращающий момент асинхронного электродвигателя при номинальном напряжении,  $N\cdot m$ ;

$M_{(U')}$  – вращающий момент асинхронного электродвигателя при той же частоте вращения, но при напряжении, по величине отличном от номинального,  $N\cdot m$ ;

$U_*$  – относительная величина напряжения волях от номинального, подведенного к электродвигателю.

$$U_* = \left(1 - \frac{\Delta U, \%}{100}\right), \quad (3.22)$$

где  $\Delta U, \%$  – процентное снижение напряжения, проц.

Данные расчета сводим в таблицу 3.6.

*Таблица 3.6 – Данные к построению зависимости вращающего момента асинхронного электродвигателя при той же частоте вращения*

$\omega, c^{-1}$							
$M(U'), N\cdot m$							

### Выводы по первой задаче

В выводах необходимо указать возможность или невозможность пуска электродвигателя на нормальном напряжении в сети и в случае снижения напряжения на  $\Delta U$ , а также возможность или невозможность выхода электродвигателя на заданные обороты при нормальном напряжении и в случае снижения напряжения сети на  $\Delta U$ .

Пуск электродвигателя считается возможным, если при  $\omega = 0$  момент на валу электродвигателя  $M$  превышает момент сопротивления рабочей машины  $M_C$ .

Для того чтобы выяснить выйдет электродвигатель на заданные обороты или не выйдет, необходимо точку пересечения кривой момента на валу электродвигателя с кривой момента сопротивления на валу рабочей машины спроектировать на ось угловых скоростей. Если проекция точки пересечения кривых лежит правее или совпадает с номинальной угловой скоростью  $\omega_n$ , то электродвигатель выйдет на заданные обороты. Если она

находится левее точки  $\omega_H$ , то электродвигатель на заданные обороты не выйдет (допускается отклонение от заданной частоты вращения до  $-5\%$ ).

### *3.3 Методические указания к решению задачи № 2*

Аппаратура управления и защиты предназначена для включения и отключения электроустановок (электронагревательные установки, облучающие установки, светильники и т. п.), регулирования их параметров (скорости, напряжения, мощности и др.), а также для защиты их от ненормальных режимов работы, контроля и регулирования производственных процессов.

В сельскохозяйственном производстве чаще всего в качестве аппаратуры управления и защиты используются предохранители, рубильники, кнопочные станции, пакетные переключатели, автоматические выключатели, магнитные пускатели, тепловые реле.

#### *3.3.1 Выбор рубильников, пакетных выключателей и переключателей*

Рубильники и переключатели (серий Р и РП) предназначены для нечастых (не более шести в час) неавтоматических включений и переключений электрических цепей переменного тока напряжением до  $660\text{ В}$  и частотой  $50\text{ Гц}$ . Они выпускаются на номинальные токи  $100, 250, 400$  и  $630\text{ А}$ . Их можно применять для подключения электродвигателей мощностью до  $10\text{ кВт}$  (наиболее распространенных в сельском хозяйстве). При напряжении  $380\text{ В}$  допускается отключать ток, равный  $0,3 \cdot I_H$ .

Пакетные выключатели и переключатели серий ПВ и ПП применяют в качестве вводных переключателей цепей управления электроустановок, распределения электроэнергии и для ручного управления асинхронным электродвигателем напряжением до  $380\text{ В}$ .

Рубильники, пакетные выключатели и переключатели выбирают по следующим параметрам:

$$U_H \geq U_{H.\text{уст.}} \quad (3.23)$$

$$I_H \geq I_{H, \text{УСТ.}}, \quad (3.24)$$

где  $U_H$  и  $U_{H, \text{УСТ.}}$  – номинальные напряжения аппарата управления и электроустановки,  $B$ ;

$I_H$  и  $I_{H, \text{УСТ.}}$  – соответственно, номинальные токи аппарата и электроустановки,  $A$ .

Расчетные значения  $U_H$  и  $I_H$  округляют до ближайшего стандартного значения в большую сторону по *Приложению 6*.

### 3.3.2 Выбор кнопочных станций (кнопок управления)

Кнопки управления используют для дистанционного управления контакторами, пускателями, другими электромагнитными аппаратами, а также в цепях сигнализации и блокировки автоматических систем управления.

Кнопки управления, смонтированные в общем корпусе или на панели, называют кнопочной станцией.

Промышленность выпускает кнопки управления серий КЕ и КМЕ различных типов, отличающихся исполнением, видом, формой, цветом толкателей, числом контактных цепей и надписями на толкателе. Номинальные рабочие токи  $I_{H,P}$  кнопок КЕ КМЕ и постов ПКЕ в зависимости от номинального напряжения  $U_{H,P}$  приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Технические данные кнопочных станций

Тип кнопки или кнопочного поста	Номинальное напряжение цепи, $V$	Номинальный рабочий ток, $A$
КЕ	380	2,5
КЕ	220	4,0
КМЕ	380	1,5
КМЕ	220	3,0
ПКЕ	380	2,0
ПКЕ	220	3,4

### 3.3.3 Выбор предохранителей

Плавкие предохранители – самые простые и дешевые аппараты автоматической защиты электроустановок от токов корот-

кого замыкания и длительных перегрузок. Действие предохранителя основано на том, что при прохождении тока по плавкой вставке она нагревается и, когда сила тока превышает допустимый предел, вставка расплавляется, отключая электродвигатель от сети. В основном используются резьбовые предохранители серии ПП24 на токи до 100 A, предохранители с наполнителем серии НПН2-60 – на токи до 63 A, предохранители с патроном и наполнителем серии ПН2 – на токи до 600 A.

Предохранители выбирают по следующим параметрам:

номинальному напряжению

$$U_{H.PP} \geq U_C, \quad (3.25)$$

где  $U_C$  – номинальное напряжение сети, B;

номинальному току плавкой вставки:

а) для защиты трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором:

$$I_{BCT} = I_{\Pi} / \alpha, \quad (3.26)$$

где  $I_{\Pi}$  – пусковой ток трехфазного асинхронного электродвигателя, A;

$\alpha$  – коэффициент учитывающий условия пуска ( $\alpha = 1,6 \dots 2,5$  наибольшая цифра соответствует легким условиям пуска, меньшая – тяжелым);

б) для защиты группы трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором

$$I_{BCT} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} I_H + I_{\Pi.MAX}}{\alpha}, \quad (3.27)$$

где  $I_{\Pi.MAX}$  – пусковой ток самого мощного электродвигателя в группе, A.

$\sum_{i=1}^{n-1} I_H$  – сумма номинальных токов электродвигателей входящих в группу, за исключением самого мощного, A.

После выполненных расчетов выбирают стандартную плавкую вставку на ток, равный определенному по вышеприведенным формулам или ближайшего к нему (*Приложение 7*).

### 3.3.4 Выбор автоматических выключателей

Воздушные автоматические выключатели (автоматы) предназначены для коммутации тока при распределении электроэнергии между отдельными токоприемниками и защиты электроустановок от коротких замыканий и перегрузок. Автоматы могут быть также использованы для нечастых оперативных включений и отключений токоприемников и пуска электродвигателей (для большинства типов два-шесть включений в час, для автоматов типа ВА-51 и АЕ-2000 до 30 в час).

Для защиты электроприемников и питающих их сетей от токов короткого замыкания автоматические выключатели снабжают максимально-токовыми расцепителями; от токов перегрузки – максимально-токовыми и тепловыми расцепителями.

Включаются автоматы вручную, но имеют механизм момента включения, обеспечивающий быстрое (и полное) замыкание контактов независимо от скорости движения рукоятки.

Конструкция автоматов сложнее других электромагнитных аппаратов, и для их обслуживания требуется более высокая квалификация.

В сельских электроустановках наибольшее распространение получили трехполюсные автоматы серии АЕ-2000, А3700, ВА-51 и ВА-99.

Автоматические выключатели, служащие для защиты трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, выбирают по следующим условиям:

$$U_{H.AB} \geq U_{H.C} \quad (3.28)$$

$$I_{H.AB} \geq (1,0 \dots 1,5) I_{H.DB}, \quad (3.29)$$

где  $U_{H.AB}$  и  $U_{H.C}$  – соответственно, номинальные напряжения автомата и сети, В.

$I_{H.AB}$  и  $I_{H.DB}$  – соответственно, номинальные токи автомата и электродвигателя, А.

При легких условиях пуска выбирают меньшую цифру в формуле (3.29) из интервала (1,0…1,5) при тяжелых условиях – большую.

После этого рассчитывают ток уставки автомата (с электромагнитным расцепителем):

$$I_{УСТ.ЭЛМ} \geq (1,5 \dots 1,8) I_{П.Д.} . \quad (3.30)$$

где  $I_{\text{П.ДВ}}$  – пусковой ток электродвигателя,  $A$ .

Для автоматов с тепловым расцепителем рассчитывают ток уставки по формуле

$$I_{\text{УСТ.ТЕПЛ}} = (0,63 \dots 1,00) I_{\text{Н.ДВ}}. \quad (3.31)$$

По рассчитанным параметрам выбираются стандартные автоматы (*Приложение 8*).

### 3.3.5 Выбор магнитных пускателей

Пускатели электромагнитные предназначены для дистанционного пуска, остановки и реверсирования трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором при напряжении до  $660\text{ V}$ . Все типы магнитных пускателей защищают управляемые двигатели, отключая их при снижении напряжения в питающей сети до  $(0,7 \dots 0,6)U_C$ , предотвращая их самопуск после восстановления напряжения.

При наличии тепловых реле пускатели защищают управляемые электродвигатели от перегрузок недопустимой продолжительности.

Основные виды магнитных пускателей, изготавливаемых промышленностью, – пускатели серий ПМЛ и ПМА (ПМЕ).

Магнитные пускатели выбирают в зависимости от условий окружающей среды и схемы управления по номинальному напряжению, номинальному току, току нагревательного элемента, теплового реле и напряжению втягивающей катушки:

$$U_{\text{Н.ПУСК}} \geq U_{\text{Н.УСТ}} \quad (3.32)$$

$$I_{\text{Н.ПУСК}} \geq I_{\text{PAC}} \quad (3.33)$$

$$I_{\text{Н.Т.Р}} \geq I_{\text{Н.ДВ}}, \quad (3.34)$$

где  $U_{\text{Н.ПУСК}}$  – номинальное напряжение пускателя,  $B$ ;

$I_{\text{Н.ПУСК}}$  и  $I_{\text{PAC}}$  – соответственно, номинальный ток пускателя и расчетный ток управляемой цепи,  $A$ ;

$I_{\text{Н.Т.Р}}$  – номинальный ток теплового реле,  $A$ .

Пускатели выпускаются на одно из следующих напряжений цепи управления (втягивающей катушки): 36, 110, 127, 220, 230, 240, 380, 400, и  $500\text{ V}$ , на один из следующих номинальных токов нагревателей теплового реле: 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20 и  $25\text{ A}$ .

Номинальные технические данные магнитных пускателей приведены в *Приложении 9*.

### 3.4 Методические указания к решению задачи № 3

Расчетная мощность нагревательной установки определяется из теплового баланса процесса нагрева для установившегося режима

$$P_{PAC} = P_{ПОЛ} + P_{ПОТ}, \quad (3.35)$$

где  $P_{ПОЛ}$  – полезная мощность,  $кВт$ ;

$P_{ПОТ}$  – сумма потерь мощности в окружающую среду,  $кВт$ .

Все тепловые процессы связаны либо с нагревом твердых, жидких или газообразных сред, либо с изменением их агрегатного состояния. Полезная мощность определяется по формуле

$$P_{ПОЛ} = \frac{mC_p(t_2 - t_1)}{3600\tau}, \quad (3.36)$$

где  $t_1$  – начальная температура среды,  $^{\circ}C$ ;

$t_2$  – конечная температура среды,  $^{\circ}C$ ;

$C_p$  – средняя теплоемкость среды,  $кДж/(кг \cdot ^{\circ}C)$ , (Приложение 10);

$m$  – масса среды,  $кг$ ;

$\tau$  – время разогрева, *час*.

Одной из характеристик нагревателя является его удельная допустимая нагрузка  $W_{ДОП}$  ( $Вт/см^2$ ), определяемая материалом нагревателя, его конструктивным исполнением и т. п.:

$$W_{ДОП} = \frac{P_H}{F_{1АКТ}}, \quad (3.37)$$

где  $P_H$  – номинальная мощность принимаемого ТЭН,  $Вт$ ;

$F_{1АКТ}$  – активная поверхность нагревателя,  $см^2$ .

В *Приложении 10* приведены допустимые значения удельной нагрузки для некоторых случаев использования ТЭН (для нагрева воздуха, воды и молока). Если в результате вычисления  $W_{ДОП}$  не укладывается в рекомендуемый интервал, принимают ТЭН большей или меньшей мощности до тех пор, пока полученное значение  $W_{ДОП}$  не попадет в рекомендуемый интервал.

Активная поверхность нагревателя (ТЭН) определяется его геометрическими размерами

$$F_{1АКТ} = \pi \cdot d \cdot l_{АКТ}, \quad (3.38)$$

где  $d$  – диаметр нагревателя,  $см$ ;

$l_{АКТ}$  – активная длина ТЭН,  $см$ .

Активная длина ТЭН приблизительно на 5 процентов меньше развернутой длины.

$$l_{AKT} = 0,95 \cdot l_{PAZ} \quad (3.39)$$

где  $l_{PAZ}$  – развернутая длина ТЭНа, см (принимается по справочной таблице *Приложения 11*).

По расчетной мощности и допустимой удельной нагрузке определяем необходимую активную поверхность всех нагревателей

$$F_{AKT} = \frac{P_{PAC}}{W_{доп}}, \quad (3.40)$$

где

$$P_{PAC} = \frac{P_{ПОЛ}}{\eta}. \quad (3.41)$$

Принять  $\eta = 0,9$ .

Количество ТЭН в нагревателе определяем по формуле

$$n = \frac{F_{AKT}}{F_{1AKT}}. \quad (3.42)$$

Целесообразно использовать трехфазные схемы включения ТЭН, поэтому полученное по формуле (3.42) количество ТЭН округляют до ближайшего числа кратного трем в большую сторону.

Результаты расчетов сводят в таблицу 3.8.

Далее следует составить принципиальную электрическую схему водонагревателя (схему включения ТЭНов, схему управления водонагревателем, условные обозначения элементов электрических схем приведены в *Приложении 12*). Дать краткое описание работы схемы.

*Таблица 3.8 –Результаты расчетов электроводонагревателя*

Мощность электроводонагревателя, кВт	Число ТЭН	Масса нагреваемого продукта, кг	Конечная температура, °C	Начальная температура, °C	Схема соединения ТЭН

#### 4 ПРИМЕР РЕШЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

## Вариант № 2

### Задача № 1

Для системы «трехфазный асинхронный двигатель – рабочая машина», по данным нагрузочной диаграммы, используя метод эквивалентных величин, определить необходимую мощность асинхронного трехфазного электродвигателя общего назначения серии 4А, определить номинальный и пусковой ток электродвигателя. Рассчитать и построить механическую характеристику электродвигателя  $\omega = f(M)$ , определить мощность, потребляемую из сети в номинальном режиме. Рассчитать и построить на том же графике механическую характеристику рабочей машины, приведенную к угловой частоте вращения вала электродвигателя. Определить графоаналитическим методом (методом площадей) продолжительность пуска электродвигателя с нагрузкой при номинальном напряжении.

Оценить условия запуска электродвигателя с нагрузкой при снижении питающего напряжения на  $\Delta U = 20\%$ . Двигатель питается от сети напряжением 380/220 В. Исходные данные приведены в таблице 4.1.

### Решение

Исходные данные для расчета оформляем в виде таблицы 4.1.

*Таблица 4.1 – Исходные данные для выбора мощности электродвигателя привода кукольного триера зерноочистительного пункта ЗАВ-20*

$P_1$ , кВт	$P_2$ , кВт	$P_3$ , кВт	$P_4$ , кВт	$t_1$ , мин	$t_2$ , мин	$t_3$ , мин	$t_4$ , мин	$\eta_{\text{пер}}$	$n_{\text{рм}}$ , мин <sup>-1</sup>	$M_{\text{рм}}$ , Н/м	$I_{\text{дв}}$ , кГ/м <sup>2</sup>	$I_{\text{рт}}$ , % от $I_{\text{дв}}$	$x$
22	13	15	8	7	9	15	2	0,75	400	170	0,25	500	1

Эквивалентную по нагреву мощность нагрузки на валу электродвигателя рассчитываем по формуле (3.1)

$$P_{\text{р}} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3 + P_4^2 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} = \sqrt{\frac{12^2 \cdot 7 + 13^2 \cdot 9 + 15^2 \cdot 15^2 + 8^2 \cdot 2}{7 + 9 + 15 + 2}} = 13,5 \text{ кВт},$$

где  $P_i$  – мощность на валу электродвигателя в  $i$ -й период работы, кВт;

$n$  – количество периодов нагрузки;

$t_i$  – продолжительность  $i$ -го периода работы, мин.

Мощность электродвигателя при его полном охлаждении во время паузы в работе выбираем по каталогу, исходя из условия

$$P_h \geq \frac{P_{\text{зкв}}}{K_m}; \quad n_{\text{дб}} \geq n_{\text{pm}},$$

где  $K_m$  – коэффициент механической перегрузки, в данной задаче принять  $K_m = 1$ .

$$15 \geq \frac{13,52}{1}.$$

Принимаем, пользуясь *Приложением 5*, электродвигатель серии 4A180S8У3 и выписываем его номинальные каталожные параметры в таблицу 4.2:

*Таблица 4.2 – Каталожные параметры двигателя 4A180S8У3*

Параметры электродвигателя	$P_h, \text{кВт}$	$U_h, \text{В}$	$\mu_k$	$\mu_{\text{п}}$	$K_{\text{п}}$	$\cos \varphi_h$	$\eta_h, \%$	$S_h, \%$	$S_k, \%$
4A180S8У3	15	380	2	1,2	5,5	0,72	0,87	2,6	13

Ток, потребляемый двигателем, определяется по формуле (3.2)

$$I_h = \frac{P_h}{\sqrt{3}U_h \eta_h \cos \varphi} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,72 \cdot 0,87} = 36,38, \text{ А},$$

где  $U_h$  – номинальное напряжение электродвигателя,  $В$ ;

$\cos \varphi_h$  – коэффициент мощности электродвигателя;

$\eta_h$  – коэффициент полезного действия передачи.

Пусковой ток по формуле (3.3)

$$I_{\text{п}} = \mu_{\text{п}} \cdot I_h = 5,5 \cdot 36,38 = 200,1 \text{ А},$$

где  $i_{\text{п}}$  – кратность пускового тока.

Механическую характеристику асинхронного электродвигателя  $\omega = f_1(M)$  строим на основании расчета его вращающих моментов для угловых скоростей, соответствующих скольжениям:  $S = 0; S = S_h; S = S_k; S = 0,3; S = 0,5$  и  $S = 1,0$ .

В начале определяем синхронную частоту вращения магнитного поля статора –  $n_0$  (3.8), асинхронную номинальную частоту вращения ротора –  $n_h$  (3.7) и номинальную угловую скорость ротора –  $\omega_h$  (3.6):

$$n_0 = \frac{60f}{P} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750 \text{ мин}^{-1}$$

$$n_h = n_0 \cdot (1 - S_h) = 750 \cdot (1 - 0,026) = 730,5 \text{ мин}^{-1},$$

$$\omega_h = 0,105 \cdot n_h = 0,105 \cdot 730,5 = 76,7 \text{ с}^{-1},$$

где  $n_0$  – синхронная частота вращения магнитного поля статора электродвигателя,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$P$  – число пар полюсов (число полюсов указывается в марке электродвигателя).

$\omega_h$  – номинальная угловая скорость электродвигателя,  $\text{с}^{-1}$ ;

$n_h$  – номинальная частота вращения вала электродвигателя,  $\text{мин}^{-1}$ .

Номинальный момент на валу электродвигателя рассчитываем по формуле (3.5)

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{15000}{76,6} = 195,82 \text{ H}\cdot\text{m}.$$

Вращающий пусковой момент электродвигателя при  $S=1,0$  при ( $\omega = 0$ ) определяем, используя кратность пускового момента  $M_P$  по выражению (3.4)

$$M_P = M_H \cdot \mu_P = 195,82 \cdot 1,2 = 234,98 \text{ H}\cdot\text{m}.$$

Величину критического момента  $M_K$  рассчитываем по формуле (3.10)

$$M_K = M_H \cdot \mu_K = 195,82 \cdot 2 = 391,64 \text{ H}\cdot\text{m}.$$

Остальные вращающие моменты электродвигателя для скольжений от 0 до 0,5 рассчитываются на основании упрощенной формулы Клосса (3.9).

На участке скольжения  $S$  от 0,5 до 1,0 формула Клосса дает заниженное значение момента  $M$ , поэтому кривую  $\omega = f_I(M)$  аппроксимируем прямой до точки  $M = M_P$ .

Переход от скольжения к угловой скорости производим по формуле (3.11).

В работе приводим расчет только номинальных значений, остальные сводим в таблицу 4.3.

$$\omega_{S_H=0,026} = 78,5 \cdot (1 - 0,026) = 76,46 \text{ c}^{-1}$$

$$M_{S_H=0,026} = \frac{2 \cdot 391,64}{\frac{0,026}{0,13} + \frac{0,13}{0,026}} = 150,63 \text{ H}\cdot\text{m}.$$

Таблица 4.3 – Данные к построению механической характеристики асинхронного двигателя

$S$	0	$S_H = 0,026$	0,1	$S_K = 0,13$	0,3	0,5	1,0
$\omega, \text{рад/с}$	78,5	76,46	70,65	68,3	54,95	39,25	0
$M, \text{H}\cdot\text{м}$	0	150,63	378,4	391,64	285,9	190,58	234,98

Для приведения моментов рабочей машины к валу электродвигателя воспользуемся формулой Бланка (3.15), предварительно определив передаточное отношение передачи от электродвигателя к рабочей машине по формуле (3.14) и начальный момент сопротивления  $M_{PMO}$  (принимаем  $M_{PMO}$  равным  $0,2 \cdot M_{PMH}$ ):

$$i = \frac{n_H}{n_{PMH}} = \frac{730,5}{400} = 1,83$$

$$M_{PMO} = M_{PMH} \cdot 0,2 = 170 \cdot 0,2 = 34 \text{ H}\cdot\text{m}.$$

Придавая значения  $\omega$  от 0 до  $\omega = \omega_0$ , рассчитываем по формуле 3.15 зависимость  $\omega = f_2(M_C)$ .

В работе приводим расчет только номинального значения момента сопротивления, остальные сводим в таблицу 4.4.

$$M_{C(S_H=0,026)} = \frac{1}{1,826 \cdot 0,75} \cdot \left[ 34 + (170 - 34) \cdot \left( \frac{76,46}{76,7} \right) \right]^1 = 123,79 \text{ H}\cdot\text{m}$$

Таблица 4.4 – Данные к построению механической характеристики рабочей машины

$\omega, \text{рад/с}$	78,5	76,46	70,65	68,3	54,95	39,25	0
$M_C \text{ H}\cdot\text{m}$	126,43	123,79	116,27	113,23	95,95	75,62	24,82

На основании расчетных данных (таблицы 4.3 и 4.4) строим кривые  $\omega = f_1(M)$  и  $\omega = f_2(M_C)$  на одном графике (рисунок 3.1).

Для определения времени пуска электропривода рассчитываем приведенный момент инерции системы электродвигатель – рабочая машина относительно вала электродвигателя по формуле (3.16)

$$J_{PP} = K \cdot J_{DB} + \frac{J_{PM}}{i^2} = 1,2 \cdot 0,25 + \frac{0,75}{1,83^2} = 0,525 \text{ кг}\cdot\text{м}^2,$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий момент инерции передачи от электродвигателя к рабочей машине. Принимаем  $K=1,2$ ;

$J_{DB}$  – момент инерции электродвигателя,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;

$J_{PM}$  – момент инерции рабочей машины (по условию работы берется в процентах относительно момента инерции электродвигателя),  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;

$$J_{PM} = 3 \cdot I_{DB} = 3 \cdot 0,25 = 0,75 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Используя построенные механические характеристики электродвигателя  $\omega = f_1(M)$  и рабочей машины  $\omega = f_2(M_C)$ , графически находим их разность – кривую избыточного (динамического) момента  $\omega = f_3(M_{ИЗБ})$  (рисунок 3.1) по формуле (3.17).

Эту кривую заменяем ступенчатой  $\omega = f4(M_{ИЗБ_i})$  (рисунок 3.1), с участками, на которых избыточный момент постоянен и равен его средней величине  $M_{ИЗБ_i}$ .

Продолжительность разгона электропривода на каждом участке угловых скоростей рассчитываем по выражению (3.18) (в работе рассчитаем продолжительность пуска на первом участке, остальные сведем в таблицу 4.5):

$$\Delta t_1 = J_{PP} \cdot \frac{\Delta \omega_1}{M_{ИЗБ_1}} = 0,525 \frac{39,2 - 0}{162,56} = 0,127 \text{ с},$$

где  $\Delta \omega_1$  – интервал угловой скорости на первом участке,  $\text{с}^{-1}$ ;

$M_{ИЗБ\_1}$  – средний избыточный момент на первом участке, принимаемый постоянным по рисунку 3.1,  $H\cdot м$ .

Полная продолжительность пуска равна сумме частичных продолжительностей, отрицательные значения времени пуска на участках не учитываются (3.20):

$$t_{II} = \sum_{i=1}^m \Delta t_i = 0,1270 + 0,0540 + 0,0300 + 0,0046 + 0,0210 + 0,0220 = 0,26 \text{ с.}$$

Результаты расчета заносим в таблицу 5.

*Таблица 4.5 – Данные расчета продолжительности пуска электропривода*

Номер участков по направлению разгона	1	2	3	4	5	6
$\omega_{НАЧ}, \text{с}^{-1}$	0	39,2	54,95	68,3	70,65	76,46
$\omega_{КОН}, \text{с}^{-1}$	39,2	54,95	68,3	70,65	76,46	78,5
$\Delta\omega_i = \omega_i - \omega_{i-1}, \text{с}^{-1}$	39,2	15,75	13,35	2,35	5,81	2,04
$M_{ИЗБ_i}, \text{Нм}$	162,56	152,455	234,18	270,27	144,49	-49,8
$\Delta t_i, \text{с}$	0,127	0,054	0,03	0,0046	0,021	-0,022
$t_{II} = \sum \Delta t_i, \text{с}$	0,26					

Определяем моменты на валу электродвигателя в случае снижения напряжения в питающей сети на 20 % по зависимости 3.21:

$$M_{(U')} = M_{(U_H)} \cdot U_*^2,$$

где  $M_{(U_H)}$  – врачающий момент асинхронного электродвигателя приnomинальном напряжении (берется из таблицы 3),  $H\cdot м$ ;

$M_{(U')}$  – врачающий момент асинхронного электродвигателя при той же частоте вращения, но при пониженном напряжении,  $H\cdot м$ ;

$U_*$  – относительная величина напряжения волях от номинального подведенного к электродвигателю.

$$U_* = 1 - \frac{\Delta U \%}{100} = 1 - \frac{20}{100} = 0,8.$$

Тогда, номинальный момент на пониженном напряжении составит

$$M(U') = 150,63 \cdot 0,8^2 = 96,4 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Остальные значения моментов сводим в таблицу 4.6.

По данным таблицы 4.6 строим кривую момента на валу электродвигателя при снижении напряжения на 20 % (рисунок 3.1).

*Таблица 4.6 – Данные к построению зависимости врачающего момента асинхронного электродвигателя при той же частоте вращения*

$\omega, \text{c}^{-1}$	78,5	76,46	70,65	68,3	54,95	39,25	0
$M_{(U)}, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	96,4	242,18	250,65	182,98	121,97	150,39

### **Выводы по первой задаче**

Для привода кукольного триера зерноочистительного пункта ЗАВ-20 выбираем электродвигатель 4А180S8У3. При запитывании его от сети напряжением 380/220 В ротор разовьет частоту вращения, соответствующую рабочей зоне его механической характеристики, т.е. обеспечит номинальные обороты рабочей машины, указанные в задании.

В случае падения напряжения до  $U = 300 \text{ В}$  (на 20 %), электродвигатель также запустится и выйдет на номинальную частоту вращения.

### **Задача 2**

Для выбранного в первой задаче трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором 4А180S8У3 подобрать аппаратуру управления и защиты с учетом конкретных условий: типа электроустановки, места размещения, типа привода (нереверсивный или реверсивный).

По рекомендуемой схеме: автоматический выключатель, магнитный пускатель, кнопочная станция. Выполнить электрическую схему управления электроприводом.

### **Решение**

Выбираем наиболее распространенный трехполюсной автомат серии ВА-99.

Расчет автомата ведем по формулам (3.28–3.31).

Номинальное напряжение автомата принимаем 380 В.

Рассчитываем номинальный ток автомата

$$I_{H,AB} \geq (1,0 \dots 1,5) I_{H,ДВ} = 1,5 \cdot 36,38 = 54,57 \text{ А},$$

где  $I_{H,AB}$  и  $I_{H,ДВ}$  – соответственно номинальные токи автомата и электродвигателя (из предыдущей задачи известно  $I_{H,ДВ} = 36,38 \text{ А}$ ), А.

Ближайшее стандартное значение номинального тока автомата 63 А (см. *Приложение 8*).

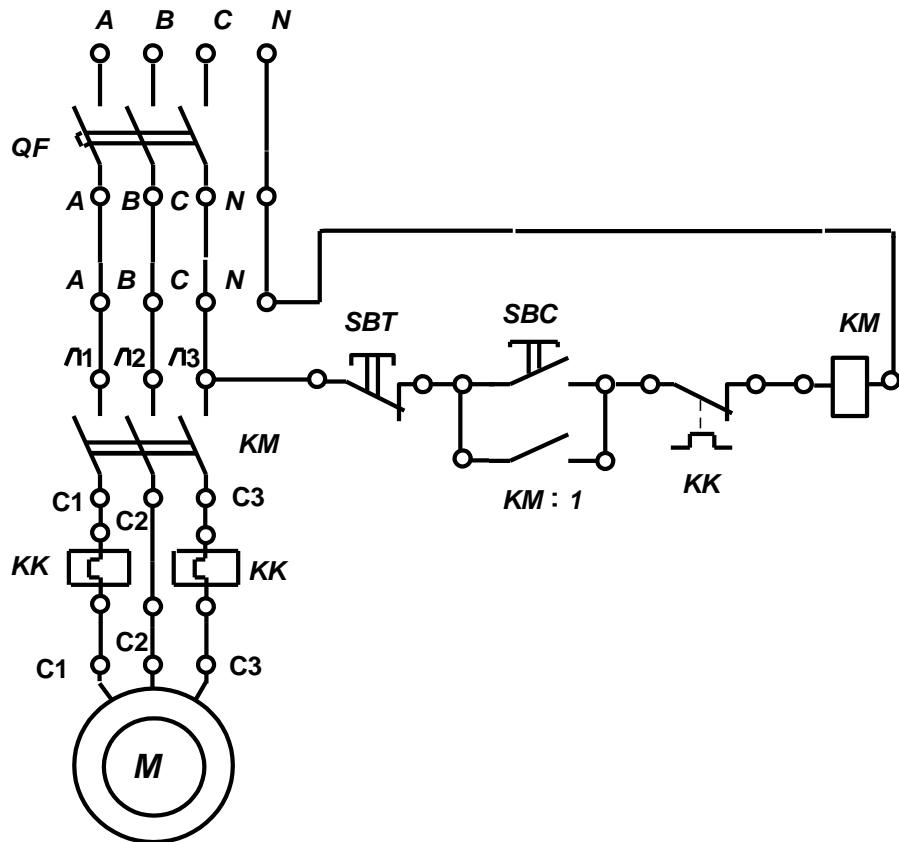


Рисунок 4.1 – Схема включения асинхронного двигателя с помощью нереверсивного магнитного пускателя

Далее рассчитываем ток уставки электромагнитного расцепителя автомата:

$$I_{УСТ.ЭЛМ} \geq (1,5 \dots 1,8) I_{П.ДВ} = 1,6 \cdot 200,1 = 320,2 \text{ A},$$

где  $I_{П.ДВ}$  – пусковой ток электродвигателя (из предыдущей задачи известно  $I_{П.ДВ} = 200,1 \text{ A}$ ), A.

Ток уставки теплового расцепителя автомата рассчитываем по формуле (3.31):

$$I_{УСТ.ТЕПЛ} = (0,63 \dots 1,00) I_{H,AB} = 1 \cdot 63 = 63 \text{ A}.$$

По рассчитанным параметрам выбираем автомат ВА-99/63А-03 на номинальное напряжение 500 В (Приложение 8).

Для пуска электродвигателя (в зависимости от его мощности 13,5 кВт и номинального тока главных контактов  $I_{H,ДВ} = 36,38 \text{ A}$ ) принимаем нереверсивный магнитный пускатель (т. к. триер всегда вращается в одном направлении) открытого исполнения (т. к. вся аппаратура на ЗАВ-20 устанавливается в центральном щите управления) с тепловым реле марки ПА-312.

Для осуществления дистанционного управления электродвигателем выбираем по таблице 3.7 две кнопки (зеленного и красного цвета) КЕ-220-4, т. к. цепь питания катушки магнитного пускателя запитывается от сети напряжением 220 В.

Электрическая схема управлением электропривода кукольного трие-ра ЗАВ-20 представлена на рисунке 4.1

### Задача № 3

По данным задания определить мощность электроводонагревательной установки типа УАП (ВЭТ) выбрать тип и количество нагревательных элементов. Привести принципиальную электрическую схему водонагревателя. Исходные данные в зависимости от варианта приведены в *Приложении 4*.

### Решение

Выписываем из *Приложения 4* исходные данные для расчета и оформляем их в виде таблицы 4.7.

*Таблица 4.7 – Исходные данные к задаче 3*

Начальная температура – $t_1$ , °C	Конечная температура – $t_2$ , °C	Масса – $m$ , кг	Время нагрева – $\tau$ , час	Среда
20	87	2000	2,5	Молоко

Определяем полезную мощность электроводонагревателя по формуле (3.36)

$$P_{\text{пол}} = \frac{mC_p(t_2 - t_1)}{3600\tau} = \frac{2000 \cdot 3920 \cdot (87 - 20)}{3600 \cdot 2,5} = 58,3 \text{ кВт},$$

где  $t_1$  – начальная температура среды, °C;

$t_2$  – конечная температура среды, °C;

$C_p$  – средняя теплоемкость среды, кДж/(кг·°C), (принимаем теплоемкость молока  $C_p = 3,92 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C})$  (*Приложение 10*));

$m$  – масса среды, кг;

$\tau$  – время разогрева, час.

Расчетная мощность нагревательной установки определяется по формуле (3.41)

$$P_{\text{PAC}} = \frac{P_{\text{пол}}}{\eta} = \frac{58,3}{0,9} = 64,8 \text{ кВт},$$

где  $\eta$  – КПД установки принимаем  $\eta = 0,9$ .

Первоначально принимаем из *Приложения 11* марку ТЭН, которая, на наш взгляд будет, оптимальной для нагрева заданного количества молока: ТЭН-0,9А мощностью  $P_H = 1,8 \text{ кВт}$ ; с развернутой длиной –  $l_P = 68,5 \text{ см}$  и диаметром –  $d = 1,35 \text{ см}$ .

По формуле (3.39) рассчитываем активную длину ТЭН –  $l_{\text{АКТ}}$ :

$$l_{\text{АКТ}} = 0,95 \cdot l_{\text{PAC}} = 0,95 \cdot 68,5 = 65,1 \text{ см.}$$

Затем определяем активную поверхность нагревателя (ТЭН) –  $F_{1AKT}$ , по формуле 3.38

$$F_{1AKT} = \pi d l_{1AKT} = 3,14 \cdot 1,35 \cdot 65,1 = 276,0 \text{ см}^2.$$

Далее определяем удельную допустимую нагрузку нагревателя –  $W_{доп}$  ( $\text{Вт}/\text{см}^2$ ), по формуле (3.37)

$$W_{доп} = \frac{P_H}{F_{1AKT}} = \frac{1800}{276} = 6,52 \text{ Вт}/\text{см}^2.$$

Допустимое значение удельной нагрузки при использовании ТЭН для нагрева молока лежит в интервале от 1,5 до 2,0  $\text{Вт}/\text{см}^2$  (см. *Приложение 10*), а в нашем случае она составила более  $6 \text{ Вт}/\text{см}^2$ , что не допустимо, т. к. неизбежно приведет к пригоранию молока на поверхности ТЭН и ухудшению качества продукта. Принимаем ТЭН меньшей мощности, например ТЭН-18 ( $P_H = 1,2 \text{ кВт}$ ; с развернутой длиной –  $l_P = 166,5 \text{ см}$  и диаметром –  $d = 1,35 \text{ см}$ ) и повторяем расчет:

$$l_{1AKT} = 0,95 \cdot l_{P18} = 0,95 \cdot 166,5 = 158,2 \text{ см}$$

$$F_{1AKT} = \pi d l_{1AKT} = 3,14 \cdot 1,35 \cdot 158,2 = 670,6 \text{ см}^2$$

$$W_{доп} = \frac{P_H}{F_{1AKT}} = \frac{1200}{670,6} = 1,79 \text{ Вт}/\text{см}^2.$$

В данном случае допустимое значение удельной нагрузки укладывается в требуемый интервал, а следовательно, ТЭН-18 выбран верно.

По расчетной мощности и допустимой удельной нагрузке определяем необходимую активную поверхность всех нагревателей –  $F_{AKT}$  (3.40):

$$F_{AKT} = \frac{P_{PAC}}{W_{доп}} = \frac{648000}{1,79} = 36201,1 \text{ см}^2.$$

Количество ТЭН в нагревателе определяем по формуле (3.42)

$$n = \frac{F_{AKT}}{F_{1AKT}} = \frac{36201,1}{670,6} = 53,9 \text{ шт.}$$

Целесообразно использовать трехфазные схемы включения ТЭН, поэтому полученное по формуле (3.42) количество ТЭН округляют до ближайшего числа, кратного трем в большую сторону, т. е.  $n = 54 \text{ шт.}$

Результаты расчетов сводят в таблицу 4.8.

*Таблица 4.8 – Результаты расчетов электроводонагревателя*

Мощность электроводонагревателя, $\text{kВт}$	Число ТЭН	Масса нагреваемого продукта, $\text{кг}$	Конечная температура, $^{\circ}\text{C}$	Начальная температура, $^{\circ}\text{C}$	Схема соединения ТЭН
64,8	54		87	20	«Звезда»

Далее составим принципиальную электрическую схему водонагревателя (рисунок 4.2).

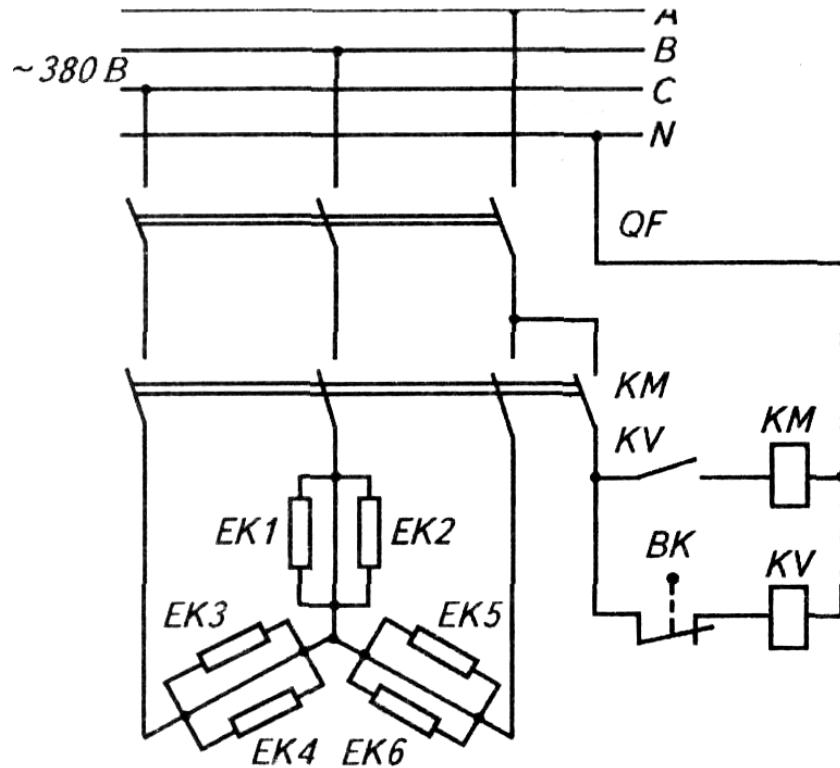


Рисунок 4.2 – Схема включения ТЭНов в электроводонагревателе

Схема работает следующим образом: после замыкания электрических контактов автоматического выключателя *QF* электрический ток поступает на группы ТЭН *EK1*...*EK54* (в каждой из трех фаз включены 18 ТЭН). При достижении заданной температуры молока – 87 °C, датчик температуры размыкает свои контакты *BK*, находящиеся в цепи питания катушки промежуточного реле *KV*. Реле *KV* срабатывает и размыкает цепь катушки магнитного пускателя *Km*, который управляет работой нагревательных элементов *EK*. При снижении температуры ниже заданной контакты датчика замыкаются вновь, и процесс нагрева продолжится.

## Приложение 1

### Календарно-тематический план по дисциплине «Электропривод и электрооборудование» для студентов 5 курса инженерного факультета заочного отделения

Лекции – 10 часов.

Лабораторные занятия – 10 часов.

Форма итогового контроля – контрольная работа, экзамен (зимняя сессия).

№	Тема занятий. Содержание	Кол-во часов	Рекомендуемая литература	Место проведения
1	2	3	4	5
<b>Лекционные занятия</b>				
1	Введение. Классификация электроприводов. Принцип действия и конструкция электродвигателей постоянного тока. Механические характеристики рабочих машин и электродвигателей, их математическое и графическое представление и анализ.	2	2, 6, 7, 10, 11, 17, 18 плакаты	Лекционный зал
2	Принцип действия и конструкция асинхронных электродвигателей. Механические характеристики асинхронных электродвигателей, их математическое и графическое представление и анализ.	2	2, 6, 7, 10, 11, 17, 18 плакаты	Лекционный зал
3	Основы динамики электропривода. Нагрев и охлаждение электродвигателя. Уравнение теплового баланса и его решение.	2	2, 6, 7, 10, 11, 17, 18 плакаты	Лекционный зал
4	Механическая и тепловая нагрузки электродвигателя. Определение его мощности для различных режимов работы.	2	2, 6, 7, 10, 11, 17, 18 плакаты	Лекционный зал

<i>Окончание приложения 1</i>				
1	2	3	4	5
5	Применение электроэнергии в сельскохозяйственном производстве. Способы электронагрева. Электроосвещение. Электротехнологии с.-х. производства.	2	1, 2, 3, 4, 8, 9, 16 плакаты	Лекционный зал
Итого: 10 часов				
<b>Лабораторные занятия</b>				
1	Техника безопасности при выполнении лабораторных работ. Подготовка асинхронного электродвигателя к пуску. Пуск и реверсирование. Выдача заданий по контрольной работе.	2	4, плакаты, инструкция по ТБ	Спец. лаборатория 4119
2	Подготовка электродвигателя постоянного тока к пуску. Пуск, регулирование скорости вращения, реверс. Построение механической характеристики электродвигателя постоянного тока со смешанной обмоткой возбуждения.	2	4, плакаты	Спец. лаборатория 4119
3	Исследование процесса нагрева электродвигателя во время работы и определение постоянной времени нагрева и охлаждения.	2	4, плакаты	Спец. лаборатория 4119
4	Исследование работы электрокалориферной установки.	2	4, плакаты	Спец. лаборатория 4119
5	Исследование работы электродного водонагревателя.	2	4, плакаты	Спец. лаборатория 4119
Итого: 10 часов				

Министерство сельского хозяйства РФ  
ФГОУ ВПО «Пензенская ГСХА»

Кафедра «Физика, электрификация и автоматизация  
сельскохозяйственного производства»

## **Контрольная работа**

**по дисциплине**  
**«Электропривод и электрооборудование»**

**ШИФР 3513**

Выполнил: студент 5 курса инженерного  
факультета заочного отделения  
Иванов И.А.

Проверил: доцент, к.т.н. Поликанов А.В.

Пенза 2009

### Приложение 3

Таблица 1 – Исходные данные к задаче № 1

№ вар- ианта	Тип электропривода	Данные нагрузочной диаграммы								Параметры рабочей машины					
		$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$\eta_{ПЕР}$	$n_{PMn}$ мин <sup>-1</sup>	$M_{PMn}$ Нм	$J_{ДВ}$ кг м <sup>2</sup>	$J_{PM}$ кг м <sup>2</sup>	$x$
		кВт				мин									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Вентиляционная установка типа ПВУ	2	3	5	4	10	4	8	7	0,80	2500	10	По каталогу	0,20	2
2	Вентиляционная установка типа «Климат-4»	5	4	7	6	8	5	10	6	0,75	1450	35		0,17	2
3	Вентиляционная установка типа ОРМ	4	7	9	5	10	6	8	5	0,82	900	55		0,10	2
4	Вентиляционная установка типа ОРТХ	10	15	20	12	10	5	10	8	0,76	800	115		0,08	2
5	Вентиляционная установка типа ОРТХ-М	8	12	10	11	10	8	5	8	0,82	1100	50		0,04	2
6	Тросошайбовый транспортер КШ-0,5	10	12	8	9	10	5	6	9	0,80	900	80		0,05	0
7	Скреперная установка	11	8	7	6	8	6	4	5	0,75	450	65		0,19	1
8	Кормораздатчик КЭС-1,7	13	15	16	14	9	5	10	7	0,78	700	170		0,03	1
9	Электропогрузчик ЭП-1,3	15	12	13	10	7	4	5	9	0,80	200	40		0,40	1
10	Привод электротали типа ТЭП-1	20	25	20	25	6	8	10	5	0,85	350	130		0,25	0
11	Дробилка кормов ДКУ	23	20	19	21	7	8	5	4	0,88	2500	55		0,90	2
12	Дробилка кормов ДБ-5	15	19	20	18	10	6	5	8	0,83	2700	50		0,75	2
13	Привод барабана агрегата АВМ-1,5Р	8	10	12	11	7	9	8	9	0,83	550	100		1,10	0

14	Холодильная машина ТОИ-2М	10	8	7	9	6	9	5	8	0,78	700	100		0,06	2
15	Сепаратор молока	17	20	15	19	3	10	8	5	0,8	2850	55		1,21	2
16	Электрогайковерт	5	8	4	7	10	6	8	4	0,82	400	40		0,13	1
17	Привод электрофрезы	3	6	7	4	8	10	5	7	0,83	600	55		0,75	0
18	Привод электролебедки	8	10	12	11	8	4	9	7	0,84	750	35		0,40	0
19	Привод шлифовального станка	4	6	5	6	10	8	4	7	0,85	1200	25		0,06	0
20	Привод кругопильного станка Ц-6	10	8	10	8	9	5	8	10	0,87	300	50		0,45	1
21	Привод пилорамы Р-63	13	20	10	15	5	10	9	4	0,86	730	190		350	1
22	Привод обкаточного стенда	15	25	20	25	7	9	10	6	0,82	2800	65		0,55	1
23	Привод поточной линии	20	30	25	20	10	6	5	9	0,81	350	130		0,85	1
24	Привод измельчителя соломы ИГК	12	14	11	10	5	7	8	9	0,80	1660	20		0,25	2
25	Привод вакуум-насоса	17	15	16	17	8	10	6	7	0,78	500	140		0,65	2
26	Привод кормораздатчика типа КБН	14	13	15	12	7	9	5	4	0,75	400	95		0,50	1
27	Привод нории комплекса КЗС-40	12	11	10	13	10	8	6	7	0,76	850	95		0,80	2
28	Привод вентилятора топки АВМ-1,5Р	4	5	5	4	8	7	10	5	0,78	1200	25		0,20	2
29	Привод измельчителя удобрений	15	16	15	14	10	5	10	7	0,75	900	130		0,95	1
30	Привод насоса поливочной системы РА-48	11	12	13	14	5	8	10	6	0,80	950	115		0,30	0

## Приложение 4

### Исходные данные к задаче № 3

№ варианта	Начальная температура, °C	Конечная температура, °C	Масса, кг	Время нагрева, час	Среда
1	23	70	800	2,5	Молоко
2	2	95	260	0,8	Вода
3	18	65	1200	3,0	Молоко
4	4	85	345	1,0	Вода
5	15	73	250	1,5	Молоко
6	26	90	1400	3,5	Вода
7	30	76	600	3,0	Молоко
8	8	98	800	2,5	Вода
9	20	65	350	1,5	Молоко
10	12	45	300	2,0	Вода
11	25	80	1000	3,0	Молоко
12	16	92	1100	2,5	Вода
13	19	78	900	2,0	Молоко
14	10	99	700	1,5	Вода
15	24	57	1250	3,0	Молоко
16	23	83	1350	3,5	Молоко
17	17	96	450	2,5	Вода
18	34	56	850	3,0	Молоко
19	1	70	150	1,0	Вода
20	17	45	650	1,5	Молоко
21	16	94	500	1,0	Вода
22	28	67	250	0,5	Молоко
23	29	77	440	2,0	Молоко
24	14	84	150	0,5	Вода
25	18	65	300	1,0	Молоко
26	23	88	650	1,0	Вода
27	14	69	260	1,5	Молоко
28	2	92	330	2,0	Вода
29	13	85	170	1,0	Молоко
30	13	97	380		Вода

## Приложение 5

### Каталожные данные асинхронных двигателей серии 4A основного исполнения, степень защиты IP4

Типоразмер электродвигателя	$P_H$ , кВт	$U_H$ , В	$\mu_K$	$\mu_P$	$k_n$	$\cos\varphi_H$	$\eta_H$	$S_H$ , %	$S_K$ , %	$I_{ДВ}$ , кг·м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Синхронная частота вращения 3000 мин <sup>-1</sup>										
4AA50A2У3	0,09	380	2,2	2,0	3,5	0,70	0,60	8,6	50,0	$2 \cdot 10^{-5}$
4AA50B2У3	0,12	380	2,2	2,0	3,5	0,70	0,63	9,7	51,0	$3 \cdot 10^{-5}$
4AA56B2У3	0,25	380	2,2	2,0	3,5	0,77	0,68	8,0	46,0	$4 \cdot 10^{-4}$
4AA63B2У3	0,55	380	2,2	2,0	4,0	0,86	0,73	8,3	50,5	$8 \cdot 10^{-4}$
4A71A2У3	0,75	380	2,2	2,0	4,5	0,87	0,77	5,9	38,0	$10^{-3}$
4A71B2У3	1,10	380	2,2	2,0	5,5	0,87	0,78	6,3	39,0	$10^{-3}$
4A80A2У3	1,50	380	2,6	2,1	5,5	0,85	0,81	4,2	35,5	$2 \cdot 10^{-3}$
4A80B2У3	2,20	380	2,6	2,1	6,5	0,87	0,83	4,3	38,0	$2 \cdot 10^{-3}$
4A90L2У3	3,00	380	2,5	2,1	6,5	0,88	0,85	4,3	32,5	$4 \cdot 10^{-3}$
4A100S2У3	4,00	380	2,5	2,0	6,5	0,89	0,87	3,3	28,0	$6 \cdot 10^{-3}$
4A100L2У3	5,50	380	2,5	2,0	7,5	0,91	0,88	3,4	29,0	$8 \cdot 10^{-3}$
4A112M2У3	7,50	380	2,8	2,0	7,5	0,88	0,88	2,5	17,0	$10^{-2}$
4A132M2У3	11,00	380	2,8	1,7	7,5	0,90	0,88	2,3	19,0	$2 \cdot 10^{-2}$
4A160S2У3	15,00	380	2,2	1,4	7,5	0,91	0,88	2,1	12,0	$5 \cdot 10^{-2}$
4A160M2У3	18,50	380	2,2	1,4	7,0	0,92	0,89	2,1	12,5	$5 \cdot 10^{-2}$
4A180S2У3	22,00	380	2,5	1,4	7,0	0,91	0,89	1,9	12,5	$7 \cdot 10^{-2}$
4A180M2У3	30,00	380	2,5	1,4	7,5	0,90	0,91	1,8	12,5	$9 \cdot 10^{-2}$
4A200M2У3	37,00	380	2,5	1,4	7,5	0,89	0,90	1,9	11,5	0,15
4A200L2У3	45,00	380	2,5	1,4	7,5	0,90	0,91	1,8	11,5	0,17
4A225M2У3	55,00	380	2,5	1,4	7,5	0,92	0,91	1,8	11,0	0,25
4A250S2У3	75,00	380	2,5	1,2	7,5	0,89	0,91	1,4	10,0	0,47
4A250M2У3	90,00	380	2,5	1,2	7,5	0,90	0,92	1,4	10,0	0,52
4A280S2У3	110,00	380	2,2	1,2	7,0	0,89	0,91	2,0	8,5	1,1
Синхронная частота вращения 1500 мин <sup>-1</sup>										
4AA50A4У3	0,06	380	2,2	2,0	2,5	0,60	0,50	8,1	58,5	$3 \cdot 10^{-5}$
4AA56A4У3	0,12	380	2,2	2,1	3,5	0,66	0,63	8,2	49,0	$7 \cdot 10^{-4}$
4AA63A4У3	0,25	380	2,2	2,0	4,0	0,65	0,68	8,0	48,0	$10^{-3}$
4A71A4У3	0,55	380	2,2	2,0	4,5	0,70	0,71	7,3	39,0	$10^{-3}$
4A71B4У3	0,75	380	2,2	2,0	4,5	0,73	0,72	7,5	40,0	$10^{-3}$
4A80A4У3	1,10	380	2,2	2,0	5,0	0,81	0,75	5,4	34,0	$3 \cdot 10^{-3}$
4A90L4У3	2,20	380	2,4	2,1	6,0	0,83	0,80	5,1	33,0	$6 \cdot 10^{-3}$
4A100S4У3	3,00	380	2,4	2,0	6,0	0,83	0,82	4,4	31,0	$9 \cdot 10^{-2}$
4A100L4У3	4,00	380	2,4	2,0	6,0	0,84	0,84	4,6	31,5	$3 \cdot 10^{-2}$
4A112M4У3	5,50	380	2,2	2,0	7,0	0,85	0,86	3,6	25,0	$1,7 \cdot 10^{-2}$
4A132S4У3	7,50	380	3,0	2,2	7,5	0,86	0,88	2,9	19,5	$2,8 \cdot 10^{-2}$
4A132M4У3	11,00	380	3,0	2,2	7,5	0,87	0,88	2,8	19,5	0,04
4A160S4У3	15,00	380	2,3	1,4	7,0	0,88	0,89	2,3	16,0	0,10

Продолжение Приложения 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4A160M4У3	18,50	380	2,3	1,4	7,0	0,88	0,90	2,2	16,0	0,13
4A180S4У3	22,00	380	2,3	1,4	6,5	0,90	0,90	2,2	14,0	0,19
4A180M4У3	30,00	380	2,3	1,4	6,5	0,89	0,91	1,9	14,0	0,23
4A200M4У3	37,00	380	2,5	1,4	7,0	0,90	0,91	1,7	10,0	0,37
4A200L4У3	45,00	380	2,5	1,4	7,0	0,90	0,92	1,6	10,0	0,45
4A225M4У3	55,00	380	2,5	1,3	7,0	0,90	0,93	1,4	10,0	0,64
4A250S4У3	75,00	380	2,3	1,2	7,0	0,90	0,93	1,2	9,5	1,00
4A250M2У3	90,00	380	2,5	1,2	7,5	0,90	0,92	1,4	10,0	0,52
4A280S2У3	110,00	380	2,2	1,2	7,0	0,89	0,91	2,0	8,5	1,1

Синхронная частота вращения 1000 мин<sup>-1</sup>

4AA63A6У3	0,18	380	2,2	2,2	3,0	0,62	0,56	11,5	55,5	1·10 <sup>-3</sup>
4AA63B6У3	0,25	380	2,2	2,2	3,0	0,62	0,59	10,8	62,5	2·10 <sup>-3</sup>
4AA71B6У3	0,55	380	2,2	2,0	4,0	0,71	0,68	10,0	49,0	2·10 <sup>-3</sup>
4A80A6У3	0,75	380	2,2	2,0	4,0	0,74	0,69	8,4	37,0	3·10 <sup>-3</sup>
4A90L6У3	1,50	380	2,2	2,0	4,5	0,74	0,75	6,5	31,0	7·3·10 <sup>-3</sup>
4A100L6У3	2,20	380	2,2	2,0	5,0	0,73	0,81	5,1	25,5	0,013
4A112MA6У3	3,00	380	2,5	2,0	6,0	0,76	0,81	4,7	37,0	0,017
4A112MB6У3	4,00	380	2,5	2,0	6,0	0,81	0,82	5,1	38,0	0,021
4A132S6У3	5,50	380	2,5	2,0	6,0	0,80	0,85	3,3	36,0	0,04
4A132M6У3	7,50	380	2,5	2,0	6,0	0,81	0,86	3,2	26,0	0,06
4A160S6У3	11,00	380	2,0	1,2	6,0	0,86	0,86	2,7	15,0	0,14
4A160M6У3	15,00	380	2,0	1,2	6,0	0,87	0,88	2,6	14,0	0,18
4A180M6У3	18,50	380	2,0	1,2	6,0	0,87	0,88	2,4	13,5	0,22
4A200M6У3	22,00	380	2,4	1,3	6,5	0,90	0,90	2,3	13,5	0,40
4A200L6У3	30,00	380	2,4	1,3	6,5	0,90	0,91	2,1	13,5	0,45
4A225M6У3	37,00	380	2,3	1,2	6,5	0,89	0,91	1,8	11,5	0,74
4A250S6У3	45,00	380	2,1	1,2	6,5	0,89	0,92	1,4	9,0	1,20
4A250M6У3	55,00	380	2,1	1,2	6,5	0,89	0,92	1,3	9,5	1,30
4A280S6У3	75,00	380	2,2	1,2	7,0	0,89	0,92	2,0	8,3	2,90
4A280M6У3	90,00	380	2,2	1,2	7,0	0,89	0,93	1,8	8,3	3,40
4A315S6У3	110,00	380	2,2	1,0	7,0	0,90	0,93	1,8	8,2	4,00

Синхронная частота вращения 750 мин<sup>-1</sup>

4A71B8У3	0,25	380	1,7	1,6	3,0	0,65	0,56	12,7	45,0	2·10 <sup>-3</sup>
4A80B8У3	0,55	380	1,7	1,6	3,5	0,65	0,64	9,0	34,0	4·10 <sup>-3</sup>
4A90LA8У3	0,75	380	1,9	1,6	3,5	0,62	0,68	6,0	27,0	7·10 <sup>-3</sup>
4A90LB8У3	1,10	380	1,9	1,6	3,5	0,68	0,70	7,0	27,0	9·10 <sup>-3</sup>
4A100L8У3	1,50	380	1,9	1,6	4,0	0,65	0,74	7,0	27,0	10 <sup>-2</sup>
4A112MA8У3	2,20	380	2,2	1,9	5,0	0,71	0,77	6,0	23,0	1·7·10 <sup>-2</sup>
4A112MB8У3	3,00	380	2,2	1,9	5,0	0,74	0,80	5,8	35,0	2·5·10 <sup>-2</sup>
4A132S8У3	4,00	380	2,6	1,9	5,5	0,70	0,83	6,1	36,0	4·2·10 <sup>-2</sup>
4A132M8У3	5,50	380	2,6	1,9	5,5	0,74	0,83	4,1	25,0	5·7·10 <sup>-2</sup>
4A160S8У3	7,50	380	2,2	1,4	6,0	0,75	0,86	2,5	14,5	0,14
4A160M8У3	11,00	380	2,2	1,4	6,0	0,75	0,87	2,5	15,0	0,18
4A180M8У3	15,00	380	2,0	1,2	5,5	0,72	0,87	2,6	13,0	0,25

*Окончание Приложения 5*

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
4A200M8У3	18,50	380	2,2	1,2	5,5	0,84	0,89	2,3	13,0	0,40
4A200L8У3	22,00	380	2,0	1,2	5,5	0,84	0,89	2,7	13,0	0,45
4A225M8У3	30,00	380	2,1	1,3	6,0	0,81	0,91	1,8	11,5	0,74
4A250S8У3	37,00	380	2,0	1,2	6,0	0,83	0,90	1,6	9,0	1,2
4A250M8У3	45,00	380	2,1	1,2	6,0	0,84	0,91	1,4	9,0	1,4
4A280S8У3	55,00	380	2,0	1,2	5,5	0,84	0,92	2,2	8,0	3,2
4A280M8У3	75,00	380	2,0	1,2	5,5	0,85	0,93	2,2	8,5	4,1
4A315S8У3	90,00	380	2,3	1,2	6,5	0,85	0,93	1,5	7,0	4,9
4A315M8У3	110,00	380	2,3	1,2	6,5	0,85	0,93	1,5	7,5	5,8

## Приложение 6

### Техническая характеристика аппаратуры управления

*Таблица 1 – Технические характеристики рубильников*

Наименование аппарата	Тип аппарата для цепей с номинальным током, A			Число полюсов	Род привода
	100	250	400		
Рубильник-разъединитель	P11	P12	P14	1	Центральная рукоятка
	P21	P22	P24	2	
	P31	P32	P34	3	
Переключатель-разъединитель	П11	П12	П14	1	Боковая рукоятка
	П21	П22	П24	2	
	П31	П32	П34	3	
Рубильник	РБ21	РБ22	РБ24	2	Боковая рукоятка
	РБ31	РБ32	РБ34	3	
Переключатель	ПБ21	ПБ22	ПБ24	2	
	ПБ31	ПБ32	ПБ34	3	

#### Расшифровка маркировки рубильников:

Р – рубильник; П – переключатель; РБ – рубильник с боковой рукояткой; РПЦ – рубильник с центральной рычажным приводом; ППЦ – переключатель с центральным рычажным приводом.

Первая цифра в марке рубильника – число полюсов, вторая – допустимый ток через контакты, уменьшенный в 100 раз, A.

РБ21 – рубильник с боковой рукояткой, двухполюсной на ток 100 A.

*Таблица 2 – Технические характеристики пакетных выключателей*

Наименование	Марка, тип	Ве-ли-чи-на	Номинальный ток, <i>A</i>		Ис-полне-ние
			При 220 В постоянного и переменного тока	При 380 В постоянного и переменного тока	
<i>Открытое исполнение</i>					
Выключатель двухполюсной	ПВ2-10	1	10	6	1
	ПВ2-25	3	25	15	1
Выключатель трехполюсной	ПВ3-10	1	10	6	1
	ПВ3-25	3	25	15	1
	ПВ3-60	5	60	40	1
<i>Защищенное исполнение</i>					
Выключатель двухполюсной	ПКВ3-10	1	10	6	–
	ПКВ3-25	3	25	15	–
<i>Герметическое исполнение</i>					
Выключатель трехполюсной	ПГВ-10	1	10	6	–
	ПГВ3-25	3	25	15	–

Расшифровка маркировки пакетных выключателей:

П – пакетный; В – выключатель; К – кулачковый; Г – герметичный; М – малогабаритный.

Первая цифра в марке рубильника число полюсов, вторая – допустимый ток через контакты, *A*.

ПВ2-10 – пакетный выключатель, двухполюсной на ток 10 *A*.

## Приложение 7

### Технические данные трубчатых предохранителей с закрытыми патронами

Тип	Номи- нальный ток патрона, <i>A</i>	Предельный ток отклю- чения, <i>kA</i>		Номинальный ток плавкой вставки, <i>A</i>
		Исполне- ние 1 220/380 В	Исполне- ние 2 380/500 В	
ПР-2	15	1,2/0,8	8/7	6, 10, 15
	60	5,5/4,8	4,5/3,5	15, 20, 25, 35, 45, 60
	100	11/6	11/10	60, 80, 100
	200	11/6	11/10	100, 125, 160, 200
	350	11/6	13/11	200, 225, 260, 300, 350
	600	15/13	23/20	350, 430, 500, 600
ПН-2	1000	15/15	23/20	600, 700, 850, 100
	100	50	25	30, 40, 50, 60, 80, 100
	250	40	25	80, 100, 120, 150, 200, 250
	400	25	—	200, 250, 300, 350, 400
	600	25	—	300, 400, 500, 600
	1000	10	—	500, 600, 750, 800, 1000

## Приложение 8

### Основные технические данные автоматов серии А3100

Тип автомата	Номинальный ток автомата, $A$	Число полюсов	Расцепитель	Номинальный ток расцепителя, $A$	Обозначение типа выключателя по исполнению	Номинальное напряжение, $B$	
						постоянное	переменное
A3160	50	1	тепловой	15, 20, 25, 30, 40, 50	A3161	110	220
			—	—	A3161/7		
		2	тепловой	15, 20, 25, 30, 40, 50	A3162	220	380
			—	—	A3162/7		
		3	тепловой	15, 20, 25, 30, 40, 50	A3163		
			—	—	A3163/7		

### Основные технические данные автоматов серии ВА-99

Тип автомата	Номинальный ток автомата, $A$	Число полюсов	Расцепитель	Уставка электромагнитного расцепителя, $A$	Исполнение выключателя	Номинальное напряжение, $B$
ВА-99	12,5; 16; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125	3P 3P+N 4P	Комбинированный	500	ВА-99-125	500
	16; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160			10I <sub>nom</sub> регулируемый	ВА-99/160А	690

Расшифровка маркировки автоматического выключателя типа ВА-99  
ВА-99/160А 03 – автоматический выключатель серии ВА-99 с номинальным током 160 ампер, трехполюсной.

## Приложение 9

### Технические данные магнитных пускателей серии ПМЕ и ПА

Тип	Габарит	Максимальная мощность управляемого электродвигателя (кВт) при напряжении (В)			Номинальный ток главных контактов, А	Номинальный длительный ток блок-контактов, А
		127	220	380		
ПМЕ	0	0,27	0,60	1,10	3,00	4...6
	1	1,10	2,20	4,00	10,00	
	2	3,30	5,50	10,00	25,00	
ПА	3	4,00	10,00	17,00	36,00	6...10
	4	10,00	17,00	28,00	60,00	
	5	17,00	30,00	55,00	106,00	
	6	22,00	40,00	75,00	110,00	

#### Расшифровка маркировки магнитных пускателей серии ПМЕ

П – Пускатель, М – Магнитный, Е – серия.

Первая цифра в марке пускателя показывает условный габарит по мощности (допустимый ток через главные контакты пускателя), нулевой габарит в марке пускателя не проставляется.

Вторая цифра указывает исполнение пускателя:

- 1 – открытое исполнение;
- 2 – защищенное;
- 3 – пылебрызгозащищенное.

Третья цифра указывает его электрическое исполнение:

- 1 – нереверсивный, без теплового реле;
- 2 – нереверсивный с тепловым реле;
- 3 – реверсивный без теплового реле;
- 4 – реверсивный с тепловым реле.

*Технические данные магнитных пускателей серии КМЭ*

Марка пускателя	Номинальная мощность, $kW$	Номинальный рабочий ток, $A$	Номинальное напряжение катушки управления, $V$	Тепловое реле
КМЭ(р)0910	4,0	9	380/220	РТЭ-1314
КМЭ(р)1210	5,5	12		РТЭ-1316
КМЭ(р)1810	7,5	18		РТЭ-1321
КМЭ(р)2510	11,0	25		РТЭ-1322
КМЭ(р)3210	15,0	32		РТЭ-2353
КМЭ(р)4011	18,5	40		РТЭ-2355
КМЭ(р)5011	22,0	50		РТЭ-3357
КМЭ(р)6511	30,0	65		РТЭ-3359

## Приложение 10

*Допустимые удельные нагрузки для трубчатых ТЭН и удельная теплоемкость среды*

Нагреваемая среда	Характер и условия нагрева	Удельная теплоемкость – $C_p$ , $\text{кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$	Допустимые удельные нагрузки для трубчатых ТЭН, $\text{Вт/см}^2$
Вода	Нагревание	4,19	9...11
Воздух (сухой)	Нагрев в спокойной среде	1,0	2,3...5,0
	Нагрев движущегося воздуха (калориферы)	1,0	4,5...5,0
Молоко	Подогрев в емкости	3,92	1,5...2,0

## Приложение 11

*Основные технические данные трубчатых электронагревателей (ТЭНов), применяемых в сельском хозяйстве*

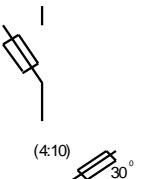
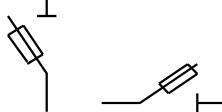
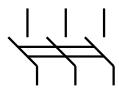
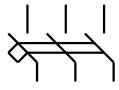
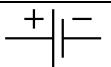
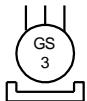
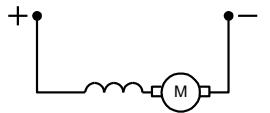
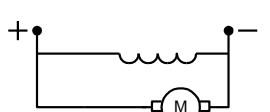
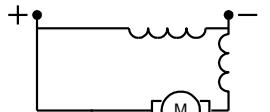
Тип электронагревателя	Номинальная мощность, кВт	Номинальное напряжение, В	Развернутая длина – $l_P$ , м	Наружний диаметр – $d$ , мм
<i>Нагрев подвижного и неподвижного воздуха до температуры +250... +350 °C</i>				
ТЭН-01	0,57		1,710	
ТЭН-0,2	0,40		0,900	
ТЭН-0,5	0,40		1,320	
ТЭН-0,7	0,45		1,820	
ТЭН-13	0,60		2,476	
ТЭН-15	0,56	220	1,584	13,5
ТЭН-17	0,35		1,100	
ТЭН-21	0,80		1,742	
ТЭН-23	0,50		1,320	
ТЭН-30	0,50		1,113	
ТЭН-31	0,50		1,113	
<i>Нагрев воды и водных растворов до температуры кипения</i>				
ТЭН-03А	3,50		0,990	
ТЭН-06А	0,80		0,430	
ТЭН-08А	2,33		0,685	
ТЭН-09А	1,80		0,685	
ТЭН-10	2,00		0,995	
ТЭН-11	0,30		0,910	
ТЭН-12	5,00		1,487	
ТЭН-14	2,67		0,790	
ТЭН-16	1,33		0,570	
ТЭН-18	1,20		1,665	
ТЭН-19А	2,33	220	0,640	13,5
ТЭН-20	1,50		1,930	
ТЭН-20А	1,00		0,805	
ТЭН-22	1,20		1,063	
ТЭН-24	1,93		1,740	
ТЭН-25	1,93		1,630	
ТЭН-29	2,00		0,995	
ТЭН-32	3,60		1,100	
ТЭН-33	1,20		1,270	
ТЭН-39	1,50		1,125	
ТЭН-43	1,20		1,575	

## Приложение 12

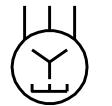
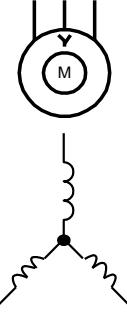
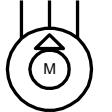
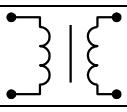
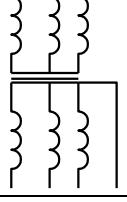
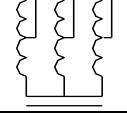
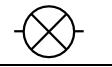
### Обозначения условные буквенно-цифровые и графические

№ п/п	Наименование	Графическое изоб- ражение	Буквен- ный код
1	2	3	4
1	Постоянный ток	— + -	
2	Переменный однофазный ток	~	
3	Трехфазный переменный ток частотой 50 Гц и напряжением 220 В	3 ~ 50Hz 220V	
4	Электрическое соединение неразъемное	•	X
5	Электрическое соединение разъемное	◦	ХТ
6	Линия электрической связи, провод, кабель, шина	—	
7	Ответвление линии электропередач	— —	
8	Бесконтактное пресечение проводов	— —	
9	Заземление	—  —	N
10	Плавкий предохранитель	—  — (4:10)	FU
11	Контакт коммутационного устройства замыкающий	— — — — 30° 6	X
12	Контакт коммутационного устройства размыкающий	— — — — 30° 6	X
13	Кнопка «Пуск»	— — — — <sup>2</sup>	SB
14	Кнопка «Стоп»	— —	SB
15	Контакт коммутационного устройства переключающий	— — — — — — 30° 6	X

Продолжение Приложения 12

1	2	3	4
16	Выключатель предохранитель		FV
17	Разъединитель предохранитель		FV
18	Выключатель трехфазный		QS
19	Выключатель трехфазный автоматический		QF
20	Батарея элементов		GB
23	Генератор переменного тока синхронный 3 фазный с постоянным магнитом		GS
24	Генератор трехфазный переменного тока		G
25	Машина постоянного тока, работающая как генератор и двигатель		MG
26	<p>Машина постоянного тока:</p> <p>а) с последовательным возбуждением (сириесная)</p> <p>б) с параллельным возбуждением (шунтовая)</p> <p>в) со смешанным возбуждением (компаудная)</p>	  	M

Продолжение Приложения 12

1	2	3	4
28	<p>Двигатель асинхронный трехфазный:</p> <p>а) со статором, соединенным звездой, с автоматическим пускателем в роторе</p> <p>б) с короткозамкнутым ротором, соединенным звездой</p> <p>в) с короткозамкнутым ротором, соединенным треугольником</p>	  	
30	Обмотка трансформатора, дросселя, магнитного усилителя, катушки индуктивности (без магнитопровода)		L
31	Однофазный трансформатор		TV
32	Автотрансформатор однофазный с ферромагнитным магнитопроводом		TV
33	Автотрансформатор однофазный с регулятором напряжения (ЛАТР)		TV
34	Измерительный трансформатор тока		TA
35	Трансформатор трехфазный с ферромагнитным магнитопроводом; соединение обмоток «звезда – звезда» с выделенной нейтральной точкой		TV
36	Трансформатор трехфазный с ферромагнитным магнитопроводом; соединение обмоток в звезду		TV
37	Лампа накаливания		EL
38	Инфракрасная лампа		EK

Продолжение Приложения 12

1	2	3	4
39	Галогенная лампа накаливания		EL(EK)
42	Резистор: а) постоянный б) с отводами в) переменный (реостат) г) с разрывом цепи д) без разрыва цепи е) переменный со ступенчатым регулированием ж) саморегулирующийся не линейно (например, от параметров внешней среды) з) потенциометр		R
43	Шунт измерительный		RS
44	Электронагреватель сопротивления		EK
45	Электронагреватель индукционный		EK
46	Обмотка реле или магнитного пускателья		KM
47	Нагревательный элемент теплового реле		KK
48	Термопара		BK
49	Катушка индуктивности с магнитопроводом		L
50	Конденсатор: а) постоянной емкости б) электролитический в) переменной емкости г) саморегулирующаяся не линейно, например в зависимости от параметра П		C
51	Диод		VD
52	Стабилитрон		VD
53	Тиристор диодный		VS

Окончание Приложения 12

1	2	3	4
54	Варикап		VS
55	Транзистор: а) n-p-n типа б) p-n-p типа		VT
56	Фоторезистор		
57	Фотодиод		
58	Светодиод		
59	Показывающий измерительный прибор		
60	Регистрирующий измерительный прибор		
61	Интегрирующий измерительный прибор		
62	Осциллограф		
63	Часы синхронные по 50Гц		
64	Датчики температуры и давления		
65	Счетчик времени		
66	Частотометр		
67	Волномер		

**Алексей Владимирович Поликанов**

## **ЭЛЕКТРОПРИВОД И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ**

Методические указания и задание к контрольной работе  
по дисциплине «Электропривод и электрооборудование»  
для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности  
110301 – Механизация сельского хозяйства

Редактор А.В. Поликанов

Компьютерная верстка А.В. Поликанова

Корректор Л.А. Арамонова

---

Сдано в производство 28.03.09

Формат 60 × 84 1/16

Бумага писчая «Классика»

Отпечатано на ризографе

Усл. печ. л.

Тираж 120 экз.

Заказ №

---

РИО ПГСХА  
440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30