

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ АГРАРНЫЙ ИНСТИТУТ – ФИЛИАЛ ФГБОУ ВО  
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**имени А.А. ЕЖЕВСКОГО**

**Кафедра «Инженерные дисциплины»**

**Жалсанова Н.А.**

**Иванов А.П.**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

**Учебно-методическое пособие для аудиторной и самостоятельной  
работы специальности 35.03.06 «Агроинженерия»**

**Чита 2018**

# Раздел 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСА

Электрическая энергия имеет огромное значение в решении задач, стоящих перед сельскохозяйственным производством страны. Она является основой комплексной механизации и автоматизации производственных процессов в сельском хозяйстве, повышения производительности труда, улучшения условий работы колхозников и работников сельскохозяйственных предприятий и организаций.

В животноводстве и птицеводстве области применения электрической энергии весьма разнообразны: в процессах приготовления и раздачи кормов, водоснабжения, доения коров, переработки продукции, стрижки овец, уборки помещений, поддержания нужного микроклимата и т.д.

В растениеводстве электрическая энергия используется, главным образом, для очистки, сортировки, обмолота, сушки и транспортировки зерна.

Курс «Электропривод и электрооборудование» имеет существенное значение при подготовке инженера-механика, работающего в сельском хозяйстве.

Целью дисциплины является изучение будущими инженерами-механиками основ работы электрооборудования сельскохозяйственных машин и установок, а также систем автоматического управления ими. При изучении курса студенты должны ознакомиться: с технологическими основами электрификации и автоматизации сельскохозяйственных производственных процессов; с техническими средствами, используемыми в системах электрификации и автоматизации технологических процессов сельскохозяйственного производства, включая средства дискретной автоматики и микропроцессорные устройства; с принципами построения и функционирования автоматизированных, систем управления (АСУ), робототехнических и гибких перестраиваемых систем, а также изучить принципы и основные технологические решения, используемые для

электрификации и автоматизации мобильных и стационарных технологических процессов сельскохозяйственного производства.

В результате изучения дисциплины студент должен: понимать значение электрификации и автоматизации в деле повышения, эффективности сельскохозяйственного производства; знать технологические основы электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства; устройство, принцип действия, основные характеристики и методы выбора электрооборудования и средства автоматизации; правила эксплуатации электрифицированных установок; уметь ориентироваться в принципе действия и схемах электрификации и автоматизации сельскохозяйственных процессов: осуществлять выбор электрооборудования и средств автоматизации и организовать их наладку и эксплуатацию.

Настоящие методические указания написаны в соответствии с программой курса «Электропривод и электрооборудование», утвержденной Учебно-методическим объединением по инженерным специальностям, и учебными планами.

Руководствуясь программой соответствующей дисциплины и настоящими методическими указаниями, студент приступает к глубокому усвоению материала, изложенного в рекомендуемой литературе (см.библиографический список).

#### Библиографический список

##### О с н о в н о й

1. Шичков Л.П., Коломиец А.П. Электрооборудование и средства автоматизации сельскохозяйственной техники. М.: Колос, 1994.
2. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок / Под ред. И.Ф. Кудрявцева. М.: Агропромиздат, 1988.
3. Бородин И.Ф., Кирилин Н.И. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. М.: Колос, 1977.
4. Козинский В.А. Диэлектрическое освещение и облучение. М.: Агропромиздат, 1991.

##### Д о п о л н и т е л ь н ы й

5. Бородин И.Ф., Недилько Я.М. Автоматизация технологических процессов. М.: Агропромиздат, 1986.
6. Басов А.М., Быков В.Г., Лаптев А.В., Фаин В.Б. Электротехнология. М.: Агропромиздат, 1985.
7. Гельфенбейн С.П., Волчанов В.Л. Электроника и автоматика в мобильных сельхозмашинах. М.: Агропромиздат, 1986.
8. Елистратов П.С. Электрооборудование овощехранилищ: Справочник. М.: Агропромиздат, 1989.
9. Фоменков А.П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий. М.: Колос, 1984.

## Раздел 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

### ВВЕДЕНИЕ

Изучение темы позволяет ознакомиться с предметом и задачами дисциплины, ее ролью и местом в системе подготовки специалистов в области механизации сельского хозяйства, а также с историей и перспективами развития электрооборудования и средств автоматизации сельскохозяйственной техники.

#### Вопросы, подлежащие изучению

Электрификация и автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства, их роль в научно-техническом прогрессе и реализации решений правительства по совершенствованию и развитию агропромышленного комплекса.

Особенности работы электрооборудования и средств автоматизации в условиях сельскохозяйственного производства. Роль и место дисциплины в подготовке инженера по механизации сельского хозяйства.

**Т е м а 1.** Электропривод в сельскохозяйственном производстве Изучение темы позволяет усвоить основные понятия, термины и определения в области электрооборудования, получить сведения об электродвигателях, электроприводах, их динамике, аппаратуре управления и защиты электрических установок.

#### Вопросы, подлежащие изучению

Общие сведения об электрооборудовании. Понятия, определения, терминология. Классификация электроприводов, используемых в сельском хозяйстве.

Механические характеристики сельскохозяйственных машин и электродвигателей. Классификация механических характеристик. Электродвигатели постоянного и переменного тока. Области применения. Механические характеристики в двигательном и тормозном режимах. Способы регулирования частоты вращения. Синхронный двигатель. Области применения. Угловая и механическая характеристики. Динамика электропривода. Моменты и силы, действующие в электроприводе. Время переходных процессов. Нагрузочные диаграммы электроприводов. Тепловой режим электродвигателей. Сведения о нагреве и охлаждении электродвигателей. Классификация основных режимов работы. 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, выбор.

Литература: 2, с. 32 – 114.

#### Методические рекомендации

Сначала рекомендуется уяснить понятия, определения, терминологию, а также классификацию электроприводов, используемых в сельском хозяйстве.

Затем необходимо рассмотреть классификацию механических характеристик сельскохозяйственных машин и 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 угловую скорость при изменении их нагрузки. Необходимо обратить особое внимание на классификацию механических характеристик по степени жесткости, знать, как они выражаются аналитически и изображаются графически.

Студент должен овладеть методикой построения механических характеристик электродвигателей переменного тока (асинхронных с короткозамкнутым ротором, 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.).

При изучении вопросов динамики электропривода следует уяснить, что 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 систем.

Студенту необходимо усвоить основные положения из области динамики электропривода, проводить анализ уравнения движения электропривода и поведения агрегата в случаях: а) 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 тепловых режимов электродвигателей студенту необходимо усвоить, что 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, также каково влияние температуры окружающей среды, конструктивных факторов и эксплуатационных показателей на величину номинальной мощности электродвигателя.

При изучении методов определения мощности электродвигателя студент должен уяснить, что в зависимости от характера нагрузки и

длительности работы машин и механизмов установлено восемь номинальных режимов работы электрических машин, из которых четыре режима – S1, S2, S3, S4 – находят наибольшее применение в сельскохозяйственном приводе.

В результате изучения данной темы студент должен овладеть методикой определения мощности электродвигателя для различных режимов работы. Изучение аппаратуры управления и защиты электрических установок 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 расцепителей автоматического выключателя.

#### Вопросы и задания для самопроверки

1. Дайте определение понятия «электропривод» (ЭП).
2. Напишите и поясните обобщенное уравнение механических характеристик рабочих машин и механизмов.
3. Что понимают под «жесткостью» и «крутизной» механических характеристик в системе ЭП?
4. Приведите естественные механические характеристики электродвигателей (по каталожным данным): асинхронного, синхронного, постоянного тока с независимым и последовательным возбуждением.
5. Какие способы используются для пуска электродвигателей? Их достоинства и недостатки.
6. Перечислите способы электрического торможения и регулирования угловой скорости электродвигателей и поясните, как они достигаются.
7. Как осуществить реверс электродвигателей?
8. Достоинства и недостатки разомкнутых и замкнутых систем регулирования угловой скорости ЭП.
9. Что понимают под переходными процессами ЭП и каких видов они бывают?

10. Поясните приведение моментов (сил) статического сопротивления и моментов (масс) инерции к валу электродвигателя.
11. Как рассчитать продолжительность пуска ЭП?
12. Напишите и поясните уравнение нагрева электродвигателя.
13. Перечислите основные режимы работы электродвигателей в системе ЭП.
14. Поясните выбор мощности электродвигателей по нагреву и проверку их мощности по дополнительным условиям.

## Т е м а 2 Электротехнология в сельскохозяйственном производстве

При изучении темы необходимо усвоить основные понятия, термины и определения, а также знать принципы, способы и установки электрического освещения и облучения, нагрева и охлаждения.

### Вопросы, подлежащие изучению

Электрическое освещение и облучение. Воздействие оптического излучения на биологические объекты. Установки электрического освещения и облучения с.х. назначения. Электротепловые процессы. Принципы и способы электрического нагрева. Электронагревательные установки и их выбор. Принципы действия холодильных установок, их применение в сельском хозяйстве. Перспективные направления использования электротехнологии в сельскохозяйственном производстве.

Литература: 2, с. 253 – 299, 375 – 419.

### Методические рекомендации

Изучение темы следует начать со спектра электромагнитных колебаний, при этом особое внимание уделить участкам спектра, соответствующим инфракрасному, видимому и ультрафиолетовому излучениям.

Ознакомление с источниками оптического излучения необходимо начать с ламп накаливания – изучить принцип их действия, устройство, оценить достоинства и недостатки. Затем следует аналогичным образом изучить газоразрядные лампы. Особое внимание следует уделить схемам включения наиболее распространенных газоразрядных ламп (люминесцентных и ДРЛ).



Обратите внимание на особенности конструкции газоразрядных ламп для ультрафиолетового облучения ДРТ, ДБ, ЛЭ и ламп накаливания для инфракрасного обогрева. После этого следует перейти к изучению структуры, обозначений, классификации и номенклатуры осветительных приборов, методов расчета освещения помещений и открытых пространств. При изучении тепловых процессов необходимо хорошо усвоить основные принципы преобразования электрической энергии в тепловую, четко представлять физические явления, лежащие в основе каждого способа электрического нагрева. Студент должен освоить методы расчета электрических нагревателей и установок, выбора ТЭНов. При изучении вопросов электротехнологии студент должен получить представление о больших потенциальных возможностях электричества для обработки кормов с целью сушки, повышения их питательности, усвояемости, удлинения сроков хранения, обратить внимание на то, что при этом используется термическое, химическое и биологическое проявления электрического тока. Обратите особое внимание на вопросы ионизации воздуха в животноводческих и птицеводческих помещениях, способы пастеризации молока, основанные на использовании токов низкой и высокой частоты, сепарацию зерна в электрическом поле.

#### Вопросы и задания для самопроверки

1. Укажите диапазоны длин волн УФ, видимого и ИК излучений и область их использования в сельскохозяйственных электротехнологиях.
2. Какие системы эффективных величин и единиц измерения существуют и на основании спектральной чувствительности каких приемников оптического излучения они основаны?
3. Опишите принцип действия и устройство ламп накаливания, в том числе галогенных, газоразрядных люминесцентных низкого давления и газоразрядных люминесцентных высокого давления, дайте им сравнительную оценку.
4. Каковы особенности устройства и использования источников ультрафиолетового излучения?

5. Поясните существующие методы расчета систем освещения и облучения и область их применения.
6. Перечислите и поясните основные способы электронагрева различных веществ, их достоинства и недостатки.
7. Тепловой расчет ЭНУ. Какова его цель?
8. Приведите примеры типовых ЭНУ прямого и косвенного электронагрева.
9. Поясните принцип действия компрессионных и термоэлектрических трансформаторов теплоты, дайте им сравнительную оценку.
10. Поясните принцип сепарации зерна в электрическом поле и его достоинства.
11. С какой целью осуществляют обработку вещества и корма электрическим током?
12. Типовые установки электроимпульсной технологии, их назначение и принцип действия.
13. В чем заключается ультразвуковая и магнитная обработка материалов, что они дают?

### Т е м а 3 Электрооборудование основных процессов сельскохозяйственного производства

Изучение темы позволяет получить представление об электрооборудовании, применяемом на основных процессах сельскохозяйственного производства.

При этом студент должен в первую очередь освоить методику определения мощности электродвигателя привода сельскохозяйственных машин, агрегатов и установок, электрооборудование систем водоснабжения и систем обеспечения микроклимата.

#### Вопросы, подлежащие изучению

Электрооборудование мобильных с.х. машин, агрегатов и установок для послеуборочной обработки зерна. Электрооборудование машин и механизмов для приготовления и раздачи кормов, уборки навоза, доильных установок и установок для обработки молока. Электрооборудование систем обеспечения микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях и в сооружениях защищенного грунта. Электрооборудование

систем водоснабжения. Электрооборудование ремонтного производства, подъемно-транспортных механизмов, металлообрабатывающих и деревообрабатывающих станков.

Литература: 2, с. 290 – 362; 420 – 436.

#### Методические рекомендации

При изучении электрооборудования мобильных машин студент должен обратить особое внимание на способы снабжения электрической энергией мобильных машин и установок, электрооборудование их рабочих органов.

При изучении электрооборудования машин и механизмов для приготовления и раздачи кормов, уборки навоза, доильных установок и установок для обработки молока, электрооборудования ремонтного производства, подъемно-транспортных механизмов металлообрабатывающих и деревообрабатывающих станков необходимо в первую очередь обратить внимание на вопросы расчета мощности используемых на них электродвигателей.

При рассмотрении систем обеспечения микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях и в сооружениях защищенного грунта необходимо изучить электрооборудование установок СФОО и СФОЦ, ознакомиться с устройством управления «Электротерм», регулятором температуры ЭРТ-4. Кроме того, особое внимание следует уделить наиболее современным электрообогревателям инфракрасного нагрева ЭИС-0,26 И1 «Ирис», установкам комбинированного обогрева (одновременно сверху и снизу) ЭИС II И1 «Комби» и ЭИС-0,37 И1 «Руно», а также установкам увлажнения воздуха в животноводческих и птицеводческих помещениях.

#### Вопросы и задания для самопроверки

1. Как определить мощность нагрузки на валу электродвигателя привода насоса?
2. Какие датчики применяются в установках систем водоснабжения?
3. В чем различие электрокалориферных установок, СФОО и СФОЦ?
4. Какие средства местного обогрева применяются в сельскохозяйственном производстве?

5. Каким образом определяется мощность электродвигателей машин и установок для приготовления и раздачи кормов, уборки навоза, доения и первичной обработки молока?
6. Какие параметры влияют на выбор мощности электроприводов машин и установок пунктов для послеуборочной обработки зерна и приготовления витаминно-травяных кормов?
7. Каким образом определяется мощность электродвигателей машин и установок деревообрабатывающих и в ремонтных мастерских?

#### Т е м а 4 Основы автоматического управления

Изучение темы позволяет усвоить основные понятия, термины и определения в области автоматического управления, получить понятие об автоматических системах, их характеристиках и структуре.

#### Вопросы, подлежащие изучению

Основные понятия, определения и терминология. Статические и динамические характеристики элементов автоматических систем. Структуры автоматических систем. Преобразование структурных схем. Линейные и нелинейные автоматические системы. Анализ устойчивости и качества работы автоматических систем.

Литература: 3, с. 10 – 27, 207 – 300.

#### Методические советы

Сначала уясните основные понятия, определения и термины, особое внимание уделите терминам «объект управления», «регулятор», «система регулирования». Затем следует перейти к рассмотрению принципов построения и функционирования систем управления. Обратите внимание на математическое описание систем управления и законы управления. После этого следует перейти к изучению типовых динамических звеньев и их характеристик. При этом особое внимание обратите на временные и частотные характеристики. Последующему изучению подлежат структурные схемы автоматических систем, их преобразование и определение передаточных функций. При этом следует обратить внимание на соединение элементарных звеньев.

При дальнейшем изучении темы студент должен перейти к анализу устойчивости и качества работы автоматических систем.

#### Вопросы и задания для самопроверки

1. Поясните, что понимают под терминами «объект управления», «регулятор», «система регулирования».
2. Какие принципы используют при построении автоматических систем управления?
3. Какие выражения называют «передаточной функцией» и «характеристическим уравнением» системы управления?
4. Перечислите типовые элементарные динамические звенья систем управления и приведите их временные и частотные характеристики. управления, соединенных: а) последовательно; б) параллельно, в) встречно-параллельно.
6. Запишите передаточную функцию замкнутой системы управления относительно воздействия: а) задающего; б) возмущающего.
7. Поясните преобразование исходной многоконтурной АСУ в одноконтурную.
8. Что понимают под устойчивостью систем управления?
9. Поясните корневой критерий устойчивости систем.
10. Как определяется устойчивость АСУ по алгебраическим критериям Рауса и Гурвица?
11. Поясните использование частотного критерия устойчивости замкнутых систем по Найквисту.
12. Перечислите и поясните основные показатели качества регулирования систем и их определение по характеристикам системы.

#### Т е м а 5. Основные элементы автоматических систем

Изучение темы позволяет изучить основные элементы автоматических систем. Студент должен получить понятие об устройстве и принципах их действия. Усвоить методы определения характеристик объектов управления.

#### Вопросы, подлежащие изучению

Классификация элементов автоматических систем. Методы и средства преобразования информации в системах автоматического управления. Измерительные преобразователи физических величин.

Элементная база и схемы усилительных устройств. Логические элементы. Исполнительные механизмы и регулирующие органы автоматических систем. Их классификация и характеристики. Методы определения характеристик объектов, управления, оценка их пригодности для автоматизации. Выбор типа системы и элементной базы. Регуляторы непрерывного и дискретного действия. Выбор закона регулирования и параметров настройки регулятора. Методы улучшения качества релейных автоматических систем. Микропроцессорные средства автоматического управления.

Литература: 3, с. 95 – 204.

#### Методические советы

Начните изучение с измерительных, сравнивающих, задающих, усилительных, исполнительных и релейных устройств, их назначения и классификации. Обратите внимание на надежность магнитных усилителей, их стойкость к агрессивным средам. При изучении логических элементов автоматики очень важно понять эффективность использования алгебры логики для минимизации количества аппаратуры, реализующей ту или иную схему. В сельскохозяйственных системах автоматики часто встречаются программные реле и реле выдержки времени, поэтому важно хорошо изучить их устройство и характеристики. Необходимо изучить также ключи, задатчики, измерительные и усилительные блоки серийно выпускаемых регулирующих приборов, их блоки питания и используемые стабилизирующие элементы, а также типы исполнительных механизмов. Нужно научиться выбирать исполнительные механизмы исходя из их параметров и конкретных условий работы. Особое внимание при изучении раздела следует уделить вопросам выбора закона регулирования и параметров настройки регулятора. Вопросы и задания для самопроверки

1. Какие существуют виды и методы измерений?
2. Назовите основные группы первичных измерительных преобразователей.

3. Что может являться чувствительным элементом механических преобразователей?
4. Какой принцип действия используется в электромеханических преобразователях?
5. Как устроены тепловые преобразователи?
6. Для каких целей используются электрохимические преобразователи?
7. На чем основан принцип действия оптических измерительных преобразователей?
8. Перечислите характеристики усилительных устройств.
9. Дайте определение логического элемента.
10. Что называется исполнительным механизмом? Какие виды исполнительных механизмов применяются в сельскохозяйственном производстве?
11. Перечислите свойства объектов управления и дайте их характеристику.
12. Перечислите законы регулирования, используемые в регуляторах.
13. Дайте определение понятию «микропроцессор».
14. Что называется мнемокодом?

#### Т е м а 6. Автоматизация основных процессов сельскохозяйственного производства

При изучении темы студент должен изучить вопросы автоматизации основных процессов сельскохозяйственного производства, научиться разбираться в работе схем автоматического управления машин, агрегатов и поточных линий, применяемых в сельском хозяйстве.

#### Вопросы, подлежащие изучению

Технологические процессы как объекты автоматизации. Параметры и характеристики технологических процессов. Этапы подготовки объектов к автоматизации. Моделирование некоторых типовых технологических процессов. Автоматизация технологических процессов в растениеводстве. Типовые и перспективные технические решения по автоматизации мобильных сельскохозяйственных агрегатов. Системы автоматического вождения мобильных агрегатов. Автоматическое управление положением машин и отдельных рабочих органов относительно поверхности поля.

Автоматическое регулирование загрузки рабочих органов и двигателей сельскохозяйственных агрегатов. Автоматический контроль технологических параметров. Автоматизация технологических процессов в растениеводстве защищенного грунта. Автоматизация технологических процессов в животноводстве и птицеводстве. Типовые и перспективные технические решения по автоматизации процессов кормления, поения животных и птицы, уборки навоза и помета, обеспечения нормативного микроклимата по автоматизации процессов доения и первичной обработки молока. Автоматизация технологических процессов хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. Типовые и перспективные технические решения по автоматизации процессов кормоприготовления, послеуборочной обработки зерна, хранения овощей и картофеля. Автоматизация процессов ремонта сельскохозяйственной техники. Автоматизация процессов наплавки и сварки. Автоматизация тепловых (нагрев, закалка, вулканизация) и гальванических процессов восстановления деталей. Автоматизация обкатки и испытания автотракторных двигателей. Понятие об автоматизированных системах управления в сельскохозяйственном производстве. Техно-экономическая эффективность электрификации и автоматизации с.х. производства.

Литература: 2, с. 122 – 252; 3, с. 44 – 87.

#### Методические советы

Вначале рекомендуется рассмотреть вопрос технологических процессов как объектов автоматизации. Затем следует перейти к изучению вопросов, связанных с автоматизацией технологических процессов в растениеводстве. Следует изучить автоматическое управление скоростными и нагрузочными режимами рабочих органов и двигателя внутреннего сгорания; система автоматического контроля сигнализации и защиты, системы автоматического регулирования направления движения машин и рабочих органов. При рассмотрении вопросов автоматизации технологических процессов в животноводстве и птицеводстве, а также технологических процессов хранения и переработки с.х. продукции особое внимание следует обратить на новые перспективные технические решения в



этой области. Завершают изучение раздела рассмотрением вопросов автоматизации процессов ремонта с.х. техники и технико-экономической эффективности электрификации и автоматизации с.х. производства.

#### Вопросы и задания для самопроверки

1. Что понимается под технологическим процессом?
2. Перечислите основные требования, которые предъявляются к системам автоматического управления поточными линиями.
3. Объясните принцип действия системы автоматического регулирования частоты вращения двигателя внутреннего сгорания.
4. Объясните принцип действия систем автоматического регулирования направления движением машиной и их рабочих органов.
5. Каким образом работают схемы автоматического управления установок для раздачи кормов животным, уборки навоза, поддержания заданной температуры и влажности воздуха?
6. Каковы особенности пуска электропривода сепаратора и схема для его осуществления?
7. Объясните принцип действия устройств для отделения инородных примесей от массы стебельчатого корма.
8. Объясните принцип действия электрической схемы управления тельфером.

### Раздел 3. ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

#### ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

##### ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Учебным планом для студентов по курсам: «Электропривод и электрооборудование», «Электрооборудование и средства автоматизации сельскохозяйственной техники», «Электрические машины и электропривод» предусмотрено выполнение одной контрольной работы.

Для выполнения контрольной работы студенту необходимо изучить соответствующую литературу, решить задачи и упражнения, приведенные в рекомендованной литературе, чтобы иметь полное представление по рассматриваемому вопросу.

В начале работы должно быть указано задание, которое выбирается каждым студентом индивидуально по двум последним цифрам шифра и без которого контрольная работа не рецензируется.

При выполнении контрольного задания необходимо соблюдать следующие правила:

- а) в работе должны быть переписаны условия задачи соответственно решаемому варианту – приложение № 1;
- б) выполнение 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.

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

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Для системы трехфазный асинхронный двигатель–рабочая машина (двигатель питается от сети напряжением 380/220 В):

1. По данным нагрузочной диаграммы, используя метод эквивалентных величин, определить необходимую мощность приводного электродвигателя по нагреву. Выбрать по каталогу в качестве приводного электродвигателя четырехполюсный асинхронный двигатель общего назначения серии 4А или двигатель с.-х. назначения.
2. Рассчитать и построить механическую характеристику электродвигателя  $\omega = f_1(M_{дв})$ , определить мощность, потребляемую из сети в номинальном режиме, номинальный и пусковой ток электродвигателя.

3. Рассчитать и построить на том же графике механическую характеристику рабочей машины  $\omega = f_2(Mc)$ , приведенную к угловой скорости вращения вала электродвигателя.
4. Определить графоаналитическим методом (методом площадей) продолжительность пуска электродвигателя с нагрузкой при номинальном напряжении.
5. Оценить условия запуска электродвигателя с нагрузкой при снижении питающего напряжения на  $\Delta U$  %.

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К пункту 1

Эквивалентная по нагреву мощность нагрузки на валу электродвигателя рассчитывается по выражению

$$P = \sqrt{\frac{\sum_1^n P_i * t_i}{\sum_1^n t_i}} \quad (1)$$

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

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

$n$  – количество периодов нагрузки.

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

$$P_H \geq \frac{P_{\Sigma}}{P_M} \quad (2)$$

где  $P_H$  – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$P_M$  – коэффициент механической перегрузки.

Коэффициент механической перегрузки  $P_M$  определяется через коэффициент тепловой перегрузки двигателя  $p_T$ :

$$P_M = \sqrt{p_T} \quad (3)$$

$$p_T = \frac{1}{1 - e^{-t_p/T_H}} \quad (4)$$

где  $t_p$  – полная продолжительность работы электродвигателя с переменной нагрузкой, мин;

$T_H$  – постоянная времени нагрева электродвигателя, мин.

Постоянную времени нагрева  $T_n$  принять для ориентировочного выбора мощности электродвигателя по (2), где  $T_n = 20$  мин. Анализируя (3), (4), можно установить, что при  $t_p > 90$  мин  $r_t \approx 1$ , а следовательно, и  $r_m \approx 1$ . Каталожные параметры двигателя свести в таблицу 1 (Приложение 2).

Т а б л и ц а 1

Каталожные параметры электродвигателя

Тип электродвигателя	$P_n$ , кВт	$U_n$ , В	$M^*_m$	$M^*_n$	$M^*_k$	$\cos\varphi$	$\eta$ , %	$s_n$	$I^*_n$

Примечания:

$M^*_m$  – кратность минимального вращающего момента электродвигателя по отношению к номинальному моменту;

$M^*_n$  – кратность пускового вращающего момента электродвигателя по отношению к номинальному моменту;

$M^*_k$  – кратность максимального вращающего момента электродвигателя по отношению к номинальному моменту;

$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0}$  – номинальное скольжение электродвигателя, соответствующее номинальному вращающему моменту;

$n_0 = \frac{60f}{p}$  – синхронная частота вращения электродвигателя (магнитного поля статора), об/мин;

$p = \frac{60f}{n_n}$  – число пар полюсов электродвигателя (ближайшее меньшее целое число);

$f = 50$  Гц – частота тока в электрической сети;

$I^*_n$  – кратность пускового тока.

Ток, потребляемый двигателем в номинальном режиме работы, определяется по формуле

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta_n} \quad (5)$$

где  $U_n$  – номинальное напряжение электродвигателя;

$\cos \varphi_n$  – коэффициент мощности;

$\eta_n$  – коэффициент полезного действия.

Пусковой ток

$$I_n = I^*n \cdot I_n, \quad (6)$$

где  $I^*n$  – кратность пускового тока.

К пункту 2

Механическую характеристику асинхронного электродвигателя  $\omega = f_1(M_{дв})$  строят на основании расчета его вращающих моментов для угловых скоростей, соответствующих скольжениям:

$$s = 0; s = s_n; s = 0,1; s = s_k; s = 0,4; s = s_m = 0,8; s = 1.$$

Вращающий пусковой момент электродвигателя при  $s = 1$  ( $\omega = 0$ ) следует определить, используя кратность пускового момента  $M^*п$ , а минимального при  $s = 0,8$  – используя кратность минимального момента  $M^*м$  по выражению

$$M_{п} = M_n \cdot M^*п; M_{м} = M_n \cdot M^*м, \quad (7)$$

$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}$  – номинальный вращающий момент электродвигателя, Н·м;

$\omega_n =$  – номинальная угловая скорость электродвигателя, 1/с ( $n_n$  – номинальная частота вращения, об/мин).

Остальные вращающие моменты электродвигателя для скольжений от 0 до 0,4 рассчитываются на основании упрощенной формулы Клосса (8):

$$M = \frac{2 \cdot M_k \cdot s}{s_k + s} \quad (8)$$

где  $M_k = M_n \cdot M^*к$  – максимальный вращающий момент электродвигателя, Н·м;

$s_k = s_n \cdot (M_k + \sqrt{M_k^2 - 1})$  – критическое скольжение электродвигателя, соответствующее максимальному вращающему моменту.

Данные расчета механической характеристики  $\omega = f_1(M_{дв})$  свести в таблицу 2. Переход от скольжения к угловой скорости произвести по формуле

$$\omega = \omega_0 (1 - s) \quad (9)$$

где  $\omega_0 = \frac{2 \pi f}{p}$  – синхронная угловая скорость вращения вала электродвигателя, 1/с.

Т а б л и ц а 2

Данные к построению механической характеристики

### асинхронного двигателя

s	0	s <sub>H</sub> =	0,1	s <sub>K</sub> =	0,4	0,8	1,0
ω, 1/с	ω <sub>0</sub> =	ω <sub>H</sub> =		ω <sub>K</sub> =		ω <sub>M</sub> =	0
M, Н·м	0	M <sub>H</sub> =		M <sub>K</sub> =		M <sub>M</sub> =	M <sub>П</sub> =

При построении механических характеристик  $\omega = f_1(M_{дв})$  значения  $\omega$  располагают по оси ординат (функция), а значения  $M$  – по оси абсцисс (аргумент).

Интерполируя механическую характеристику двигателя в ее пусковой части, следует учесть, что при скольжении  $s > s_K$  формула Клосса занижает действительные вращающие моменты. В частности, для  $s = 0,4$  вращающий момент, вычисленный по (8), будет несколько занижен.

К пункту 3

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

$$M_c = \frac{M_{рм}}{i * \eta_{пер}}, \quad (10)$$

Где  $i = \frac{n_H}{n_{рмн}}$  - передаточное отношение передачи от электродвигателя к рабочей машине.

$M_c$  – приведенный момент сопротивления, Н·м.

С учетом выражения (10) приведенный момент статического сопротивления на валу электродвигателя запишется

$$M_c = \frac{1}{i * \eta_{пер}} \left[ M_{рм0} + (M_{рмн} - M_{рм0}) \left( \frac{\omega}{\omega_H} \right)^0 \right] \quad (11)$$

Давая  $\omega$  значения от 0 до  $\omega = \omega_0$ , рассчитывают зависимость  $\omega = f_2(M_c)$ . Принять  $M_{рм0}$  равным  $0,2 \cdot M_{рмн}$ , где  $M_{рм0}$  – момент сопротивления рабочей машины при угловой скорости, равной 0.

На основании этих расчетных данных строится кривая  $\omega = f_2(M_c)$  на том же графике, что и механическая характеристика электродвигателя  $\omega = f_1(M_{дв})$ . Данные расчета механической характеристики  $\omega = f_2(M_c)$  свести в таблицу 3.

Данные к построению механической характеристики рабочей  
машины относительно вала электродвигателя

$\omega$ , 1/с	
Мс, Н·м	

К пункту 4

Графоаналитический метод расчета продолжительности пуска и торможения электропривода, получивший название метода площадей, подробно изложен в рекомендованных пособиях.

Приведенный момент инерции системы электродвигатель-рабочая машина относительно вала электродвигателя можно выразить в виде J

$$J = k \cdot J + \frac{J_{PM}}{i^2} \quad (12)$$

где k – коэффициент, учитывающий момент инерции передачи от электродвигателя к рабочей машине. Принять k = 1,2.

Затем, используя построенные механические характеристики электродвигателя  $\omega = f1(\text{Мдв})$  и рабочей машины  $\omega = f2(\text{Мс})$ , графически находим их разность – кривую избыточного (динамического) момента  $\text{Мизб} = \text{Мдв} - \text{Мс} = f3(\omega)$ . Эту кривую заменяют ступенчатой с участками, на которых избыточный момент постоянен и равен его средней величине  $\text{Мизб}_i$ . Продолжительность разгона электропривода на каждом участке угловых скоростей рассчитывают по выражению

$$\Delta t = J \frac{\Delta \omega}{\text{Мизб}_i} \quad (13)$$

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

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

Полная продолжительность пуска равна сумме частичных продолжительностей:

$$t_n = J * \sum_{i=1}^m \Delta t_i \quad (14)$$

где m – количество ступеней, на которые разбивается кривая избыточных (динамических) моментов.

Результаты расчета свести в таблицу 4.

Данные расчета продолжительности пуска  
электропривода с нагрузкой

Номера участков по направлению разгона	1	2	3	4
$\omega_{нач}, 1/С$				
$\omega_{кон}, 1/С$				
$\Delta\omega_i = \omega_i - \omega_{i-1}, 1/С$				
Мизб <sub>i</sub> , Н·м				
$\Delta t_i, с$				
$t_{п}, с$				

К пункту 5

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

$$M_U = M_U * U_*^2 \quad (15)$$

где  $M(U_H)$  – вращающий момент асинхронного электродвигателя при номинальном напряжении, Н·м;

$M(U)$  – вращающий момент асинхронного электродвигателя при той же частоте вращения, но при напряжении, по величине отличном от номинального, Н·м;  $U_* = \frac{U}{U_H}$  – относительная величина напряжения в долях от номинального, подведенного к электродвигателю.

Для оценки возможности запуска электродвигателя при нагрузке в случае снижения напряжения на  $\Delta U$  % необходимо пересчитать вращающие моменты электродвигателя прямо пропорционально квадрату напряжения  $U_* = 1 - \Delta U \% / 100$  и построить зависимость  $\omega = f_4[M_{дв(U)}]$  совместив ее с механической характеристикой рабочей машины, приведенной к валу электродвигателя. Это позволит сделать заключение: электродвигатель не запустится, запустится или электродвигатель «застрянет» и не развернется до частоты вращения, соответствующей рабочей зоне его механической характеристики.



Если хотя бы на одном участке механических характеристик разгона электропривода  $M_{изб}(U) \leq 0$ , то необходимо сделать заключение, что при пуске с нагрузкой и понижении питающего напряжения на  $\Delta U$  % электропривод не запустится.  $\Delta U$  % принять равным 20 %.

#### Задание для контрольной работы

шифр	P1, кВт	P2, кВт	P3, кВт	P4, кВт	t1, мин	t2, мин	t3, мин	t4, мин	$\eta_{пер}$	$\eta_{рмн}$ , об/мин	M <sub>рмн</sub> , Н*м	J <sub>рмн, 2</sub> кг*м	$\alpha$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
00	0,3	0,4	0,2	0,1	22	12	25	8	0,6	960	2,4	0,02	1
01	0,3	0,4	7	0,3	10	8	12	20	0,6	1470	1,6	0,02	2
02	0,2	0,3	0,2	0,4	14	8	22	18	0,8	2800	0,6	0,01	0
03	0,1	0,2	0,5	0,1	12	10	20	8	0,6	2700	0,4	0,07	1
04	5	5,8	0,1	3	15	18	14	10	1	2850	12	0,01	0
05	5	8	5	4	20	20	22	26	0	1470	32	0,04	2
06	7	16	0,1	14	15	15	28	24	0,9	1420	70	0,08	1
07	13	12	4,6	10	22	18	10	16	0,8	960	70	0,06	2
08	8	24	6	16	14	20	18	16	0,9	1460	100	0,04	0
09	18	33	10	16	20	16	24	20	0,8	1480	140	0,26	2
10	28	40	6	10	18	20	22	18	0,6	1430	170	0,03	1
11	30	50	10	20	15	16	20	22	0,9	1400	200	0,01	2
12	40	6,6	20	4	16	18	14	6	0,5	1460	36	0,38	2
13	5	1,7	20	1,3	18	12	20	24	0,9	2700	65	0,06	1
14	1	3,2	30	1	20	16	22	24	0,7	2800	60	0,65	1
15	2,6	4,2	4,5	3	16	20	10	10	0,3	1460	8	0,32	0
16	3,6	1,6	0,8	1,6	16	16	20	20	0,4	1480	6,2	0,06	0
17	1	3,2	1,8	1	15	16	20	30	0,9	960	6,2	0,07	1
18	2,8	6	2,8	2	16	18	12	30	0,2	2700	13	0,26	2
19	5	4	0,8	3	15	20	15	26	0,3	2850	25	0,06	1
20	6	30	2	15	15	20	15	20	0,8	1470	16	0,18	2
21	10	3,8	4	3,8	15	18	20	22	0,8	980	1,4	0,02	0
22	4,5	0,4	5	4	18	16	18	26	0,9	1500	2,2	0,38	1
23	0,3	0,3	2	0,2	12	16	15	20	0,8	960	100	0,06	1
24	0,4	2	2,6	0,8	20	15	22	24	0,9	2700	14	0,08	2
25	1	20	0,2	10	18	22	18	22	1	960	10	0,04	2
26	24	28	0,2	15	14	18	18	22	1	1480	66	0,09	1
27	33	3	1,4	2	10	18	20	28	0,7	2700	35	0,02	2
28	5	12	18	6	16	20	16	22	0,8	960	60	0,06	1
29	8	6	20	5	18	16	24	18	0,98	1460	66	0,08	0
30	8	10	4	12	10	16	20	12	0,56	1420	1,6	0,04	1
31	18	10	10	4	12	14	16	22	0,87	960	18	0,02	2
32	12	0,4	4	0,4	12	15	12	12	0,6	1470	70	0,01	1
33	0,3	6	8	5	12	16	16	15	0,4	1420	200	0,04	1
34	8	14	8	12,5	14	14	14	14	0,5	1400	69	0,04	0
35	18	40	0,2	20	15	16	20	22	1	1420	195	0,31	1
36	50	6	4	3	18	20	24	15	0,9	1440	30	0,01	0
37	7	10	20	5	18	16	24	18	0,98	1460	66	0,08	0
38	18	4	4	12	10	16	20	12	0,56	1420	1,6	0,04	1
39	5	0,4	10	4	12	14	16	22	0,87	960	18	0,02	2
40	0,3	8	4	0,4	12	15	12	12	0,6	1470	70	0,01	1
41	0,5	2	8	5	12	16	16	15	0,4	1420	200	0,04	1

