

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Петуховский техникум механизации и электрификации сельского хозяйства»

Бутенко Е.В.

**МДК 01.01. МОНТАЖ, НАЛАДКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
И ОСВЕТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

конспект лекций для студентов СПО, обучающихся по специальности
35.02.08 Электротехнические системы в агропромышленном комплексе (АПК)

Петухово
2024

МДК 01.01. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования и осветительного оборудования Конспект лекций для студентов СПО, обучающихся по специальности 35.02.08 Электротехнические системы в агропромышленном комплексе (АПК) / Е.В.Бутенко .- Петухово, 2024.- количество с. 244.

Автор - составитель: Бутенко Е.В., преподаватель ФГБПОУ «Петуховский техникум механизации и электрификации сельского хозяйства»

Пособие рекомендовано для студентов, обучающихся в ФГБПОУ «Петуховский техникум механизации и электрификации сельского хозяйства» по специальности 35.02.08 Электротехнические системы в агропромышленном комплексе (АПК).

В пособии приведены в кратком изложении основные теоретические сведения по темам, изучаемым в курсе **МДК 01.01. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования и осветительного оборудования**, а также вопросы для самоконтроля для закрепления изученного. Пособие может быть использовано студентами при подготовке к учебным занятиям, для повторения и систематизации изученного материала при подготовке к экзаменам, а также для самостоятельного освоения дисциплины или ее части.

©Е.В.Бутенко, 2024
© Петуховский техникум
механизации и электрификации
сельского хозяйства, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ЦЕЛИ ПОСОБИЯ	4
ТЕМА 1.1 Общие вопросы монтажа электрооборудования	5
ТЕМА 1.2 Монтаж, наладка приборов освещения	16
ТЕМА 1.3 Эксплуатация электрических машин	35
ТЕМА 1.4 Аппаратура управления электроприводом	59
ТЕМА 1.5. Электропривод рабочих машин и агрегатов сельскохозяйственного производства	82
ТЕМА 1.6 Электротехнологии и электрический нагрев	175

ВВЕДЕНИЕ

МДК 01.01. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования и осветительного оборудования является частью освоения программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 35.02.08 «Электротехнические системы в агропромышленном комплексе (АПК)».

Рабочим учебным планом специальности Петуховского филиала отведено для этого 198 ч. занятий.

Данное учебное пособие представляет собой теоретический материал по курсу «Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования и осветительного оборудования».

Пособие составлено в соответствии с ФГОС СПО, рабочим учебным планом специальности, учебной программой ПМ.

Пособие предназначено для студентов средних профессиональных учебных заведений всех форм обучения. Его цель – помочь обучающимся в освоении профессионального модуля ПМ01 Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования (в т.ч. электроосвещения), автоматизация и роботизация сельскохозяйственных предприятий В условиях отсутствия учебников по ПМ01 «Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования (в т.ч. электроосвещения), автоматизация и роботизация сельскохозяйственных предприятий» согласно ФГОС СПО данное учебное пособие может быть полезно и для преподавателей, ведущих данную дисциплину.

ЦЕЛИ ПОСОБИЯ

Основная цель данного пособия – помочь студентам освоить программу МДК 01.01 для формирования вида профессиональной деятельности (ВПД): **Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования (в т.ч. электроосвещения), автоматизация и роботизация сельскохозяйственных предприятий** и соответствующих профессиональных компетенций (ПК):

ПК 1.1. Осуществляет монтаж, наладку и эксплуатацию электрооборудования

С целью овладения указанным видом профессиональной деятельности и соответствующими профессиональными компетенциями обучающийся в ходе освоения профессионального модуля должен:

приобрести практический опыт:

монтажа и наладки электрооборудования сельскохозяйственных предприятий;

эксплуатации электрооборудования сельскохозяйственных предприятий;

уметь:

производить монтаж и наладку приборов освещения, сигнализации, контрольно-измерительных приборов, звуковой сигнализации и предохранителей в тракторах, автомобилях и сельскохозяйственной технике;

подбирать электропривод для основных сельскохозяйственных машин и установок;

проводить утилизацию и ликвидацию отходов электрического хозяйства;

читать электрические схемы и чертежи электрических аппаратов напряжением до 1000 В и выше

знать:

правила технической эксплуатации электроустановок;

правила охраны труда на рабочем месте;

основные средства и способы механизации производственных процессов в растениеводстве и животноводстве;

принцип действия и особенности работы электропривода в условиях сельскохозяйственного производства;

назначение светотехнических и электротехнологических установок;

назначение, устройство, принцип работы машин постоянного тока, трансформаторов, асинхронных машин и машин специального назначения

Тема 1.1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МОНТАЖА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Л1 Система нормативных документов. Проектная документация.

Термин монтаж (от французского *montag*) – подъем, установка, сборка. В широком его понимании – сборка и установка оборудования сооружений и целых предприятий по определенным планам и чертежам. Электрический монтаж предполагает сборку и установку электрооборудования, электроконструкций и других элементов. Электрооборудование в основном поставляется в виде комплектных устройств, например, комплектные распределительные устройства, но допускается в виде отдельных единиц (силовые трансформаторы, электродвигатели, высоковольтные выключатели). Отдельными единицами поставляется и более мелкое электрооборудование (измерительные трансформаторы, изоляторы, разрядники и т.д.).

Чтобы четко определить состав работ по технологии монтажа электрооборудования, уточним основные понятия и термины.

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКА – установка, в которой производится, преобразуется, передается, распределяется, потребляется электроэнергия.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ служат для передачи и распределения электроэнергии, для ее преобразования в вид удобный для передачи и использования в месте потребления. К таким преобразованиям относят трансформацию с целью повышения или понижения напряжения, а также преобразования по роду тока (переменного в постоянный и наоборот) и частоте.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ – это совокупность образующих путь электрического тока устройств и объектов, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны, например, с помощью электродвижущей силы, тока и напряжения. Отдельные устройства, входящие в электрическую цепь, называют ее элементами. Электрическую цепь, содержащую элементы, предназначенные для производства или передачи основной части электрической энергии, ее распределения, преобразования в другой вид энергии или электрическую энергию с другими значениями параметров, называют **СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПЬЮ**.

Электрические цепи электроустановок, состоящие из элементов, предназначенных для управления, контроля, сигнализации, защиты, а также другие не силовые цепи называют **ВТОРИЧНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ЦЕПЯМИ**. Все элементы силовой цепи в совокупности называют силовым оборудованием, к которому относятся электрические генераторы, двигатели, трансформаторы, силовые коммутационные аппараты (выключатели, разъединители, отделители) и др.

Полная и качественная нормативно-техническая документация (НТД) в электроустановках – важная предпосылка по организации и поддержанию надлежащего уровня электрохозяйства.

Вся система распределительных электросетей предприятий от вводных устройств и до конечного пункта потребления электроэнергии должна быть документально оформлена, а срок ее эксплуатации от проекта до реконструкции или полной замены – подтвержден документально.

Помимо общей для электротехнического персонала организаций и сельскохозяйственных предприятий НТД каждая категория работников, эксплуатирующих электроустановки (ЭУ), имеет свои нормативы, производственные, должностные и эксплуатационные инструкции, вплоть до методических указаний надзирающих органов и рекомендаций энергоснабжающих организаций.

Перечень технической документации в электроустановках, необходимый для каждого потребителя электроэнергии, регламентирован действующими нормами и правилами и представляет собой следующее.

Проектно-техническая документация: генплан, технические паспорта электрооборудования, акты испытаний и наладки ЭО, приемки скрытых работ,

разграничения балансовой принадлежности, протоколы измерений, проверки устройств заземлений, сертификаты на оборудование и материалы, проект (однолинейная схема). Списки работников: имеющих право: выполнения оперативных переключений, ведения оперативных переговоров, единоличного осмотра ЭУ, отдавать распоряжения, выдавать наряды; которым даны права допускающего, ответственного руководителя работ, производителя работ, наблюдающего; подлежащих проверке знаний на право производства спецработ в ЭУ; допущенных к проверке подземных сооружений на загазованность. Журналы и бланки: дефектов и неполадок на ЭО, выдачи и возврата ключей от ЭУ, учета работ по нарядам и распоряжениям, учета расхода ЭЭ, кабельный, учета ЭО, оперативный, релейной защитной аппаратуры и средств телемеханики, регистрации инструктажей на рабочем месте, по учету противоаварийных и противопожарных тренировок, учета проверки знаний норм и правил работы в ЭУ, учета присвоения группы I, комплект бланков нарядов-допусков, бланки переключений, учета и содержания средств защиты в ЭУ. Инструкции: по правилам пожарной безопасности, по ОТ на рабочем месте, должностные – по каждому рабочему месту, производственные – по эксплуатации ЭО, по ОТ для работников, обслуживающих ЭУ, по предотвращению и ликвидации аварий в ЭУ, по выполнению переключений без распоряжения, по учету ЭЭ и ее экономии.

На Генеральный план должны быть нанесены здания, сооружения и подземные электротехнические коммуникации.

Технические паспорта должны иметься на все основное электрооборудование, а сертификаты – лишь на оборудование и материалы, подлежащие сертификации.

Акт разграничения по имущественной (балансовой) принадлежности и эксплуатационной ответственности составляется между энергоснабжающей организацией и потребителем электроэнергии. В акте указывают границу принадлежности и ответственности между обеими сторонами. В этот Акт вносят всех субпотребителей ЭЭ. Акт разграничения составляют в трех экземплярах: один предназначен для энергоснабжающего предприятия электросетей, другой – для потребителя, третий – для предприятия Энергосбыт.

Проектно-техническую документацию утверждают в установленном порядке, а также согласовывают с энергоснабжающей организацией и надзорными органами.

Для потребителей, имеющих простую и наглядную схему электроснабжения, достаточно вместо проекта иметь однолинейную расчетную схему ЭС. На этой схеме должна быть подпись ответственного за электрохозяйство, особенно если в процессе эксплуатации электроустановки в схему внесены изменения.

Списки работников входят в перечень технической документации для каждого потребителя, в том числе отдельно и для структурных подразделений, которые утверждает технический руководитель предприятия (организации).

Журналы и списки работников должны находиться на рабочих местах оперативного персонала (на подстанциях в распределительных устройствах (РУ) или в помещениях, отведенных для персонала, обслуживающего РУ).

Все инструкции разрабатывают с учетом видов выполняемых работ (работы по оперативным переключениям в ЭУ, верхолазные работы, работы на высоте, монтажные, наладочные, ремонтные работы, проведение испытаний и измерений).

В инструкциях по ОТ для работников, обслуживающих ЭО электроустановок и по охране труда на рабочих местах должны содержаться указания по общим требованиям безопасности перед началом работы, во время работы и по ее окончании, а также в аварийных ситуациях. Эти инструкции разрабатывают руководители структурных подразделений для данной должности работников и на отдельные виды работ на основе типовых инструкций. Они должны быть согласованы с ответственным за электрохозяйство и утверждены руководителем (владельцем) предприятия.

В должностных инструкциях по каждому рабочему месту должны содержаться: перечень НТД и схем электроустановок, знание которых необходимо для данной

должностной категории работников, конкретные права, обязанности и персональная ответственность, взаимоотношения с другими категориями работников (вышестоящим и подчиненным персоналом).

Эксплуатация электроустановок без соблюдения мероприятий, обеспечивающих безопасность персонала, может привести к трагическим последствиям. Правила работы в электроустановках до и выше 1000В определены в следующей НТД:

1. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок утвержденные приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 г. № 903н с изменениями от 29 апреля 2022 г. № 279н

В Правилах регламентированы требования к персоналу, проводящему работы в электроустановках, определены порядок и условия проведения работ, рассмотрены организационные и технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ, испытаний и измерений в электроустановках всех уровней напряжения. Эти правила предназначены для работников организаций независимо от формы собственности и организационно-правовых форм и других физических лиц, занятых техническим обслуживанием электроустановок, проводящих в них оперативные переключения, организующих и выполняющих строительные, монтажные, наладочные, ремонтные работы, испытания и измерения.

2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии Приказ Министерства энергетики РФ от 12 августа 2022 г. N 811

Цель обеспечить надежную, безопасную и рациональную эксплуатацию электроустановок и содержание их в исправном состоянии. Правила предназначены для руководящих работников и специалистов, занимающихся эксплуатацией, наладкой и ремонтом ЭУ и электротехнического оборудования. Они распространяются на организации, независимо от форм собственности и организационно-правовых форм, индивидуальных предпринимателей и граждан — владельцев электроустановок напряжением выше 1000 В.

Правила включают в себя требования к потребителям, эксплуатирующим действующие электроустановки напряжением до 220 кВ включительно.

Они не распространяются на электроустановки электрических станций, блок-станций, предприятий электрических и тепловых сетей, эксплуатируемых в соответствии с правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей.

3. Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках Приказ Министерства энергетики РФ от 30 июня 2003 г. N 261

Инструкция содержит перечень средств защиты, их классификацию, технические требования к ним, требования к испытаниям, эксплуатации, содержанию и уходу за ними и предназначена для ИТР и рабочих, занятых на эксплуатации электроустановок, работников служб ОТ предприятия, а также для разработчиков средств защиты.

4. Правила устройства электроустановок действуют в виде отдельных разделов и глав седьмого издания и действующих разделов и глав шестого издания.

Минэнерго России отмечает, что правила устройства электроустановок не были зарегистрированы Минюстом России, в связи с чем не подлежат обязательному применению. В то же время ими можно руководствоваться в добровольном порядке в части, не противоречащей действующему законодательству РФ.

В ПУЭ определены требования к устройству электроустановок. Они рассчитаны на ИТР, занятых проектированием, монтажом и эксплуатацией электроустановок. Наиболее востребованы следующие разделы седьмого издания: раздел 1 «Общие правила» (гл.1.1, 1.2, 1.7, 1.9; гл.1.8 «Нормы приемосдаточных испытаний»; раздел 7 «Электрооборудование специальных установок»: гл 7.5, 7.6, 7.10; раздел 2 «Передача электроэнергии»: гл.2.4, 2.5; раздел 4 «Распределительные устройства и подстанции»: гл.4.1, 4.2; раздел 6 «Электрическое освещение»: гл.1...6.6.

Требования ПУЭ рекомендовано применять для действующих электроустановок, если это повышает надежность электроустановки или если ее модернизация направлена

на обеспечение требований безопасности. По отношению к реконструируемым электроустановкам требования ПУЭ предназначены лишь для реконструируемой части, они разработаны с учетом обязательности проведения в условиях эксплуатации планово-предупредительных и профилактических испытаний, ремонта электроустановок и их ЭО.

5. Правила пожарной безопасности

6. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации Приказ Министерства энергетики РФ от 04 октября 2022 г. N 1070

От знания и умения пользоваться НТД и ведомственными указаниями, инструкциями и рекомендациями, от их состояния, оформления, хранения и учета во многом зависит успешный монтаж и эксплуатация электроустановок.

Л12 Управление электромонтажным производством. Основные этапы производства электромонтажных работ.

Электромонтажные работы являются частью комплекса строительных работ и выполняются в рамках *договора строительного подряда* (контракта), в соответствии с которым *подрядчик* обязуется в установленный договором срок выполнить работы, а *заказчик* обязуется создать подрядчику необходимые условия для выполнения работ, принять их результат и оплатить выполненные работы.

Заказчиками выступают юридические лица (предприятия, организации), имеющие финансовые средства (инвесторы). Финансирование электромонтажных работ осуществляется за счет раздела капитальных вложений, предусмотренного для нового строительства, расширения, реконструкции и технического перевооружения объектов электроэнергетики.

Подрядчиками при проведении электромонтажных работ выступают, как правило, электромонтажные организации, независимо от форм собственности, зарегистрированные в установленном порядке в налоговых органах и имеющие лицензию и другие документы, подтверждающие гарантии качества на выполнение электромонтажных работ. При больших объемах электромонтажных работ и нескольких претендентах на их выполнение заказчик организует конкурсные тендерные торги.

Лицензирование деятельности электромонтажных организаций осуществляется с целью защиты прав и интересов потребителей строительного-монтажной продукции. Гарантии и сроки предъявления заказчиком претензий к подрядчику определяются в договоре подряда и по электромонтажным работам составляют, как правило, 1.. 2 года.

Договор подряда является основным правовым документом, регламентирующим взаимоотношения заказчика и подрядчика. Такой договор иногда заключается на выполнение работ «под ключ». Здесь подразумевается выполнение полного инвестиционного цикла, включающего проектирование, строительные, электромонтажные, пусконаладочные работы и сдачу объекта в эксплуатацию.

Для выполнения комплекса или отдельных видов работ, например пусконаладочных работ, подрядчик может привлекать другие организации - субподрядчиков. В этом случае подрядчик выступает уже в роли генерального подрядчика.

Подготовка к проведению электромонтажных работ, в частности приемка строительной части объекта под монтаж оборудования, ответственность перед заказчиком за выполнение всех видов работ в сроки, предусмотренные договором, и надлежащего качества возлагаются на генерального подрядчика.

Подрядчик планирует и осуществляет работы в соответствии с проектно-сметной документацией и договорной ценой, определяющими объем, содержание и стоимость работ. Проектная документация должна соответствовать требованиям нормативных документов, регламентирующих электромонтажные работы: Строительным нормам и правилам (СНиП); Государственным

стандартам (ГОСТ) в области строительства; Правилам устройства электроустановок (ПУЭ); Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ ЭП).

Кроме того, в обязанности подрядчика входит соблюдение природоохранного законодательства и организация охраны труда при выполнении работ.

В ходе выполнения работ заказчик и подрядчик вправе по согласованию с проектной организацией вносить изменения в техническую документацию при неизменности характера предусмотренных договором подряда работ, а также выделять пусковой комплекс из всего проектного объема работ.

Обязанности и ответственность по обеспечению электромонтажных работ комплектами оборудования, материалами и конструкциями несет, как правило, подрядчик. Для этого подрядчик получает от проектной организации расчеты (спецификации) о потребности основных видов оборудования, материалов, конструкций.

Для проверки качества поставляемого на монтажную площадку оборудования подрядчик осуществляет входной контроль, оформляет акты приемки оборудования в монтаж или предъявляет претензии к поставщикам в случаях нарушения требований к качеству оборудования, его повреждения при транспортировке.

В ходе выполнения электромонтажных работ заказчик осуществляет технический надзор за качеством работ, соблюдением сроков их выполнения, качеством поставляемого оборудования, его испытаниями при проведении пуско-наладочных работ. Технический надзор заказчик может осуществлять с привлечением проектной организации (авторский надзор). При большом объеме работ надзор ведется по отдельным разделам проекта: строительные, электромонтажные, сантехнические, пусконаладочные и другие работы.

После выполнения заказчиком и подрядчиком всех обязательств по договору осуществляется приемка выполненных работ. В договоре подряда предусматриваются сроки уведомления подрядчиком заказчика о готовности объекта к приемке, сроки проведения приемки и сроки устранения замечаний, выявленных при приемке выполненных работ. Приемка крупных объектов осуществляется рабочей и государственной приемочными комиссиями с подписанием актов соответствующей стандартной формы (КС-11 и КС-14). При небольших объемах работ (замена выключателей, трансформаторов небольшой мощности при сохранении существующих фундаментов) приемка выполненных работ осуществляется одной приемочной комиссией. С момента приемки объекта по акту заказчик вступает в полное владение и распоряжение объектом.

Строительными нормами и правилами предусматривается производство электромонтажных работ в три стадии: подготовительные; основные; заключительные.

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ работы складываются из ознакомления с проектом механизации производственных процессов, осмотра и проверки готовности помещений для монтажа, проверки комплектности и технического состояния машин и оборудования, разметки их рабочего (проектного) положения.

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ представляют собой доставку машин и оборудования к месту монтажа, подготовку инструмента, приспособлений и грузоподъемных механизмов, установку и крепление машин и оборудования на рабочих местах в соответствии с данными проекта, регулировку рабочих органов, узлов, соединений, а также проверку их взаимодействия.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ состоят из проверки, испытания и сдачи смонтированных машин и оборудования в эксплуатацию.

Организация электромонтажных работ возлагается на подрядчика и состоит из трех основных этапов.

На первом *инженерно-техническом этапе* производится приемка, проверка и изучение проектно-сметной документации; в проектной документации должен быть предусмотрен проект организации строительства (ПОС), на основе которого

электромонтажной организацией разрабатывается проект производства электромонтажных работ (ППЭР).

На втором *организационном этапе* выполняется приемка от строителей под монтаж оборудования зданий, сооружений, фундаментов, проемов и ниш в конструкциях зданий и сооружений; контролируется установка закладных деталей, проверяется наличие предусмотренных проектом стационарных кран-балок, монтажных тележек и талей.

На третьем *материально-техническом этапе* осуществляется обеспечение и комплектация электромонтажных работ оборудованием, материалами, изделиями, монтажными заготовками; на этом же этапе выполняется оснащение монтажных работ механизмами, инструментами, инвентарем и средствами безопасного труда.

Важным моментом организации электромонтажных работ на сложных объектах, требующих определенной очередности выполнения строительных и электромонтажных работ, является составление ППЭР. Этот проект обязательно разрабатывается для выполнения электромонтажных работ, сопровождающихся сложными такелажными работами с применением механизмов (автокранов, автовышек), верхолазных работ, а также для работ, выполняемых в действующих электроустановках, например, при реконструкции существующих подстанций.

ППЭР разрабатывается специальными группами подготовки производства монтажных организаций и утверждается ее техническим руководителем (главным инженером). ППЭР должен быть согласован с заказчиком или техническим руководителем эксплуатирующей организации.

Исходными данными для разработки ППЭР служат:

рабочие чертежи и сметы проектной документации объекта;

данные о поставке оборудования и материалов, наличии машин и механизмов;

действующие нормативные документы, монтажные инструкции, отраслевые правила по охране труда;

сроки возможного отключения действующих электроустановок при реконструкции и техническом перевооружении объектов.

Содержание ППЭР состоит из трех разделов. В *первый раздел* входят пояснительная записка, содержащая общие сведения об объекте, организационную структуру монтажа, ситуационный план, совмещенный со схемой электроснабжения, план расположения оборудования, технико-экономические показатели объекта.

Во *втором разделе* ППЭР приводятся наиболее эффективные методы организации и технология выполнения электромонтажных работ. Здесь указываются технологические приемы выполнения трудоемких операций, их механизации, предложения по совмещению монтажных и наладочных работ, указания по охране труда, приводятся графики производства работ.

В *третий раздел* ППЭР входят задания непосредственно для электромонтажного персонала с указанием ответственных инженерно-технических работников по этапам работ, ведомости узлов, блоков и конструкций, подлежащих сборке, необходимые чертежи или ссылки на типовые альбомы, ведомости закладных деталей, их эскизы и места установки, спецификации на оборудование и материалы для производства работ.

ЛЗ Подготовка производства электромонтажных работ. Организация и производство электромонтажных работ.

Планирование является одной из главных функций управления процессом производства строительных работ, в том числе и электромонтажных работ. Одной из задач планирования является нахождение вариантов рациональной взаимосвязи этапов производства электромонтажных работ. Важным моментом планирования является взаимная

увязка работ во времени при условии непрерывности их выполнения, особенно при производстве работ в действующих электроустановках.

Наиболее простой формой планирования работ является составление календарного плана-графика работ, представляющего собой документ, регламентирующий поставку во времени оборудования и комплектующих изделий, потребность в механизмах, машинах, трудовых и энергетических ресурсах, распределение капитальных вложений и объемов электромонтажных работ.

Линейные календарные графики работ являются консервативными в своем исполнении и отражают только одну возможную ситуацию хода работ. При возникающих отклонениях во времени и во взаимосвязи по факторам производства эта модель должна быть скорректирована или построена заново.

При планировании электромонтажных работ используются сетевые модели, основными элементами которых являются *сетевые графики*. Разработка сетевого графика начинается с установления перечня работ, которые необходимо выполнить, определения их продолжительности, рациональной технологической последовательности и взаимосвязей между ними.

Основные составляющие сетевого графика - события и работы. Каждая работа, отраженная в графике, имеет свою продолжительность: детерминированную, устанавливаемую нормативами времени, или вероятностную, устанавливаемую, например, на основе статистических данных. Работа может быть фиктивной, не требующей временных затрат, но указывающей на возможность начала данной работы только после завершения другой (установка трансформатора возможна только после затвердевания железобетонного фундамента).

Событие представляет собой завершение одной или нескольких работ, создающих возможность для начала других работ. На сетевом графике (рисунок 1) события изображаются кружком, разделенным на секторы. В верхнем секторе указывается номер события, в левом - ранний из возможных сроков совершения события, в правом - поздний из допустимых сроков совершения события.

На сетевом графике работа $i-j$ изображается стрелкой, соединяющей два события - предшествующее i и последующее j (сплошная стрелка - действительная работа; пунктирная - фиктивная работа). Направление стрелки показывает порядок выполнения работы; продолжительность работы t указывается цифрой у стрелки.

Цепь последовательных работ, соединяющая исходное (1) и завершающее (11) события, называется полным путем сетевого графика. Полный путь, имеющий наибольшую продолжительность, называется критическим путем. В соответствии с рисунком 1 критический путь составляет 30 дней. По отношению к критическому все остальные пути сетевого графика имеют резерв времени.

Обычно разработку и анализ сетевых моделей выполняют в два этапа. На первом этапе строят сетевой график и рассчитывают все его параметры, на втором - осуществляют анализ, корректировку и оптимизацию сетевого графика.

Процесс оптимизации сетевого графика по времени заключается, прежде всего, в сокращении продолжительности критического пути. Здесь можно выделить три способа оптимизации. Первый способ заключается в такой корректировке сетевого графика, которая позволяет сократить продолжительности работ критического пути за счет ресурсов (трудовых и материальных), отведенных для работ, не лежащих на критическом пути. Эти работы могут быть отодвинуты на какое-то время, поскольку сроки их выполнения не влияют на конечный срок.

Второй способ оптимизации по времени состоит в изменении топологии сети графика. Это осуществляется введением в сетевую модель многовариантной технологии выполнения работ, установлением новых путей и взаимосвязей работ и сокращением в конечном итоге критического пути.

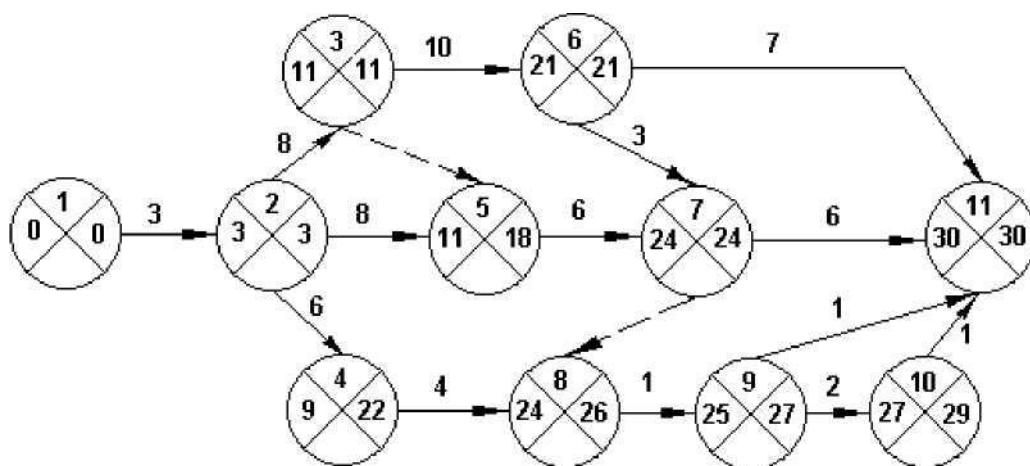


Рисунок 1 – Сетевой график монтажа подстанции 10/0,4 кВ:

1-2 - монтаж освещения подстанции, $t = 3$ дня; 2-3 - монтаж панелей щитов (распределительных, управления, учета), 8 дней; 2-4 - ревизия, монтаж и наладка силовых трансформаторов, 6 дней; 2-5 - монтаж РУ 10 кВ, 8 дней; 3-5 - фиктивная работа; 3-6 - прокладка контрольных кабелей и силовых кабелей 0,4 кВ, 10 дней; 4-8 - ввод кабелей 10 кВ к трансформаторам, 4 дня; 5-7 - ввод и разделка кабелей в камерах РУ 10 кВ, 6 дней; 6-7 - разделка и подключение кабелей к щитам 0,4 кВ, 3 дня; 6-11 - проверка схемы, регулировка аппаратуры, наладка панелей щитов 0,4 кВ, 7 дней; 7-8 - фиктивная работа; 7-11 - наладка схем РУ 10 кВ, 6 дней; 8-9 - фазировка кабелей 10 кВ в камерах трансформаторов, 1 день; 9-10 - разделка и присоединение кабелей 10 кВ к трансформаторам, 2 дня; 9-11 - привязка наружных трасс кабелей, выполнение надписей на стенах и дверях подстанции, 1 день; 10-11 - высоковольтные испытания кабелей и трансформаторов, 1 день.

Третий способ оптимизации по времени связан с расчленением продолжительных работ на отдельные параллельно выполняемые работы (части). В целом система сетевого планирования позволяет наглядно представить и оценить организацию электромонтажных работ, осуществить более обоснованное планирование и оперативное управление этими работами.

До начала производства электромонтажных работ на объекте должны быть выполнены следующие мероприятия:

получена подрядчиком проектно-техническая документация, утвержденная штампом заказчика «к производству работ»;

согласованы между подрядчиком и предприятиями-поставщиками график поставки оборудования с учетом технологической последовательности производства работ, перечень сложного электрооборудования, монтируемого с привлечением шефмонтажного персонала предприятий-поставщиков, условия транспортирования к месту монтажа тяжелого и крупногабаритного электрооборудования;

подготовлены помещения для размещения бригад рабочих, инженерно-технических работников, производственной базы, а также для складирования материалов и инструмента;

осуществлена приемка по акту строительной части объекта под монтаж электрооборудования и выполнены предусмотренные нормами и правилами мероприятия по охране труда, противопожарной безопасности, охране окружающей среды.

При приемке оборудования в монтаж производится его осмотр, проверка комплектности (без разборки), проверка наличия и срока действия гарантий предприятий-изготовителей. Результаты осмотра оформляются соответствующим актом.

Электрооборудование при монтаже вскрытию и ревизии не подлежит, за исключением случаев, когда это предусмотрено государственными и отраслевыми стандартами или техническими условиями, а также случаев длительного хранения

оборудования с нарушением заводских инструкций. Разборка оборудования, поступившего опломбированным с предприятия-изготовителя, запрещается.

Деформированное и поврежденное электрооборудование подлежит монтажу только после устранения повреждений и дефектов.

Электрооборудование, на которое истек нормативный срок хранения, указанный в государственных стандартах или технических условиях, принимается в монтаж только после проведения предмонтажной ревизии, исправления дефектов и испытаний. Результаты проведенных работ должны быть занесены в формуляры, паспорта и другую сопроводительную документацию на оборудование, должен быть составлен акт о проведении указанных работ.

Помещения закрытых распределительных устройств, фундаменты под электрооборудование сдаются под монтаж с полностью законченными строительными и отделочными работами. Сдача-приемка помещений и фундаментов для установки сложного и дорогостоящего электрооборудования, монтаж которого будет выполняться с привлечением шефмонтажного персонала, производится совместно с представителями предприятия, осуществляющего шефмонтаж.

До начала электромонтажных работ, например, на открытых распределительных устройствах генподрядчик должен закончить планировку территории, сооружение подъездных путей, кабельных каналов, установить шинные и линейные порталы, соорудить фундаменты под электрооборудование, ограждения вокруг распределительного устройства, резервуары для аварийного сброса масла, подземные коммуникации.

В конструкциях порталов и фундаментов под оборудование распределительных устройств должны быть установлены предусмотренные проектом закладные части и крепежные детали, необходимые для крепления гирлянд изоляторов и оборудования. В кабельных каналах и тоннелях должны быть установлены закладные детали для крепления кабельных конструкций. Должно быть также закончено сооружение водопровода и предусмотренных проектом автоматических устройств пожаротушения.

В зданиях и сооружениях, сдаваемых под монтаж электрооборудования, генподрядчиком или прямым строительным подрядчиком должны быть выполнены предусмотренные архитектурно-строительными чертежами постоянные проемы, ниши, отверстия в стенах и перекрытиях, необходимые для перемещения электрооборудования и монтажа низковольтных электрических сетей и контрольных кабелей. После выполнения электромонтажных работ генподрядчик обязан осуществить заделку временных отверстий, борозд, ниш и гнезд.

Важным моментом в организации электромонтажных работ является подготовка и обеспечение безопасных условий труда. Все подготовительные мероприятия в этом плане должны быть закончены до начала производства работ и приняты по акту о выполнении требований по охране труда.

Обязанности по обеспечению безопасных условий труда возлагаются на подрядчика, который разрабатывает организационно-технологическую документацию по выполнению работ (ППЭР), содержащую конкретные проектные решения, определяющие технические средства и методы работ, обеспечивающие выполнение нормативных требований охраны труда.

Исходными данными для разработки таких решений являются:

требования нормативных документов и стандартов по охране труда;

типовые решения по обеспечению требований охраны труда, справочные пособия и каталоги средств защиты работающих;

инструкции заводов-изготовителей машин, механизмов, оборудования, материалов и конструкций по обеспечению охраны труда в процессе их применения.

При разработке проектных решений по организации монтажных площадок необходимо выявить опасные производственные факторы, связанные с технологией и

условиями производства работ, определить и указать в организационно-технической документации зоны их действия.

Электромонтажные работы могут быть связаны как со строительством новых объектов (новых подстанций, линий электропередачи), так и с реконструкцией существующих. Во втором случае электромонтажные работы относятся к работам, выполняемым в действующих электроустановках. Здесь к зонам с опасными производственными факторами относятся все работы вблизи токоведущих частей действующей электроустановки. На выполнение таких работ должен оформляться наряд-допуск, при выполнении работ -соблюдаться технические и организационные меры безопасности. Указанные мероприятия должны выполняться также при работах в компрессорных, с воздухохоборниками, использованием баллонов с газом при газосварочных работах.

Электромонтажные работы в действующих электроустановках, как правило, должны осуществляться после снятия напряжения со всех токоведущих частей, находящихся в зоне производства работ, их отсоединения от действующей части электроустановки, обеспечения видимых разрывов электрической цепи и заземления отсоединенных токоведущих частей. Зона производства работ должна быть отделена от действующей части электроустановки сплошным или сетчатым ограждением, препятствующим проходу в эту часть монтажному персоналу, должны быть вывешены плакаты безопасности.

Выделение для монтажной организации зоны производства работ, принятие мер по предотвращению ошибочной подачи в нее напряжения, ограждение от действующей части с указанием мест прохода персонала и проезда механизмов должны оформляться актом-допуском.

Допуск электромонтажников к работам в действующих электроустановках должен осуществляться персоналом эксплуатирующей организации и оформляется в письменном виде с указанием состава бригады и группы по электробезопасности каждого члена бригады. Наряд-допуск выдается руководителю работ (прорабу, мастеру, менеджеру) на срок, необходимый для выполнения заданного объема работ. Персонал электромонтажных организаций перед допуском к работе в действующих электроустановках должен быть проинструктирован по вопросам электробезопасности на рабочем месте лицом, допускающим к работе, которое обязано осуществлять контроль за выполнением предусмотренных в наряде-допуске мероприятий по обеспечению безопасности производства работ.

Эксплуатационный персонал несет ответственность за сохранность временных ограждений рабочих мест, предупредительных плакатов и предотвращение подачи рабочего напряжения на отключенные токоведущие части, соблюдение членами бригады монтажников безопасных расстояний до токоведущих частей, оставшихся под напряжением.

Работой электромонтажной бригады должен руководить грамотный и опытный инженерно-технический работник подрядной организации, который должен правильно расставить людей и механизмы, обеспечить выполнение требований эксплуатационного персонала.

Важными элементами высокого качества и безопасности работ являются соответствующая квалификация и высокая дисциплинированность электромонтажного и эксплуатационного персонала. При отсутствии этих качеств даже самым тщательным образом разработанные ППЭР не гарантируют от производственного

травматизма, брака при монтаже дорогостоящего оборудования, подачи напряжения в зону производства работ.

Электромонтажные работы сопровождаются широким использованием различных строительных машин и механизмов (транспортных, грузоподъемных, землеройных и других). Все машины и механизмы должны соответствовать требованиям государственных стандартов по безопасности труда (иметь сертификат на соответствие требованиям безопасности). Инженерно-технические работники, ответственные за выполнение работ, и

рабочие, выполняющие такелажные или стропальные работы, должны быть аттестованы органами государственного надзора.

При размещении машин на монтажной площадке руководитель работ должен определить рабочую зону машины и границы создаваемой ею опасной зоны. При этом должна быть обеспечена обзорность рабочей зоны с рабочего места машиниста.

Транспортные средства и оборудование, применяемое для погрузочно-разгрузочных работ, должны соответствовать характеру перерабатываемого груза. Площадки для погрузочно-разгрузочных работ должны быть спланированы и иметь уклон не более 5°, а их размеры и покрытия - соответствовать ППЭР.

Для стесненных и опасных условий проведения работ должны регламентироваться вылет и угол поворота стрелы подъемно-транспортного средства, а при работе в охранной зоне линии электропередачи корпуса машин (за исключением машин на гусеничном ходу) должны быть заземлены при помощи инвентарного переносного заземления.

Выполнение работ в охранной зоне линии допускается при условии, если расстояние по воздуху от машины (механизма) или от ее выдвижной или подъемной части до ближайшего провода, находящегося под напряжением, будет не менее:

1,0 м - при напряжении линии до 35 кВ;

1,5 м - при напряжении линии 110 кВ.

2,5 м - при напряжении линии 220 кВ.

Техническое состояние всех транспортных средств должно соответствовать Правилам дорожного движения и Правилам охраны труда на автомобильном транспорте.

Выполнение на монтажной площадке отдельных видов работ, например сварочных, газопламенных, электротермических, должно осуществляться в соответствии с межотраслевыми правилами по охране труда при выполнении этих работ. К указанным работам относятся, в частности, укладка мягкой кровли на крыше закрытого распределительного устройства с использованием газовых горелок, прогрев силовых трансформаторов перед их испытанием после монтажа и другие работы.

В этих случаях должны быть приняты меры предупреждения пожара, а в отдельных случаях подрядчик или заказчик по заявке электромонтажной организации должны оповещать местную пожарную часть для ведения надзора за пожароопасными работами.

Тема 1.2. МОНТАЖ, НАЛАДКА ПРИБОРОВ ОСВЕЩЕНИЯ

Л4 Оптическая область спектра электромагнитных колебаний. Основные понятия и определения. Величины и единицы измерения.

Излучение — перенос энергии от излучающего тела к поглощающему. Понятие излучения можно определить как материю формы, имеющую массу покоя, равную нулю, и движущуюся в пространстве с постоянной скоростью.

Энергия излучения — количественная мера движения материи, представляет собой одну из качественных разновидностей энергии.

Свойства электромагнитных излучений от γ -излучений до диапазона радиоволн существенно различны и определяются в значительной мере энергией фотонов. Излучения с длинами волн в диапазоне от 1,0 нм до 1,0 мм выделены из общего спектра электромагнитных излучений и названы оптическим излучением. Они объединены общим названием «оптическое излучение», потому что принципы возбуждения оптического излучения, его распространение в пространстве и преобразования в другие виды энергии общие. В данный диапазон входят инфракрасное, видимое и ультрафиолетовое излучения.

Инфракрасное излучение (ИК) — излучение с длиной волны от 760 до 10^5 нм. Проникая в поверхностные слои тканей живого организма или растения, оно большую часть своей энергии расходует на образование теплоты. Глубина проникновения инфракрасного излучения в тело животного доходит до 2,5 мм, в зерно — до 1...2 мм, в сырой картофель — до 6 мм, в хлеб при выпечке — до 7 мм.

В сельском хозяйстве инфракрасные излучения используют для обогрева молодняка животных и птиц, сушки и дезинсекции сельскохозяйственных продуктов (зерно, фрукты, чай, хмель, табак и др.), пастеризации молока, сушки лакокрасочных покрытий и пропитанных изделий и т. д.

Видимое излучение (ВИ) — излучение, которое может вызвать непосредственно зрительное ощущение. Границы диапазона видимого излучения следующие: нижняя — 380 нм, верхняя — 760 нм. Излучение с длиной волны 550 нм, наилучшим образом воспринимаемое глазом человека, принято за единицу.

Излучение этого диапазона используют в сельском хозяйстве для создания рационального освещения в производственных и других сельскохозяйственных помещениях. Применяя электрическое освещение, обеспечивают необходимую производительность труда, требуемое качество продукции и безопасность работы обслуживающего персонала. В ряде производств оно важнейший производственный фактор: в птичниках — для увеличения светового дня, в теплицах — для дополнительного освещения растений и т. п.

Правильно выполненное освещение уменьшает зрительное и общее утомление работника, способствует поддержанию чистоты и порядка в производственных и жилых помещениях.

Видимое излучение представляет собой сочетание излучений семи основных цветов: красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего и фиолетового. Перед красными лучами в спектре находятся тепловые (инфракрасные) излучения, а за фиолетовыми — ультрафиолетовые.

Ультрафиолетовое излучение (УФ) — излучение с длинами волн 380... 10 нм. Свойства ультрафиолетового излучения зависят от длины волны. Поэтому весь ультрафиолетовый диапазон подразделяют на три условных поддиапазона: область А — 320...380 нм, область В — 275...320 нм и область С — 200...275 нм.

Длинноволновое УФ-излучение (область А) способно вызывать свечение некоторых веществ, поэтому его используют в основном для люминесцентного анализа химического состава и биологического состояния продуктов.

Средневолновое УФ-излучение (*область В*) оказывает сильное биологическое действие на живые организмы. Оно способно вызывать эритему (покраснение кожи) и загар, превращать в организме животных необходимый для роста и развития витамин D в усвояемую форму и обладает мощным антирахитным действием.

Коротковолновое УФ-излучение (*область С*) отличается сильным бактерицидным действием, поэтому его широко используют для обеззараживания воды и воздуха, для дезинфекции и стерилизации помещений, различного оборудования, инвентаря и посуды.

Энергия излучений носит название «лучистой энергии». Считают, что лучистая энергия передается в пространстве электромагнитными волнами, частота которых определяется энергией фотона, Дж:

$$\varepsilon = h \cdot \nu,$$

где $h = 6,624 \cdot 10^{-34}$ Дж·с - постоянная Планка;

ν - частота электромагнитных колебаний, с⁻¹.

Длина волны излучения λ , нм, и частота электромагнитных колебаний ν связаны между собой зависимостью:

$$\lambda = c / \nu,$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с - скорость света.

Передаваемая лучистая энергия Q от тела излучающего к телу поглощающему зависит от количества фотонов. Единица лучистой энергии — джоуль (Дж). Джоуль равен энергии излучения, эквивалентной работе 1 Дж.

В практических расчетах чаще необходимо знать не всю лучистую энергию, а лучистый поток Φ , который характеризует количество энергии, излучаемой источником в единицу времени t .

Поток излучения, Вт (Дж/с):

$$\Phi = dQ / dt.$$

Различают следующие формы преобразования поглощенной энергии излучения: фотоэффект — изменение электрического состояния поглощающего тела; фотолюминесценция — излучение энергии молекулами, возбужденными излучением; фотохимическое действие — изменение химического состояния тела, поглощающего излучение; фотобиологическое действие — изменение биологического состояния живого организма, подвергающегося излучению (облучению).

Для определения эффективных потоков по уровню реакции того или иного образцового приемника построены системы эффективных величин и единиц, облегчающие количественную оценку процессов преобразования энергии излучений и упрощающие расчеты, связанные с ее использованием.

В принятых системах эффективных величин (таблица 1) приемники излучения имеют избирательность и существенно отличаются спектральными характеристиками. Например, глаз человека и зеленый лист растения воспринимают излучения в почти одинаковом спектральном интервале. Однако то монохроматическое излучение, которое глаз воспринимает лучше всего (550 нм), для зеленого растения менее эффективно. Это говорит о том, что единицы и величины одной системы не могут быть использованы взамен единиц и величин другой, если неизвестны соотношения между ними. Соотношения эти существенно зависят от спектрального состава излучения.

В системе световых величин за единицу эффективного светового потока Φ_V , воздействующего на глаз человека, принят люмен (лм). При однородном излучении с длиной волны, равной 550 нм, 1 лм = 1/683 Вт. При другой длине волны 1 лм не будет равновелик мощности 1/683 Вт.

Существует и другое определение: *люмен* — это поток, излучаемый абсолютно черным телом площадью 0,5305 мм² при температуре затвердевания платины (2042 К). Упрощенно абсолютно черным считают тело, которое испускает излучения равномерно и в

одном направлении, все же приходящие излучения оно поглощает, то есть не обладает отражательной способностью.

Таблица 1 – Система принятых эффективных величин

Система эффективных величин	Стандартизованный приемник излучения	Область спектральной чувствительности, положение максимума, нм	Максимальная спектральная эффективность
Световых	Глаз среднего человека	380...760, 550	683 лм/Вт
Фотосинтезных	Зеленый лист среднего растения	300...800, 680	1фт/Вт
Витальных	Кожа среднего человека	280...390, 297	1вит/Вт
Бактерицидных	Бактерии	220...315, 254	1бк/Вт

Некоторое представление о значении люмена могут дать следующие примеры. Световой поток Φ_V , падающий на 1 м^2 поверхности земли летом при ясном небе, достигает 100 000 лм; световой поток лампы накаливания мощностью 100 Вт, напряжением 220 В составляет 1000 лм; световой поток лампы карманного фонаря равен примерно 6 лм.

Сила света I_V — пространственная плотность светового потока, то есть отношение светового потока Φ_V к значению телесного угла ω , в котором он равномерно распределяется:

$$I_V = \Phi_V / \omega.$$

Единица силы видимых излучений - *кандела*; 1кд=1 лм/1 ср.

Стерadian (ср) — это телесный угол, который имеет вершину в центре сферы (шара) и опирается на участок сферы с площадью, равной квадрату радиуса сферы. Другое определение, используемое в расчетах: кандела — это 1/60 силы света, испускаемого с 1 м^2 абсолютно черного тела при температуре затвердевания платины.

Светимость M_V — поверхностная плотность светового потока, испускаемого поверхностью, равная отношению светового потока Φ_V к площади светящейся поверхности S_n ,

$$M_V = \Phi_V / S_n$$

Единица светимости — *люмен на квадратный метр* (лм/м²).

Яркость L_V — поверхностная плотность силы света в заданном направлении, равная отношению силы света I_V к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную к тому же направлению:

$$L_V = I_V / S_n \cdot \cos \alpha$$

где α — угол между светящейся поверхностью и заданным направлением.

Единица яркости — *кандела на квадратный метр* (кд/м²).

Освещенность E_V — поверхностная плотность светового потока, то есть отношение светового потока Φ_V к площади S_0 , на которую он равномерно падает

$$E_V = \Phi_V / S_0$$

Единица освещенности — *люкс* (лк); 1 лк = 1 лм/м².

Светимость и яркость зависят от коэффициентов отражения освещаемых поверхностей. Освещенность не зависит от коэффициента отражения. Яркость связана с определенным направлением, а освещенность и светимость не связаны с направлением.

Физические представления о значениях некоторых величин могут дать следующие примеры: освещенность в хирургической операционной должна быть равна 3000 лк, при чтении книги — 50 лк; светимость чистого снега в солнечный полдень достигает 80 000 лм/м²; светимость вольфрамовой нити лампы накаливания мощностью 100 Вт, напряжением 220 В, при температуре нити $T = 2700\text{К}$ равна $17 \cdot 10^6$ лм/м²; яркость Солнца, находящегося в зените, составляет $150 \cdot 10^7$ кд/м², яркость белой бумаги при освещенности в 50 лк равна 0,05 кд/м².

В отличие от общей энергии излучения, измеряемой в джоулях, *световую энергию* лучше представить как произведение светового потока Φ_v на продолжительность его действий t , в люмен-секундах (лм·с):

$$Q_v = \Phi_v \cdot t$$

Световая отдача — это отношение светового потока источника света к мощности, потребляемой источником

$$\eta_v = \Phi_v / P$$

Единица световой отдачи — *люмен на ватт* (лм/Вт).

Л5 Источники излучения. Лампы накаливания. Принцип действия газоразрядных ламп низкого и высокого давления. Световые приборы.

Электрическим источником оптического излучения называют устройство, преобразующее электрическую энергию в лучистую энергию оптического спектра. По принципу работы все источники излучения подразделяются на *тепловые*, в которых используется свойство свечения нагретых тел (лампы накаливания и инфракрасные лампы), *газоразрядные*, в которых оптическое излучение возникает в результате электрического разряда в среде инертных газов, паров металлов и их смесей (ДРЛ, ДРТ, ДНаТ), *люминесцирующего действия* используют преобразованное излучение газового разряда, сначала в среде инертного газа происходит электрический разряд, при котором возникает невидимое ультрафиолетовое излучение, оно воздействует на порошок (люминофор), которым покрыта внутренняя поверхность колбы лампы, при этом воздействии люминофор начинает светиться, излучая видимый или любой другой заданный параметрами люминофора спектр (ЛД, ЛБ), *светодиодные лампы* преобразуют электрическую энергию в оптический спектр за счет специально подобранных составов полупроводников, светящихся при обратном токе.

Лампа накаливания (рисунок 2) состоит из стеклянной колбы, внутри которой на крючках закреплена вольфрамовая нить. Напряжение к нити подводится двумя электродами, один из которых соединен с центральной частью, а другой — с резьбой цоколя.

Стеклянная колба лампы специальной мастикой закреплена в цоколе. Диаметр и форма колбы определяют мощность и особенности изготовления лампы. Цоколь предназначен для включения лампы в сеть и может быть в зависимости от назначения лампы резьбовым (тип Е), шрифтовым одноконтakтным (тип ВS), шрифтовым двухконтakтным (тип ВD), цилиндрическим софитным (тип SV) и фокусирующим (тип Р).

Внутри колбы расположена стеклянная ножка, состоящая из линзы, на которой закреплены крючки-держатели, штабика и лопаточки. Стеклянная ножка заканчивается тарелочкой, внутри которой имеется пустотелая стеклянная трубка (штенгель), предназначенная для откачки воздуха из колбы через откачное отверстие и заполнения ее инертным газом. Ножка служит опорой для тела накала при запаянном штенгеле.

Для получения видимого излучения в лампах накаливания применяется нагрев тела, в частности нагрев электрическим током вольфрамовой нити до температуры от 2800...3200 К.

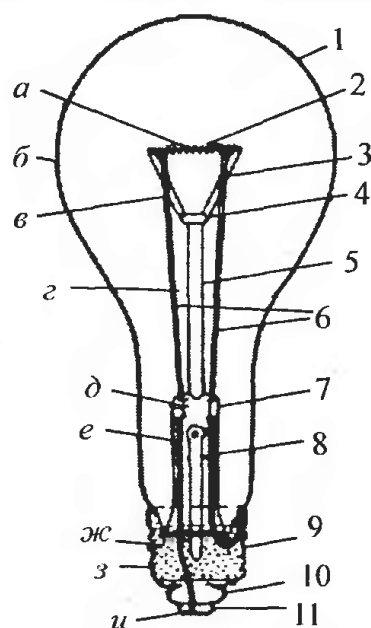


Рисунок 2 - Конструкция лампы накаливания:

1 – колба; 2 – спираль; 3 – крючки; 4 – линза; 5 – штабик; 6 – электроды; 7 – лопатка; 8 – штенгель (стержень); 9 – цоколь; 10 – изолятор; 11 – нижний контакт.

Материал: *а* – вольфрам; *б* – стекло; *в* – молибден; *г* – никель; *д* – медь, сталь, никель; *е* – медь; *ж* – цокольная мастика; *з* – латунь или сталь; *и* – свинец, олово.

Вольфрам является тугоплавким металлом (его температура плавления порядка 3600 К) и обладает достаточно высокой пластичностью и низкой скоростью испарения. Следует иметь в виду, что при увеличении температуры тела накала светотехнические характеристики источника света улучшаются, однако при этом сокращается срок службы лампы, т. к. под влиянием высокой температуры происходит интенсивное испарение вольфрамового тела накала. Нить накала при этом становится тоньше, испарившиеся части вольфрама оседают на внутренней поверхности колбы, вызывая ее потемнение, при этом снижается световой поток и в конечном итоге лампа перегорает. Поэтому температура тела накала имеет значение ниже температуры плавления металла, из которого оно изготовлено.

Для исключения окисления металла, лампы накаливания выполняются вакуумными. Для увеличения срока службы и повышения световой отдачи лампы, а также стабильности ее светового потока стремятся снизить скорость испарения материала тела накала. С этой целью колбы ламп накаливания наполняют аргон-азотной или криптон-ксеноновой смесью (газонаполненные лампы). Давление газа в наполненных колбах может достигать 0,08 МПа, но не превышает 0,1 МПа. Кроме того, для уменьшения распыления вольфрама и теплоотдачи, уменьшают размеры нити, сворачивая ее в плотную винтовую спираль (моноспираль), а затем в биспираль (спираль, навитую из спирали).

Лампы общего назначения выпускаются мощностью до 100 Вт на разные номинальные напряжения от 12 до 230 В. Лампы рассчитаны на напряжение, в пределах диапазона, указанного в типе лампы.

Маркировка ламп накаливания содержит следующие элементы:

Первый элемент (от 1 до 4 букв) – характеризует лампу по важнейшим физическим и конструктивным особенностям: В – вакуумная моноспиральная; Г – газополная моноспиральная; Б – газополная биспиральная; К – лампы с криптоновым наполнением; МЛ – с матированной колбой; МЛ – в колбе молочного цвета; О – с опалиновой колбой и т.д. Некоторые специальные виды ламп не имеют первого элемента в обозначении.

Второй элемент (1 – 2 буквы) – определяет назначение лампы А – автомобильная; Ж – железнодорожная; КМ – коммутаторная и т.д.

Третий элемент (цифры) – определяет номинальное напряжение (либо диапазон напряжения питания) в вольтах и через дефис (в зависимости от принятой маркировки и данного вида лампы) – номинальную мощность, Вт; силу света, кд; ток, А, или световой поток, лм.

С ростом температуры нити в соответствии с законом Стефана-Больцмана плотность излучения увеличивается пропорционально абсолютной температуре в четвертой степени и согласно закону Вина максимум излучения нити смещается в сторону более коротких длин волн, то есть в сторону видимого излучения, а это значит, что световой поток лампы растет с увеличением напряжения. Совершенно очевидно, что световой поток растет быстрее напряжения, так как лучистый поток пропорционален температуре в четвертой степени. По той же причине увеличение светового потока происходит быстрее повышения мощности лампы. А это значит, что световая отдача лампы будет расти при увеличении напряжения. Срок службы лампы с повышением напряжения снижается из-за увеличения скорости испарения частиц вольфрама.

При включении в электрическую сеть лампа накаливания светится. Это можно объяснить следующим образом. До включения лампы под напряжение все ее элементы, и нить накаливания в том числе, находятся при температуре окружающей среды, например 20 °С. При такой температуре нить излучает в окружающее пространство энергию в оптическом диапазоне (по закону Стефана-Больцмана), но это излучение приходится на инфракрасные лучи, которые глаз человека не видит.

После включения лампы под напряжение протекающий по цепи ток в соответствии с законом Джоуля-Ленца нагревает нить и все токоведущие части. Самое большое сопротивление в цепи имеет нить, и поэтому она нагревается значительно сильнее, чем, например, подводящие провода. Температура нити повышается до 2880 – 2950 К, то есть возрастает примерно в 10 раз. Согласно закону Стефана-Больцмана плотность излучения нити при этом возрастает в раз.

Широкое распространение получили галогенные лампы накаливания (ГЛН), в колбу которых добавлен галоген (обычный йод), за счет чего в них осуществляется вольфрамно-галогенный цикл. Под таким циклом понимают комплекс физических и химических процессов, в результате которых частицы вольфрама, испарившиеся с тела накала, возвращаются с помощью галогенов из области более низких температур в область более высоких. Назначение цикла – предотвращение почернений колбы под действием испарившегося с тела накала вольфрама, то есть сохранение ее прозрачности на протяжении всего срока горения лампы, а также регенерация вольфрамовой спирали. Однако, хотя благодаря галогенному циклу общая масса вольфрамового тела накала остается практически постоянной в процессе горения, нить лампы с течением времени в одних местах уменьшается, а в других – утолщается, то есть процесс перегорания галогенных ламп подобен этому процессу в обычных лампах накаливания.

Лампы общего назначения выпускаются мощностью до 100 Вт на разные номинальные напряжения от 12 до 230 В. Лампы рассчитаны на напряжение в пределах диапазона, указанного в типе лампы.

Спектр излучения ламп характеризуется преобладанием потока в желтой и красной областях и практически отсутствием энергии в синей области.

Газоразрядные источники предназначены для получения оптического излучения в результате электрического разряда в газах, парах веществ или смесях. Они обладают более высоким световым КПД, чем источники, основанные на тепловом излучении.

К газоразрядным или просто **разрядным** источникам света относятся все **люминесцентные лампы** (в том числе компактные и безэлектродные), **металлогалогенные, натриевые** высокого и низкого давления, **ксеноновые, неоновые** и другие.

Все разрядные лампы делятся на три группы: **низкого, высокого и сверхвысокого** давления. Эти группы достаточно сильно различаются по физике протекающих в них процессов, параметрам, областям применения.

Электрический разряд в лампе

Возникновение электрического разряда между двумя электродами, к которым подведено напряжение в ограниченном объеме среды, заполненной инертным газом или небольшим количеством металла с высокой упругостью паров, определяется перемещением свободных электронов и ионов, всегда присутствующих в газе. В результате этого воздействия происходит перемещение ионов к катоду, а электронов – к аноду, т.е. протекает электрический ток.

Процесс прохождения электрического тока в газообразной среде существенно отличается от протекания тока в металлах и электролитах. Электрический пробой газа или пара и протекание в результате этого тока отличается от соответствующего явления и в диэлектриках. Если в последних электрический пробой приводит к их разрушению и превращению полностью или частично в проводник, то газ или пар восстанавливает свои свойства при снятии электрического поля, если в результате пробоя не произошла химическая реакция. Характер и механизм электрического разряда в газах или парах металлов зависят главным образом от свойств среды, приложенного напряжения и плотности тока.

Возникновение световых излучений происходит за счет энергии столкновения электронов с атомами при движении их к аноду. В зависимости от кинетической энергии движущегося электрона в момент соударения с атомом различают три вида столкновений: *упругий удар, возбуждение атома и ионизация*.

Трубчатые люминесцентные лампы низкого давления (рисунок 3) получившие широкое применение в осветительных установках, существенно отличается от ламп накаливания по всем своим характеристикам. В основе действия люминесцентных источников света лежат различные способы превращения отдельных видов энергии в оптическое излучение. В современных источниках света используются электролюминесценция (оптическое излучение атомов, ионов, молекул жидких и твердых тел под действием ударов электронов, ионов, ускоренных в электрических полях, до энергий, достаточных для возбуждения) и фотолюминесценция (оптическое излучение, возникающее при поглощении оптического излучения другого источника).

Люминесцентная лампа представляет собой запаянную с обоих концов стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором (люминофоры – твердые и жидкие вещества, способные излучать свет под действием различного рода возбуждений). Из трубки откачан воздух, и она заполнена аргоном при давлении 400 Па с добавлением капельки ртути (60 – 120 мг), которая при нагревании превращается в ртутные пары. Назначение аргона состоит в уменьшении распыления покрытия электродов и облегчения зажигания разряда. При разряде возбуждаются и излучают только атомы ртути.

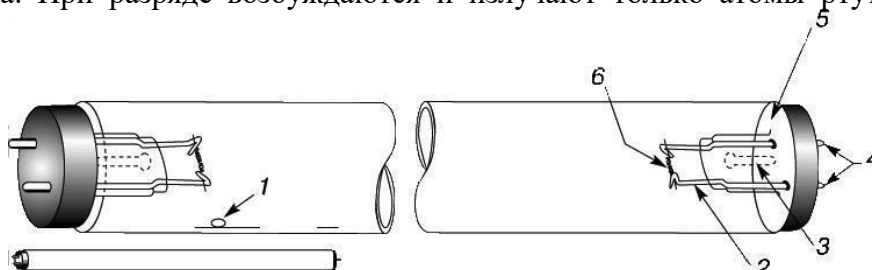


Рисунок 3 - Общий вид ртутной люминесцентной лампы низкого давления:

1 - ртуть; 2 - штампованная стеклянная ножка с электровводами; 3 - трубка для откачки (при изготовлении); 4 - выводные штырьки; 5 - концевая панелька; 6 - катод с эмиттерным покрытием

Внутри трубки на ее концах в стеклянных ножках впаяны электроды с вольфрамовой биспиральной нитью, покрытой слоем оксидов щелочноземельных металлов

(бария, кальция, стронция), способствующих более интенсивному излучению электронов (эмиссию электронов). По концам лампа имеет короткие цоколи с полыми штырьками, служащими для включения ее в электрическую сеть. Изнутри к штырькам припаяны выводы электродов.

Когда к противоположным электродам подводится напряжение определенной величины, возникает электрический разряд в газовой среде лампы, с выделением теплоты, под действием которой ртуть испаряется. Такой разряд сопровождается мощным ультрафиолетовым излучением, часть которого люминофор преобразует в видимое излучение. Выбором и качеством люминофора определяется цвет излучаемого света и эффективность работы лампы.

Люминофор, применяемый в люминесцентных лампах, представляет собой порошкообразное вещество. Световые свойства лампы в значительной степени зависят от размера зерен, толщины и структуры слоя. Обычно на 1 см^2 поверхности наносится 2...3 мг люминофора. Слой люминофора работает на просвет, т.е. возбуждается излучением газового разряда изнутри, а излучает в окружающее пространство.

Основными свойствами люминофора являются следующие:

- спектр поглощения люминофора расположен в зоне меньших длин волн, чем спектр его излучения;
- спектр излучения люминофора не зависит от характера спектра поглощенного излучения и является сплошным;
- спектр излучения люминофора определяется только его химическим составом и не зависит от спектра поглощенного излучения.

Маркировка люминесцентных ламп основана на буквенном обозначении конструктивных признаков. Первая буква – Л – люминесценция, следующие буквы обозначают либо цвет излучения, либо особенности спектра излучения: ТБ – тепло- белая; Б – белая; ХБ – холодно-белая; Д – дневная; Е – естественно-белая; УФ – ультрафиолетовая; К, С, З, Г – соответственно красная, синяя, зеленая и голубая; Ф – фотосинтетическая. Следующие буквы обозначают конструктивные признаки: Р – рефлекторная; У – дугообразная; К – кольцевая; Б – быстрого запуска; А – амальгамная. Лампы с улучшенной цветопередачей имеют в своем обозначении букву Ц. Сразу после буквенного обозначения следует цифры, указывающие номинальную мощность лампы в ваттах (через тире может быть указан порядковый номер разработки).

Изменение величины напряжения на зажимах лампы приводит к изменению ее электрических и световых характеристик. С ростом подаваемого на схему напряжения, ток в цепи увеличивается. В соответствии с падающей ВАХ лампы напряжение на ней падает. Мощность лампы увеличивается, так как напряжение снижается медленнее, чем повышается ток.

Световой поток лампы с увеличением напряжения также увеличивается, но медленнее, чем мощность, т.е. светотдача лампы при этом уменьшается. Это объясняется насыщением люминофорного покрытия. Все частицы люминофора участвуют в процессе преобразования ультрафиолетового излучения разрядного промежутка в видимое уже при нормальном напряжении. Поэтому повышение мощности разряда увеличивает ультрафиолетовый поток, но видимый поток возрастает медленнее мощности. Наибольший срок службы лампы будет при работе на номинальном напряжении. При снижении напряжения для зажигания лампы требуется большее число срабатываний стартера. Возникающее при этом импульсное воздействие тока разрушает оксидное покрытие электродов и снижает срок службы лампы. При повышении напряжения, повышается плотность тока на электродах, также происходит к их преждевременному разрушению и снижению срока службы лампы.

Основными **достоинствами** люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания являются: более благоприятный спектральный состав излучения; значительно

более высокая (в 4...6 раз для ламп одинаковой мощности) световая отдача; значительно меньшая яркость; большой срок службы.

Наряду с этим у люминесцентных ламп имеются и **недостатки**: более сложная схема включения в сеть, требующая дополнительной пускорегулирующей аппаратуры; зависимость показателей работы от условий окружающей среды; пульсации светового потока, вызывающая явление стробоскопического эффекта; сравнительно малая единичная мощность ламп; меньшая надежность в работе.

Для зажигания и горения ламп необходимо включение последовательно с ним пускорегулирующих аппаратов. Существуют стартерные и бесстартерные ПРА, причем в первых начальный подогрев электродов обеспечивается кратковременным замыканием контактов стартера, включенного параллельно лампе, во-вторых – подачей на электроды напряжения от специальных устройств, построенных на базе схем умножения напряжения, накальных трансформаторов и т.п. Стартерные схемы включения люминесцентных ламп (рисунок 4) получили большее распространение, поскольку достаточно просты, имеют малые потери мощности и меньшую стоимость по сравнению с бесстартерными схемами.

Однако наличия стартера иногда может приводить к «миганиям» и выходу из строя ламп. Кроме того, при пониженной температуре, если электроды лампы не успели как следует прогреться, лампа может не зажечься. Существуют различные типы стартеров. Наиболее распространенным является стартер тлеющего разряда, представляющий собой небольшую газоразрядную лампу тлеющего разряда в стеклянной колбе, заполненной смесью инертных газов (60% аргона, 28,8% неона и 11,2% гелия). Стеклянная колба помещена в пластмассовый или металлический корпус. Один из электродов стартера жесткий, неподвижный, изготовленный из никеля, а второй – подвижный, представляющий собой биметаллический элемент состоящий из двух пластин с различными коэффициентами линейного расширения (существуют конструкции стартера с двумя подвижными контактами).

В момент включения схемы в сеть (рисунок 5) к электродам лампы **1** и стартера **2** приложено полное сетевое напряжение, так как тока в цепи нет и потеря напряжения на дросселе **3** отсутствует.

Пока электроды лампы не нагрелись, напряжения сети недостаточно для зажигания лампы, однако достаточно для зажигания стартера. В стартере возникает разряд и в схеме протекает ток по цепи: сеть – первый электрод лампы – стартер – второй электрод лампы – дроссель – сеть.

Значение тока в этот момент составляет всего лишь сотые доли ампера, поэтому электроды лампы сильно разогреться не могут. Но для нагрева биметаллического электрода в стартере достаточно теплоты, выделяющейся при разряде.

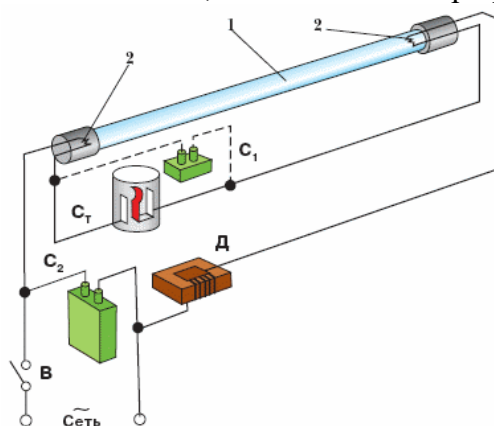


Рисунок 4 – Схема включения люминесцентной лампы: **1** – стеклянная трубка; **2** – электроды; **C_T** – стартер; **C₁** и **C₂** – конденсаторы; **Д** – дроссель; **В** – выключатель

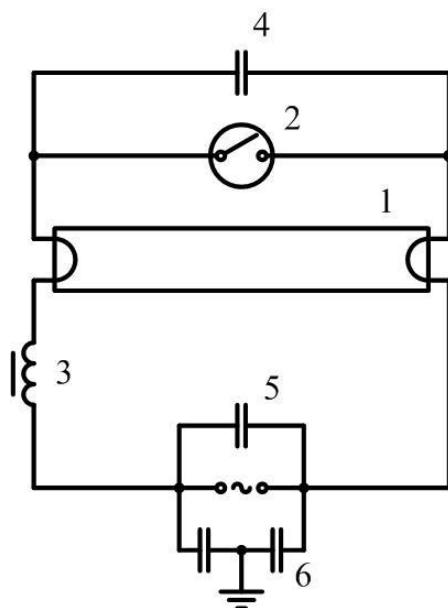


Рисунок 5 – Стартерная схема включения люминесцентной лампы

В результате нагрева биметаллическая пластина изгибается и замыкает стартер накоротко. При этом ток в цепи возрастает до $0,5 - 0,6$ А и электроды лампы быстро разогреваются. Поскольку тлеющий разряд, сопровождающийся выделением теплоты, в стартере при замыкании электродов прекращается, электроды стартера начинают остывать и размыкаются. Мгновенный разрыв цепи вызывает появление ЭДС на дросселе в виде мгновенного пика напряжения. При этом лампа, электроды которой уже раскалены, зажигается. После зажигания лампы в ее цепи устанавливается рабочий ток. Напряжение на зажимах лампы составляет около половины подведенного, остальная часть напряжения теряется на дросселе. Следовательно, в нормальном режиме работы лампы на зажимах стартера напряжение составляет примерно половину напряжения сети, что недостаточно для его повторного срабатывания.

Для устранения ряда недостатков, сопровождающих работу газоразрядных ламп, в схему вводятся конденсаторы 4 – 6. Параллельно электродам стартера включается конденсатор 4, назначение которого состоит в уменьшении амплитуды и увеличении длительности импульса напряжения, что способствует надежному зажиганию лампы. Кроме того, этот конденсатор снижает уровни радиопомех, возникающих при включении лампы. Параллельно лампе включается конденсатор 5. Он предназначен для повышения коэффициента мощности схемы. Также параллельно лампе подключается конденсаторы 6, средняя точка которых соединяется с корпусом светильника. Они предназначены для подавления радиопомех, распространяющихся по сети.

Ртутные лампы высокого и сверхвысокого давления являются самой распространенной и многочисленной группой источников света среди разрядных ламп этого типа. Это связано с тем, что при помощи ртутного разряда удастся создавать весьма эффективные источники в УФ, видимой и близкой ИК областях спектра, различной мощности, достаточно компактные, со сроками службы в десятки тысяч часов, обладающим при необходимости весьма высокими яркостями.

Конструктивно газоразрядные лампы высокого давления отличаются от газоразрядных ламп низкого давления меньшими размерами и отсутствием подогревных электродов.

Дуговая ртутная лампа типа ДРЛ (рисунок 6) состоит из кварцевой трубки (горелки), расположенной в стеклянной колбе, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем люминофора, способного преобразовывать ультрафиолетовое излучение, сопровождающее дуговой разряд в трубке, в видимый свет, пригодный для освещения. В трубку, выполненной из кварцевого стекла, впаяны два основных вольфрамовых электрода, покрытых активированным слоем и подсоединенных к центральной части

цоколя лампы, и два дополнительных электрода (зажигающих). В трубке имеется капелка ртути (25 – 165 мг). После откачки воздуха для поддержания стабильности свойств люминофора колба заполняется чистым инертным газом (аргоном).

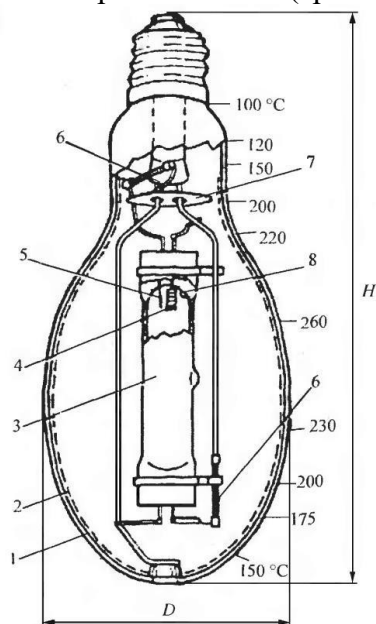


Рисунок 6 - Конструкция лампы типа ДРЛ: 1 – внешняя стеклянная колба; 2 – слой люминофора; 3 – разрядная трубка из кварцевого стекла; 4 – рабочий электрод; 5 – зажигающий электрод; 6 – ограничительные резисторы в цепи зажигающего устройства; 7 – экран; 8 – ртуть. Цифры справа на колбе – температуры колбы ламп ДРЛ мощностью 400 Вт

Такая конструкция позволяет эффективно зажигать четырехэлектродную лампу от питающей сети напряжением 220 В. Приведенная на рисунке 7 схема включения применяется для ламп, у которых напряжение зажигания U_z меньше напряжения сети U_c , а рабочее напряжение на лампе U_l таково, что $U_l / U_c \leq 0,7$. При данном соотношении напряжений обеспечивается надежное зажигание лампы. Каждый зажигающий электрод через резистор R , расположенный внутри наружного баллона, подключается к противоположному рабочему электроду. Резистор R ограничивает ток вспомогательного разряда и уменьшает ток утечки через зажигающие электроды лампы.

При подаче определенной величины напряжения к электродам лампы в трубке возникает электрический разряд, сопровождающийся ультрафиолетовым излучением ртутных паров с синеватым оттенком. Указанное излучение, воздействуя на люминофор, вызывает его свечение, имеющее красный цвет. Суммарный цвет светового излучения лампы складывается из излучений ртутного разряда и люминофора, приближаясь к белому.

Благодаря наличию внешней колбы, светотехнические характеристики лампы типа ДРЛ практически не чувствительны к температуре окружающего воздуха в отличие от люминесцентных ламп низкого давления. Они надежно работают при температуре окружающего воздуха от -30 до $+40$ °С. Влияние температуры окружающего воздуха сказывается в основном на напряжении зажигания лампы и времени ее разгорания.

При эксплуатации осветительных установок допускается любое положение ламп типа ДРЛ. Однако при горизонтальном положении дуга в горелке из-за конвекционных потоков газов слегка выгибается вверх. Это приводит к некоторому снижению мощности, световой отдаче и срока службы лампы.

Четырехэлектродные дуговые ртутные люминесцентные лампы высокого давления с люминофорным покрытием на колбе выпускаются в пределах мощностей 80 – 2000 Вт и имеют световую отдачу 40 – 60 лм/Вт. Световая отдача возрастает с увеличением

единичной мощности, но для наиболее применяемых в установках внутреннего освещения ламп мощностью 400 – 1000 Вт почти одинакова.

Срок службы лампы равен 12 – 20 тыс.ч, причем к концу этого срока световой поток снижается до 70% от начального. Лампы включаются через индуктивные ПРА, потери мощности которой составляет около 10%. Коэффициент мощности комплекта «лампа – ПРА» составляет в среднем 0,5.

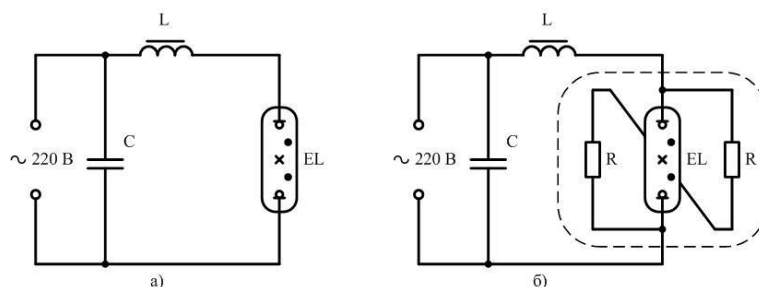


Рисунок 7 - Простейшая схема включения лампы типа ДРЛ: а – двухэлектродная; б – четырехэлектродная

Эффективное светораспределение, экономичность, надежность, удобство эксплуатации осветительных установок в значительной степени зависят от применяемых типов осветительных приборов (светильников).

Устройство. Светильник состоит из двух главных частей: источника света и оптического устройства, перераспределяющего световой поток источника в пространстве (отражатель, рассеиватель, преломитель). Кроме того, светильник может иметь устройства для коммутации и стабилизации электрического тока (ПРА), для крепления источника света и самого светильника. Светильник ограничивает слепящее действие лампы, а также защищает ее от воздействия окружающей среды и, наоборот, защищает эту среду от пожара или взрыва.

Классификация. Светильники различают по распределению светового потока лампы между верхней и нижней полусферами: прямого света — не менее 90 % потока излучается в нижнюю полусферу; преимущественно прямого света — от 60 до 90 % потока излучается в нижнюю полусферу; отраженного света — более 90 % потока излучается в верхнюю полусферу.

По форме кривой светораспределения в нижней полусфере светильники преимущественно бывают глубокого, среднего, равномерного, широкого светораспределения.

Коэффициент полезного действия светильника равен отношению светового потока светильника к световому потоку помещенных в него ламп ($\Sigma\Phi_{\text{л}}$):

$$\eta_c = \frac{\Phi_c}{\Sigma\Phi_{\text{л}}}.$$

По исполнению светильники бывают: открытые — лампа не отделена от внешней среды; закрытые — лампа и патрон отделены от внешней среды оболочкой без уплотнений; влагозащищенные — с уплотнением, защищающим от проникновения влаги внутрь светильника; пылевлагонепроницаемые — с уплотнением, защищающим лампу и токоведущие части от попадания пыли и влаги; взрывозащищенные — с уплотнением, предохраняющим выход наружу пламени или искры.

Для светильников принята международная классификация по защите от воздействия пыли и воды IP. В технической литературе существует и другая классификация этой защиты — двузначное число, у которого первая цифра обозначает степень защиты светильника от пыли, вторая — от воды. Открытые светильники по защите от пыли обозначают цифрой 2, перекрытые — 2*, полностью пылезащищенные — 5, частично защищенные — 5*, полностью пыленепроницаемые — 6, частично пыленепроницаемые — 6*. Степень защиты от воды: 0 — незащищенные, 2 —

каплезащищенные, 3 — дождезащищенные, 4 — брызгозащищенные, 5 — струезащищенные.

Обозначения. Для маркировки светильников используют единую систему. Первая буква обозначения указывает используемый в светильнике источник света: Н — лампы накаливания общего применения, Р — ртутные лампы типа ДРЛ, Л — люминесцентные трубчатые, И — кварцевые галогенные, Г — ртутные типа ДРИ, Ж — натриевые лампы, К — ксеноновые. Вторая буква в шифре — способ установки светильника: С — подвесные, П — потолочные, Б — настенные, В — встраиваемые и т. д. Третья буква — назначение светильника: П — для промышленных предприятий, О — для общественных зданий, У — для наружного освещения улиц, Р — Рудничный, Б — бытовой. Следующее двузначное число обозначает номер серии, а числа далее — число ламп в светильнике, мощность ламп в ваттах, номер модификации.

Последние буква и цифра обозначают климатическое исполнение (У — для районов с умеренным климатом, Т — для районов с тропическим климатом и т. д.) и категорию размещения светильников: 1 — на открытом воздухе, 2 — под навесом и т. п., 3 — в закрытых неотапливаемых помещениях, 4 — в закрытых отапливаемых помещениях.

Пример полного обозначения светильника: НСП 03-1×60-002-УЗ — светильник с одной лампой накаливания (Н) мощностью 60 Вт, подвесной серии 03 (С), модификации 002, рассчитан для работы в районах с умеренным климатом (У) в закрытых неотапливаемых помещениях (З) промышленных предприятий (П).

Часто в различных рабочих перечнях и таблицах последние обозначения не приводят: НСП 03-1×60 или не приводят номер модификации: НСП 03-1×60-УЗ.

Иногда в обозначении светильника может быть показан тип кривой силы света светового потока (Д — косинусная и др.), распределение светового потока в верхней и нижней полусферах [прямого (П) и преимущественно прямого (Н) типа и др.], а также степень защиты светильника — 23, 53 и т. д.

Применение. Многие современные светильники рассчитаны на применение сетевых проводников как с медными, так и с алюминиевыми жилами с площадью поперечного сечения до 4 мм², которые присоединяют или к вводному устройству, или к зажимам на корпусе светильника.

Требования, предъявляемые к эксплуатации светильников, зависят от размеров помещений, характера светотехнической задачи, условий окружающей среды и др.

Сельскохозяйственные производственные помещения по сравнению с промышленными помещениями имеют низкую естественную освещенность, очень малую высоту потолка по отношению к длине и ширине, наличие агрессивных газов, низкий коэффициент отражения потолка (в большей части животноводческих помещений он вообще отсутствует), тяжелые температурно-влажностные условия. Эти особенности сельскохозяйственных производственных помещений, особенно животноводческих и птицеводческих, определяют светотехнические и конструктивные данные применяемых в сельском хозяйстве светильников в отношении экономичности, надежности, правильного светораспределения и спектрального состава.

В сельскохозяйственных производственных помещениях с нормальной средой, например в мастерских, гаражах, отапливаемых складах, применяют светильники общепромышленного исполнения, предназначенные для аналогичных помещений в промышленности.

Л6 Монтаж, наладка приборов освещения. Точечный метод расчета освещения. Расчет освещения методом светящихся линий. Схемы и условные обозначения. Чтение схем

Схемы включения светильников. В осветительных трехфазных сетях с заземленной нейтралью 380/220 В применяют однофазные и трехфазные групповые линии и реже — двухфазные (рисунок 8). Защитные и отключающие аппараты устанавливают только в цепях

фазных проводов. Исключение составляют двухпроводные цепи с нулевым рабочим проводом, прокладываемые во взрывоопасных зонах класса В-I, в которых защищают от токов КЗ как фазный, так и нулевой рабочий провод. При этом для заземления прокладывают третий провод. На таких линиях плавкие предохранители устанавливают как на фазном, так и на нулевом проводе, а для одновременного отключения фазного и нулевого проводов применяют двухполюсные выключатели (рисунок 8, б).

В помещениях большой протяженности (галереях, складах), имеющих два выхода, часто применяют схему включения ламп из двух мест, позволяющую включить освещение при входе и отключить его при выходе из другого конца помещения (рисунок 8, д)

Управление общим освещением может быть: местным — выключателями, установленными при входе в помещения (внутри или снаружи); централизованным — с осветительных щитков, обычно автоматическими выключателями, защищающими групповые линии; дистанционным — магнитными пускателями, контакторами, управляемыми из одного места, где имеется постоянное дежурство обслуживающего персонала (диспетчерский пункт, электромашинное помещение и т. п.), применяемое в крупных производственных зданиях при питании освещения от нескольких подстанций; автоматическим — обеспечивающим включение и отключение освещения без участия человека по заданному суточному режиму (в определенные часы или с наступлением темноты и рассвета), применяемое в наружном освещении, освещении лестничных клеток и коридоров жилых и административных зданий, а также на некоторых предприятиях.

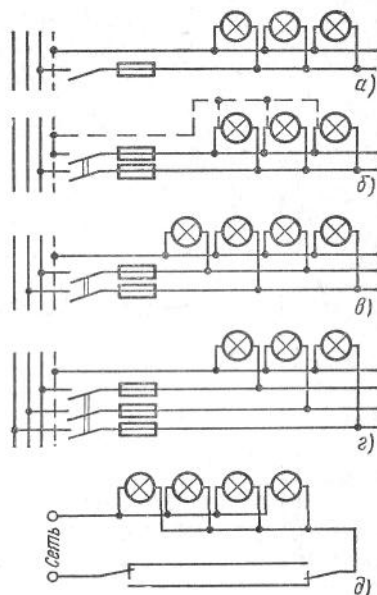


Рисунок 8 — Схемы включения групповых линий в трехфазных сетях с заземленной нейтралью и схема управления светильниками из двух мест:

- а — двухпроводная однофазная линия; б — двухпроводная однофазная линия с третьим проводом для заземления; в — трехпроводная двухфазная линия;
- г — четырехпроводная трехфазная линия; д — схема управления светильниками из двух мест.

Монтаж осветительных установок должен осуществляться в соответствии с проектом. Стандартом установлены состав и правила оформления рабочих чертежей внутреннего электрического освещения помещений, зданий и сооружений всех отраслей промышленности и народного хозяйства, обязательные для применения всеми организациями, выполняющими рабочую документацию внутреннего электрического освещения.

Предприятия электромонтажных организаций изготавливают электромонтажные изделия, позволяющие свести работы по монтажу выключателей, штепсельных розеток и светильников к сборке готовых конструкций и креплению их к строительным элементам зданий.

При строительстве зданий, в особенности крупнопанельных, в них, как правило, предусматривают все отверстия, ниши и закладные части для установки осветительного оборудования и прокладки осветительных сетей. Так, выключатели и штепсельные розетки при скрытой проводке устанавливают в готовых нишах, коробках или стаканах, с креплением при помощи шурупов, винтов или имеющихся на них распорных лапок.

Подвесные светильники прикрепляют к перекрытиям на крюках. Заводы изготавливают несколько видов крюков и других приспособлений для крепления светильников к перекрытиям, выполненным как из многопустотных плит, так и монолитной конструкции (рисунок 9). Крюки и шпильки с поворотными планками позволяют завести их в отверстие в перекрытии и закрепить в нем снизу, что значительно облегчает их установку. В соответствии с требованиями к подвеске светильников с металлическими корпусами в жилых и общественных зданиях конец крюков должен быть покрыт изоляцией.

Для закрытия отверстия в перекрытиях в месте вывода проводов к светильнику применяют пластмассовые потолочные розетки. Соединение проводов сети и светильника в этих случаях выполняют с применением колодок зажимов.

Подвесные светильники к стенам, колоннам и фермам крепят с помощью различного вида кронштейнов, стоек, обхватов и подвесов. Для этих целей заводы изготавливают как комплектные кронштейны, так и отдельные узлы и детали, позволяющие комплектовать различного рода конструкции (кронштейны, подвесы, обхваты для крепления) для установки светильников с люминесцентными лампами, лампами ДРЛ и накаливания.

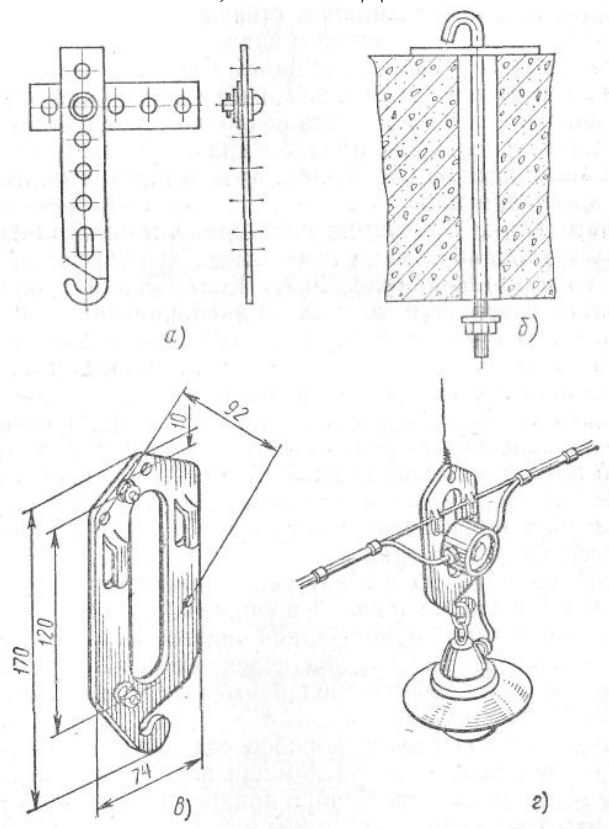


Рисунок 9 – Установка светильников:

а - крюк для подвески светильника к перекрытию из пустотных плит; б—шпилька для крепления светильника к перекрытию из сплошных плит; в — подвес для крепления светильника на тросе; г —общий вид подвески светильника на тросе

Светильники в цехах на переходных и специальных мостиках устанавливают на поворотных кронштейнах, укрепленных на стойках (рисунок 10). Конструкция кронштейна позволяет в процессе монтажа и эксплуатации приподнять кронштейн на 45° , повернуть на себя светильник и легко сменить лампы, произвести чистку отражателя. Провода светильника к сети присоединяют при помощи штепсельного разъема. На стойке предусмотрена система отверстий, позволяющая регулировать высоту размещения

светильников по высоте, установить на стойке ПРА и ответвительную коробку со штепсельным разъемом. При тросовой проводке светильники подвешивают к тросу и фермам при помощи подвесок (рисунок 9, в и г).

При однорядной и двухрядной подвеске люминесцентных светильников на тросах, под перекрытиями и у стен, для прокладки проводов питания применяют стальные короба типа КЛ (рисунок 11).

Двухметровые секции коробов соединяют между собой в непрерывную линию при помощи патрубков, имеющихся на одном из их торцов. Короба прикрепляют к перекрытию, стене или тросу при помощи кронштейнов, скоб и подвесов. Кронштейны изготовляют двух типов — неповоротные и поворотные. Поворотный кронштейн имеет поворотную головку, позволяющую закрепить короб и светильники под углом до 45° . Светильники к сети подсоединяют при помощи сжимов без резания магистральных проводов, проложенных в коробе. Непрерывность цепи заземления коробов обеспечивается сваркой планок на концах секций. Для питания электроэнергией и установки светильников в цехах промышленных предприятий применяют комплекты штепсельные осветительные шинопроводы ШОС.

Общим недостатком при монтаже светильников, расположенных в линию с применением коробов КЛ, лотков НЛ и шинопроводов ШОС, является необходимость их крепления к опорам через каждые 2 м.

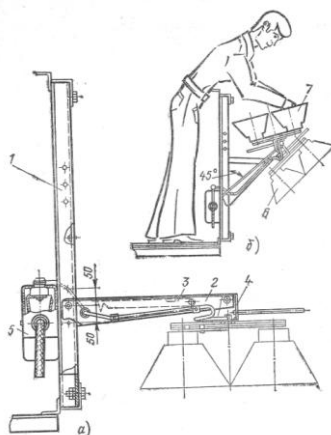


Рисунок 10 — Кронштейн для крепления двух люминесцентных светильников на мостике: а - рабочее положение; б - ремонтное положение; 1 — стойка с крепежными лапками; 2 — консоль с поворотным крюком; 3 — крюк; 4 — траверса шарнирная; 5 — ответвительная коробка со штепсельным разъемом; 6 - промежуточное положение; 7 - положение для обслуживания.

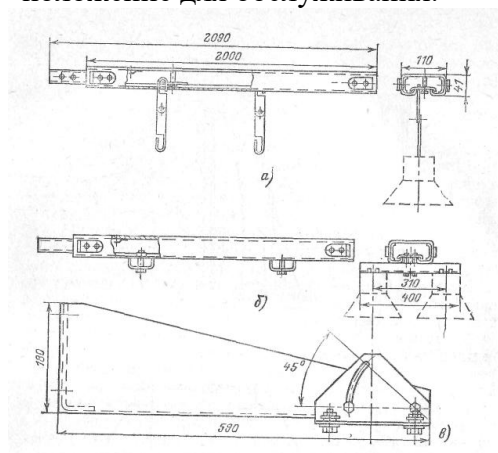


Рисунок 11 — Короба КЛ для светильников с люминесцентными лампами и поворотный кронштейн:
а — секция короба для однорядной подвески светильников; б — то же, но для двухрядной подвески светильников; в — кронштейн поворотный

При монтаже осветительного оборудования выполняют следующие основные требования: светильники в ряду и по высоте выравнивают так, чтобы отклонения их не были заметны на глаз; установочные изделия закрепляют по центру розеток, ниш, выверяют строго по вертикали и горизонтали положение их рукояток, кнопок и штепсельных гнезд; выключатели на стенах устанавливают на высоте 1,5 м от пола (до оси); штепсельные розетки устанавливают на высоте 0,8—1 м или 0,3 м от пола.

Выключатели и автоматические выключатели с рычажными и клавишными рукоятками устанавливают так, чтобы при включении цепи (освещения) рукоятка двигалась вверх (нажатие верхней части клавиши). Штепсельные розетки устанавливают так, чтобы гнезда располагались по горизонтали. Выключатели общего освещения, а также штепсельные розетки, устанавливаемые у входа в помещение, как правило, размещают так, чтобы они не загораживались открывающейся дверью. Выключатели для санузлов и штепсельные розетки устанавливают вне этих помещений.

Установочные изделия, светильники, их рассеиватели и защитные сетки должны быть прочно закреплены. Крюки и другие приспособления для подвесных светильников массой до 100 кг испытывают в течение 10 мин пятикратной массой, а светильники (люстры) массой более 100 кг — двукратной массой плюс 80 кг. При креплении светильников к потолку на дюбелях, забиваемых с помощью монтажного пистолета, каждую точку подвеса испытывают тройной массой светильника плюс 80 кг. Светильники общего освещения при отсутствии иных указаний в проекте устанавливают с направлением светового потока вертикально вниз. Светильники местного и локального освещения в соответствии с их назначением укрепляют неподвижно, чтобы они устойчиво сохраняли приданное им положение.

Каждый прожектор должен быть тщательно сфокусирован по форме светового пятна на вертикальной поверхности, а при ее отсутствии — на горизонтальной поверхности при наибольшем возможном наклоне корпуса прожектора. После этого прожекторы повертывают и наклоняют в соответствии с указанием, приведенным в проекте, с погрешностью не более 2° и прочно закрепляют в этом положении.

Стекла и рассеиватели светильников перед установкой тщательно протирают или промывают. Светильники поступают на монтаж заряженные проводами. В месте ввода в светильник провода не должны подвергаться механическим повреждениям, а контакты патронов должны быть разгружены от механических усилий. Светильники на кранах и устройствах, подверженных сотрясениям или вибрациям, подвешивают при помощи пружинящих устройств.

При установке щитков выдерживают расстояния от неизолированных, находящихся под напряжением частей до заземленных металлических нетоковедущих частей не менее 15 мм по поверхности изоляции и 10 мм по воздуху. Щитки и пункты снабжают надписями, указывающими номер щитка, а также назначение или номер каждой линии в соответствии со схемой и планом электрической сети.

Расчет осветительных установок состоит из светотехнической, электротехнической и технико-экономической частей.

Светотехнический расчет сводят к выбору вида и системы освещения, нормированной освещенности, коэффициента запаса световых приборов, расчету размещения световых приборов, определению мощности источников света.

Выбор вида и системы освещения. Рабочее освещение предназначено для обеспечения нормальных условий работы обслуживающего персонала. Оно должно обеспечивать нормированную освещенность во всех точках рабочей поверхности и иметь соответствующее качество, определяемое отклонениями питающего напряжения, пульсацией светового потока, спектральным составом света, равномерностью освещения и др. Рабочее освещение включают только при выполнении персоналом работ в данном помещении.

Технологическое освещение — вид освещения для обеспечения нормального протекания технологического процесса (роста и развития животных, протекания фотосинтеза растений и т. д.).

Технологическое освещение выполняют такими же светильниками, что и рабочее освещение. Технологическим освещением управляют по программам в зависимости от вида и возраста животных или птицы, вида и времени развития растений.

Дежурное освещение используют для наблюдения за животными в ночное время. Его следует предусматривать во всех животноводческих и птицеводческих помещениях. Светильники дежурного освещения выделяют из числа рабочего освещения. В помещениях для содержания животных количество светильников дежурного освещения должно составлять 15 % от количества светильников рабочего освещения, а в родильных отделениях 20 % от этого количества.

Аварийное освещение используют для продолжения работы или эвакуации при аварийном отключении рабочего освещения. Наименьшая освещенность — 5 % от рабочего освещения, но не меньше 2 лк внутри помещения и 1 лк снаружи.

Светильники аварийного освещения должны отличаться от светильников рабочего освещения конструкцией или специальной окраской.

Различают две системы освещения: общую и комбинированную. Общая система может быть равномерной или локализованной.

Общее освещение рекомендуется устраивать во всех животноводческих и других помещениях, где нормированная освещенность при лампах накаливания (ЛН) не превышает 50 лк, а при газоразрядных лампах (ГРЛ) — 150 лк. Если нормированная освещенность выше, то следует предусматривать комбинированную систему освещения. При этом общая освещенность должна составлять не менее 10 % нормируемой освещенности независимо от ламп местного освещения.

Выбор нормированной освещенности и коэффициента запаса. Нормированную освещенность E_n выбирают в зависимости от размеров объектов помещения, контраста объекта и фона, характеристики фона и других условий. Значение нормированной освещенности регламентировано СНиП и отраслевыми нормами.

При выборе освещенности приходится решать вопрос и об источнике света. В отраслевых нормах для освещения производственных сельскохозяйственных помещений и территорий рекомендуется применять газоразрядные лампы. Лампы накаливания следует применять только для освещения вспомогательных помещений.

Это определяется в значительной мере и низким реальным световым КПД ламп накаливания с вольфрамовой нитью 3,5 %, галогенных до 4 %. Световой КПД газоразрядных ламп намного выше: у люминесцентных до 12 %, у газоразрядных ламп высокого давления (например, у ДНаТ с желто-оранжевым излучением) до 18 %. Энергетический КПД люминесцентных ламп около 20 % против 14 % у ламп накаливания.

В процессе эксплуатации световой поток осветительных приборов уменьшается, что обусловлено старением источников света, запылением светильников, ограждающих поверхностей и др.

Чтобы освещенность не снизилась ниже нормируемого значения, при проектировании вводят коэффициент запаса K_3 .

Для ламп накаливания $K_3 = 1,15...1,7$; для газоразрядных ламп $K_3 = 1,3...2,0$. Для сельскохозяйственных помещений рекомендуется применять для ламп накаливания $K_3 = 1,15$; для газоразрядных ламп $K_3 = 1,3$. При необходимости проверки освещенности в помещениях или на любом объекте можно воспользоваться люксметром.

Выбор светильников (световых приборов). Световые приборы (СП) выбирают по трем критериям: конструктивному исполнению, светотехническим характеристикам и экономическим показателям.

От конструктивного исполнения СП зависит их надежность и долговечность в данных условиях среды, безопасность в отношении пожара, взрыва и поражения электрическим током, а также удобство обслуживания.

При проектировании решение этой задачи сводят к выбору степени защиты световых приборов (IP) от воздействия окружающей среды с помощью таблиц и каталогов на СП. В зависимости от характеристики помещения выбирают степень защиты СП (например, IP20, IP23, IP51 и т. д.). Затем из каталогов выписывают все СП с выбранной степенью защиты для принятого источника света.

К светотехническим характеристикам СП относят: 1) *распределение светового потока* в верхнюю и нижнюю полусферы окружающего пространства, 2) *форму кривой силы света* (КСС). Они определяют качество освещения.

Для освещения административно-конторских помещений, аудиторий, лабораторий используют светильники с КСС типов Д и Л.

Для большинства сельскохозяйственных помещений выбирают СП с кривыми силы света Д, М, реже Г. Для освещения территории ферм, выгульных площадок и дорог применяют СП с широкой кривой силы света Ш.

Расчет расположения светильников в помещении. Светильники в помещениях стремятся располагать по вершинам прямоугольников, квадратов или ромбов. Применяется точечный метод, метод коэффициента использования светового потока или метод удельной мощности

Метод коэффициента использования светового потока. Этот метод применяют для расчета осветительных установок закрытых помещений, в которых нормирована горизонтальная освещенность. Метод применим только для расчета общего равномерного освещения.

Метод удельной мощности. Метод удельной мощности основан на методе коэффициента использования светового потока. Его применяют для расчета осветительных установок вспомогательных помещений (коридоров, лестниц, санузлов, гардеробов, туннелей и пр.). При проектировании электроснабжения этот метод может быть использован для ориентировочного определения электрической нагрузки подстанций.

Электротехнический расчет включает в себя: выбор схемы электроснабжения и напряжения питания осветительной установки; составление расчетной схемы; выбор марки, сечения и способа прокладки проводов; выбор защитной аппаратуры; разработку схемы управления осветительной установкой.

Тема 1.3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Л7 Общие сведения об электрических машинах

Началом создания электрических машин следует считать открытие М. Фарадеем закона электромагнитной индукции и последующие работы в этой области Дж. Максвелла, Э. Ленца, М.О. Доливо-Добровольского и др. Большой вклад в развитие теории работы электрических машин внесли советские ученые А.Е. Алексеев, Б.П. Апаров, А.И. Вольдек, А.В. Иванов-Смоленский, М.П. Костенко, К.А. Круг, СИ. Курбатов, Л.М. Пиотровский и др.

Современный этап развития человеческой цивилизации немыслим без применения электрической энергии. Львиную долю электроэнергии потребляют машины и механизмы.

Электрические машины преобразуют электрическую энергию в механическую и механическую в электрическую. Электрическая машина, в отличие от других электромеханических преобразователей, совершает непрерывный процесс преобразования энергии.

Генератором называют электрическую машину, преобразующую механическую энергию в электрическую, а *электродвигателем* – электрическую машину, преобразующую электрическую энергию в механическую. Основная особенность этих электрических машин в том, что они *обратимы*, т.е. одна и та же машина может работать, как правило, и в режиме двигателя и в режиме генератора.

Преобразователем называют электрическую машину, преобразующую одну форму электрической энергии в другую, изменяя величину напряжения переменного и постоянного тока, частоту, число фаз и другие параметры. Однако существуют *электромашинные преобразователи*, преобразующие переменный ток в постоянный или переменный ток промышленной частоты в ток более высокой частоты. Кроме того, электрические машины используют для усиления мощности электрических сигналов. Подобные машины называют *электромашинными усилителями*. Для повышения коэффициента мощности ($\cos \varphi$) также используют *синхронные компенсаторы*.

Неподвижная часть машины является *статором*, а вращающаяся – *ротором*. Такие машины называют *одномерными*. В отдельных случаях могут вращаться обе части – эти машины называют *двухмерными*. Почти все выпускаемые промышленностью машины являются одномерными с цилиндрическим вращающимся ротором и внешним неподвижным статором. Находят применение также электрические машины, в которых ротор имеет форму диска. Такие машины называют *торцевыми*. У *линейных* двигателей ротор относительно статора совершает линейное или возвратно-поступательное движение. Непременным *условием преобразования энергии* электрической машины является изменение потокосцепления обмоток в зависимости от положения ее частей статора и ротора. Преобразование энергии в них осуществляется в магнитном поле.

На каждой электрической машине имеется металлическая паспортная табличка, на которой *указаны*: завод-изготовитель, год выпуска, класс изоляции, масса машины и номинальные данные, характеризующие основные энергетические показатели и условия работы машины, на которые она рассчитана. Кроме того, там же указаны энергетические показатели – мощность, напряжение, ток, частота вращения, частота переменного тока, коэффициент полезного действия (КПД), число фаз, коэффициент мощности и режим работы (длительный, кратковременный и т.п.).

Классификация электрических машин

По *назначению* электрические машины подразделяются на: электродвигатели, генераторы, электромашинные и электромеханические преобразователи, компенсаторы.

По *роду тока* электрические машины делят на машины: постоянного тока, переменного тока.

По *принципу действия* электрические машины разделяются на: коллекторные, бесколлекторные.

К *коллекторным* машинам относятся машины постоянного тока и универсальные машины, работающие как от сети постоянного, так и от сети переменного тока. *Бесколлекторные* машины – это всегда машины переменного тока: *синхронные* и *асинхронные*.

Номинальной мощностью электрической машины называют мощность, на которую рассчитана данная машина по условиям нагрева и безаварийной работы в течение установленного срока службы. В реальных условиях машина может работать и при неноминальных условиях (уменьшенная или увеличенная мощность; напряжение и ток, отличающиеся от номинальных и т.д.). Однако при этом будут отличаться и энергетические показатели машины: при небольших нагрузках (меньше номинальных) будут меньше КПД и коэффициент мощности, а при нагрузках больше номинальных – увеличится нагрев машины, что может привести к преждевременному выходу из строя изоляции обмоток и, следовательно, всей машины.

По *мощности* электрические машины условно подразделяют на: *микромашин*ы имеют мощность от долей ватта до 500 Вт. Эти машины работают как на постоянном, так и на переменном токе нормальной и повышенной (400–2000 Гц) частоты, *машин*ы *малой мощности* – от 0,5 до 10 кВт – также могут работать как на постоянном, так и на переменном токе нормальной или повышенной частоты, *машин*ы *средней мощности* – рассчитаны на мощность от 10 до нескольких сотен кВт, *машин*ы *большой мощности* – свыше нескольких сотен кВт.

В зависимости от *частоты вращения* машины условно подразделяют на тихоходные с частотами вращения до 300 об/мин, средней быстроходности – 300...1500 об/мин, быстроходные – 1500...6000 об/мин, сверхбыстроходные – свыше 6000 об/мин.

По степени защиты от внешних воздействий различают следующие виды исполнения электрических машин:

- *открытое исполнение* – машина не имеет специальных приспособлений, которые предохраняют от попадания внутрь посторонних предметов, а также от прикосновения обслуживающего персонала к токоведущим и вращающимся частям. На электровозах ВЛ80 всех индексов открытые асинхронные машины применяют в качестве привода компрессоров, вентиляторов;

- *защищенное* – машина имеет специальные приспособления, необходимые для циркуляции воздуха, охлаждающего машину – соответствующие крышки, кожухи, сетки и пр. Такие машины не имеют приспособлений, защищающих от дождя. Их применяют в качестве расщепителей фаз и других вспомогательных машин ТПС и устанавливают в кузовах электровозов;

- *брызгозащищенное* – машина обеспечена приспособлениями, защищающими машину от дождя и водяных брызг, падающих сверху или с любой из четырех сторон под углом до 45° к вертикали. Брызгозащищенные машины могут устанавливаться на открытом воздухе;

- *каплезащищенное* – машина защищена от попадания внутрь машины вертикально падающих капель;

- *водозащищенное* – машина недоступна проникновению внутрь струй воды любого направления (также и снизу). В ней предусмотрены усиленные уплотнения резиновыми прокладками и сальниками. Случайно попавшая в машину вода вытекает из нее или удаляется охлажденным воздухом;

- *пылезащищенное* – машина защищена от попадания внутрь пыли в опасных для нормальной работы количествах;

- *закрытое* – внутреннее пространство машины изолировано от внешней среды. Большинство вспомогательных машин, а также тяговые электродвигатели электровозов выполнены закрытыми;

- *герметичное* – машина выполняется с особо плотной изоляцией от окружающей среды, предотвращающей сообщение ее с внутренним пространством при определенной

разности давлений снаружи и внутри машины. В качестве примера можно привести масляный электронасос тягового трансформатора электровозов переменного тока;

– *взрывозащищенное (взрывобезопасное)* – машина может работать во взрыво- и пожароопасной среде.

Кроме того, машины могут иметь следующие специальные исполнения: влагостойкое, морозостойкое, тропическое и др

Материалы для изготовления электрических машин

Материалы, применяемые в электромашиностроении, подразделяют на три категории – конструкционные, активные и изоляционные.

Конструкционные материалы применяют для изготовления частей и деталей машин, воспринимающих и передающих механические нагрузки (валы, станины, подшипниковые шиты, стояки и различные крепежные детали и т.д.). В качестве конструкционных материалов применяют сталь, чугун, цветные металлы и их сплавы, а также пластмассы. Корпуса машин постоянного тока изготавливают из низколегированной стали. Валы машин выполняют из высокопрочных конструкционных сталей.

Активные материалы могут быть двух видов – *проводниковые* и *магнитные*. В качестве проводниковых материалов используют медь и рафинированный алюминий.

Медь, применяемая в качестве электрических проводников, не должна содержать больше 0,1 % примесей, при этом наибольшее вредное воздействие оказывают на электропроводимость примеси висмута и сурьмы. Медь значительно дороже алюминия, но для изготовления обмоток тяговых машин ее применяют практически постоянно из-за более высокой электропроводности по сравнению с алюминием (примерно в 1,6 раза), что позволяет уменьшить габариты машины. Медные сплавы используют также для изготовления вспомогательных токопроводящих частей (контактные кольца, коллекторные пластины, болты и т.д.).

Алюминий имеет большее удельное сопротивление, чем медь, поэтому габаритные размеры электрических машины с алюминиевыми обмотками получаются больше, чем с медными, так как требуется большее сечение проводников, а это ведет к увеличению пазов якоря, габаритов обмоток возбуждения и т.д.

В качестве магнитопроводов используют различные *ферромагнитные* материалы: электротехническую сталь, чугун, стальное литье, листовую и кованую сталь, специальные сплавы.

Физические свойства и сортамент электротехнической стали регламентированы ГОСТ 21427.0-75. В электрических машинах применяют электротехнические стали марок 1211, 1212, 1213, 1311, 1411, 1412, 1511, 1512, 3411, 3413.

Здесь первая цифра обозначает класс стали по структурному состоянию и виду прокатки: 1 – горячекатаная изотропная; 2 – холоднокатаная изотропная; 3 – холоднокатаная анизотропная с ребровой структурой.

Вторая цифра показывает содержание кремния. Цифрой 2 обозначают содержание кремния, равное 0,8-1,8 %; цифра 3 – 1,8-2,8 %; цифра 4 – 2,8-3,8 %; цифра 5 – 3,8-4,8 %.

Третья цифра указывает группу по основной нормируемой характеристике: 0 – удельные потери при магнитной индукции $B = 1,7$ Г и частоте 50 Гц; 1 – удельные потери при $B = 1,5$ Т и частоте 50 Гц; 2 – удельные потери при $B = 1,0$ Г и частоте 400 Гц; 6 – магнитная индукция в слабых полях при напряженности поля 10 А/м. Четвертая цифра – порядковый номер стали.

При увеличении кремния ухудшаются механические свойства стали, так как увеличивается ее хрупкость. В то же время кремний улучшает магнитные свойства: во-первых, он способствует переводу имеющегося в стали углерода из цементита в графит, что способствует снижению потерь на гистерезис, во-вторых, увеличивает электрическое сопротивление стали, что уменьшает потери на вихревые токи.

Обычно применяют листовую электротехническую сталь толщиной 0,5 и 0,35 мм, а также в виде рулонной ленты.

По способу обработки различают горячекатаную и холоднокатаную сталь. Горячекатаная сталь имеет одинаковое магнитное сопротивление во всех направлениях прокатки, а холоднокатаная – меньшее магнитное сопротивление вдоль направления прокатки.

Изоляционные материалы, применяемые для изоляции токоведущих частей электрических машин, могут быть твердыми, жидкими и газообразными. Газообразными считают воздух и водород, которые являются изоляторами и в то же время охлаждают узлы и детали электрических машин. В качестве жидких диэлектриков применяют трансформаторное масло, хорошо охлаждающее мощные трансформаторы. *Твердые* изоляционные материалы можно разделить на четыре группы: естественные органические волокнистые материалы – шелк, хлопчатая бумага, материалы на основе древесной целлюлозы; неорганические материалы – слюда, стекловолокно, асбест; различные синтетические материалы в виде смол, пленок, листового материала и т.д.; различные эмали, лаки, компаунды на основе природных и синтетических материалов.

Пропитка компаундами служит такой же цели, как и пропитка лаками. Отличие заключается только в том, что компаунды не имеют летучих растворителей, а представляет собой консистентную массу, которая при нагревании размягчается, сжижается и способна под давлением проникать в поры изоляции. Заполнение пор изоляции будет более плотным.

Международные и отечественные стандарты классифицируют изоляционные материалы на семь классов со следующими предельно допустимыми температурами (таблица 2).

Таблица 2 – Классы нагревостойкости изоляции

Класс изоляции	Y	A	E	B	F	H	C
Предельно допустимые температуры, °C	90	105	120	130	155	180	Более 180

Требования к *нагревостойкости* заключаются в том, чтобы изоляция при повышении температур не меняла своих свойств.

К *классу Y* относятся непропитанные жидкими диэлектриками волокнистые материалы из хлопчатой бумаги, целлюлозы, шелка и из синтетических материалов, таких как полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид и др. Этот класс изоляции в тяговых электрических машинах не применяется.

К *классу A* отнесены различные лакоткани, ленты, электротехнический картон, гетинакс, текстолит, а также волокнистые материалы из хлопчатой бумаги, целлюлозы и шелка, пропитанные жидкими диэлектриками. К данному классу отнесены эмаль провода на основе масляных и полиамиднорезольных лаков, полиамидных пленок, а также пропитанное дерево и древесные слоистые пластики. Изоляция класса A применяется в трансформаторах и электрических машинах мощностью свыше 100 кВт.

Класс E включает в себя эмаль проводов и электрическую изоляцию на основе поливинилацеталевых (винифлекс, металвин), полиуретановых, эпоксидных, полиэфирных (лавсан) смол и других синтетических материалов с аналогичной нагревостойкостью. Класс E включает в себя новые синтетические материалы этой нагревостойкости.

К *классу B* относятся изоляционные материалы на основе тонкой щипаной слюды (микалента, микафоллий, миканит), неорганических диэлектриков (слюда, асбест, стекловолокно) и клеящих, пропиточных и покровных лаков и смол повышенной нагревостойкости органического происхождения, причем содержание органических веществ по массе не должно превышать 50 %. Сюда же относятся слюдинитовые материалы, в основе которых лежит непрерывная слюдинитовая лента из пластинок слюды размерами до нескольких миллиметров и толщиной в несколько микрон, а также полиэфирные смолы на основе фталевого ангидрида, полихлортрифторэтилен (фторопласт-3), некоторые полиуретановые смолы и др. Изоляция класса B широко применяется в тяговых электрических машинах.

Класс F объединяет изоляционные материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, но с применением органических лаков и смол, модифицированных кремнийорганическими (полиорганосилоксановыми) и другими смолами с высокой нагревостойкостью, или же с применением других синтетических смол соответствующей нагревостойкости (полиэфирные смолы на основе изо- и терефталевой кислот и др.).

К *классу H* относится изоляция на основе слюды, стекловолокна и асбеста в сочетании с кремнийорганическими (полиорганосилоксановыми), полиорганометаллосилоксановыми и другими нагревостойкими смолами. С применением этих смол изготавливают миканиты и слюдиниты, а также стекломиканиты, стеклоткани и стеклотекстолиты. К этому классу относится изоляция на основе политетрафторэтилена (фторопласт-4).

К *классу изоляции C* принадлежат слюда, кварц, стекловолокно, стекло, фарфор и другие керамические материалы, применяемые без органических связующих или с неорганическими связующими.

Л8 Электрические машины постоянного тока

Генераторами называют электрические машины, преобразующие механическую энергию в электрическую. Принцип действия электрического генератора основан на использовании явления электромагнитной индукции, которое состоит в следующем. Если в магнитном поле постоянного магнита перемещать проводник так, чтобы он пересекал магнитный поток, то в проводнике возникнет электродвижущая сила (э.д.с.), называемая э.д.с. индукции (Индукция от латинского слова *inductio* — наведение, побуждение), или индуцированной э.д.с. Электродвижущая сила возникает и в том случае, когда проводник остается неподвижным, а перемещается магнит. Явление возникновения индуцированной э.д.с. в проводнике называется электромагнитной индукцией. Если проводник, в котором индуцируется э.д.с., включить в замкнутую электрическую цепь, то под действием э.д.с. по цепи потечет ток, называемый индуцированным током. Опытным путем установлено, что величина индуцированной э.д.с., возникающей в проводнике при его движении в магнитном поле, возрастает с увеличением индукции магнитного поля, длины проводника и скорости его перемещения. Индуцированная э.д.с. возникает только тогда, когда проводник пересекает магнитное поле. При движении проводника вдоль магнитных силовых линий э.д.с. в нем не индуцируется. Направление индуцированной э.д.с. и тока проще всего определить по правилу правой руки (рис. 11): если ладонь правой руки держать так, чтобы в нее входили магнитные силовые линии поля, отогнутый большой палец показывал бы направление движения проводника, то остальные вытянутые пальцы укажут направление действия индуцированной э.д.с. и направление тока в проводнике. Магнитные силовые линии направлены от северного полюса магнита к южному.

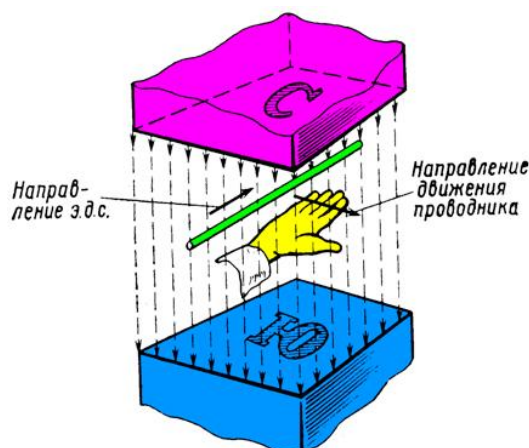


Рисунок 11 - Определение направления индуцированной э.д.с. по правилу правой руки

Имея общее представление об электромагнитной индукции, рассмотрим принцип действия простейшего генератора (рис. 12). Проводник в виде рамки из медной проволоки укреплен на оси и помещен в магнитное поле. Концы рамки присоединены к двум изолированным одна от другой половинам (полукольцам) одного кольца. Контактные пластины (щетki) скользят по этому кольцу. Такое кольцо, состоящее из изолированных полуколец, называют коллектором, а каждое полукольцо — пластиной коллектора. Щетки на коллекторе должны быть расположены таким образом, чтобы они при вращении рамки одновременно переходили с одного полукольца на другое как раз в те моменты, когда э.д.с., индуцируемая в каждой стороне рамки, равна нулю, т. е. когда рамка проходит свое горизонтальное положение.

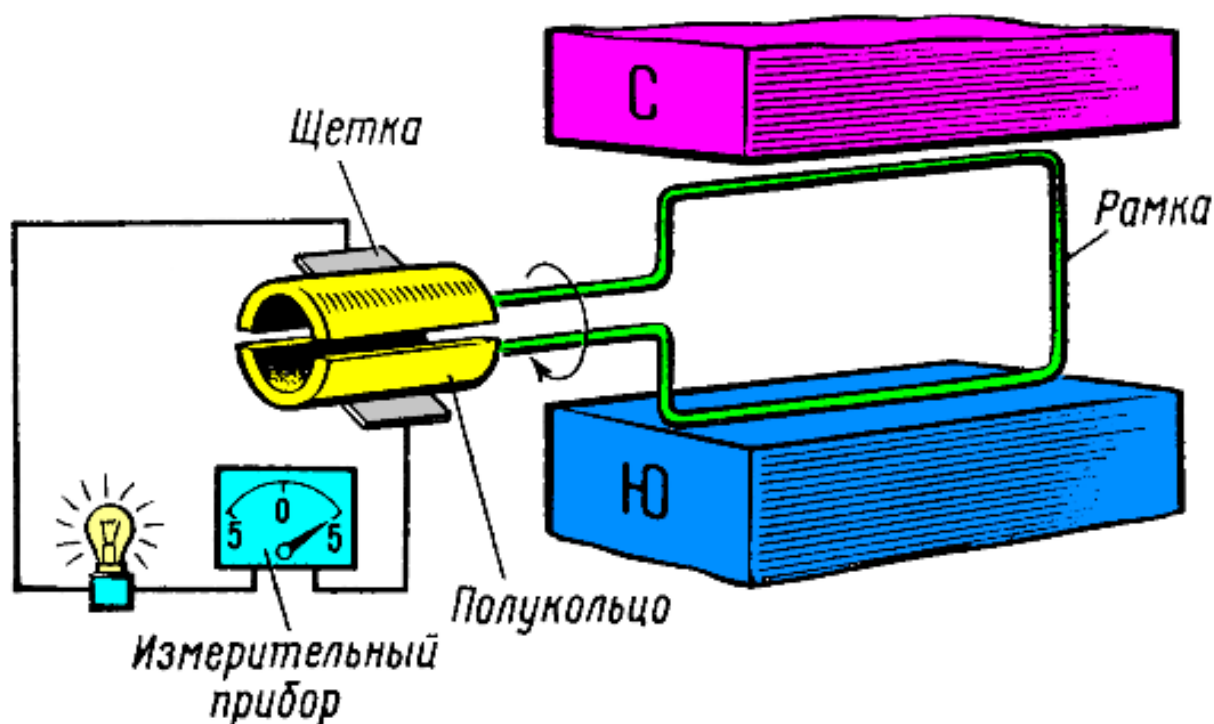


Рисунок 12 - Простейший генератор постоянного тока

С помощью коллектора переменная э.д.с., индуцируемая в рамке, выпрямляется, и во внешней цепи создается постоянный по направлению ток. Присоединив к контактным пластинам внешнюю цепь с электроизмерительным прибором, фиксирующим величину индуцируемого тока, убедимся, что рассмотренное устройство действительно является генератором постоянного тока.

В любой момент времени t э.д.с. E (рис. 13), возникающая в рабочей стороне Л рамки, противоположна по направлению э.д.с., возникающей в рабочей стороне Б. Направление э.д.с. в каждой стороне рамки легко определить, воспользовавшись правилом правой руки. Э.д.с., индуцируемая всей рамкой, равна сумме э.д.с., возникающих в каждой ее рабочей стороне. Величина э.д.с. в рамке непрерывно изменяется. В то время, когда рамка подходит к своему вертикальному положению, количество силовых линий, пересекаемых проводниками в 1 с, будет наибольшим и в рамке индуцируется максимальная э.д.с. Когда рамка проходит горизонтальное положение, ее рабочие стороны скользят вдоль силовых линий, не пересекая их, и э.д.с. не индуцируется. В период движения стороны Б рамки к южному полюсу магнита (рис. 13, а, б) ток в ней направлен на нас. Этот ток проходит через полукольцо, щетку 2, измерительный прибор к щетке /ив сторону А рамки. В этой стороне рамки ток индуцируется в направлении от нас. Своего наибольшего значения э.д.с. в рамке достигает тогда, когда стороны ее расположены непосредственно под полюсами (рис. 13, б).

При дальнейшем вращении рамки э.д.с. в ней убывает и через четверть оборота становится равной нулю (рис. 13, в). В это время щетки переходят с одного полукольца на

другое. Таким образом, за первую половину оборота рамки каждое полукольцо коллектора соприкасалось только с одной щеткой. Ток проходил по внешней цепи в одном направлении от щетки 2 к щетке 1. Будем продолжать вращать рамку. Электродвижущая сила в рамке снова начинает возрастать, так как ее рабочие стороны будут пересекать магнитные силовые линии. Однако направление э.д.с. изменяется на противоположное, потому что проводники пересекают магнитный поток в обратном направлении. Ток, индуцируемый в стороне А рамки, направлен теперь на нас. Но ввиду того, что рамка вращается вместе с коллектором, полукольцо, соединенное со стороной А рамки, соприкасается теперь не со щеткой 1, а со щеткой 2 (рис. 13, г) и по внешней цепи проходит ток того же направления, как и во время первой половины оборота. Следовательно, коллектор выпрямляет ток, т. е. обеспечивает прохождение индуцируемого тока во внешней цепи в одном направлении. К концу последней четверти оборота (рис. 13, д) рамка возвращается в первоначальное положение (см. рис. 13, а), после чего весь процесс изменения тока в цепи повторяется. Таким образом, между щетками 2 и 1 действует постоянная по направлению э.д.с. и ток по внешней цепи всегда проходит в одном направлении — от щетки 2 к щетке 1. Хотя этот ток остается постоянным по направлению, он меняется по величине, т. е. пульсирует. Такой ток практически трудно использовать.

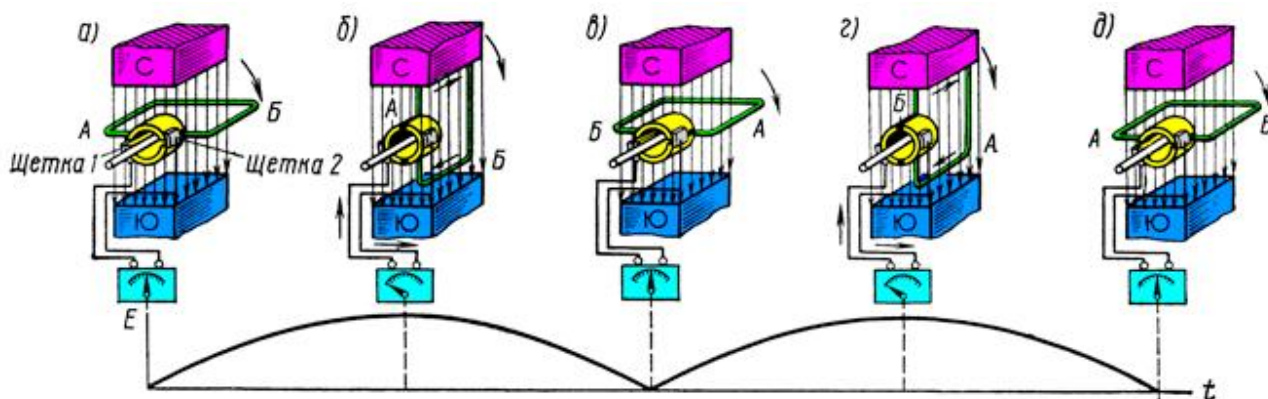


Рисунок 13 - Схема работы генератора постоянного тока

Рассмотрим, как можно получить ток с небольшой пульсацией, т. е. ток, величина которого при работе генератора мало изменяется. Представим себе генератор, состоящий из двух расположенных перпендикулярно один к другому витков (рис. 14). Начало и конец каждого витка присоединены к коллектору, состоящему теперь из четырех коллекторных пластин.

При вращении этих витков в магнитном поле в них возникает э.д.с. Однако индуцированные в каждом витке э.д.с. достигают своих нулевых и максимальных значений не одновременно, а позднее одна другой на время, соответствующее повороту витков на четверть полного оборота, т. е. на 90° . В положении, изображенном на рис. 14, в витке 1 возникает максимальная э.д.с., равная $E_{\max}$. В витке 2 э. д. с. не индуцируется, так как его рабочие стороны скользят вдоль магнитных силовых линий, не пересекая их. Величины э.д.с. витков показаны на рис. 15. По мере поворота витков э.д.с. витка 1 убывает. Когда витки повернутся на $1/8$ оборота, э.д.с. витка 1 станет равной $E_{\min}$. В этот момент происходит переход щеток на вторую пару коллекторных пластин, соединенных с витком 2. Виток 2 уже повернулся на $1/8$ оборота, пересекает магнитные силовые линии и в нем индуцируется э.д.с., равная той же величине $E_{\max}$. При дальнейшем повороте витков э.д.с. витка 2 возрастает до наибольшей величины $E_{\max}$. Таким образом, щетки оказываются все время соединенными с витками, в которых индуцируется э.д.с. величиной от $E_{\min}$ до $E_{\max}$.

Ток во внешней цепи генератора возникает в результате действия суммарной э.д.с. Поэтому он протекает непрерывно и только в одном направлении. Ток, как и прежде, будет пульсирующим, однако пульсация получается значительно меньше, чем при одном витке, так как э.д.с. генератора не снижается до нуля. Увеличивая число проводников (витков) генератора и соответственно число коллекторных пластин, можно сделать пульсации тока

очень малыми, т. е. ток по величине станет практически постоянным. Например, уже при 20 коллекторных пластинах колебания э.д.с. генератора не превысят 1 % среднего значения. Во внешней цепи получим ток, практически постоянный по величине. Вместе с тем легко видеть, что генератор, изображенный на рис. 14, имеет и очень существенный недостаток. В каждый определенный момент времени внешняя цепь присоединена посредством щеток лишь к одному витку генератора. Второй виток в этот же момент времени совершенно не используется. Электродвижущая сила, индуцируемая в одном витке, весьма мала, а значит и мощность генератора будет небольшой. Для непрерывного использования всех витков их соединяют между собой последовательно. С этой же целью число коллекторных пластин уменьшают до количества витков обмотки. К каждой коллекторной пластине присоединяют конец одного и начало следующего витка обмотки. Витки в этом случае представляют собой последовательно соединенные источники электрического тока и образуют обмотку якоря генератора. Теперь электродвижущая сила генератора равна сумме э.д.с, индуцируемых в витках, включенных между щетками. Кроме последовательной, существуют и другие схемы соединения витков обмотки. Число витков берется достаточно большим, чтобы получить необходимую величину э.д.с. генератора. Поэтому и коллекторы тепловозных электрических машин получают с большим количеством пластин.

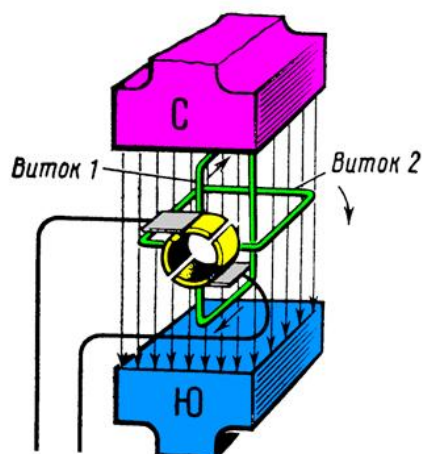


Рисунок 14 - Двухвитковый генератор постоянного тока

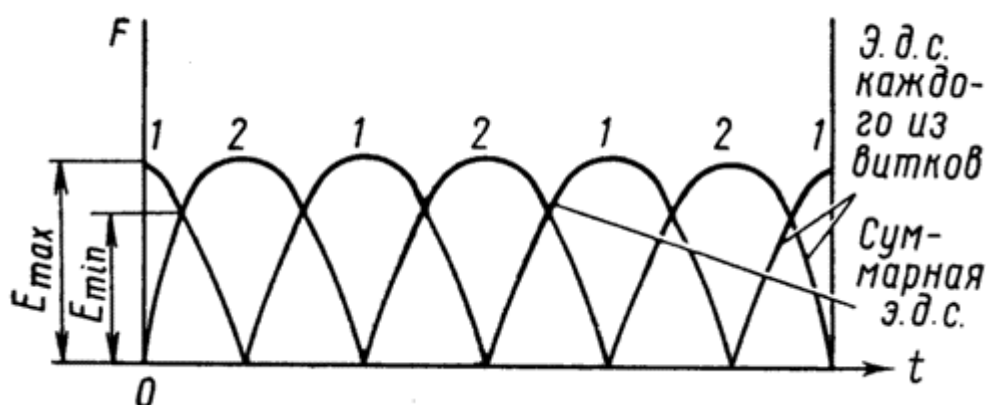


Рисунок 15 - Кривые пульсации электродвижущей силы двухвиткового генератора

Таким образом, благодаря большому числу витков обмотки удастся не только сгладить пульсации напряжения и тока, но и повысить значение индуцируемой генератором э.д.с.

Электрическая машина постоянного тока состоит из статора, якоря, коллектора, щеткодержателя и подшипниковых щитов (рисунок 16). Статор состоит из станины

(корпуса), главных и добавочных полюсов, которые имеют обмотки возбуждения. Эту неподвижную часть машины иногда называют индуктором. Главное его назначение — создание магнитного потока. Станина изготавливается из стали, к ней болтами крепятся главные и добавочные полюса, а также подшипниковые щиты. Сверху на станине имеются кольца для транспортирования, снизу — лапы для крепления машины к фундаменту. Главные полюса машины набираются из листов электротехнической стали толщиной 0,5 -1 мм с целью уменьшения потерь, которые возникают из-за пульсаций магнитного поля полюсов в воздушном зазоре под полюсами. Стальные листы сердечника полюса спрессованы и скреплены заклепками.

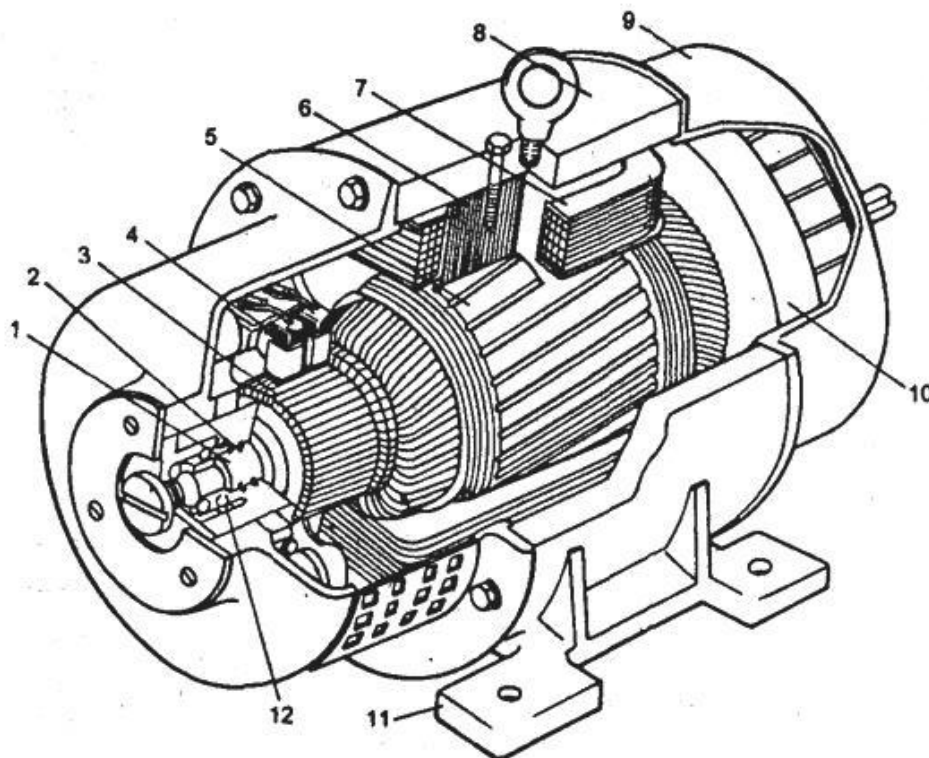


Рисунок 16 – Машина постоянного тока:

1 – вал; 2 – передний подшипниковый щит; 3 – коллектор; 4 – щеткодержатель; 5 – сердечник якоря с обмоткой; 6 – сердечник главного полюса; 7 – полюсная катушка; 8 – станина; 9 – задний подшипниковый щит; 10 – вентилятор; 11 – лапы; 12 – подшипник

В полюсах различают сердечник и наконечник (рисунок 17). На сердечник надевают обмотку возбуждения, по которой проходит ток, создавая магнитный поток. Обмотка возбуждения наматывается на металлический каркас, оклеенный электрокартоном (в больших машинах), или размещается на изолированном электрокартоне сердечнике (малые машины). Для лучшего охлаждения катушку делят на несколько частей, между которыми оставляют вентиляционные каналы. Добавочные полюса устанавливаются между главными. Они служат для улучшения коммутации. Их обмотки включаются последовательно в цепь якоря, поэтому проводники обмотки имеют большое сечение.

Якорь машины постоянного тока состоит из вала, сердечника, обмотки и коллектора. Сердечник якоря собирается из штампованных листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм и спрессовывается с обеих сторон с помощью нажимных шайб. В машинах с радиальной системой вентиляции листы сердечника собираются в отдельные пакеты толщиной 6-8 см, между которыми делают вентиляционные каналы шириной 1 см.

Обмотка якоря изготавливается из медных проводов круглого или прямоугольного сечения в виде заранее выполненных секций (рисунок 18). Они укладываются в пазы, где тщательно изолируются. Обмотку делают двухслойной: размещают в каждом пазу две стороны разных якорных катушек — одну над другой. Обмотку закрепляют в пазах

клиньями (деревянными, гетинаксовыми или текстолитовыми), а лобовые части крепят специальным проволочным бандажом. В некоторых конструкциях клинья не применяют, а обмотку крепят бандажом. Бандаж изготавливают из немагнитной стальной проволоки, которая наматывается с предварительным натяжением. В современных машинах для бандажировки якорей используют стеклянную ленту.

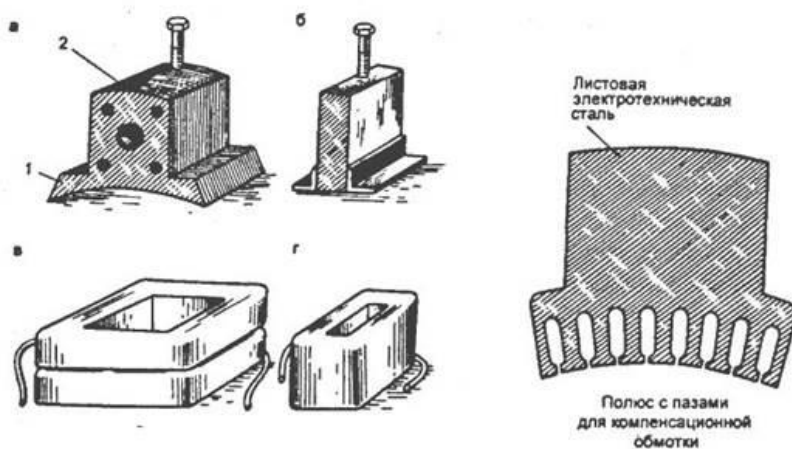


Рисунок 17 – Полюса машины постоянного тока:

а – главный полюс; б – дополнительный полюс; в – обмотка главного полюса; г – обмотка дополнительного полюса; 1 – полюсный наконечник; 2 – сердечник

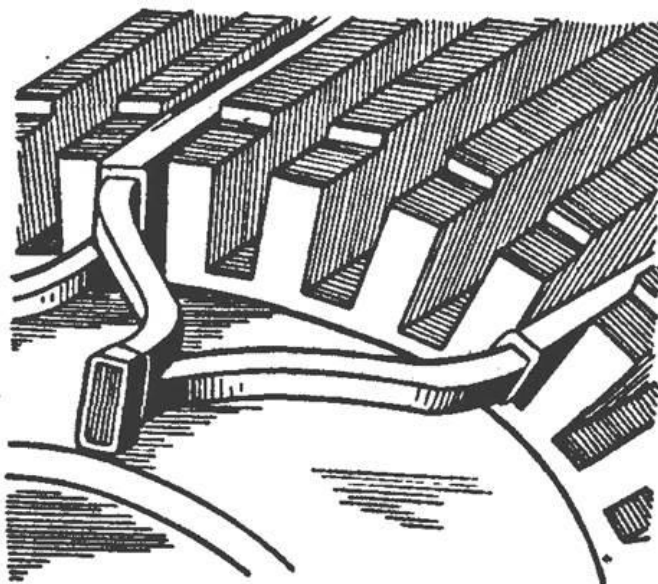


Рисунок 18 – Расположение секции обмотки якоря в пазах сердечника

Коллектор машины постоянного тока собирается из клиноподобных пластин холоднокатаной меди. Пластины изолируют одну от другой прокладками из коллекторного миканита толщиной 0,5 - 1 мм. Нижние (узкие) края пластин имеют вырезы в виде "ласточкина хвоста", которые служат для крепления медных пластин и миканитовой изоляции. Коллекторы крепят нажимными конусами двумя способами: при одном из них усилие от зажима передается только на внутреннюю поверхность "ласточкина хвоста", при втором — на "ласточкин хвост" и конец пластины.

Коллекторы с первым способом крепления называют арочными, со вторым — клиновыми. Наиболее распространены арочные коллекторы.

В коллекторных пластинах со стороны якоря при небольшой разнице в диаметрах коллектора и якоря делают выступы, в которых фрезеруют прорезы (шлицы). В них укладывают концы обмотки якоря и припаивают оловянистым припоем. При большой разнице в диаметрах припайка к коллектору делается с помощью медных полосок, которые

называются "петушками". В быстроходных машинах большой мощности для предотвращения выпучивания пластин под действием центробежных сил применяют внешние изолированные бандажные кольца.

Щеточный аппарат состоит из траверсы, щеточных пальцев (болтов), щеткодержателей и щеток. Траверса предназначена для крепления на ней щеточных пальцев щеткодержателей, образующих электрическую цепь.

Щеткодержатель состоит из обоймы, в которую помещается щетка, рычага для прижима щетки к коллектору и пружины. Давление на щетку составляет 0,02 - 0,04 МПа. Для соединения щетки с электрической цепью имеется гибкий медный тросик. В машинах малой мощности применяют трубчатые щеткодержатели, которые крепят в подшипниковом щите. Все щеткодержатели одной полярности соединяются между собой сборными шинами, которые подключаются к выводам машины. Щетки (рисунок 9) в зависимости от состава порошка, способа изготовления и физических свойств разделяют на шесть основных групп: угольно-графитовые, графитовые, электрографитовые, медно-графитовые, бронзографитовые и серебряно-графитовые

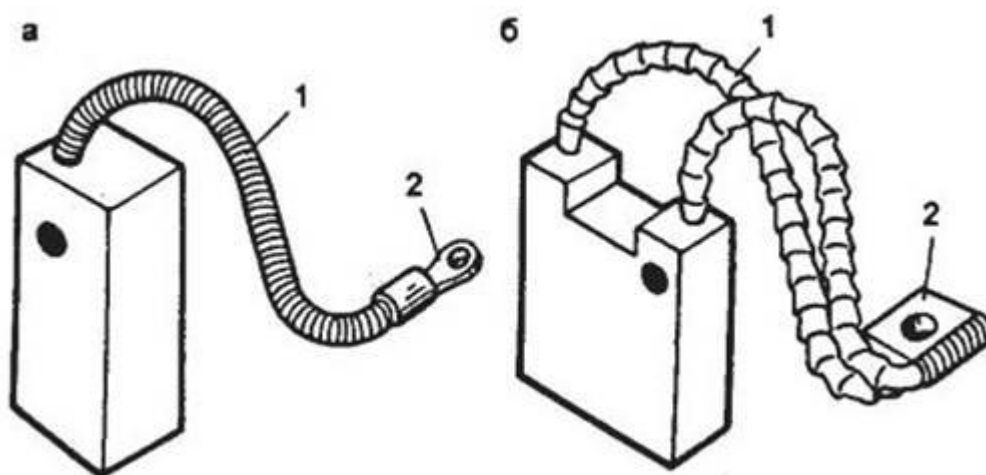


Рисунок 19 – Щетки:

а – для машин малой и средней мощности; б – для машин большой мощности; 1 – щеточный канатик; 2 – наконечник.

Подшипниковые щиты электрической машины служат в качестве соединительных деталей между станиной и якорем, а также опорной конструкцией для якоря, вал которого вращается в подшипниках, установленных в щитах.

Различают обычные и фланцевые подшипниковые щиты. Подшипниковые щиты изготавливают из стали (реже из чугуна или алюминиевых сплавов) методом литья, а также сварки или штамповки. В центре щита делается расточка под подшипник качения: шариковый или роликовый. В машинах большой мощности в ряде случаев используют подшипники скольжения.

В последние годы статор двигателей постоянного тока собирают из отдельных листов электротехнической стали. В листе одновременно штампуются ярмо, пазы, главные и добавочные полюса.

Электрические машины постоянного тока используются как в качестве генераторов, так и в качестве двигателей. Генераторы используются в зарядных устройствах, на автомобилях, в качестве возбуждателей синхронных генераторов. Наибольшее применение имеют ДПТ, диапазон мощности которых достаточно широк от долей Ватт (для привода устройств автоматики) до нескольких тысяч киловатт (для привода прокатных станов, шахтных подъемников и др.). ДПТ широко используют для привода подъемных средств в качестве крановых двигателей и привода транспортных средств в качестве тяговых двигателей. Основные преимущества ДПТ по сравнению с бесколлекторными двигателями переменного тока – хорошие пусковые и регулировочные свойства, возможность получения частоты вращения более 3000 об/мин, а недостатки – относительно высокая стоимость,

некоторая сложность в изготовлении и пониженная надежность. Все эти недостатки обусловлены наличием в них щеточно – коллекторного узла, который к тому же является источником радиопомех и пожароопасности. Эти недостатки и ограничивают применение МПТ.

Магнитный поток в полюсах машины создается постоянным током, протекающим по обмотке возбуждения или постоянными магнитами – это процесс возбуждения.

Генератор, в котором обмотка возбуждения получает питание от постороннего источника тока (аккумулятора, батареи или другой МПТ), называют генератором с независимым возбуждением.

Если напряжение на обмотку возбуждения подается с зажимов якоря того же генератора, то его называют генератором с самовозбуждением.

По схеме соединения обмотки возбуждения и обмотки якоря между собой они делятся на три вида: если обмотка якоря и обмотка возбуждения соединены параллельно, то это машина с параллельным возбуждением или шунтовая, если обмотка якоря и обмотка возбуждения соединены последовательно, то это машина с последовательным возбуждением или серийная, если машина имеет две обмотки возбуждения, одна из которых соединяется с обмоткой якоря параллельно, а другая последовательно, то это машина со смешанным возбуждением или компаундная (рис.20).

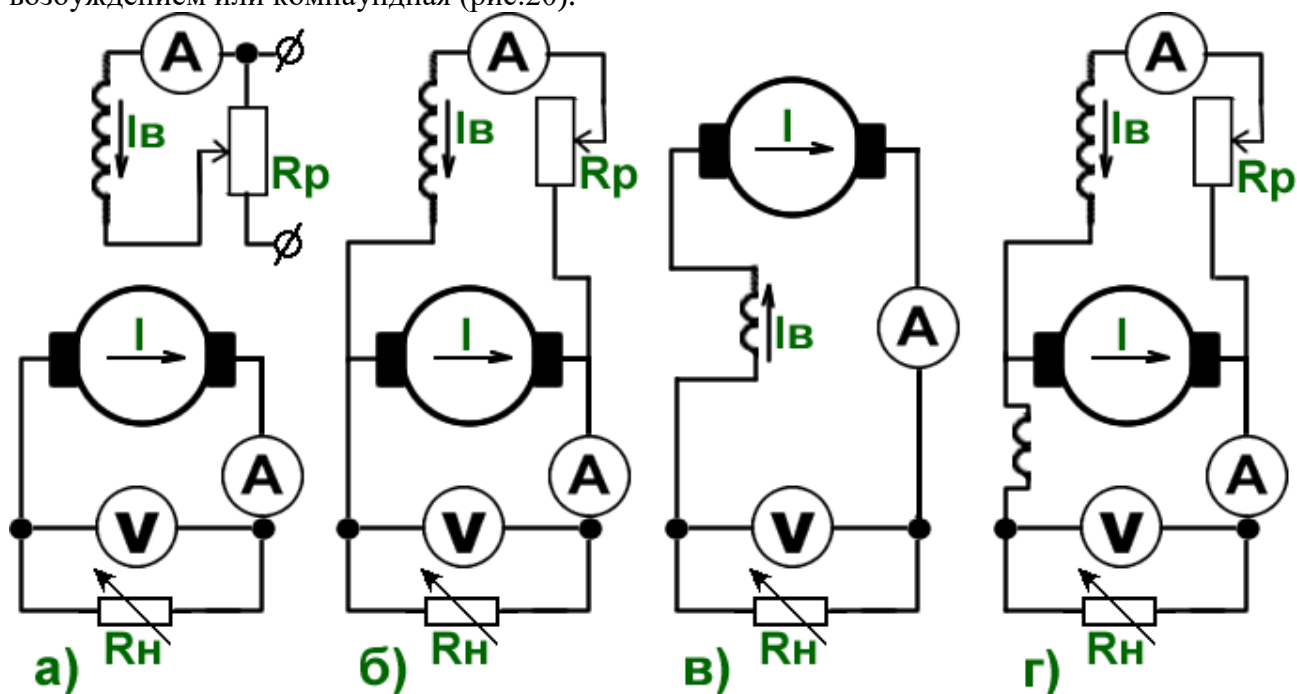


Рисунок 20 – Схемы генераторов постоянного тока: а – с независимым возбуждением, б – с параллельным возбуждением, в – с последовательным возбуждением, г – со смешанным возбуждением

Мощность, затрачиваемая на возбуждение, составляет 1 – 3 % от номинальной мощности генератора.

Процесс самовозбуждения на примере генератора параллельного возбуждения

При вращении якоря генератора магнитный поток остаточного магнетизма индуцирует в его обмотке небольшую ЭДС, а так как к якорю подключена обмотка возбуждения полюсов, то в ней появляется незначительный ток, обусловленный этой ЭДС ток возбуждения вызывает увеличение магнитного потока полюсов, что, в свою очередь, приводит к увеличению ЭДС и т.д. до полного намагничивания.

Величина установившегося напряжения холостого хода зависит от величины сопротивления цепи возбуждения, а также от степени насыщения магнитной системы машины.

Условия самовозбуждения:

1 наличие в стали полюсов остаточного магнетизма;

2. правильное (согласное) соединение обмотки возбуждения и обмотки якоря, с тем, чтобы магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения, совпадал по направлению с магнитным потоком остаточного магнетизма;

3. регулировочный реостат в цепи возбуждения должен быть выведен;

4. нагрузка на генератор должна быть отключена.

Для восстановления остаточного магнетизма обмотки возбуждения на некоторое время нужно подключить к источнику постоянного тока.

Если обмотка возбуждения и обмотка якоря включены так, что магнитный поток полюсов и остаточного магнетизма направлены встречно, то происходит размагничивание полюсов, препятствующее возбуждению машины. Для возбуждения машины нужно изменить направление вращения якоря или переключить концы обмотки возбуждения.

Когда реостат в цепи обмотки возбуждения не выведен, по обмотке возбуждения протекает очень малый ток, недостаточный для самовозбуждения.

Если нагрузка не отключена, то ток в обмотке возбуждения недостаточен для самовозбуждения.

В соответствии с принципом обратимости электрических машин упрощенная модель машины постоянного тока может быть использована в качестве двигателя постоянного тока (рисунок 21). Для этого необходимо к щеткам машины подвести напряжение от источника постоянного тока. Например, если к щетке А подключить зажим «плюс», а к щетке В – «минус», то в обмотке якоря появится ток, направление которого в витке показано на рисунке 21. В результате взаимодействия этого тока с магнитным полем постоянного магнита (полем возбуждения) появятся электромагнитные силы $F_{эм}$. Совокупность этих сил создает на якоре электромагнитный момент M , приводящий якорь во вращение против часовой стрелки. После поворота якоря на 180° электромагнитные силы не изменяют своего направления, так как одновременно с переходом каждого проводника обмотки якоря из зоны одного магнитного полюса в зону другого полюса в этих проводниках меняется направление тока. Таким образом, назначение щеток и коллектора в двигателе постоянного тока – изменять направление тока в проводниках обмотки якоря при их переходе из зоны магнитного полюса одной полярности в зону полюса другой полярности.

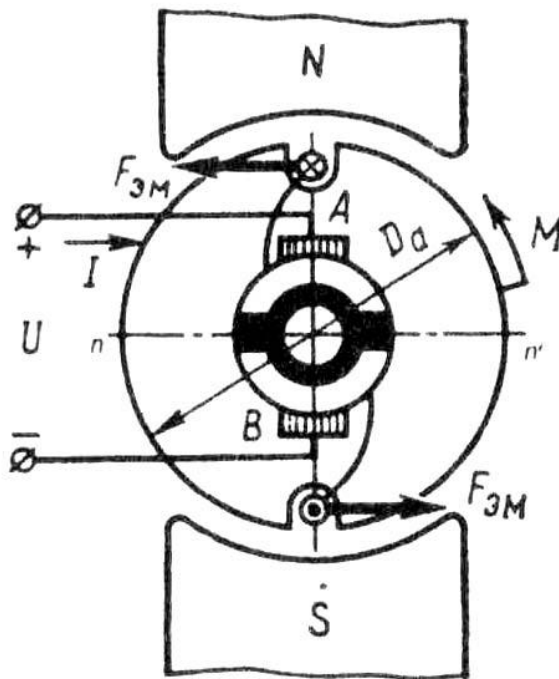


Рисунок 21 – К принципу действия двигателя постоянного тока

Рассмотренная упрощенная модель машины постоянного тока не обеспечивает двигателю устойчивой работы, так как при прохождении проводниками обмотки якоря геометрической нейтральной линии $n - n'$ электромагнитные силы равны нулю (магнитная индукция в

середине межполюсного пространства равна нулю). Однако, с увеличением числа проводников в обмотке якоря (при равномерном их распределении на поверхности якоря) и числа пластин коллектора вращение якоря двигателя становится устойчивым и равномерным.

Щеточно – коллекторный узел, выполняющий функцию преобразователя тока, является непременным элементом машины постоянного тока. И хотя рассматриваемые машины называют машинами постоянного тока, для непрерывного процесса электромеханического преобразования энергии в обмотке якоря этих машин должен протекать переменный ток.

Л9 Электрические машины переменного тока

Асинхронные машины — наиболее распространенные электрические машины. Особенно широко они используются как электродвигатели и являются основными преобразователями электрической энергии в механическую. В настоящее время асинхронные электродвигатели потребляют около половины всей вырабатываемой в мире электроэнергии и находят широкое применение в качестве электропривода подавляющего большинства механизмов. Это объясняется простотой конструкции, надежностью и высоким значением КПД этих электрических машин.

В основе работы асинхронных двигателей лежит вращающееся магнитное поле, создаваемое МДС обмоток статора.

Принцип получения вращающегося магнитного поля с помощью неподвижной системы проводников заключается в том, что если по системе неподвижных проводников, распределенных в пространстве по окружности, протекают токи, сдвинутые по фазе, то в пространстве создается вращающееся поле. Если система проводников симметрична, а угол сдвига фаз между токами соседних проводников одинаков, то амплитуда индукции вращающегося магнитного поля и скорость постоянны. Если окружность с проводниками развернуть на плоскость, то с помощью подобной системы можно получить «бегущее» поле.

Вращающееся поле переменного тока трехфазной цепи. Рассмотрим получение вращающегося поля на примере трехфазного асинхронного двигателя с тремя обмотками, сдвинутыми по окружности на 120° (рисунок 22а) и соединенными звездой. Пусть обмотки статора питаются симметричным трехфазным напряжением со сдвигом фаз напряжений и токов на 120° .

Если для обмотки AX принять начальную фазу тока равной нулю, тогда мгновенные значения токов имеют вид

$$i_A = I_M \sin \omega t$$

$$i_B = I_M \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$i_C = I_M \sin(\omega t - 240^\circ)$$

Графики токов представлены на рисунке 22б. Примем, что в каждой обмотке всего два провода, занимающие два диаметрально расположенных паза.

Как видно из рис.22б, в момент времени t_0 ток в фазе A положительный, а в фазах B и C – отрицательный.

Если ток положительный, то направление тока примем от начала к концу обмотки, что соответствует обозначению знаком «х» в начале обмотки и знаком «•» (точка) в конце обмотки. Пользуясь правилом правоугового винта, легко найти картину распределения магнитного поля для момента времени t_0 (рисунок 23 а). Ось результирующего магнитного поля с индукцией $B_{рез}$ расположена горизонтально.

На рисунке 23б показана картина магнитного поля в момент времени t_1 , соответствующий изменению фазы тока на угол $\alpha_1 = 60^\circ$. В этот момент времени токи в фазах A и B положительные, т. е. ток идет в них от начала к концу, а ток в фазе C – отрицательный, т. е. идет от конца к началу. Магнитное поле оказывается повернутым по

часовой стрелке на угол $\alpha_1 = 60^\circ$. Если угловая частота тока ω , то $\alpha_1 = \omega t_1$. (Здесь $\omega = 2\pi f$, где f – частота тока в сети). В моменты времени t_2 и t_3 ось магнитного поля соответственно повернется на углы $\alpha_2 = \omega t_2$ и $\alpha_3 = \omega t_3$ (рис.23 в и г). Через время, равное периоду T , ось поля займет первоначальное положение. Следовательно, за период T поле делает один оборот (рис.50 д). В рассмотренном случае число полюсов $2p = 2$ и магнитное поле вращается с частотой $n_1 = 60 f_1 = 60 \cdot 50 = 3000 \text{ об/мин}$ ($f_1 = 50 \text{ Гц}$ – промышленная частота).

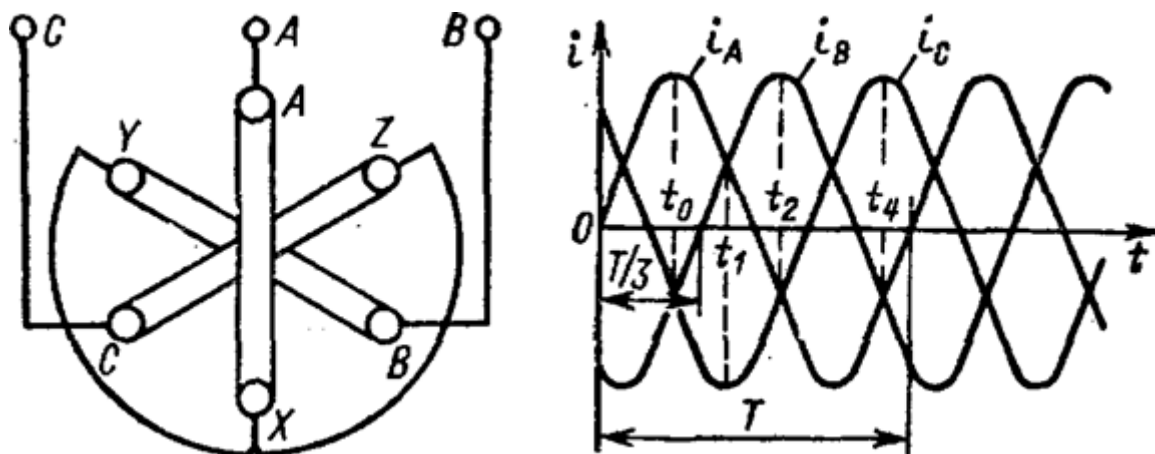


Рисунок 22 – Принцип получения магнитного поля трехфазной обмотки:
а – схема соединения обмоток; б – волновая диаграмма токов

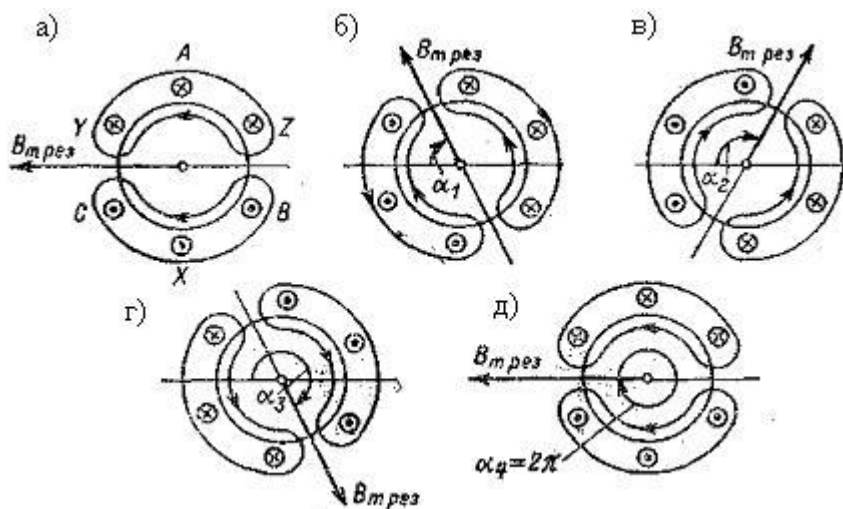


Рисунок 23 – Получение вращающегося магнитного поля

Направление вращения поля. В рассмотренном случае направление вращения поля совпадает с направлением движения часовой стрелки. Если поменять местами выводы любых двух фаз питающего напряжения, например В и С, что соответствует обратной последовательности фаз, то направление вращения поля будет противоположным (против движения часовой стрелки), т. е. магнитное поле реверсируется.

Рассмотрим принцип действия асинхронного двигателя. Представим себе вращающееся магнитное поле в виде кольца с двумя постоянными магнитами. В середине кольца помещена обмотка ротора в виде короткозамкнутой беличьей клетки. Магнитное поле статора, вращаясь в пространстве со скоростью $n_1 = \frac{60 f_1}{p}$, индуцирует в проводах

обмотки ротора ЭДС, а так как обмотка ротора замкнута, то в ней возникают токи, направление которых определяется по правилу правой руки. При этом следует иметь ввиду,

что если магнитное поле вращается по часовой стрелке, то относительное направление вращения проводника нужно принять противоположным направлению движения часовой стрелки.

Взаимодействие магнитного поля статора и токов в роторе создает в проводниках обмотки ротора электромагнитные силы F , направление которых определяется по правилу левой руки. Эти силы вращают ротор в направлении вращения поля статора.

Поле статора вращается со скоростью n_1 , которую называют синхронной, а ротор вращается с меньшей скоростью n_2 , которую называют асинхронной. Если бы ротор вращался с той же скоростью, как и поле статора, то в проводах обмотки ротора, не пересекающих силовых линий поля, не индуцировалась бы ЭДС, не возникали бы токи и электромагнитные силы, в результате чего вращающий момент на роторе был бы равен нулю.

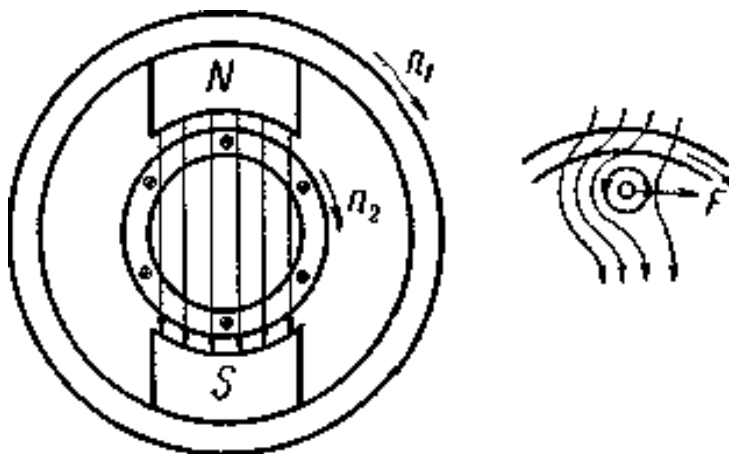


Рисунок 24 – Принцип действия асинхронного двигателя

Относительное отставание ротора от поля статора называют скольжением и обозначают символом s . Скольжение – основная переменная величина асинхронной машины, от которой во многом зависит режим ее работы. Скольжение может быть определено из уравнения $s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$ или в процентах $s\% = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%$. Скольжение асинхронных двигателей составляет 1,5...7%.

При неподвижном роторе скольжение достигает максимального значения ($s = 1$). В начальный момент пуска, когда скорость ротора равна нулю, скольжение равно 1. Из формулы скольжения можно вывести формулу скорости ротора: $n_2 = n_1 \cdot (1 - s)$. Значение скорости ротора n_2 при номинальной нагрузке, напряжении и частоте тока питающей сети указывают на заводском щитке двигателя.

Конструкция асинхронных двигателей с фазным и короткозамкнутым ротором

Асинхронный двигатель состоит из двух основных частей: неподвижной части – статора и вращающейся части – ротора.

Статор представляет собой стальной сердечник в виде пустотелого цилиндра, набираемого из отдельных листов электротехнической стали, изолированных между собой лаком. Внутри цилиндра выштампованы пазы, куда укладывают обмотку статора.

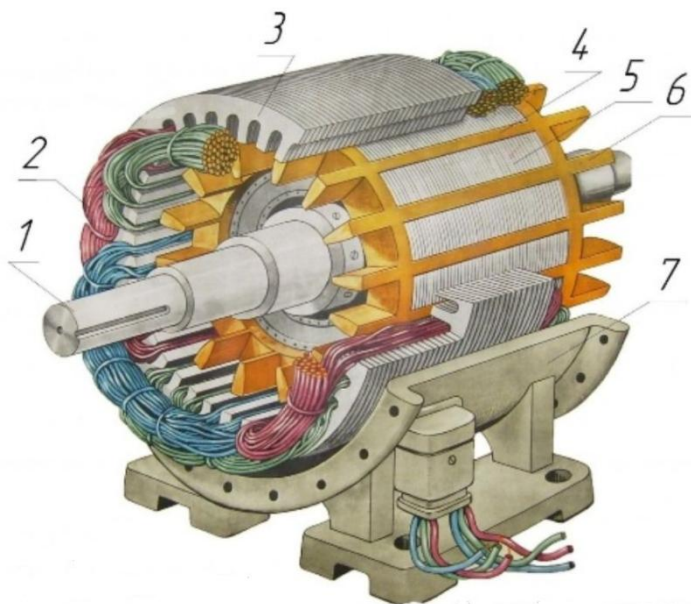
Внутри статора помещен ротор, представляющий собой стальной цилиндр, который набирают из отдельных листов электротехнической стали, изолированных между собой. Концы вала ротора через подшипники качения опираются на подшипниковые щиты.

Различают роторы короткозамкнутого и фазного типов.

В пазы короткозамкнутого ротора укладывают обмотку в виде «беличьей клетки», выполняемую из медных стержней, которую с торцевых сторон замыкают кольцами. В

двигателях небольшой мощности (до 100кВт) «беличью клетку» изготавливают, заливая пазы ротора расплавленным алюминием под давлением. «Беличью клетку» от стали ротора не изолируют, так как проводимость проводников обмотки в десятки раз больше проводимости стали. При отливке «беличьей клетки» из алюминия одновременно отливают короткозамкнутые кольца и вентиляционные лопасти.

Концы обмоток фаз выводят на зажимы коробки выводов. Обычно асинхронные двигатели предназначены для включения в трехфазную сеть на два разных напряжения, отличающихся в $\sqrt{3}$ раз



1- вал; 2- обмотка статора; 3 – сердечник статора; 4 – «беличья клетка»; 5 – сердечник ротора; 6 – вентилятор; 7 - станина

Рисунок 25 – Конструкция асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Например, асинхронный двигатель рассчитан для включения в сеть на напряжение 380/660В. Если в сети линейное напряжение 660В, то обмотку статора следует соединить в звезду, а если линейное напряжение сети 380В, то в треугольник. В обоих случаях фазное напряжение будет составлять 380В. Расположение выводов соответствует рисунку 26.

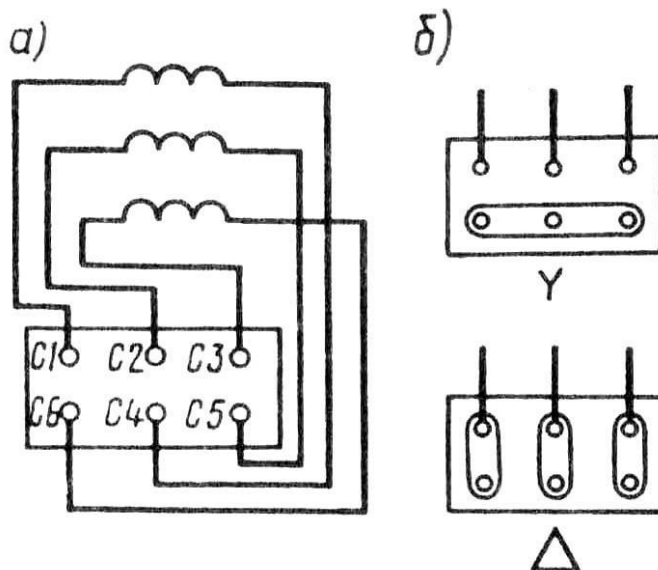


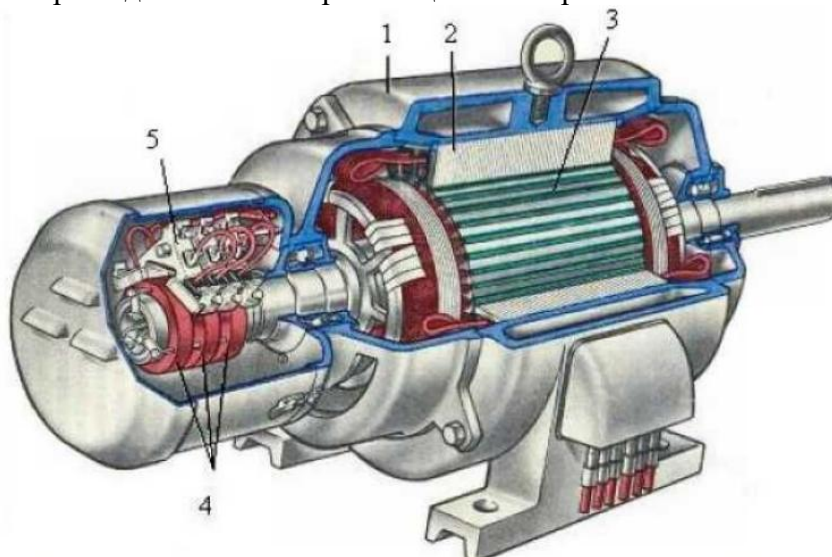
Рисунок 26 – Расположение выводов асинхронного двигателя на панели (а), соединение обмоток в звезду и в треугольник (б)

Двигатели с фазным ротором (рисунок 27) отличаются конструкцией ротора: на валу закреплен шихтованный сердечник с трехфазной обмоткой, выполненной аналогично

обмотке статора. Эту обмотку соединяют в звезду. А ее концы присоединяют к трем контактными кольцам, расположенным на валу и изолированным друг от друга и от вала. Для осуществления электрического контакта с обмоткой вращающегося ротора на каждое контактное кольцо накладывают обычно две щетки, располагаемые в щеткодержателях. Каждый щеткодержатель снабжен пружинами, обеспечивающими прижатие щеток к контактному кольцу с определенным усилием.

Асинхронные двигатели с фазным ротором имеют более сложную конструкцию и менее надежны, но они обладают лучшими регулировочными и пусковыми свойствами, чем двигатели с короткозамкнутым ротором.

Паспортные данные двигателя: тип двигателя, завод – изготовитель, год выпуска, номинальные данные (полезная мощность, номинальное напряжение, номинальный ток обмотки статора, коэффициент мощности, частота вращения ротора и коэффициент полезного действия). Для пуска двигателя с фазным ротором и регулирования его частоты вращения обмотка ротора подключается через специальный реостат.



1 – станина; 2 – обмотка статора; 3 – ротор; 4 – контактные кольца; 5 - щетки
Рисунок 27 – Конструкция асинхронного двигателя с фазным ротором

Синхронные машины

Синхронные машины – это бесколлекторные машины переменного тока. По своему устройству они отличаются от асинхронных машин лишь конструкцией ротора, который может быть явнополюсным и неявнополюсным. Что же касается свойств, то синхронные машины отличаются синхронной частотой вращения ротора ($n_2 = n_1 = \text{const}$) при любой нагрузке, а также возможностью регулирования коэффициента мощности, устанавливая такое его значение, при котором работа синхронных машин становится наиболее экономичной. Синхронные машины обратимы и могут работать и в режиме генератора и в режиме электродвигателя. Синхронные генераторы составляют основу электротехнического оборудования электростанций, практически вся энергия вырабатывается синхронными генераторами. Единичная мощность синхронного генератора может достигать 1000000 кВт и выше. Синхронные двигатели применяются в основном для привода устройств больших мощностей. Такие двигатели по своим технико – экономическим показателям превосходят двигатели других типов. В крупных электроэнергетических установках синхронные машины используют в качестве компенсаторов – генераторов реактивной мощности, позволяющих повышать коэффициент мощности всей установки.

Слово «синхронный» обозначает одновременный. Это значит, что одновременно и в строгой математической зависимости с изменением скорости вращения изменяется частота тока. Эта зависимость определяется формулой:
$$n_1 = \frac{60 f_1}{p}.$$

Синхронный генератор состоит из неподвижной части - статора, в пазах которой помещается трехфазная обмотка переменного тока, и вращающейся части – ротора, который представляет собой электромагнит (рисунок 28).

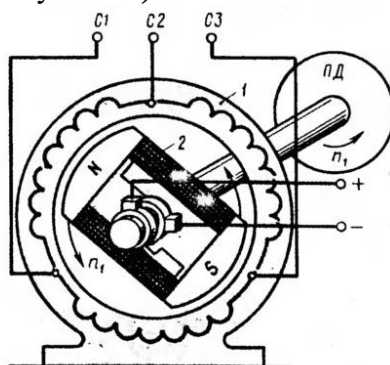


Рисунок 28 – Принцип действия синхронного генератора

В обмотку возбуждения ротора через щетки и кольца подается постоянный ток от возбудителя – машины постоянного тока или от какого – нибудь выпрямителя. Ротор синхронного генератора, находящийся внутри статора, вращают первичным двигателем, при этом магнитное поле ротора пересекает витки трехфазной обмотки статора и индуцирует в них ЭДС переменного тока.

В некоторых конструкциях синхронных генераторов обмотки полюсов неподвижны и укреплены на станине, а вращается трехфазная обмотка переменного тока, расположенная в пазах стального цилиндра, набранного из отдельных листов электротехнической стали. Существенный недостаток таких генераторов – наличие скользящего контакта, при помощи которого снимают переменный ток, ограничивает область их применения.

Статор синхронного генератора состоит из чугунной станины – корпуса, внутри которого находится сердечник статора, собранный из отдельных, изолированных между собой лаком или тонкой бумагой листов электротехнической стали. В пазы сердечника укладывают обмотку статора из медного изолированного провода.

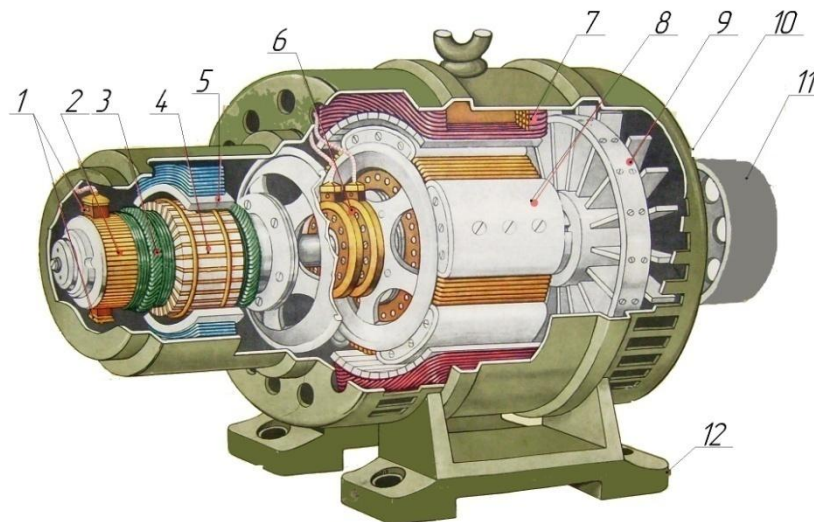


Рисунок 29 – Конструкция синхронного генератора: 1 – щетки и щеткодержатели; 2 – коллектор; 3 – обмотка якоря; 4 – якорь; 5 – статор; 6 – контактные кольца; 7 – обмотка статора; 8 – ротор генератора; 9 – вентилятор; 10 – корпус генератора; 11 – привод; 12 – станина

Роторы синхронного генератора могут быть двух типов – явнополюсные и неявнополюсные (рисунок 30). Явнополюсными выполняют роторы синхронных

генераторов, рассчитанных на небольшие скорости вращения и обычно соединяемых с тихоходными гидротурбинами, или генераторов малых или средних мощностей.

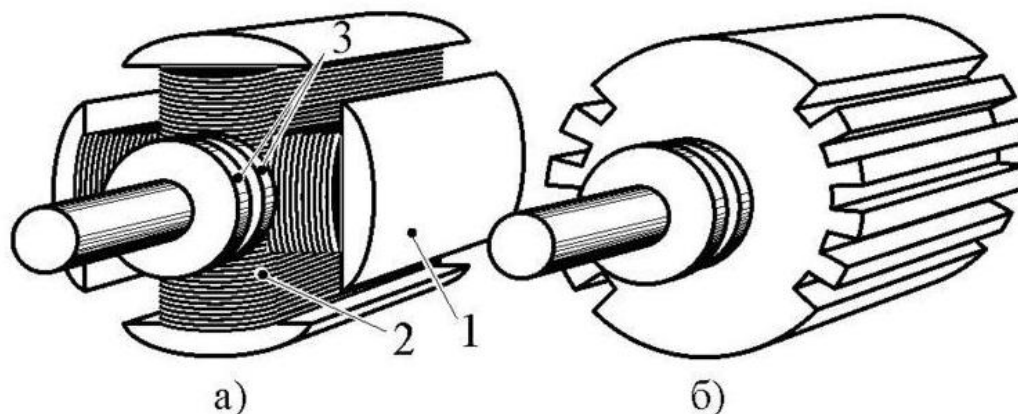


Рисунок 30 – Конструкции явнополюсного (а) и неявнополюсного (б) роторов:

1 – полюсы ротора; 2 – обмотка возбуждения; 3 – контактные кольца

Неявнополюсные роторы применяются в высокоскоростных генераторах (3000 об/мин) и генераторах значительной мощности, обычно соединяемых на одном валу с паровыми турбинами (турбогенераторы).

Сердечники полюсов большей частью изготавливают из литой стали, а башмаки иногда из отдельных листов электротехнической стали. Обмотку полюсов выполняют из медных изолированных проводов. Для создания синусоидальноизменяющейся ЭДС необходимо получить синусоидальное распределение магнитной индукции в воздушном зазоре. Это достигается неравномерностью распределения воздушного зазора между наконечником полюса и сталью статора: по краям полюсов воздушный зазор больше, чем под серединой полюса.

На вал генератора надевают два контактных кольца, изолированных от вала; к ним присоединяют выводы от обмотки возбуждения ротора. На контактные кольца устанавливают щетки, а к щеткам подводят постоянный ток от возбудителя.

Чаще всего в качестве возбудителя применяют машину постоянного тока, которую называют машинным возбудителем. Кроме того, в ряде случаев для возбуждения используют ток, выпрямленный при помощи механических или полупроводниковых выпрямителей.

У большинства синхронных машин возбудитель расположен на одном валу с генератором, в последних конструкциях возбудитель располагается вверху статора синхронной машины.

Л10 Электродвигатели, применяемые в сельском хозяйстве

В электроприводах сельскохозяйственного назначения применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Наиболее распространены электродвигатели мощностью от 1 до 3 кВт частотой вращения 1500 мин^{-1} . В животноводстве используют около 50% электродвигателей, в растениеводстве 30%, на подсобных предприятиях 20%.

Парк электродвигателей разделяется по сериям, исполнениям и модификациям. В сельском хозяйстве применяются электродвигатели единой серии 4А. Серия 4А имеет электродвигатели основного исполнения, модификации по электрическим, конструктивным, климатическим и другим параметрам, а также узкоспециализированные исполнения, в том числе и для сельского хозяйства.

Электродвигатели серии 4А сельскохозяйственного назначения выполняют на базе двигателей основного исполнения мощностью от 0,12 до 30 кВт с синхронной частотой вращения 3000, 1500 и 1000 мин^{-1} . Они имеют закрытое обдуваемое исполнение (IP44), чугунные корпуса и подшипниковые щиты. Коробки выводов выполнены двухштуцерными с уплотнением для предотвращения попадания влаги. Для присоединения к сети предусмотрены клеммные колодки. Конструкции электродвигателей позволяют пополнять

смазку подшипниковых опор без разборки, а в двигателях с высотой оси вращения до 132 мм применены подшипники, не требующие пополнения или замены смазки во время всего срока службы. В электродвигателях сельскохозяйственного назначения применены обмоточные и установочные провода, пропиточные, лакокрасочные и антикоррозийные материалы, обеспечивающие нагревостойкость по классу В (130⁰С), стойкость к воздействию повышенной влажности, агрессивных сред животноводческих помещений, дезинфицирующих растворов и аэрозолей. Они могут работать при температуре окружающей среды от – 45 до + 45⁰С, допускают длительную работу на пониженном (на 20%) напряжении с уменьшением паспортной мощности на 15%. Расчетный срок службы электродвигателя 8...10 лет, но не менее 12000 ч при работе его в среднем 1500 ч/год.

Электродвигатели серии 4А имеют 32 ступени мощности. Обозначение типа электродвигателя (4АН200М4У3) расшифровывается следующим образом: 4А – серия электродвигателя, Н – обозначение двигателя защищенного исполнения, отсутствие буквы обозначает, что электродвигатель закрытого обдуваемого исполнения, 200 – высота оси вращения, мм, М – установочный размер по длине станины (М, L, S), 4 – число полюсов обмотки (2,4,6,8 и тд), У – климатическое исполнение, 3 – категория размещения (1– для эксплуатации на открытом воздухе; 2 – для эксплуатации на открытом воздухе или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе; 3 – для эксплуатации в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий; 4 – для эксплуатации в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями (например в закрытых отапливаемых производственных помещениях); 5 – для эксплуатации в помещениях с повышенной влажностью (например, в неотапливаемых и невентилируемых помещениях, в том числе в шахтах).

Степени защищенности электродвигателей серии 4А сельскохозяйственного назначения приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Степени защищенности электродвигателей серии 4А сельскохозяйственного назначения

Исполнение	Степень защищенности	Условия работы
Влагоморозостойкое	IP44	В среде с повышенной влажностью и на открытом воздухе
Химовлагостойкое	IP55	Агрессивная среда животноводческих помещений, подвергаемая дезинфекции

Электродвигатели серии 4А сельскохозяйственного назначения допускают работу при снижении напряжения до 80% номинального при незначительном снижении мощности, а также кратковременную работу с сохранением момента, равного номинальному. Предусмотрены следующие модификации электродвигателей серии 4А: с повышенным скольжением, с повышенным пусковым моментом, со встроенной температурной защитой, многоскоростные, для моторредукторов, для привода пропеллерных осевых вентиляторов типа ВО.

Промышленность выпускает также асинхронные электродвигатели серии АИР (АИ). Эта серия имеет основное исполнение и практически все исполнения трехфазных электродвигателей серии 4А. электродвигатели серии АИР выпускаются с высотами оси вращения от 45 до 355 мм, мощностью от 0,025 до 315 кВт. Эта серия отличается от электродвигателей серии 4А пониженным уровнем шума и повышенной надежностью.

Отличия в обозначении от электродвигателей серии 4А заключаются в следующем: АИ – обозначение серии (асинхронный интернационального исполнения), Р – свидетельствует о привязке к установочным размерам международных серий электродвигателей.

Повышение надежности достигнуто путем применения материалов класса нагревостойкости F при достигнутом перегреве обмоток, соответствующем классу нагревостойкости B, т.е. 130⁰C.

Электродвигатели серии АИР имеют следующие модификации: АИРП – электродвигатели с повышенным пусковым моментом, АИРС – электродвигатели с повышенным скольжением, АИРУТ – однофазные электродвигатели с пусковым и рабочим конденсаторами, АИРК – электродвигатели с фазным ротором, АИР...Б – электродвигатели со встроенной температурной защитой (АИР80АБУЗ).

Электродвигатели сельскохозяйственного исполнения выпускают на базе унифицированной серии АИ с высотами оси вращения от 50 до 200 мм, они предназначены для эксплуатации в сельскохозяйственных помещениях с агрессивными средами и обозначаются следующим образом: АИР100L4БСУЗ. Эти электродвигатели могут работать в помещениях с концентрацией агрессивных газов: аммиака и сероводорода от 10 до 20 мг/м³, диоксида углерода – до 30 г/м³, и допускают длительное снижение напряжения на 80...90% номинального значения со снижением мощности соответственно не более чем на 30 и 20% для электродвигателей с высотами оси вращения 50...80 мм и не более чем на 25 и 15% для остальных. Возможна также кратковременная работа (не более 10 мин) с сохранением номинального момента на валу при снижении напряжения до 80% номинального значения.

Основные сведения о трехфазных асинхронных двигателях новых серий 5А, 6А, АИР

В настоящее время отечественная промышленность выпускает электродвигатели следующих серий: АИР, АИВ, 4А, 5А, 6А. Электродвигатели выпускаются в базовом и модифицированном исполнениях.

Основное (базовое) исполнение – к этой группе относятся трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором монтажного исполнения IM1001, рассчитанный на частоту питания 50 Гц, имеющие степень защиты IP54 (IP55) или IP23. Двигатели основного исполнения выпускаются во всем диапазоне мощностей и высот осей вращения, они обладают типовыми техническими характеристиками, соответствующими требованиям стандартов.

Модифицированное исполнение – к этой группе относятся двигатели, изготовленные на основе узлов основных (базовых) двигателей с необходимыми конструктивными отличиями по способу монтажа, степени защиты, климатическому исполнению и другими отличиями. К двигателям модифицированного исполнения относятся двигатели специального назначения - двигатели, предназначенные для узкоспециализированного применения, например, электродвигатели привода лифтов, грузоподъемных механизмов и др.

XX	X	X	X	X	X
<u>1 2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>

1 – обозначение серии;

2 – признак модификации;

3 – габарит (высота оси вращения, мм);

4 – установочный размер;

5 – число полюсов;

6 – признак отличия по назначению;

7 – климатическое исполнение.

1 - Обозначение серии: АИР, АИВ, 5А, 6А и др.

2 - Признак модификации: пристраиваемые – П; модернизированные – М; с алюминиевой станиной – Х; с фазным ротором – К; повышенного скольжения – С; с самовентиляцией – Н; с принудительным охлаждением – Ф; встраиваемые - В; однофазные – ЕУ; для транспорта – Э; с повышенным пусковым моментом – Р.

3 - Габарит (высота оси вращения, мм): две или три цифры (80, 112 и др.).

4 - Установочный размер по длине станины: S (меньшая), M (средняя), L (большая); вариант длины сердечника: A (меньший), B (большой). Отсутствие в обозначении буквы A или B означает, что при данном установочном размере (S, M или L) выполняется только одна длина сердечника.

5 - Число полюсов: однозначное или двухзначное четное число 2; 4; 6; 8; 10; 12 или 2/4 и др. (для двухскоростных двигателей).

6 - Признак отличия по назначению: с датчиком температурной защиты обмотки – Б; с датчиком температуры подшипника – Б1; с датчиком и антиконденсатным подогревателем – Б2; повышенной точности по установочным размерам – П; малошумные – Н; для лифтов – Л; для станков качалок – С; для сушильных шкафов – СШ; для АЭС – А (А1, А2, А3).

7 - Климатическое исполнение и категория размещения:

Двигатели имеют исполнения для эксплуатации в макроклиматических районах с умеренным (У), тропическим (Т), умереннохолодным (УХЛ) и холодным климатом (ХЛ) в условиях, определяемых категориями размещения: 1 – на открытом воздухе; 2 – под навесом при отсутствии прямого воздействия солнечного излучения и атмосферных осадков; 3 – в закрытых помещениях без искусственного регулирования климатических условий; 4 – в закрытых помещениях с искусственно регулируемым климатическими условиями.

В таблице 4 приведены значения климатических факторов – температуры и влажности воздуха для перечисленных выше условий.

Таблица 4 – Климатические факторы

Климатическое исполнение	Категория размещения	Рабочая температура		Максимальное значение Относительной влажности
		верхнее значение	нижнее значение	
У	1, 2	+ 40 °С	– 45 °С	100 при 25 °С
У	3	+ 40 °С	– 45 °С	98 при 25 °С
УХЛ	4	+ 35 °С	+ 1 °С	80 при 25 °С
Т	2	+ 50 °С	– 10 °С	100 при 35 °С
ХЛ, УХЛ	1, 2	+ 40 °С	– 60 °С	100 при 25 °С

В дополнение к обозначению двигателя указывается: монтажное исполнение – IM; напряжение питающей сети – 380 В (220/380 В и др.); степень защиты – IP.

Монтажное исполнение (IM) обозначается четырьмя цифрами: Первая цифра в обозначении – конструктивное исполнение двигателя: 1 – двигатель на лапах с подшипниковыми щитами; 2– двигатель на лапах с подшипниковыми щитами и фланцем на одном подшипниковом щите; 3– двигатель без лап с подшипниковыми щитами и фланцем на одном подшипниковом щите; 4 – двигатель без станины и подшипниковых щитов.

Вторая и третья цифры в обозначении – способ монтажа двигателя (на лапах, на фланце, вертикальное, горизонтальное и др.).

Четвертая цифра в обозначении – исполнение вала двигателя: 0 – без вала; 1– с одним цилиндрическим концом вала; 2– с двумя цилиндрическими концами вала.

Степень защиты (IP) обозначается двумя цифрами:

Первая цифра характеризует степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или вращающимися частями, находящимися внутри машины, а также степень защиты самой машины от попадания в неё твердых посторонних тел.

Первая цифра может быть 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6. Чем больше цифра, тем лучше защита. Например, цифра 2 означает: защита от проникновения внутрь оболочки пальцев или предметов длиной не более 80 мм и от проникновения твердых тел размером свыше 12 мм. Цифра 4 означает: защита от проникновения внутрь оболочки проволоки диаметром более 1 мм.

Вторая цифра – степень защиты от проникновения воды внутрь машины.

Вторая цифра может быть 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8. Чем больше цифра, тем лучше защита. Цифра 3 означает: защита от дождя (дождь, падающий на оболочку под углом 60° от вертикали, не должен оказывать вредного воздействия на изделие). Цифра 4 означает: защита от брызг (вода, разбрызгиваемая на оболочку в любом направлении, не должна оказывать вредного воздействия на изделие).

В обозначении двигателя может применяться использование нескольких отличительных признаков модификации и назначения. Обозначение двигателя пишется слитно, пробел не применяется.

Пример маркировки электродвигателя и расшифровки его параметров

5AMX132M2БПУ2 – электродвигатель серии 5А; модернизированный, с алюминиевой станиной; высота оси вращения – 132 мм; установочный размер по длине станины – М (средняя); в данном типоразмере двигателя выполняется только одна длина сердечника (деление на меньший или больший не предусмотрено); число полюсов – 2 (это означает, что двигатель имеет синхронную скорость $n_0 = 3000$ об/мин); двигатель имеет датчик температурной защиты (Б), а также повышенную точность по установочным размерам (П); двигатель предназначен для эксплуатации в макроклиматических районах с умеренным климатом (У); категория размещения – 2 (под навесом при отсутствии прямого воздействия солнечного излучения и атмосферных осадков).

Тема 1.4. АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Л11 Аппаратура управления и защиты электродвигателей ручного и дистанционного управления. Аналоговые и дискретные элементы и устройства, микропроцессорные средства управления, их виды и устройство

Составной частью электропривода является аппаратура управления и защиты электродвигателей, предназначенная для пуска и остановки двигателя, изменения частоты и направления вращения вала двигателя, а также обеспечения работы электродвигателя в заданных режимах в соответствии с требованиями технологического процесса и защиты его при отклонении режима работы от заданного.

Аппаратуру управления классифицируют по следующим признакам: по способу управления — с ручным, автоматическим и дистанционным управлением; роду тока — для постоянного и переменного тока; исполнению — открытое, защищенное пыле-брызгонепроницаемое, тропическое и т. п.

Аппаратура ручного управления приводится в действие обслуживающим персоналом. К ней относятся выключатели и переключатели, рубильники, пусковые резисторы, кнопочные станции, магнитные пускатели, автоматические выключатели. Ручное управление электроприводами применяют только в редко включаемых установках небольшой мощности, не требующих дистанционного управления.

Для автоматического управления электроприводом широко применяют релейно-контакторную аппаратуру, в состав которой входят контакторы, магнитные пускатели с кнопочными станциями, конечные и путевые выключатели, различные реле и т. п. Существуют бесконтактные способы управления электроприводами, основанные на применении тириستоров и симисторов.

Для управления электроустановками производственного назначения используют пакетные выключатели и переключатели. Их выпускают общего исполнения для открытой и скрытой установки в помещениях с нормальной средой и герметическими (полугерметическими) — для сырых помещений. Контакты у выключателей скользящие или рубящие. По исполнению выключатели и переключатели бывают перекидные, поворотные, кнопочные, клавишные и др.

Пакетные выключатели и переключатели предназначены для нечастых включений в цепях небольшой мощности (токи до 100 А при напряжении 220 В, 60 А — при 380 В). Их изготавливают открытого исполнения или с защитным кожухом. Они рассчитаны для установки на щитах, в распределительных ящиках, сухих помещениях.

Пакетный выключатель состоит из отдельных сложенных вместе пакетов 3 (рисунок 31) и приводного механизма. Пакет является одним полюсом выключателя, в котором имеются два разрыва. Неподвижные контакты 5 выполнены в виде массивных пластин из латуни, подвижные 6 — в виде двух пружинящих губок, которые насажены на квадратный изолированный вал 4 выключателя с рукояткой и могут поворачиваться вместе с ним.

Движение подвижных контактов осуществляется с помощью приводного механизма 1. При вращении рукоятки 2 сначала заводится пружина, которая сообщает необходимую скорость контактам.

Пакетные выключатели и переключатели обладают большими преимуществами по сравнению с другой аппаратурой управления: малыми габаритными размерами, удобством монтажа, вибро- и удароустойчивостью. Применяют их в непыльных помещениях с относительной влажностью воздуха до 80 % при температуре 40 °С.

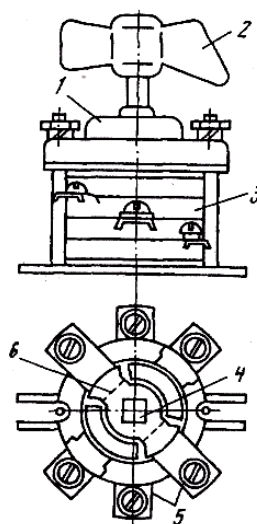


Рисунок 31 – Пакетный выключатель: 1 – приводной механизм, 2 – рукоятка выключателя, 3 – пакеты, 4 – изоляционный вал, 5 – неподвижные контакты, 6 – подвижные контакты

Для включения и отключения электрических цепей напряжением до 500 В применяют также простейшие аппараты управления — рубильники.

Рубильник состоит из неподвижных врубных контактов 2 (рисунок 32), главных ножей 6, закрепленных шарнирно в неподвижных контактах 7, дугогасительного устройства и привода. Рубильники монтируют на изоляционных плитах 1, включают центральной 5 и боковой 9 рукоятками или через систему рычагов. Важнейшая часть рубильника — контакты. Нажатие на них в рубильниках, рассчитанных на токи до 100 А, обеспечивают пружинящие губки, а на токи больше 100 А — стальные пружины. Рубильники имеют устройства, предохраняющие ножи и контакты от обгорания и быстро отключающие контакты. Одно из наиболее простых устройств — моментный нож 3, соединенный с главным ножом 6 и пружиной 4. Во включенном положении ток в основном протекает по главному ножу. При выключении из губок неподвижных контактов 2 сначала выходит главный нож, а моментный остается в контактах, и по нему протекает ток. Так как цепь не разрывается в момент выхода из контактов главного ножа, то дуга при этом не возникает.

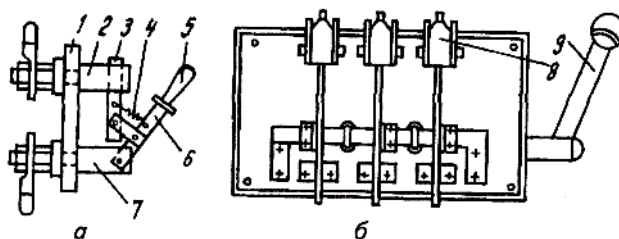


Рисунок 32 – Рубильник: а – с центральной рукояткой и моментальным дугогасительным ножом, б – с боковой рукояткой и дугогасительной камерой; 1 – изоляционная плита, 2 – неподвижный врубной контакт, 3 – моментный нож, 4 – пружина, 5 – центральная рукоятка, 6 – главный нож, 7 – неподвижный контакт, 8 – дугогасительная камера, 9 – боковая рукоятка

При достаточно отведенном главном ноже пружина разжимается и благодаря упругости вытягивает с большой скоростью моментный нож из неподвижного врубного контакта. Возникающая при этом дуга быстро гасится и не вызывает обгорания контактов и ножа. Рубильники и переключатели выпускают на токи 100...500 А при напряжениях до 500 В постоянного тока и переменного частотой 50 Гц.

Командоаппараты служат для ручного переключения контрольных цепей катушек магнитных пускателей, контакторов, реле и т. д. Замыканием или размыканием электрической цепи оператор может дистанционно подать команду на пуск или остановку

электрической машины. Наиболее простые командоаппараты—кнопки управления (рисунок 33), применяемые для дистанционного управления электромагнитными аппаратами постоянного и переменного тока напряжением до 500 В. Несколько кнопок, установленных в общем кожухе, состоящем из основания и крышки, образуют кнопочный мост управления.

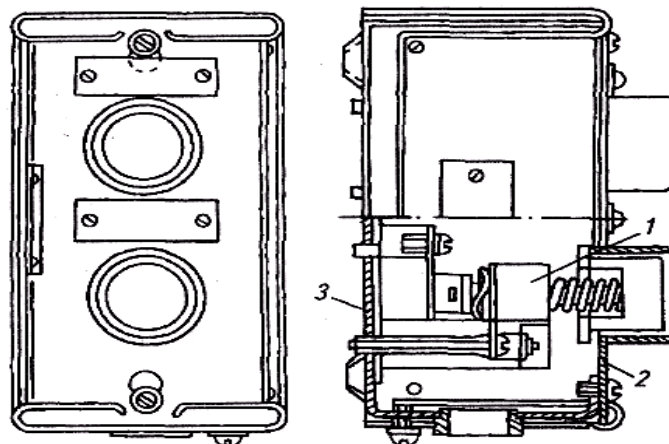


Рисунок 33 – Кнопочный пост с двумя кнопочными элементами:

1 – кнопка, 2 – крышка, 3 – основание

Контакторы дистанционного действия служат для частых включений и отключений силовых электрических цепей при нормальных режимах работы. В силовых цепях животноводческих электроустановок в основном используют контакторы переменного тока.

Контакторы состоят из главных и вспомогательных контактов, электромагнитного и дугогасительного устройств. Главные контакты рассчитаны на большое число включений и отключений силовой цепи в единицу времени (большая частота). Они бывают рычажные и мостовые. Электромагнитное устройство обеспечивает дистанционное управление контактором. Оно состоит из катушки и двух сердечников Ш- или Т-образной формы. Сердечники набирают из изолированных одна от другой пластин толщиной 0,35; 0,5; 1 мм. Для гашения дуги, возникающей при размыкании контактов, предусмотрено дугогасительное устройство. Вспомогательные контакты необходимы для переключения в цепях управления контактора, блокировки и сигнализации.

Контакторы чаще всего выполняют по прямоходовой схеме, в которой контакты связаны с якорем через бесшарнирную рычажную систему (рисунок 34, а) или непосредственно (рисунок 34, б). Прямоходовая схема из-за отсутствия шарнирных соединений характеризуется высокой износостойкостью. Для устранения взаимного влияния ударов в системе и повышения износостойкости деталей контакторов применяют поворотные схемы (рисунок 34, в), в которых движение от электромагнита к контактам передается шарнирными рычагами.

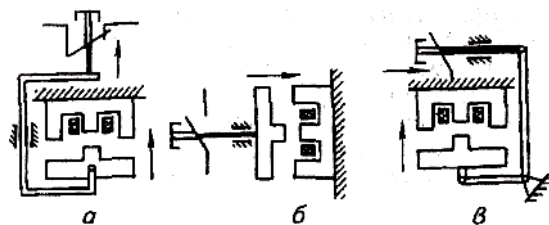


Рисунок 34 – Кинематические схемы контакторов:

а, б – прямоходовые, в – поворотные

Электромагнитный контактор переменного тока (рисунок 35) состоит из закрепленных на изоляционной плите неподвижных главных контактов, блокировочных контактов, сердечника с обмоткой электромагнита. Магнитная система поворотная Ш-образная. Якорь 8 жестко связан с подвижной системой. Продолжение боковых пластин якоря образует рычаг, закрепленный на валу 2. На этом же валу установлены подвижные

главные контакты 5 и траверса 3 для блокировочных контактов. Сердечник электромагнита установлен на амортизирующих пружинах.

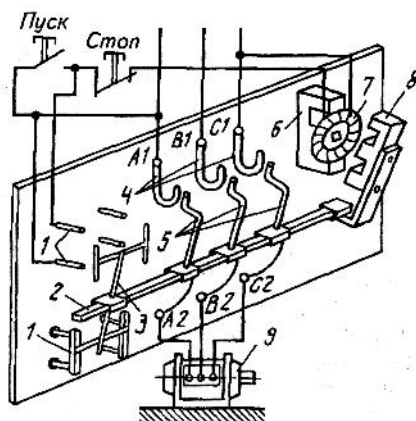


Рисунок 35 – Схема контактора переменного тока:

1 — блокировочные контакты; 2 — вал; 3 — траверса; 4 — неподвижные главные контакты; 5 — подвижные главные контакты; 6 — сердечник; 7 — обмотка электромагнита; 8 — якорь электромагнита; 9 — электродвигатель

Для пуска электродвигателя необходимо нажатием кнопки «Пуск» замкнуть контакты в цепи управления. Тогда электрический ток пойдет от одного фазного провода через контакты кнопок управления «Пуск» и «Стоп», обмотку электромагнита к другому фазному проводу. При прохождении тока по обмотке 7 сердечник намагничивается и притягивает якорь 8, вместе с которым поворачиваются вал 2 и подвижные главные контакты 5. При этом главные контакты замыкаются и к обмоткам статора электродвигателя поступает ток. Одновременно с замыканием главных контактов замыкаются верхние блокировочные контакты 1, которые замыкают цепь обмотки электромагнита, минуя контакты кнопки управления «Пуск», что позволяет ее после включения отпустить.

Для отключения электродвигателя достаточно нажать кнопку «Стоп». При этом электрическая цепь размыкается, катушка электромагнита обесточивается, контакты размыкаются под действием собственной силы тяжести или пружин, обесточивается и обмотка статора электродвигателя.

Магнитный пускатель управляет асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями и защищает их от перегрева. Он состоит из контактора со встроенной тепловой защитой (тепловое реле) и кнопок управления. В магнитных пускателях применяют трехполюсные контакторы с контактной мостовой системой. Облегченный, коромысловый, самоуставляющийся мост крепят в металлической обойме пластмассовой направляющей колодкой, что обеспечивает его высокую износостойкость.

Магнитные пускатели защищают электрическую установку от самопроизвольного повторного включения при восстановлении напряжения после аварийного снижения его до нуля или недопустимо низких значений. При отключении пускателя вследствие перебоев в электроснабжении размыкаются все его контакты, в том числе и вспомогательные. При появлении напряжения в сети пускатель не включается до тех пор, пока не будет нажата кнопка «Пуск». То же происходит, когда напряжение в сети снижается до 50...60 % номинального. Если же электродвигатель включают рубильником, пакетным выключателем или контроллером, то при перерыве в электроснабжении и остановке двигателя схема не нарушается. При восстановлении напряжения двигатель самопроизвольно включается в сеть. Такой самопроизвольный пуск двигателя может послужить причиной аварии или несчастного случая.

Наиболее распространены магнитные пускатели типов ПМЛ, ПМЕ, ПА и ПАЕ. Втягивающие катушки их могут быть рассчитаны на напряжение 127, 220, 380 В переменного тока частотой 50 Гц.

Для электроустановок, применяемых в сельском хозяйстве, характерны работа при токе, превышающем номинальный, неравномерное распределение тока по фазам,

пониженное напряжение, а также внезапные отключение и подключение тока. Повышенный сверхноминальный ток возникает из-за перегрузки или неисправности электроприемников и вследствие короткого замыкания. При большом снижении напряжения сила тока в сети падает, что приводит к уменьшению частоты вращения электродвигателей, теплоотдачи электронагревателей и светоотдачи электроламп.

Защитная аппаратура должна своевременно отключать электроустановки, чтобы температура обмоток электродвигателей или проводов сети не успела достигнуть опасных значений, а также предотвратить самопуск электроустановки в случае прекращения и повторной подачи электроэнергии. К такой аппаратуре относятся плавкие предохранители высокого и низкого напряжений, автоматические выключатели, реле максимального тока и реле минимального напряжения.

Плавкие предохранители низкого напряжения (рисунок 36) автоматически отключают электрическую цепь при ее коротком замыкании или перегрузке. Основные элементы всех предохранителей: плавкая вставка, корпус, контактное и дугогасительное устройства.

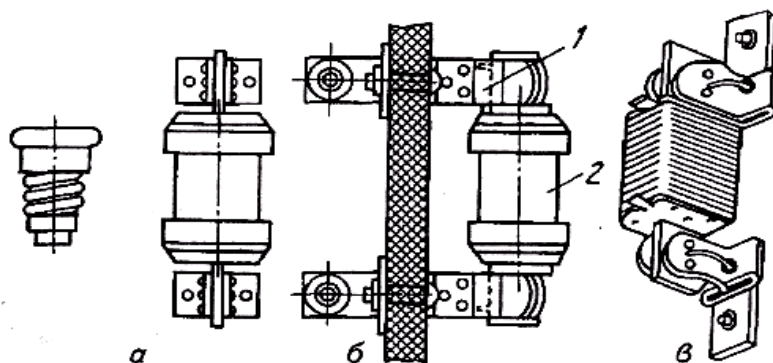


Рисунок 36 – Плавкие предохранители: а – пробочный, б – типа НПП, в – типа ПН – 2, 1- контактная стойка, 2 - патрон

В нормальных условиях вся выделяемая вставкой теплота отводится в окружающую среду. При увеличении тока нагрузки повышается температура вставки, и она плавится. После отключения цепи плавкий предохранитель заменяют.

Плавкие вставки изготовляют из листового цинка. Возникающая при перегорании дуга вызывает сильное выделение газов стенками фибровой трубки патрона. При этом в патроне резко повышается давление (0,1 Па и более), которое способствует гашению дуги.

Предохранители высокого напряжения отличаются от предохранителей низкого тем, что патрон, в который помещают плавкую вставку, изготовляют герметичным и весь его объем заполняют кварцевым песком, газом или жидкостью для интенсивного гашения дуги.

Автоматические выключатели (автоматы) АП50, А63, А3100, АЕ2000 предназначены для ручного включения и отключения электроустановок и автоматического отключения их в случае перегрузки или короткого замыкания.

Автомат АП50 (рисунок 37) состоит из основания, группы главных контактов, дугогасительных камер, электромагнитного и теплового расцепителей, кнопок «Пуск» и «Стоп». Тепловые расцепители защищают электроустановки от тока перегрузки, а электромагнитные — от тока короткого замыкания, размыкая главные контакты через механизм расцепления. Тепловые расцепители регулируемые, электромагнитные — нерегулируемые.

Марку автомата АП50-ЗМТ расшифровывают следующим образом: АП — тип автомата, 50 — максимальный ток главных контактов (А), 3 — число расцепителей, М — магнитный расцепитель, Т — тепловой расцепитель.

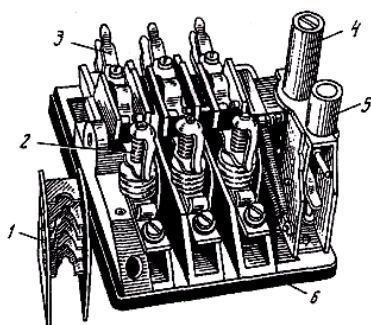


Рисунок 37 – Автоматический выключатель АП – 50 (крышка и дугогасительные камеры сняты): 1 — дугогасительная камера; 2 — электромагнитный расцепитель; 3 — главные контакты; 4, 5 — кнопки; 6 — основание

Тепловые реле (рисунок 38) магнитного пускателя защищают электродвигатель от перегрузок. Датчиком тепловых реле служит биметаллическая пластинка 3 (выполнена из двух металлов, имеющих разные коэффициенты линейного расширения).

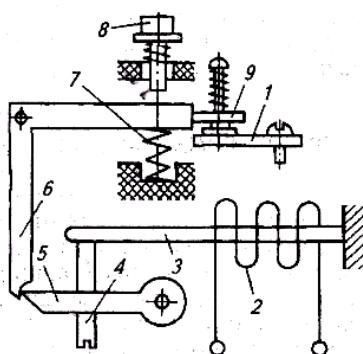


Рисунок 38 – Схема теплового реле: 1, 9 – контакты, 2 – нагреватель, 3 – биметаллическая пластинка, 4, 6 – рычаги, 5 – защелка, 7 – пружина, 8 – кнопка возврата

Теплота, выделяемая нагревателем, включенным последовательно в защищаемую цепь, воздействует на биметаллическую пластинку. При точке перегрузки биметаллическая пластинка нагревается и деформируется. Изгибаясь, пластинка через рычаг 4 отводит защелку 5 и освобождает рычаг 6, который под действием пружины поворачивается на оси и размыкает контакты 9 и 1, разрывая защищаемую цепь, что действует так же, как и нажатие кнопки «Стоп». Остывшую пластинку возвращают в исходное положение, нажав кнопку возврата 8. Некоторые реле имеют механизм самовозврата. Нагреватели тепловых реле выбирают по каталогу в зависимости от номинального тока электродвигателя.

Реле максимального тока (рисунок 39) имеет катушку, включенную последовательно с главной цепью. Катушка 5 намагничивается при прохождении через нее тока определенного значения, но сила намагничивания не в состоянии преодолеть силу натяжения пружины 6, и цепь остается замкнутой. При увеличении тока в цепи выше допустимого катушка притягивает якорь 4, который, поворачиваясь вокруг оси, ударяет по защелке. При этом механизм расцепления отходит, пружина 1 отводит перемычку и цепь размыкается.

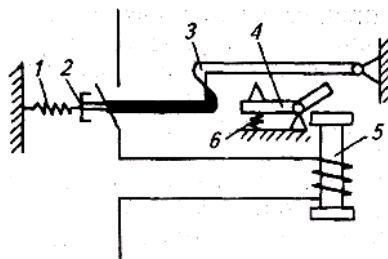


Рисунок 39 – Реле максимального тока: 1, 6 – пружины, 2 – перемычка, 3 – механизм расцепления, 4 – якорь, 5 - катушка

Реле минимального напряжения (рисунок 40) удерживает якорь 4 в притянутом состоянии катушкой 6, через которую проходит ток. При понижении напряжения сила намагничивания катушки уменьшается и пружина 5 воздействует на якорь, который ударяет по защелке. Механизм расцепляется, пружина / отводит перемычку, и цепь размыкается.

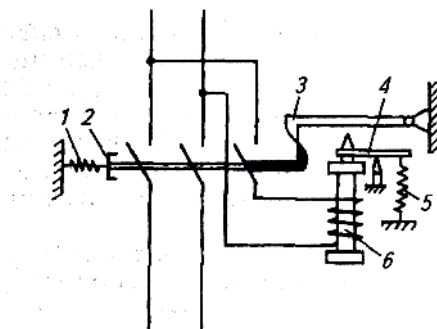


Рисунок 40 – Реле минимального напряжения: 1,5 – пружины, 2 – перемычка, 3 – механизм расцепления, 4 – якорь, 6 – катушка

Аналоговые элементы и устройства управления

Интегральные микросхемы - элементы у которых - транзисторы, диоды, резисторы и пр. - неразрывно соединены электрически, конструктивно, технологически. Количество элементов может достигать нескольких тысяч.

ИС классифицируются по нескольким признакам - виду электрических сигналов (аналоговые и цифровые), функциональному назначению, степени интеграции, быстродействию, потребляемой мощности.

Отдельная группа полупроводниковых устройств - оптоэлектронные приборы - это приборы, чувствительные в электромагнитному излучению в спектральном диапазоне (от инфракрасного до ультрафиолетового) или излучают электромагнитную энергию в этом же диапазоне.

К ним относятся - светоизлучающий диод (СИД), инфракрасный излучающий диод (ИК - диод), фоторезистор, фотодиод, фототиристор, фототранзистор, оптопара

Операционный усилитель - усилитель постоянного тока, с большим коэффициентом усиления.

Дискретные элементы и устройства управления

Тенденцией развития систем управления и автоматизации является применение в них дискретных элементов и устройств, получивших название цифровых. Они характеризуются высокой точностью, быстродействием, надежностью в работе, малым энергопотреблением. Также они естественным образом сочетаются с ЭВМ, составляя с ними единую автоматизированную систему управления.

Бывают случаи применение смешанных, цифроаналоговых систем.

Триггер - пусковая схема с несколькими устойчивыми состояниями, это элемент цифровой системы управления. С их использованием строятся различные логические и вычислительные узлы и устройства памяти. Он может запомнить предварительно установленный в нем уровень логического сигнала (0 и 1) и сохранять это уровень до момента новой записи. Элементарная ячейка памяти, для хранения 1 бита информации (0 или 1, двоичная система).

Вычислительные устройства - для выполнения арифметических операций в цифровых узлах.

Логические цифровые узлы - для логических операций над дискретными электрическими сигналами. Это распределители импульсов, шифраторы, дешифраторы, мультиплексоры.

Устройства памяти - для запоминания, хранения и выдачи информации. К ним относятся регистраторы, матрицы-накопители, оперативные и постоянные запоминающие устройства.

Цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи - применяются для взаимного преобразования аналоговых и цифровых сигналов.

Полупроводниковые логические элементы

Логическими элементами называются дискретные элементы, напряжения на входе и выходе которых могут принимать высокое -логическую 1 или низкую - логический ноль значения.

Могут выполняться на электромагнитных реле, магнитных элементах и виде ИС, являющихся современным их исполнением.

Простейшие л.э. -НЕ, ИЛИ, И, ИЛИ -НЕ

Также они могут запоминать определенный уровень входного сигнала, блокировку, выдержку времени на выключение и отключение и другие операции.

Микропроцессорные средства управления

Микропроцессор - программно-управляемое цифровое устройство, предназначенное для обработки информации и управления этим процессом.

Выполняется на основе одной или нескольких больших ИС, состоящих из нескольких десятков тысяч простых элементов и могут иметь 24, 40, 48 и 64 выхода.

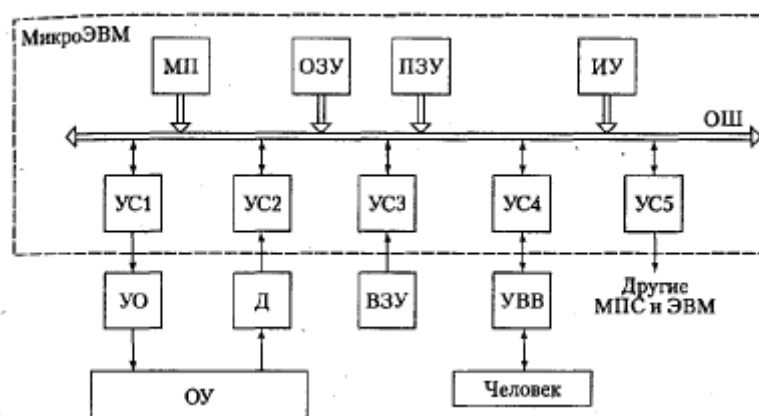


Рисунок 41 – Схема микропроцессорной системы

В него входят арифметико-логическое устройство (АЛУ), устройство управления (УУ) регистровое запоминающее устройство (РЗУ). Эти три основные части соединены тремя линиями связи - шинами данных (ШД), шинами адресов (ША) и шинами управления (ШУ).

Для выполнения функций управления схема МП дополняется целым рядом блоков, в результате чего образуем микропроцессорная система (МПС).

Программируемые контроллеры (ПК) - представляют собой МПС, предназначенные для управления локальными объектами в реальном масштабе времени. Изначально он появились как средство для замены релейной автоматики и устройств жесткой логики на ИС малой и средней степени интеграции. В настоящее время это класс микропроцессорных систем, ориентированных на широкое использование в промышленной среде для решения задач автоматизации.

Программируемый контроллер имеет соответствующее конструктивное исполнение и специальное программное обеспечение, доступное для персонала.

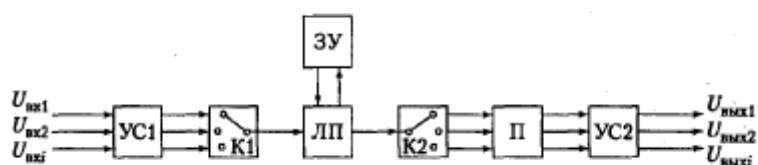


Рисунок 42 – Схема программируемого контроллера

ЗУ - запоминающее устройство, в котором содержится программа его работы
ЛП - логический процессор, осуществляющий логические операции над последовательно

вводимыми сигналами. К1 К2 - коммутаторы входных и выходных сигналов соответственно. УС 1,2 - устройства сопряжения с входными и выходными сигналами U - входные и выходные сигналы

Программирование контроллеров ведется на специальных проблемно-ориентированных языках управления.

К ним относятся: графические языки релейно-контакторных схем (РКС), графические языки логических схем, использующие типовые функции, языки мнемонического символьного кодирования, языки ассемблерного типа, проблемно-ориентированные языки высокого уровня (графсет, ЯРУС-2, ФОКОН-2) или модифицированные традиционные языки программирования.

Датчики и другие дополнительные средства мониторинга и регулирования

Под термином "датчик угла" понимаются устройства, преобразующие угловую координату в электрическое напряжение. Это напряжение используется в системах автоматизированного электропривода как сигнал обратной связи по углу или как управляющий сигнал в задающих устройствах.

Датчики угла находят применение в следящих системах для измерения угла поворота исполнительного вала. Задание на движение системы может выполняться также с помощью датчика угла, угловой координатой которого является угол поворота задающей оси.

В системах автоматизированного электропривода датчики скорости используются для реализации обратной связи по скорости. В этом качестве нашли широкое применение тахогенераторы - микромашины постоянного и переменного токов.

Тахогенератор постоянного тока представляет собой электрическую машину постоянного тока с независимым возбуждением или постоянными магнитами. Входная координата тахогенератора - угловая скорость, выходная - напряжение, выделяемое на сопротивлении нагрузки.

Тахогенераторы переменного тока выполнены на базе асинхронной двухфазной машины. На статоре имеются две взаимно перпендикулярные обмотки: обмотка возбуждения, расположенная по одной оси, и выходная управляющая, расположенная по другой оси и включенная на сопротивление нагрузки. Для уменьшения момента инерции ротор выполняется тонкостенным в виде полого стакана немагнитного материала (обычного алюминиевого сплава). Внутри ротора размещается неподвижный стальной шихтованный сердечник, по которому замыкается магнитный поток.

В современных системах АЭП с большими диапазонами регулирования скорости и высокими требованиями к ее стабилизации точность тахогенератора может оказаться недостаточной.

Для таких систем используются цифровые датчики скорости. Функционально в них можно выделить две основные части: импульсный преобразователь скорости - датчик импульсов, преобразующий угловую скорость вала в импульсы с частотой, пропорциональной скорости, и кодовый преобразователь - счетчик импульсов, формирующий на интервале изменения цифровой код выходной величины датчика скорости.

Датчик импульсов может быть выполнен на основе индуктосина - многополюсного индуктивного преобразователя или фотоэлектрического кодового диска.

В системах АЭП контролируемые и регулируемые координатами являются не только механические величины - угол поворота, скорость, ускорения, но и электрические - напряжение, ток, ЭДС, мощность.

Для изменения этих координат используются соответствующие датчики. К числу типовых можно отнести датчики тока и напряжения. Они наиболее широко применяются и на их основе стоят датчики ЭДС и мощности.

Назначение датчиков электрических величин - преобразование входной величины - напряжения или тока цепи преобразователя, двигателя в выходной сигнал, пропорциональный входной величине.

Они также могут быть аналоговыми и цифровыми (последнее сейчас наиболее актуальны).

На основе рассмотренных датчиков с использованием регуляторов и согласующих элементов могут составляться схемы датчиков различных величин, непосредственное изменение которых затруднено.

В таких датчиках реализуется косвенное выделение измеряемой величины на основании известных соотношений, которые связывают искомую величину с величинами непосредственно измеряемыми с помощью имеющихся датчиков. Например, датчик мощности цепи постоянного тока можно составить из датчиков напряжения, тока и блока умножения, в котором перемножаются выходные величины датчиков напряжения и тока. Аналогично могут строиться и комплексные датчики неэлектрических величин - момента, ускорения и т. п.

Также могут быть комплексные датчики неэлектрических величин. Для датчиков угла и рассогласования широкое применение нашли сельсины и вращающиеся трансформаторы.

Сельсин - небольшая электрическая машина переменного тока, имеющая две обмотки: однофазную - обмотку возбуждения и трехфазную обмотку синхронизации. По конструктивному признаку сельсины разделяются на два основных типа: контактные и бесконтактные. У первого - обмотка возбуждения расположена на роторе, обмотка синхронизации - на статоре. У второго - обмотка ротора получает питание от вращающейся совместно с ротором вторичной обмотки кольцевого трансформатора возбуждения с неподвижной первичной обмоткой.

Электромагнитные муфты и тормоза

Электромагнитная муфта - устройство, позволяющее с помощью электрического сигнала управления соединять или разъединять валы, а также регулировать скорость исполнительного органа рабочей машины при постоянной скорости вращения двигателя.

В электроприводах применяются электромагнитные муфты с механической связью, порошковые и индукционные.

Тормозные устройства - для фиксации исполнительных органов в заданном положении, ограничения пути торможения после отключения двигателя, а также фиксацию в определенном положении после отключения.

Тормозные устройства разнообразны, они подразделяются на электромагнитные, гидравлические, пневматические по типу используемой энергии. По конструкции - дисковые, конические, цилиндрические,

По начальному положению фрикционных элементов - нормально разомкнутые, нормально замкнутые.

Самый распространенные - электромагнитные тормоза.

Защита, блокировки и сигнализация в электроприводах

Для обеспечения эффективной защиты применяются следующие виды защит

Аппараты максимальной токовой защиты - плавкие предохранители, реле максимального тока, автоматические выключатели.

Нулевая защита - от значительного снижения напряжения сети - обеспечивает отключения двигателя

Тепловая защита - отключает двигатель от источника питания, если вследствие протекания по его цепям повышенных токов имеет место более высокий нагрев его обмоток.

Минимально-токовая защита применяется с двигателями постоянного тока и синхронными двигателями для защиты от обрыва их цепей возбуждения.

Специальные виды защит - от перенапряжения на обмотке возбуждения двигателя постоянного тока, от повышения напряжения в системе "преобразователь-двигатель", от превышения скорости ЭП, от затянувшегося пуска синхронных двигателей, путевая защита, обеспечивает отключение привода при достижении исполнительным органом крайних положений, защита синхронности синхронных двигателей и ряд других.

Электрические блокировки в системах привода служат для обеспечения заданной последовательности операций при его управлении, предотвращения нештатных и аварийных ситуаций, ошибок оператора и т.п.

Сигнализация в системах управления может быть световой (сигнальные лампы, табло), звуковой (сирена, звонок), визуальной (указательные реле, измерительные приборы).

Л12 Выбор аппаратов управления и защиты

Выбор аппаратов управления и защиты в системах электропитания приборов и средств автоматизации производится с учетом следующих основных требований:

- напряжение и номинальный ток аппаратов должны соответствовать напряжению и допустимому длительному току цепи. Номинальные токи аппаратов защиты следует выбирать по возможности наименьшими по расчетным токам отдельных электроприемников, при этом аппараты защиты не должны отключать цепь при кратковременных перегрузках (например, при пусках электродвигателей);

- аппараты управления должны без повреждений включать пусковой ток электроприемника и отключать полный рабочий ток, а также без разрушения допускать отключение пускового тока;

- аппараты защиты по своей отключающей способности должны соответствовать токам короткого замыкания в начале защищаемого участка; отключение защищаемой линии или электроприемника должно производиться с наименьшим временем;

- при коротких замыканиях по возможности должна быть обеспечена селективность работы защитных аппаратов с ниже- и вышестоящими защитными и коммутационными аппаратами; рекомендуется номинальные токи каждого последующего по направлению тока аппарата защиты (предохранителей и тепловых расцепителей) принимать на две ступени ниже, чем предыдущего, если это не приводит к завышению сечений проводов;

- аппараты защиты должны обеспечивать надежное отключение одно- и многофазных коротких замыканий в сетях с глухозаземленной нейтралью и двух- и трехфазных коротких замыканий в сетях с изолированной нейтралью в наиболее удаленной точке защищаемой цепи. Для этого кратности токов однофазных коротких замыканий в сетях с глухозаземленной нейтралью должны превышать не менее чем:

- в 3 раза номинальный ток плавкой вставки предохранителя данной цепи;

- в 3 раза номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику;

- в 1.4 раза ток уставки мгновенного срабатывания автоматического выключателя, имеющего только электромагнитный расцепитель (отсек) с номинальным током до 100 А;

- в сетях с изолированной нейтралью, защищенных только от коротких замыканий, в которых сечения проводников выбраны с учетом требований, изложенных в § 5.6, допускается указанную выше расчетную проверку кратности тока короткого замыкания не выполнять; в сетях с глухозаземленной нейтралью эта проверка является обязательной.

Выбор магнитных пускателей

А) по номинальному напряжению пускателя:

$$U_{н.пуск} = U_{н.дв}$$

Б) по номинальному току пускателя:

$$I_{н.пуск} \geq I_{н.дв}$$

В) проверяем выбранный пускатель по условиям коммутации:

$$I_{н.пуск} \geq \frac{I_{пуск.дв}}{6} = \frac{K_i \times I_{н.дв}}{6}.$$

- магнитный пускатель комплектуется тепловым реле для защиты электродвигателя от перегрузок, которое выбирается по условию:

$$I_{н.т.р.} \approx I_{н.дв},$$

Так, чтобы номинальный ток входил в интервал несрабатывания реле.

Выбор плавких вставок предохранителей и автоматических выключателей

Плавкие предохранители выбирают по параметрам:

По номинальному напряжению $U_{номпр} = U_{номуст}$;

По силе предельно отключаемого тока предохранителя $I_{проткл} \geq I''$,

где $I_{проткл}$ - сила предельно отключаемого тока предохранителя;

I'' - сила сверхпереходного тока короткого замыкания в месте установки предохранителя;

По силе номинального тока плавкой вставки при соблюдении условий:

1-ое условие $I_{\epsilon} \geq K_n \times I_{p\max}$;

2-ое условие $I_{\epsilon} \geq I_{\max} / \alpha$;

где $I_{p\max}$ - сила максимального рабочего тока цепи, защищаемой предохранителем;

$I_{\max}$ - сила максимального тока цепи при включении электроприемников, у которых сила пусковых толчков значительно превышают номинальную;

α - коэффициент, зависящий от пускового режима электродвигателей и типа плавкого предохранителя ($\alpha = 2,5$ при легком пуске, $\alpha = 1,6$ при тяжелом пуске);

K_n - коэффициент надежности ($K_n = 1 \dots 1,25$).

При защите предохранителем линии, к которой подключен один двигатель

$$I_{\max} = K_i \times I_n = I_{\text{пуск}}.$$

При защите предохранителями линии, к которой присоединено несколько электродвигателей по селективности защиты

$$I_{\max} = K_o \times \sum I_{p(n-1)} + I_{\text{пускнаиб}}.$$

По условию селективности, т.е. должна срабатывать ближайшая защита (ток вставки на вводе на 1...2 ступени должен быть больше, чем на отдельных ответвлениях)

После расчета выбирается стандартный ток плавкой вставки по наибольшему расчетному значению.

Автоматические выключатели выбирают по условиям:

По номинальному напряжению $U_{на} \geq U_{н.уст}$;

По силе номинального тока автомата $I_{н.а} \geq I_{н.уст}$;

По силе тока уставки теплового расцепителя автомата $I_{н.р} \geq K_n \times I_{p\max}$;

Проверка на несрабатывание электромагнитного расцепителя при протекании пусковых (максимальных) токов $I_{\text{эм.расц}} \geq 1,25 \times I_{\max}$;

По силе предельно отключаемого автоматом тока $I_{\text{предоткл}} \geq I_{к.з.\max}$.

Л13 Разомкнутые контактно-релейные системы управления. Схемы управления электроприводом в различных функциях

Под термином «релейно-контакторные системы управления» (РКСУ) понимают логические системы управления, построенные на релейно-контакторной элементной базе и предназначенные для автоматизации работы двигателей. С помощью РКСУ автоматизируют следующие операции: включение и отключение двигателя; выбор направления и скорости вращения; пуск и торможение двигателя; создание временных пауз в движении; защитное отключение двигателя и остановка механизма. Данные операции необходимы для выполнения движения рабочего органа механизма по технологическим условиям.

Непосредственный объект управления для РКСУ — это двигатель, питаемый от сети. Электропривод, выполненный на такой основе, представляет собой простой нерегулируемый электропривод, в основном общепромышленного применения (например, электропривод кранов, тихоходных лифтов, конвейеров, компрессоров, вентиляторов, насосов, некоторых транспортных устройств и т. п.). Некоторые технические характеристики релейно-контакторной аппаратуры приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики релейно-контакторной аппаратуры

Параметр	Контакторы	Реле
Быстродействие: время срабатывания, с	0,005...0,1	0,005...0,1
частота включений, ч ⁻¹	600...1200	1200...3600
Потребляемая мощность, В • А	5...50	0.2...5
Срок службы (общее число включений)	10 ⁶ ...10 ⁷	10 ⁶ ...10 ⁷

Достоинства РКСУ — наличие гальванической развязки цепей; значительная коммутационная мощность; высокая помехоустойчивость; возможность использования единого источника питания для силовых и управляющих цепей.

Недостатки РКСУ — контактная коммутация, требующая соответствующего ухода за аппаратурой и ограничивающая срок ее службы; ограниченное быстродействие; повышенные массогабаритные показатели и энергопотребление.

В составе РКСУ можно выделить по функциональному назначению две части: *управляющую* (формирующую алгоритм управления, включающую различные реле) и *исполнительную (силовую)*, непосредственно осуществляющую управляющие воздействия на двигатель (контакторы, магнитные пускатели). В РКСУ входят типовые узлы, выполняющие определенные функции. Помимо них участвуют нетиповые узлы для решения конкретной технологической задачи, например узел защиты рабочего органа от пробуксовки приводного шкива, превышения скорости и т. п.

Релейно-контакторные схемы управления используются для осуществления пуска, реверса и торможения двигателей и строятся с применением электрических аппаратов ручного и дистанционного управления. Для автоматизации работы таких схем может использоваться информация о скорости, ЭДС, угле поворота и токе двигателя и времени, которая получается с помощью соответствующих датчиков. Отметим, что аппараты на схемах управления изображаются в так называемом «нормальном» положении, когда на них не оказано то или иное управляющее воздействие.

Рассмотрим работу типовых узлов и схем управления.

На рисунке 43 приведен пример выполнения силовой части типового узла пуска в три ступени, реализующего *принцип времени*. Пусковые резисторы $R1$, $R2$, $R3$ якорной цепи двигателя постоянного тока коммутируются контакторами $KM3-1$, $KM3-2$, $KM3-3$. Электромагнитные реле времени постоянного тока $KT1$, $KT2$, $KT3$ создают рассчитанные выдержки времени для переключения пусковых резисторов, обеспечивая поддержание постоянным требуемого ускорения.

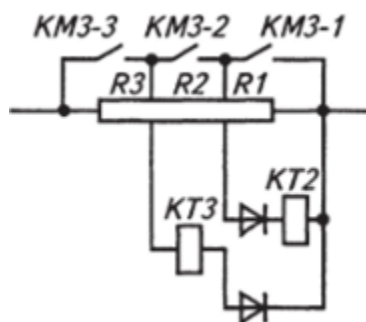


Рисунок 43 – Схема силовой части узла пуска по принципу времени

В схеме управления узла пуска по принципу времени (рисунок 44) блок-контакты $KM1$ и $KM2$ замкнуты, обеспечивая срабатывание реле времени $KT1$, которое размыкает свой контакт в цепи катушки магнитного пускателя $KM3-1$, подготавливая схему автоматическому пуску по принципу времени при срабатывании одного из магнитных пускателей $KM1$ или $KM2$.

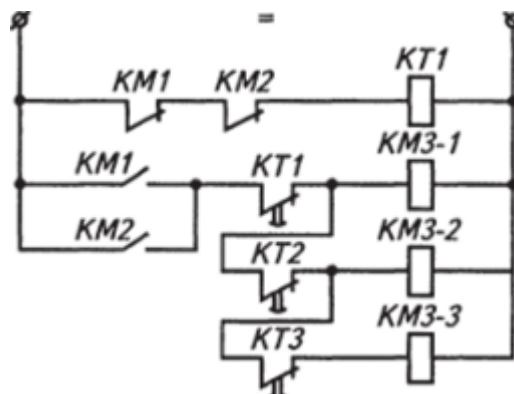


Рисунок 44 – Схема цепей управления узла пуска по принципу времени

Схема пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в функции времени. Эта схема (рисунок 45) содержит кнопки управления $SB1$ (пуск) и $SB2$ (останов, стоп двигателя), электромагнитный контактор $KM1$, обеспечивающий подключение двигателя к сети, и контактор ускорения $KM2$ для выключения (закорачивания) пускового резистора R_d . В качестве датчика времени в схеме использовано электромагнитное реле времени KT .

При подключении схемы к источнику питания с напряжением U происходит возбуждение двигателя и срабатывает реле времени KT , размыкая свой размыкающий контакт в цепи катушки контактора $KM2$ и подготавливая двигатель к пуску. Схема принимает так называемое исходное положение.

Пуск двигателя начинается после нажатия кнопки $SB1$, в результате чего получает питание катушка контактора $KM1$, который своим силовым контактом подключает двигатель к источнику питания. Двигатель начинает разбег с пусковым резистором R_d в цепи якоря. Одновременно замыкающий блок-контакт контактора $KM1$ шунтирует кнопку $SB1$ и она может быть отпущена, а размыкающий блок-контакт $KM1$ разрывает цепь питания катушки реле времени KT .

После прекращения питания катушки реле времени KT через интервал времени Δt_{KT} его размыкающий контакт замкнется в цепи катушки контактора $KM2$, последний включится и главным контактом закоротит пусковой резистор R_d в цепи якоря.

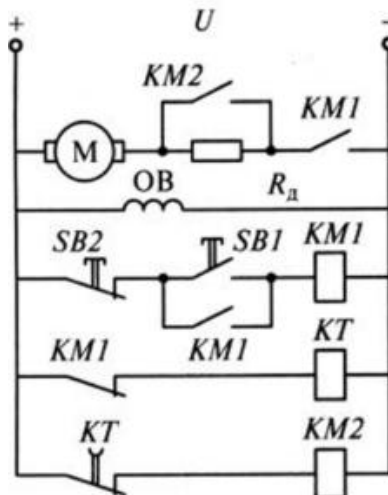


Рисунок 45 – Схема пуска двигателя в одну ступень в функции времени

Схема пуска двигателя в две ступени в функции ЭДС и динамического торможения в функции времени. В этой схеме (рисунок 46) в качестве датчика ЭДС использован якорь двигателя, к которому подключены катушки контакторов ускорения $KM1$ и $KM2$. С помощью регулировочных резисторов $R_{\partial 1}$ и $R_{\partial 2}$ эти контакторы могут быть настроены на срабатывание при определенных ЭДС (скоростях) двигателя.

Для осуществления торможения в схеме предусмотрен резистор $R_{\partial 3}$, подключение и отключение которого осуществляется контактором торможения $KM3$. Для обеспечения выдержки времени используется электромагнитное реле времени KT , размыкающий контакт которого включен в цепь катушки контактора торможения $KM2$.

После подключения схемы к источнику питания происходит возбуждение двигателя, причем аппараты схемы управления остаются в исходном положении.

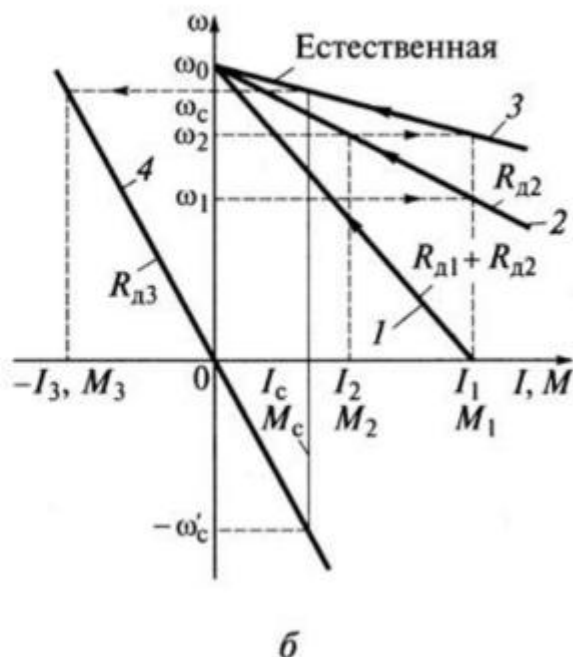
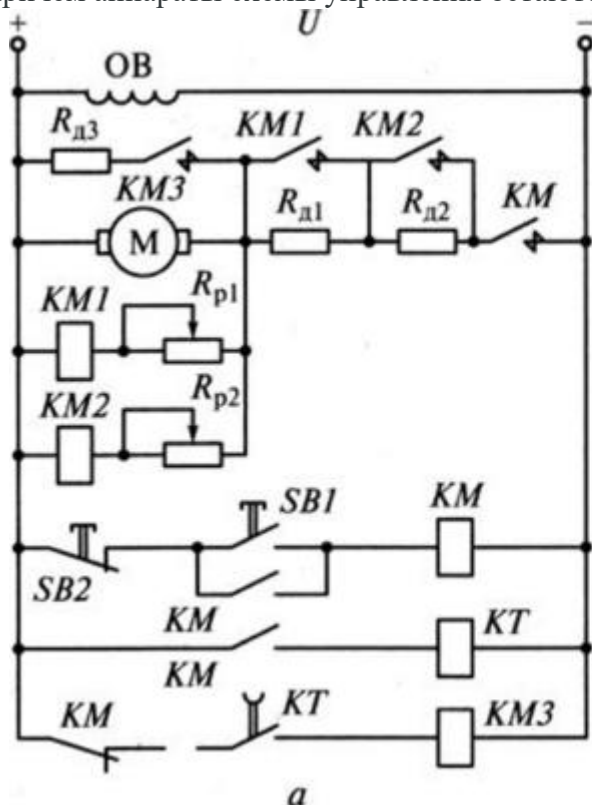


Рисунок 46 – Схема пуска двигателя в две ступени в функции ЭДС и динамического торможения в функции времени (а) и механические характеристики (б):

1,2 — реостатные при пуске; 3 — естественная; 4 — реостатная при торможении

Пуск двигателя осуществляется нажатием кнопки $SB1$, что приводит к срабатыванию контактора KM и подключению двигателя к источнику питания. Двигатель начинает разбег с включенными резисторами ($R_{\partial 1} + R_{\partial 2}$) в цепи якоря по характеристике 1 (рис. 4.28, б). По мере увеличения скорости двигателя растет его ЭДС и соответственно напряжение на катушках контакторов $KM1$ и $KM2$. При скорости ω_1 срабатывает контактор $KM1$, закорачивая своим контактом первую ступень пускового резистора $R_{\partial 1}$, и двигатель переходит на характеристику 2. При скорости ω_2 срабатывает контактор $KM2$ и закорачивает вторую ступень пускового резистора $R_{\partial 2}$. Двигатель выходит на естественную характеристику 3 и заканчивает свой разбег в точке установившегося режима, определяемой пересечением естественной характеристики 3 двигателя и характеристики нагрузки $\omega (M_c)$.

Торможение осуществляется нажатием кнопки $SB2$. Контактор KM , потеряв питание, отключает двигатель от источника питания и замыкает своим контактом цепь питания катушки контактора $KM3$. Последний от действия наведенной в якоре ЭДС срабатывает и замыкает якорь M двигателя на резистор торможения $R_{\partial 3}$. Процесс динамического торможения происходит до тех пор, пока при небольшой скорости двигателя его ЭДС не

станет меньше напряжения отпускания контактора *КМЗ*, который отключится, и схема вернется в исходное положение.

Важнейшая типовая функция РКСУ — защита электрической и механической частей электропривода от аварийных режимов. Задача узла защиты — отключить двигатель от источника питания и остановить рабочий орган производственной машины. Аварийные режимы в электрических цепях двигателя были рассмотрены ранее.

Аварийные режимы в механической части электропривода. К числу аварийных режимов в механической части электропривода относят: превышение допустимого момента в механической передаче (заклинивание механизма); расцепление рабочего органа (РО) с валом двигателя; превышение допустимой скорости двигателя или РО; выход РО за пределы зоны допустимых перемещений.

Перечень типовых аварийных режимов и соответствующих средств защиты от них приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Аварийные режимы и средства защиты

Аварийный режим	Средства защиты
Электрическая часть	
Короткие замыкания, перегрузка силовых цепей по нагреву	Быстродействующие автоматы, плавкие предохранители, реле максимального тока, тепловые реле
Перебои в электроснабжении, недопустимое снижение напряжения в сети	Нулевая блокировка, реле минимального напряжения, реле минимального тока
Механическая часть	
Перегрузка механизма по моменту (заклинивание)	Муфта предельного момента, предохранительная шпонка
Расцепление рабочего органа с валом двигателя	Двойная тормозная система
Превышение допустимой скорости рабочего органа	Реле максимальной скорости
Выход рабочего органа за пределы зоны допустимых перемещений	Защитные путевые выключатели

Л14-15 Блокировочные связи и сигнализация в схемах.

Типовые схемы управления электрическими приводами. Замкнутые системы управления электроприводами

Электрические блокировки в схемах ЭП. Блокировки служат для обеспечения заданной последовательности операций при работе ЭП, предотвращения нештатных и аварийных ситуаций и неправильных действий со стороны оператора, что в итоге повышает надежность работы ЭП и технологического оборудования. Так, например, при работе двух контакторов *КМ1* и *КМ2* (рисунок 47, а) перекрестное включение их размыкающих контактов в цепи катушек этих аппаратов не допускает включение одного контактора при включенном другом. Такой вид блокировки применяется в реверсивных ЭП, где недопустимо одновременное включение двух контакторов, или в ЭП с электрическим торможением двигателя, где торможение может начаться только после отключения двигателя от сети.

Одновременное включение двух контакторов может быть предотвращено и с помощью использования двухцепных кнопок управления, имеющих замыкающий и размыкающий контакты (рисунок 47, а).

Как видно из схемы, нажатие любой из кнопок приводит к замыканию цепи катушки одного из контакторов и одновременному размыканию цепи другого контактора.

Схема рисунок 47, б иллюстрирует пример некоторой технологической блокировки двух ЭП, работающих совместно в комплексе.

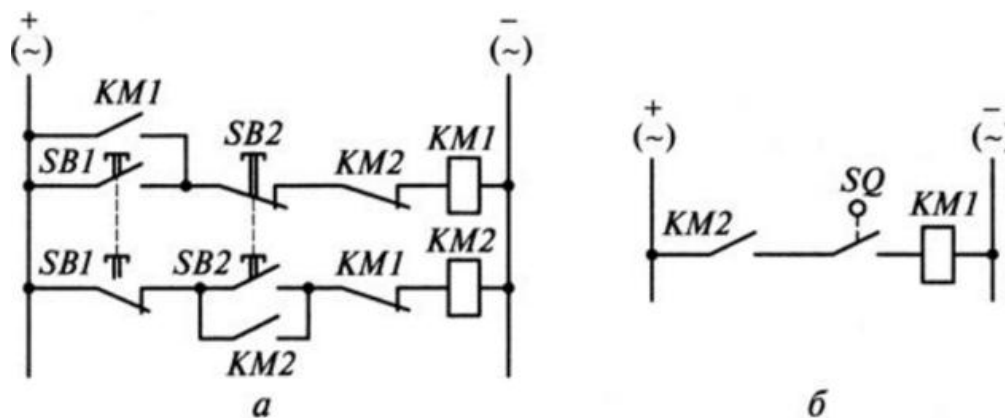


Рисунок 47 – Схемы блокировок в ЭП:

а — при перекрестном включении контактов контакторов и двухцепных кнопок;

б — технологическая блокировка

Она допускает включение контактора *KM1* одного ЭП только после включения контактора *KM2* другого ЭП и при нажатом путевом выключателе *SQ*.

Сигнализация в схемах управления ЭП. Для контроля хода технологического процесса или последовательности выполняемых операций, состояния защиты и наличия напряжения питания или какого-либо электрического сигнала применяется сигнализация. Она может быть световой и осуществляться с помощью сигнальных лампы и табло, звуковой (звонок, сирена) и визуальной (указательные реле, измерительные приборы).

Для примера на рисунке 48 показаны возможные сигнализации в схеме управления ЭП. Лампа *HL1* сигнализирует о подаче напряжения на схему (включение автомата *QF*), лампа *HL2* — о включении контактора *KM*, лампа *HL3* — о срабатывании реле максимальной токовой защиты *FA*, лампа *HL4* — о срабатывании конечного выключателя *SQ*.

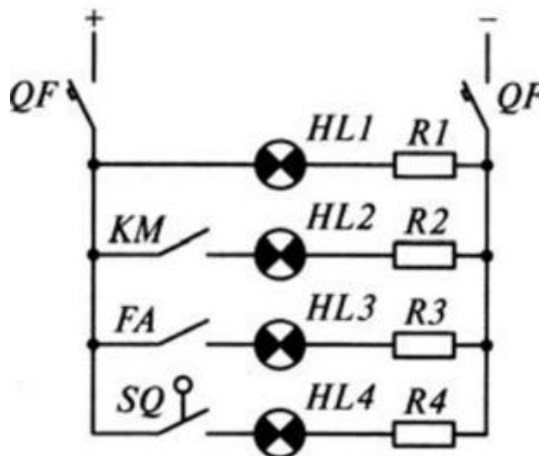


Рисунок 48 – Пример схемы сигнализации в ЭП

Для управления силовым электрооборудованием в электрических цепях используют разнообразные устройства дистанционного управления, защиты, телемеханики и автоматики, воздействующие на коммутационные аппараты его включения и отключения или регулирования.

На рисунок 49 приведена принципиальная схема управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором. Данная схема широко используется на практике при управлении приводами насосов, вентиляторов и многих других.

Перед началом работы включают автоматический выключатель *QF*. При нажатии кнопки *SB2* включается пускатель *KM* и запускается двигатель *М*. Для остановки двигателя необходимо нажать кнопку *SB1*, при этом отключаются пускатель *KM* и двигатель *М*.

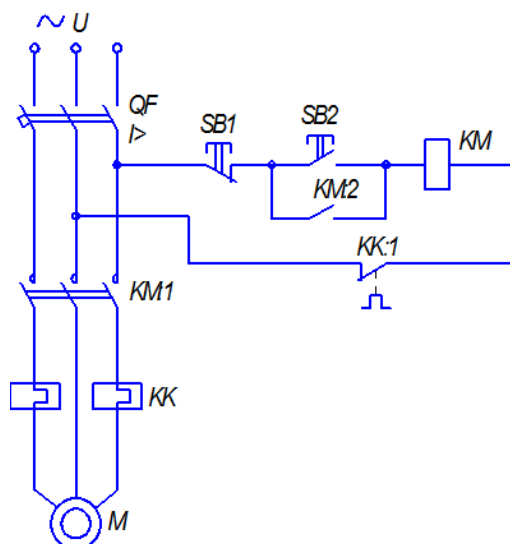


Рисунок 49 – Схема включения асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором

При перегрузке электродвигателя М срабатывает электротепловое реле КК, размыкающее контакты КК:1 в цепи катушки КМ. Пускатель КМ отключается, двигатель М останавливается.

В общем случае схемы управления могут осуществлять торможение электропривода, его реверсирование, изменять частоту вращения и т.д. В каждом конкретном случае используется своя схема управления.

В системах управления электроприводами широко используются блокировочные связи. Блокировкой обеспечивают фиксацию определенного состояния или положения рабочих органов устройства или элементов схемы. Блокировка обеспечивает надежность работы привода, безопасность обслуживания, необходимую последовательность включения или отключения отдельных механизмов, а также ограничение перемещения механизмов или исполнительных органов в пределах рабочей зоны.

Различают механическую и электрическую блокировки.

Примером простейшей электрической блокировки, применяемой практически во всех схемах управления, является блокировка кнопки «Пуск» SB2 (рисунок 49) контактом КМ2. Блокировка этим контактом позволяет после включения двигателя кнопку SB2 отпустить, не прерывая цепи питания катушки магнитного пускателя КМ, которое идет через блокировочный контакт КМ2.

В схемах реверсирования электродвигателей (при обеспечении движения механизмов вперед-назад, вверх-вниз и т.д.), а также при торможении применяются реверсивные магнитные пускатели. Реверсивный магнитный пускатель состоит из двух нереверсивных. При работе реверсивного пускателя необходимо исключить возможность их одновременно включения. Для этого в схемах предусматриваются и электрическая, и механическая блокировки (рисунок 50). Если реверсирование двигателя выполняется двумя нереверсивными магнитными пускателями, то роль электрической блокировки играют контакты КМ1:3 и КМ2:3, а механическая блокировка обеспечивается кнопками SB2 и SB3, каждая из которых состоит из двух контактов, связанных между собой механически. При этом один из контактов-замыкающий, другой - размыкающий (механическая блокировка).

Схема работает следующим образом. Предположим что при включении пускателя КМ1 двигатель М вращается по часовой стрелке и против часовой - при включении КМ2. При нажатии кнопки SB3 сначала размыкающий контакт кнопки разорвет цепь питания пускателя КМ2 и только потом замыкающий контакт SB3 замкнет цепь катушки КМ1.

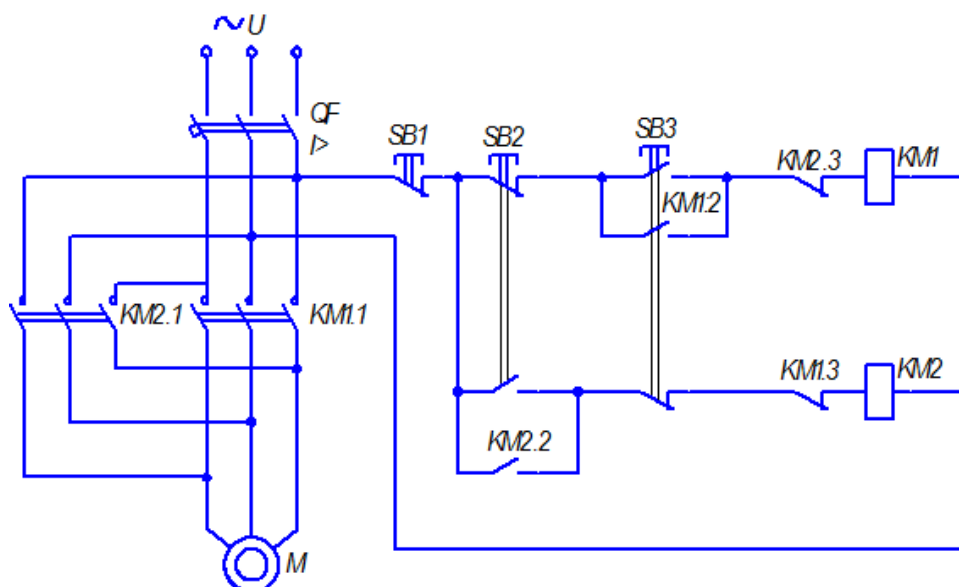


Рисунок 50 – Механическая и электрическая блокировки при реверсировании привода

Пускатель KM1 включается, запускается с вращением по часовой стрелке двигатель М. Контакт KM1:3 размыкается, осуществляя электрическую блокировку, т.е. пока включен KM1, цепь питания пускателя KM2 разомкнута и его нельзя включить. Для осуществления реверса двигателя необходимо его остановить кнопкой SB1, а затем, нажав кнопку SB2, запустить в обратную сторону. При нажатии SB2 сначала размыкающим контактом SB2 разрывается цепь питания катушки KM1 и далее замыкается цепь питания катушки KM2 (механическая блокировка). Пускатель KM2 включается и реверсирует двигатель М. Контакт KM2:3, размыкаясь, осуществляет электрическую блокировку пускателя KM1.

Чаще реверсирование двигателя выполняется одним реверсивным магнитным пускателем. Такой пускатель состоит из двух простых пускателей, подвижные части которых между собой связаны механически с помощью устройства в виде коромысла. Такое устройство называется механической блокировкой, не позволяющей силовым контактом одного пускателя KM1 одновременно замыкаться силовым контактам другого пускателя KM2 (рисунок 51).

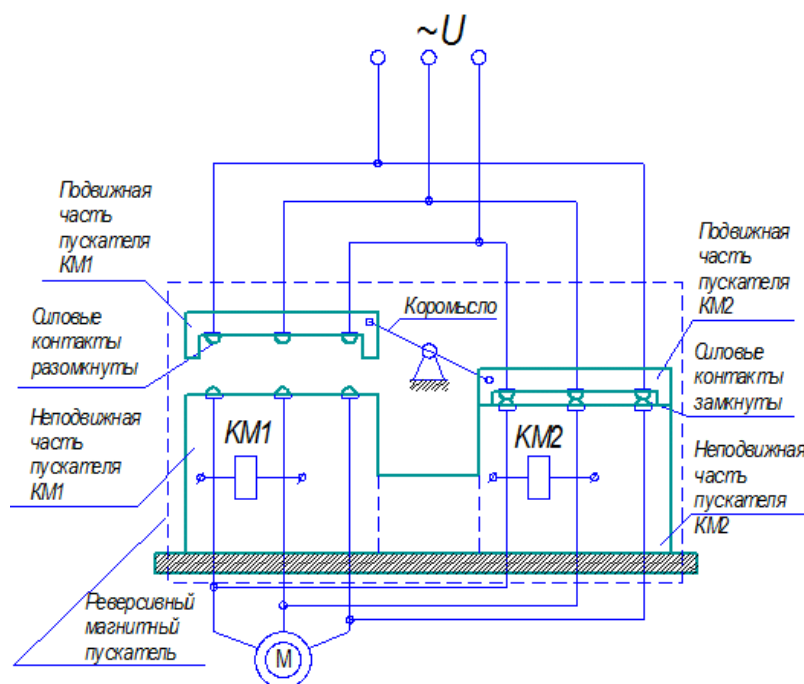


Рисунок 51 – Механическая блокировка «коромыслом» подвижных частей двух пускателей единого реверсивного магнитного пускателя

Электрическая схема управления реверсом двигателя при помощи двух простейших пускателей единого реверсивного магнитного пускателя такая же, как и электрическая схема управления реверсом двигателя с использованием двух нереверсивных магнитных пускателей (рисунок 50), с применением в электрической схеме таких же электрических и механических блокировок.

При автоматизации электроприводов поточных линий, конвейеров и т.п. применяется электрическая блокировка, которая обеспечивает пуск электродвигателей линии в определенной последовательности (рисунок 52). При такой схеме, например, включение второго двигателя М2 (рисунок 52) возможно только после включения первого двигателя М1, включение двигателя М3 – после включения М2. Такая очередность пуска обеспечивается блокировочными контактами КМ1:3 и КМ2:3.

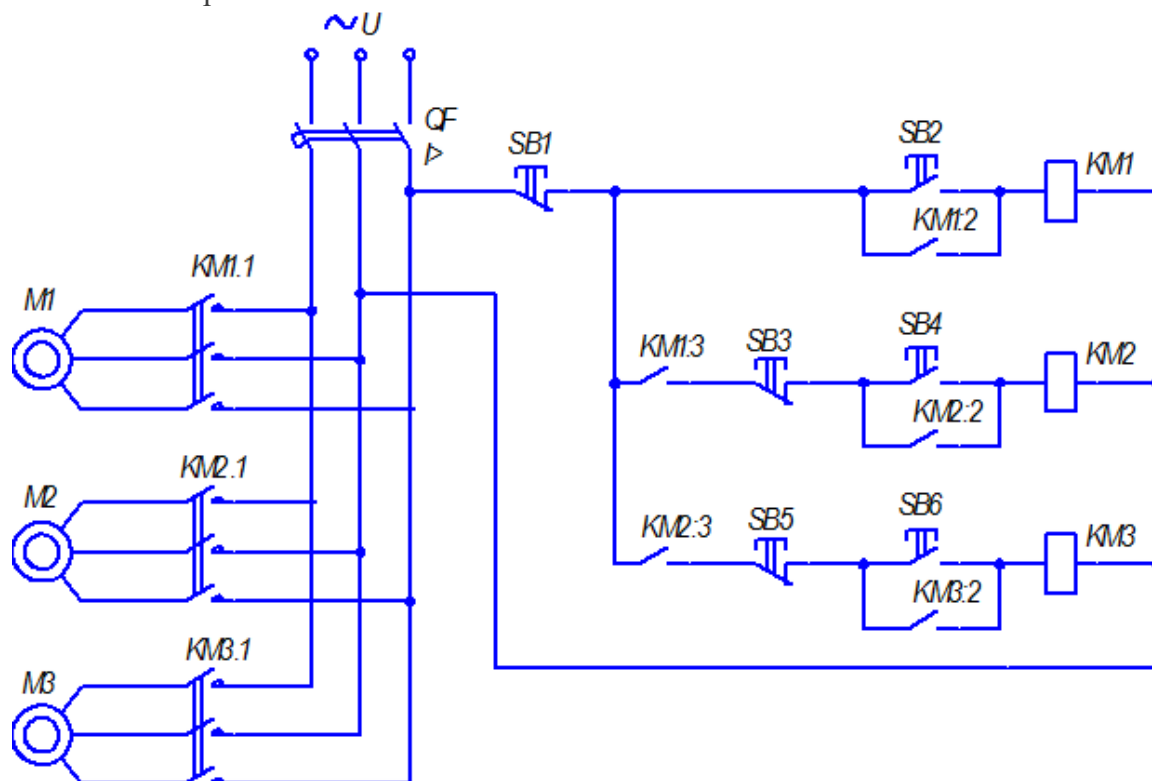


Рисунок 51 - Схема последовательного включения двигателей

Пример 1. Используя электрическую схему (рисунок 49) управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором, необходимо включить в эту схему дополнительные контакты, обеспечивающие автоматическую остановку электродвигателя рабочего механизма в одной и в двух заданных точках.

Решение. Требование задачи обеспечить остановку электродвигателя в одной заданной точке может быть выполнено путевым выключателем SQ1 с нормально закрытым контактом, установленным последовательно с блок-контактом КМ2, шунтирующим кнопку SB2. Для остановки электродвигателя рабочего механизма в двух заданных точках последовательно с контактом путевого выключателя SQ1 размещают контакт второго путевого выключателя SQ2. На рисунке 52 приведены электрические схемы остановки электродвигателя в одной и в двух заданных точках. После пуска двигателя механизм приходит в движение и при достижении места остановки нажимает на путевого выключатель, например SQ1, и электродвигатель останавливается. После выполнения необходимой технологической операции вновь нажимаем на кнопку SB2, и механизм продолжает движение до следующего путевого выключателя SQ2, где технологическая операция заканчивается.

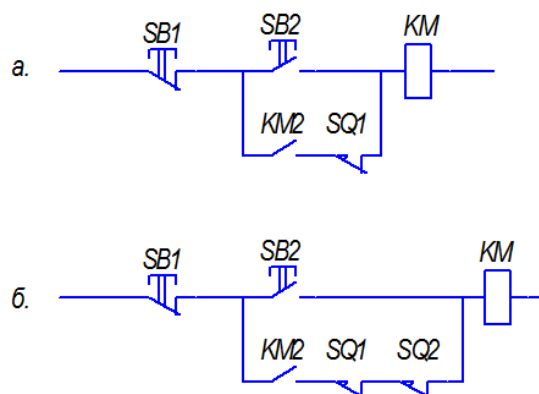


Рисунок 52 – К примеру 1

Пример 2. В электрическую схему (рисунок 50) управления реверсом короткозамкнутого асинхронного двигателя с помощью блокировочных связей следует ввести элементы световой сигнализации для контроля направления вращения двигателя.

Решение. Схема световой сигнализации контроля направления вращения двигателя при реверсе, совмещённая со схемой управления реверсом двигателя, приведена на рисунке 53. При вращении двигателя, например, вправо, горит лампа HL1, включаемая контактом KM1.4 магнитного пускателя KM1, при этом лампа HL2 погашена, т.к. магнитный пускатель KM2 не включён. При вращении двигателя влево горит лампа HL2, включённая контактом KM2.4 магнитного пускателя KM2. Таким образом, лампа HL1 сигнализирует о вращении двигателя вправо, а лампа HL2 - о вращении двигателя влево. В результате блокировочными связями световая сигнализация обеспечивает контроль над направлением вращения двигателя при реверсе.

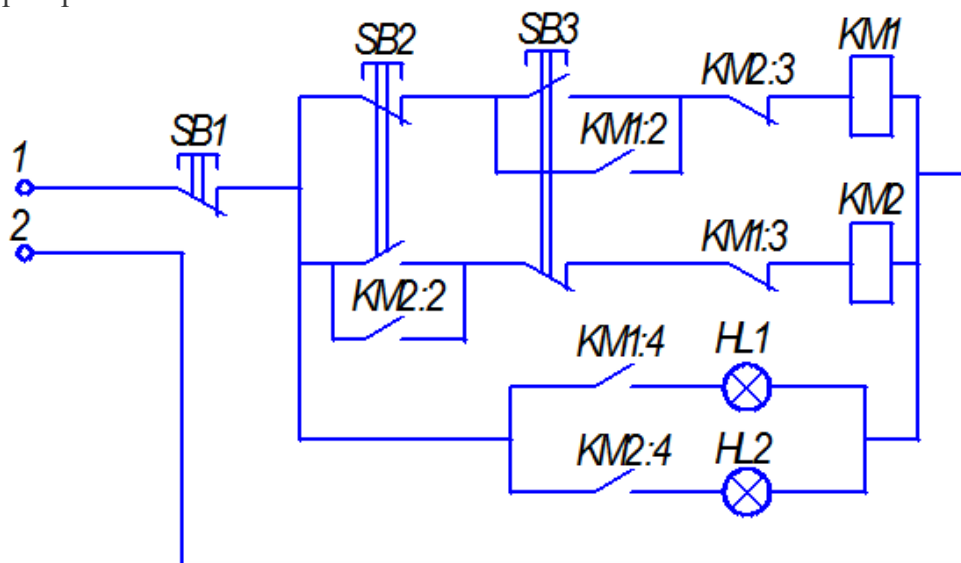


Рисунок 53 – К примеру 2

Л16Виды обратных связей. Системы автоматического регулирования положения электропривода

Обратные связи широко применяются в системах автоматического регулирования. Обратные связи можно обнаружить везде, где проявляется свойство саморегулирования. Обратные связи в технических системах автоматического управления обеспечивает связь между выходом системы и ее входом и позволяет при изменениях выходной величины вносить необходимые коррективы на входе.

Обратная связь называется *внешней*, если она соединяет выход системы с ее входом, и *внутренней*, или *местной*, если она соединяет выход одного или группы элементов системы с их входом.

Если подача выходной величины элемента системы на его вход вызывает увеличение величины, такую обратную связь называют *положительной*; если подача выходной величины элемента системы на его вход вызывает уменьшение выходной величины - *отрицательной*. Положительные обратные связи мало распространены и применяются только в качестве внутренних связей и часто встречаются в усилительных системах.

Замкнутые схемы управления электропривода

Замкнутые структуры электрического привода применяются в тех случаях, когда требуется обеспечить движение исполнительных органов рабочих машин с высокими показателями - большим диапазоном регулирования скорости и точностью её поддержания, заданным качеством переходных процессов и точностью остановки, а также высокой экономичностью или оптимальным (наилучшим) функционированием технологического оборудования и самого электропривода. Основным признаком замкнутых структур является такое автоматическое (без участия человека) управление электропривода, при котором электрический привод наилучшим образом выполняет свои функции при всевозможных управляющих и внешних возмущениях, действующих на рабочую машину или электрический привод.

Схемы замкнутых структур электрического привода

Замкнутые структуры электрического привода строятся по принципам компенсации возмущений и отклонений, называемых также принципом обратной связи.

Рассмотрим принцип компенсации наиболее характерного внешнего возмущения электрического привода, момента нагрузки M_c , при регулировании скорости ω . Основным признаком замкнутой структуры электрического привода является наличие цепи, по которой на вход электропривода вместе с задающим сигналом скорости $U_{з.с.}$ подается сигнал $U_m = k_m M_c$, пропорциональный моменту нагрузки M_c . В результате этого управления электропривода осуществляется суммарным сигналом U_Δ , который автоматически изменяется в нужную сторону при колебаниях момента нагрузки, обеспечивая с помощью системы управления поддержание скорости электропривода на заданном уровне.

Несмотря на свою эффективность, электрический привод по этой схеме (рисунок 54) выполняется редко из-за отсутствия простых и надежных датчиков момента нагрузки M_c (возмущающего воздействия).

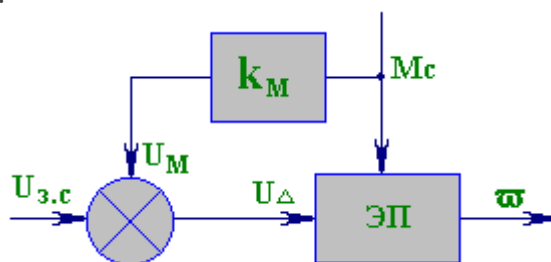


Рисунок 54 – Замкнутая структура ЭП по принципу компенсации возмущений

В связи с таким положением подавляющее большинство замкнутых структур электропривода строятся по принципу отклонения (обратной связи). Он характеризуется наличием цепи обратной связи, соединяющей выход электропривода с его входом, откуда и пошло название замкнутых схем.

Применительно к рассматриваемому примеру регулирования скорости признаком этой структуры является цепь обратной связи (рисунок 55), по которой информация о текущем значении скорости (сигнал обратной связи $U_{о.с.} = k_o \omega$) подается на вход электропривода, где он вычитается из сигнала задания скорости $U_{з.с.}$. Управление электроприводом осуществляется сигналом отклонения $U = U_{з.с.} - U_{о.с.}$ (его также называют сигналом рассогласования или ошибки). Этот сигнал при отличии скорости от заданного уровня автоматически изменяется необходимым образом и устраняет с помощью системы

управления электропривода эти отклонения. Тем самым управление движением осуществляется с учетом его результата.

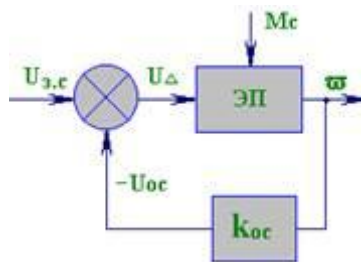


Рисунок 55 – Замкнутая структура ЭП по принципу отклонений

Все виды применяемых в замкнутом электроприводе обратных связей делятся на положительные и отрицательные, линейные и нелинейные, жесткие и гибкие.

Положительной называется такая обратная связь, сигнал которой направлен согласно (складывается) с задающим сигналом, в то время как сигнал отрицательной связи направлен ему встречно.

Жесткая обратная связь характеризуется тем, что она действует как в установившемся, так и в переходном режимах электропривода. Сигнал гибкой обратной связи вырабатывается только в переходных режимах электропривода и служит для обеспечения требуемого их качества, например устойчивости движения, допустимого перерегулирования и т.д.

Линейная обратная связь характеризуется пропорциональной зависимостью между регулируемой координатой и сигналом обратной связи $U_{о.с.}$, в то время как при реализации нелинейной связи эта зависимость нелинейная.

В зависимости от вида регулируемой координаты в электроприводе используются все названные выше связи по скорости, положению, току, напряжению, магнитному потоку, ЭДС.

Для обеспечения заданного хода и качества технологических процессов на электроприводе кроме указанных «внутренних» обратных связей часто подаются сигналы технологических датчиков, например температуры, давления, расхода и т.д. В этом случае электропривод вместе с рабочей машиной или механизмом, реализующим технологический процесс или операцию, образуют систему автоматического регулирования.

Тема 1.5. ЭЛЕКТРОПРИВОД РАБОЧИХ МАШИН И АГРЕГАТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Л17 Электропривод сельскохозяйственных машин. Использование электрической энергии в технологических процессах, основные направления интенсификации сельскохозяйственного производства

Рост производительности труда, наращивание объемов производства, удешевление выходной продукции, обеспечение постоянного технического прогресса в промышленности и агропромышленном комплексе страны невозможно без внедрения новой техники и современных технологий.

Доктрина инновационного подъема и развития всех отраслей народного хозяйства базируется на широком внедрении передовых научных и технологических достижений в области ресурсосбережения, нанотехнологий и энергосберегающего оборудования. Техническое развитие механических машин и агрегатов, составляющих основу разнообразных технологических линий и производственных процессов, в значительной мере определяется совершенством входящих в их состав электроприводов.

Повышение технического уровня автоматизированного электропривода должно проходить по следующим основным направлениям:

- разработка и выпуск комплектных приводов с использованием современных преобразователей и микропроцессорной техники, обладающих высокой степенью надежности, унификацией и улучшенными энергетическими показателями;
- расширение области применения регулируемого асинхронного электропривода;
- оснащение нового оборудования и переоснащение эксплуатируемых производственных механизмов энергосберегающими типами электроприводов на основе вращательных, линейных, шаговых и вентильных электродвигателей;
- создание новых математических моделей, программных продуктов и роботизированных рабочих мест для более быстрого проектирования всех элементов электропривода.

В различных литературных источниках по электроприводу приводятся самые разнообразные определения электропривода. Наиболее полное понятие представлено в ГОСТ 50369-92 «Электроприводы. Термины и определения». Электропривод (ЭП) – электромеханическая система, состоящая из электродвигательного (ЭД), преобразовательного (ПУ), передаточного (ПМ) и управляющего (УУ) устройств, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления положениями координат вращающихся и возвратно поступательных элементов. Принципиальная структурная схема электропривода приведена на рисунке 56.

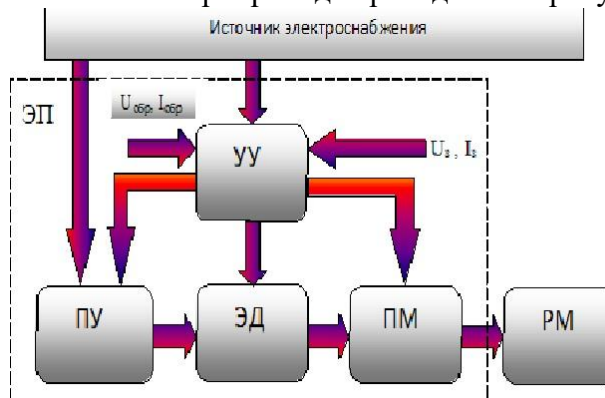


Рисунок 56 – Функциональная схема электропривода: УУ- устройство управления; ПУ - преобразовательное устройство; ЭД – электродвигатель; ПМ – передаточный механизм; РМ – рабочая машина; ЭП - электропривод

Основное назначение электропривода – создание полезной работы на выходном валу нагрузочной машины за счет преобразования электрической энергии в механическую.

В сельскохозяйственном производстве в настоящее время используется большое разнообразие электрифицированных машин и механизмов, но наиболее широкое распространение получили следующие электромеханические установки: насосные агрегаты, вентиляторы, крановые механизмы, устройства для раздачи кормов и уборки навоза, дробилки, системы сортировки и очистки семян, мобильные транспортные средства, ручной инструмент, сепараторы молока и т.д.

Источником электроснабжения электрического привода традиционно может быть: электрическая сеть, автономный бензо-дизель-генератор, химические аккумулирующие устройства или возобновляемые источники энергии, например, панели солнечных батарей, ветроэнергетические установки, электростанции на биогазе, морские, волновые и приливные источники электроэнергии и т.д.

Электродвигательное устройство преобразует электрическую энергию в механическую формируя совместно с передаточным устройством заданные формы движения рабочих органов.

Преобразовательное устройство служит для связи системы электропривода с источником электрической энергии, для преобразования одной формы электрической энергии в другую. Оно предназначено для управления потоком электрической энергии, поступающей из сети в целях регулирования режимов работы двигателя и механизма, и представляет собой энергетическую исполнительную часть системы управления ЭП. В качестве преобразовательного устройства могут применяться полупроводниковые преобразователи переменного тока в постоянный, преобразователи частоты, тиристорные коммутаторы, устройства плавного пуска. Например, устройство плавного пуска электродвигателей, производимые на базе тириستоров, предназначены для постепенного запуска и остановки двигателей представляют собой тиристорное трехфазное регулирующее устройство. К достоинствам следует отнести: регулировку электромагнитного момента, уменьшение пускового тока, минимизацию потерь в тиристорах, возможность каскадного запуска электрических машин одним УПП, снижение износа двигателей и редукторов, сокращение расходов на обслуживание.

Передаточное устройство предназначено для преобразования форм движения и передачи механической энергии от двигательного устройства к рабочим органам. Оно содержит механические передачи (редукторы, клиноременные передачи) и соединительные муфты, необходимые для передачи вырабатываемой двигателем механической энергии исполнительному механизму. С целью получения высокоэффективного, энергосберегающего электропривода рекомендуется выбирать электрические машины с высокими скоростями вращения 1500, 3000 мин⁻¹, что противоречит методики подбора рабочих машин. Для длительного и нормального функционирования рабочей машины в составе электропривода необходимо с точки зрения механической прочности и сохранения высокой производительности не увеличивать обороты вращения рабочего органа более чем 500 мин⁻¹. В качестве устранения существующего противоречия используются разнообразные передаточные устройства. Различают зубчатые, цепные, ременные передачи, вариаторы, редукторы, механические и электромагнитные муфты.

Наиболее широкое распространение в отраслях промышленности и агропромышленного комплекса находят редукторные и ременные передачи. Промышленность выпускает редукторы цилиндрические двухступенчатые типа РМ и РК, с планетарной зубчатой передачей серий МПз, 300, червячные марки Ч, 2Ч, мотор-редукторы МЦ2В, М1Ц2У и вариаторы МВ. Выбор в пользу применения мотор-редуктора следует производить в случаях, когда необходим компактный привод.

В последнее время в системах автоматизированного электропривода все чаще и чаще применяются электромагнитные муфты класса ЭМ и ЭТМ. Электромагнитные муфты

обеспечивают плавное регулирование передаваемого момента и частоты вращения. Позволяют ограничивать крутящий момент, осуществлять плавность процесса пуска, изменять направление вращения и выполнять торможение по заданному закону.

Фрикционные пары в электромагнитных муфтах сцепляются под действием магнитного притяжения между деталями, находящимися на ведущих и ведомых частях привода. Притяжение возникает благодаря пропусканию через обмотку электромагнитного тока, создающего магнитный поток требуемой величины.

Управляющее и информационное устройства предназначены для формирования заданных законов управления потоком энергии и движения рабочих органов машин. Эти устройства представляют собой информационную слаботочную часть системы управления, предназначенную для фиксации и обработки поступающей информации о задающих воздействиях и состоянии системы и выработки на ее основе сигналов управления преобразовательным, электродвигательным и передаточным устройствами.

Управляющее устройство (система управления) – совокупность функционально связанных между собой электромагнитных, электромеханических, полупроводниковых элементов. Высокоточные ЭП могут содержать в системе управления микропроцессорные средства и компьютерную технику.

Информационное устройство – совокупность датчиков электрических и неэлектрических параметров электропривода.

Рабочей машиной называется устройство, предназначенное для изменения формы, свойств и состояния и положения предмета труда. Основным элементом РМ считается исполнительный рабочий орган, который предназначен для выполнения полезной работы ЭП в процессе реализации технологической операции.

Классификация электропривода. В зависимости от способа передачи механической энергии от электродвигателя к рабочей машине различают групповой, индивидуальный, взаимосвязанный и многодвигательный электроприводы. При групповом электроприводе несколько машин приводятся в действие от одного электрического двигателя через систему передач. Коэффициент полезного действия подобной механической системы очень низок, а потребляемая мощность электродвигателя сильно завышена. Индивидуальный электропривод имеет свою рабочую машину и сопрягается с ней либо напрямую, либо через передаточный механизм.

Взаимосвязанный электропривод представляет собой два или несколько ЭП, при работе поддерживается исходя из технологического процесса, требуемое соотношение скоростей вращения, нагрузок и положения исполнительных органов рабочих машин.

По принципу передачи движения и управления электроприводы подразделяются на: непрерывного и дискретного, вращательного и линейного действия, реверсивные и неререверсивные, позиционные, следящие и программно-управляемые.

Различают ЭП и по роду тока и степени автоматизации. Выделяют электропривод постоянного и переменного тока, а также классифицируют на неавтоматизированный, автоматизированный и автоматический привода.

Исходя из системы электроснабжения, ЭП разделяют на сетевой, подключаемый к централизованной системе электроснабжения, и автономный электропривод, потребляющий энергию от бензо-дизель- генераторов, аккумуляторных батарей и возобновляемых источников энергии. По характеру изменения параметров разграничение происходит на регулируемый ЭП, характеристики которого могут варьироваться под воздействием управляющего устройства и нерегулируемый. У последнего обороты вращения ротора, нагрузка, диапазон регулирования, жесткость механических характеристик и электромеханическая постоянная времени способны отклоняться от стандартных значений только под действием возмущающих факторов.

Вследствие возможной связи с передаточным механизмом электрический привод подразделяется на редукторный и безредукторный, и электропривод со встроенным в одном

корпусе червячным ПМ, благодаря особенностям конструкции называемый мотор - редуктор.

В сельскохозяйственном производстве наиболее широкое распространение получил индивидуальный автоматизированный электропривод с асинхронными электродвигателями, имеющими повышенную степень защиты от влияния внешней среды, мощностью до 200 кВт, с синхронными частотами вращения от 750 до 3000 мин⁻¹, приводящий в движение рабочий орган через редуктор, ремennую или цепную передачу.

Л18 Механика электропривода. Механические характеристики электродвигателей и рабочих машин. Уравнение движения электропривода и его анализ

В рабочей машине электродвигатель и исполнительный орган представляют собой единую механическую систему. В этой системе существуют различного рода сопротивления движению, суммируясь, они создают на приводном валу общий момент, называемый моментом статических сопротивлений рабочей машины, сокращенно – момент сопротивления. Электродвигатель создает движущий (вращающий) момент.

При рассмотрении работы электродвигателя, приводящего в движение производственный механизм, необходимо прежде всего выявить соответствие механических характеристик двигателя характеристике производственного механизма. Момент сопротивления в общем случае не остается неизменным. Его значение определяется конструкцией рабочей машины, характером нагрузки, частотой вращения и другими факторами.

Механическая характеристика производственного механизма. Зависимость $M_c = f(\omega)$ называется механической характеристикой производственного механизма или исполнительного органа рабочей машины.

Угловая скорость выражается в радианах в секунду и в последующем именуется просто скоростью. Скорость вращательного движения на практике часто оценивают частотой вращения, то есть числом оборотов вала двигателя в минуту. Между угловой скоростью и частотой вращения существует следующая зависимость: $\omega = 2\pi n / 60 \approx 0,105n$. Угловой скоростью удобнее пользоваться при выводе формул и проведении расчетов, частотой вращения – при практической оценке скоростных характеристик двигателя.

Механические характеристики большинства исполнительных органов можно приблизительно выразить общей формулой:

$$M_c = M_0 + (M_{c,n} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x,$$

где M_c – момент сопротивления механизма при скорости ω ,

M_0 – начальный момент сопротивления механизма,

$M_{c,n}$ – момент сопротивления механизма при номинальной скорости ω_n ,

x – показатель степени, характеризующий изменение момента сопротивления за счет изменения скорости.

Различают четыре основные категории механических характеристик (рисунок 57).

1. Характеристика, не зависящая от скорости (прямая 1), при $x=0$. Такой характеристикой обладают подъемные краны, лебедки, поршневые насосы. Сюда же могут быть отнесены все механизмы, у которых основным сопротивлением являются силы трения (навозоуборочные транспортеры, кормораздатчики, шнеки, конвейеры, барабаны сушилок, триеры).

2. Линейно-возрастающая характеристика (прямая 2) при $x=1$. Ею обладают многие сельскохозяйственные машины, у которых основными сопротивлениями являются силы трения совместно с аэродинамическими (быстроходные ленточные транспортеры, молотилки, дробилки кормов, измельчители кормов, зерноочистительные машины, лесопильные рамы).

3. Нелинейно-возрастающая характеристика (кривая 3) при $x=2$, называемая вентиляторной. Момент возрастает пропорционально квадрату скорости. Так изменяется момент сопротивления вентиляторов, центробежных насосов, сепараторов, пневматических транспортеров и других механизмов, работа которых основана на законах аэрогидродинамики.

4. Нелинейно-спадающая характеристика (кривая 4) при $x=-1$. Момент сопротивления изменяется обратно-пропорционально скорости, а мощность остается постоянной. Такой характеристикой обладают металлорежущие станки, у которых при увеличении скорости уменьшается сечение стружки, нории с постоянной подачей.

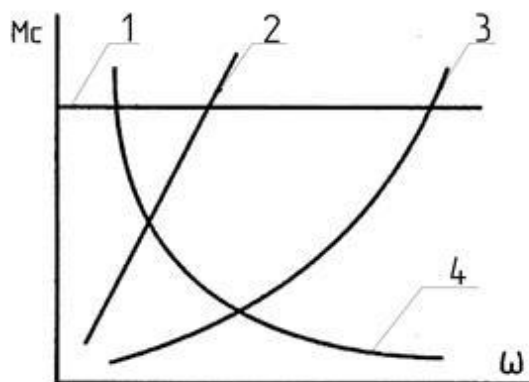


Рисунок 57 – Механические характеристики механизмов: 1 – зерновой нории, 2 – скребкового транспортера, 3 – ротационного вакуумного насоса, 4 – глиномялки

Механическая характеристика электропривода – это зависимость скорости электропривода от электромагнитного момента, развиваемого электродвигательным устройством в установившемся режиме, т.е. $\omega = f(M)$. Механические характеристики могут быть представлены и обратной функцией.

Формула механических характеристик электродвигателей выводят аналитически. Для асинхронного двигателя можно получить только зависимость электромагнитного момента от угловой скорости вала электродвигателя или скольжения, т.к. это зависимость более точно отвечает физическому смыслу явлений, протекающих в электродвигателе.

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s}},$$

где s – скольжение,

$s_{\text{кр}} = s_n \cdot (k_m + \sqrt{k_m^2 - 1})$ – критическое скольжение, соответствующее максимальному моменту,

$$s_n = \frac{n_1 - n_{2n}}{n_1} \text{ – номинальное скольжение,}$$

k_m – кратность максимального момента,

n_{2n} – номинальная скорость вращения ротора, об/мин,

$$n_1 = \frac{60f}{p} \text{ – скорость вращения магнитного поля статора, об/мин,}$$

$f = 50 \text{ Гц}$ – частота тока статора,

p – число пар полюсов двигателя.

Пользуясь вышеизложенными формулами и располагая каталожными данными двигателя, можно построить график механической характеристики (рисунок 58).

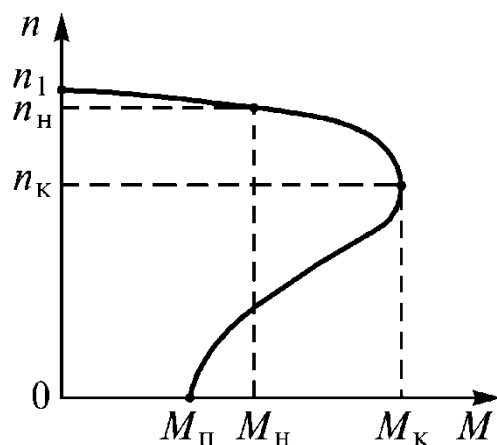


Рисунок 58 – Механическая характеристика асинхронного короткозамкнутого двигателя

Анализируя механическую характеристику, можно сделать следующие выводы:

1. пусковой момент меньше максимального и незначительно превышает номинальный,
2. с увеличением нагрузки, не превышающей M_K (рабочая часть характеристики), скорость вращения незначительно уменьшается, а момент на валу двигателя возрастает,
3. при дальнейшем увеличении нагрузки скорость вращения и момент двигателя резко уменьшаются, что может привести к остановке двигателя.

Следует также отметить, что момент двигателя пропорционален квадрату приложенного напряжения сети, вследствие чего при снижении напряжения момент резко уменьшается. Таким образом, асинхронные короткозамкнутые двигатели обладают плохими пусковыми свойствами и чувствительны к колебаниям напряжения сети. Однако эти недостатки компенсируются преимуществами: простотой устройства, надежностью работы, небольшой стоимостью.

Механическая характеристика, снятая при номинальных параметрах сети и непосредственном включении двигателя в сеть, называется естественной. При изменении параметров сети (напряжение, частота) или схемы включения получают искусственные механические характеристики.

Наряду с механической характеристикой используют зависимость тока от скорости $I(\omega)$, называемую электромеханической характеристикой, как и обратную функцию $\omega(I)$.

У большинства двигателей с увеличением скорости уменьшается момент. Степень изменения момента электродвигателя при изменении скорости называется коэффициентом жесткости механической характеристики β , который определяют как производную момента по скорости, то есть $\beta = dM/d\omega$. При этом коэффициент жесткости, как правило, имеет отрицательный знак.

При помощи коэффициента жесткости можно определить статическую устойчивость привода, под которой понимается способность привода работать при постоянной скорости сколь угодно длительное время (при этом $M=M_c$) и возвращаться к этой скорости при случайно возникшем отклонении.

Такая работа возможна в том случае, если при всяком уменьшении скорости электропривода вращающий момент электродвигателя становится больше статического момента и наоборот, при увеличении скорости момент электродвигателя становится меньше момента сопротивления. При помощи коэффициента жесткости это условие записывается так: $dM/d\omega - dM_c/d\omega < 0$.

Уравнение движение электропривода. Классической механикой установлено, что момент сил M_i , действующий на абсолютно жесткое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной оси, создает движение с угловым ускорением $d\omega/dt$, зависящим от инертности

тела. Мерой инерции тела при этом является динамический момент инерции масс, сокращенно «момент инерции».

Моментом инерции тела относительно данной оси называется величина, равная сумме произведений масс всех частей тела на квадраты их расстояний от оси $J = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots + m_n r_n^2$.

При действии момента сил на тело в каждое мгновение соблюдается равенство $M_u = J \frac{d\omega}{dt}$, которое называют уравнением движения.

Произведение $J \frac{d\omega}{dt}$. Которое имеет размерность момента сил, называют динамическим или инерционным моментом. Динамический момент связан с изменением кинетической энергии.

Для получения простых расчетных формул все движущиеся части электропривода и машины заменяют эквивалентным жестким механическим звеном, вращающимся со скоростью двигателя, на которое действует вращающий момент электродвигателя и приведенный момент сопротивления. Считая вращающий момент электродвигателя M положительным, а момент сопротивления M_c отрицательным, получим уравнение движения электропривода такого вида: $M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$, где J – приведенный момент инерции, кгм^2 .

Если $M > M_c$, то скорость возрастает, электродвигатель, кроме статического, преодолевает динамический момент $M = M_c + J \frac{d\omega}{dt}$. Когда во вращающейся системе M_c становится больше M , скорость уменьшается. При этом инерция поддерживает движение, а электродвигатель развивает момент $M = M_c - J \frac{d\omega}{dt}$.

В общем случае с учетом того, что моменты двигателя и рабочей машины могут быть направлены в сторону или против вращения, уравнение движения электропривода записывают в виде $\pm M \pm M_c = J \frac{d\omega}{dt}$.

Моменты сил считают положительными, если они направлены в сторону движения и способствуют ему. Момент электродвигателя при обычной работе положителен. В тех случаях, когда электрическая машина обеспечивает противодействие движению, то есть торможение, в формуле перед m следует ставить знак минус. Моменты сопротивления от трения, резания, аэродинамических явлений при любом направлении вращения препятствуют движению и всегда отрицательны. Эти силы сопротивления называют реактивными.

В грузоподъемных механизмах при опускании груза, в транспортных установках при перемещении под уклон статический момент машины содействует движению, и перед M_c надо ставить знак плюс. Нагрузка, которая при перемене направления вращения двигателя меняет знак, называется активной.

Приведенный момент сопротивления определяют на основе закона сохранения мощности $M_c \omega_1 \eta = P_m$,

где M_c – момент на валу электродвигателя,

ω – угловая скорость электродвигателя,

η – общий КПД передаточного устройства,

P_m – мощность, необходимая для исполнительного органа машины, Вт.

Отсюда $M_c = \frac{P_m}{\omega_1 \eta}$. Если известны момент сопротивления механизма $M_{с.м}$ и угловая

скорость приводного вала машины ω_2 , то $P_m = M_{с.м} \omega_2$ и $M_c = \frac{M_{с.м} \omega_2}{\omega_1 \eta} = \frac{M_{с.м}}{i \eta}$,

где $i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}$ – передаточное число между валами двигателя и рабочей машины.

Для определения приведенного момента инерции запас кинетической энергии расчетного звена приравнивается к кинетической энергии, запасаемой всеми движущимися частями производственного механизма, передаточного устройства и ротора электродвигателя:

$$J\omega_1^2/2 = J_1\omega_1^2/2 + J_2\omega_2^2/2 + mv^2/2,$$

где J – приведенный момент инерции,

J_1, ω_1 – момент инерции и угловая скорость ротора электродвигателя,

J_2, ω_2 – момент инерции и угловая скорость вращающегося исполнительного органа рабочей машины,

m, v – масса и скорость поступательно движущихся частей.

Разделив предыдущее выражение на $\omega_1^2/2$, определим приведенный момент инерции

$$J = J_1 + \frac{J_2\omega_2^2}{\omega_1^2} + \frac{mv^2}{\omega_1^2} = J_1 + \frac{J_2}{i^2} + \frac{mv^2}{\omega_1^2},$$

Если движущихся органов больше, то их моменты инерции учитывают аналогично.

Момент инерции ротора электродвигателя всегда приводится в справочной литературе. Момент инерции передачи обычно принимают равным 0,1...0,2 момента инерции ротора. Моменты инерции рабочих органов производственных механизмов можно вычислить, пользуясь формулами моментов инерции простых по форме тел. Например, сплошной цилиндр или диск с массой m имеет момент инерции $J_o = \frac{mr^2}{2}$, полый цилиндр с

внешним радиусом r_1 и внутренним r_2 : $J_u = \frac{m(r_1^2 + r_2^2)}{2}$, кольцо с радиусом r : $J_k = mr^2$.

Суммарный момент инерции большинства рабочих машин величина постоянная.

Л19 Переходные процессы в электроприводах, их виды и причины возникновения. Методы расчёта продолжительности пуска и торможения электропривода.

Переходным режимом электропривода называют период работы при переходе от одного установившегося состояния привода к другому, происходящем во время пуска, торможения, резкого приложения нагрузки. Эти режимы характеризуются изменением угловой скорости, момента и тока. Без переходных режимов не совершается работа ни одного электропривода.

Внешней причиной или возмущающим воздействием, вызывающим переходный процесс в электроприводе, является резкое изменение питающего напряжения, механической нагрузки на валу, сопротивления в цепи двигателя. Реакция привода на возмущающее воздействие, скорость и характер переходного процесса зависят от механической и электромагнитной инерционности машинного устройства.

Запас кинетической энергии в механических звеньях устройства и электромагнитной энергии в элементах его электрических цепей не может изменяться мгновенно, поэтому переходные процессы требуют определенного времени.

Когда изменение кинетической энергии в одних элементах вызывает изменение электромагнитной энергии в других, может наступить периодическое преобразование одного вида энергии в другой и характер переходного процесса будет колебательным.

Переходные режимы в электроприводах в общем случае, если учитывать все инерционности, представляют собой сложное явление. В электроприводах с асинхронными двигателями электромагнитные переходные явления быстротечны, и в практических расчетах их влиянием можно пренебречь.

При расчете переходных режимов определяют время пуска, строят зависимости скорости и момента от времени.

Расчет продолжительности переходных процессов. Из основного уравнения движения электропривода получают расчетные формулы.

Чтобы определить время переходного режима, разделим переменные $dt = \frac{J}{M - M_c} d\omega$.

Проинтегрировав обе части равенства, получим: $t = \int_{\omega_{нач}}^{\omega_{кон}} \frac{J}{M - M_c} d\omega$, где $\omega_{нач}$, $\omega_{кон}$ – начальное и конечное значение угловой скорости.

Момент электродвигателя M и приведенный статический момент M_c зависят от ω , но в приближенных расчетах момент двигателя и статический момент считают постоянными величинами, равными их средним значениям, тогда $t = \frac{J(\omega_{нач} - \omega_{кон})}{M - M_c}$.

При разгоне из неподвижного состояния, когда $\omega_{нач}=0$, $\omega_{кон}=\omega_n$ продолжительность пуска $t_n = \frac{J\omega_n}{M_n - M_c}$, где M_n – средний момент электродвигателя во время разгона.

Если осуществляется полная остановка от номинальной скорости, то продолжительность торможения $t_m = \frac{J\omega_n}{M_c}$. При искусственном торможении $t_m = \frac{J\omega_n}{M_c + M_m}$, где M_m – дополнительный тормозной момент.

В тех случаях, когда из-за сложного характера изменения вращающего или статического момента избыточный момент нельзя считать постоянным, пользуются графоаналитическим методом определения продолжительности пуска. Построив механические характеристики двигателя 1 (рисунок 59) и рабочей машины 2, строят кривую изменения избыточного момента 3 (разность между M и M_c). Кривую избыточного момента заменяют ломаной ступенчатой линией 4. В пределах каждой ступени избыточный момент принимают постоянным, равным среднему значению его на этом участке.

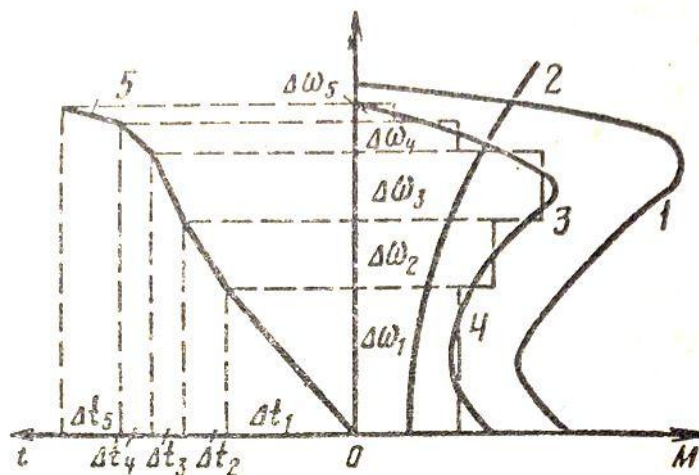


Рисунок 59 – Построение графика изменения скорости при пуске

Для каждого участка продолжительность разгона $\Delta t_i = \frac{J\Delta\omega}{M_i}$, где M_i – средний избыточный момент на участке.

Определив продолжительность разгона на участках, сложением можно найти полную продолжительность пуска, а также построить график изменения скорости электропривода при пуске 5.

Для двигателей, имеющих линейную зависимость момента от скорости во время переходного процесса и постоянный момент сопротивлений, формула для определения времени переходного процесса: $t = T_m \ln \frac{s_{нач} - s_c}{s_{кон} - s_c}$, где $T_m = \frac{J\omega_0 s_k}{M_k}$ - электромеханическая постоянная переходных процессов. Поскольку моменты прямо пропорциональны скольжению, то можно записать также $t = T_m \ln \frac{M_{нач} - M_c}{M_{кон} - M_c}$.

Переходный процесс считается законченным, если конечное скольжение или момент отличаются от установившегося значения на 2...5%. Расчеты показывают, что переходный процесс при таком условии заканчивается за время равное (3...4) T_m .

Л20 Потери мощности в установившемся и переходном режимах работы электропривода. Способы их снижения. Коэффициент мощности и КПД, и способы их повышения

Потери мощности ΔP . Эти потери в электродвигателе составляют основную долю потерь в ЭП а обычно представляются суммой постоянных K и переменных V потерь

$$\Delta P = K + V$$

Под постоянными подразумеваются потери мощности, не зависящие от токов двигателя. К ним относятся потери в стали магнитопровода, механические потери от трения в подшипниках и вентиляционные потери. Для СД и двигателя постоянного тока с независимым возбуждением к постоянным потерям относят потери в обмотках возбуждения.

Строго говоря, постоянные потери в действительности не являются неизменными, а зависят от скорости двигателя, амплитуды и частоты питающего его напряжения. Однако, поскольку постоянные потери изменяются незначительно, они обычно принимаются неизменными и равными номинальным постоянным потерям.

Под переменными подразумеваются потери, выделяемые в обмотках двигателей при протекании по ним тока, зависящего от механической нагрузки ЭП.

Для двигателя постоянного тока переменные потери мощности

$$V = I^2 \cdot R = I_{ном}^2 \cdot R \cdot \left(\frac{I}{I_{ном}}\right)^2 = V_{ном} \chi^2$$

где $\chi = \frac{I}{I_{ном}}$ —кратность тока;

$V = I_{ном}^2 \cdot R$ —номинальные переменные потери мощности;

$I_{ном}$ —номинальный ток двигателя;

R —сопротивление обмоток.

Для трехфазных асинхронных двигателей

$$V = 3I_1^2 \cdot R_1 + 3I_2^2 \cdot R_2' = 3I_2^2 \cdot (R_1 + R_2') = V_{ном} \chi^2$$

Для синхронных двигателей

$$V = 3I_1^2 \cdot R_1 = 3I_{1ном}^2 \cdot R_1 \cdot \left(\frac{I_1}{I_{1ном}}\right)^2 = V_{ном} \chi^2$$

Независимо от вида двигателя переменные потери в нем определяются номинальными потерями и кратностью тока.

Полные потери мощности в двигателе

$$\Delta P = K + V_{ном} \chi^2 = V_{ном} (\alpha + \chi^2)$$

где $\alpha = \frac{K}{V}$ —коэффициент потерь (для большинства двигателей нормального исполнения в зависимости от номинальных мощности и скорости двигателей коэффициент колеблется в пределах 0,5—2). Потери мощности при работе двигателя в номинальном режиме $\chi = 1$ определяются по паспортным данным двигателя следующим образом:

$$\Delta P_{ном} = P_{ном} (1 - \eta_{ном}) / \eta_{ном}$$

где $\eta_{ном}$ —номинальный КПД

Постоянные потери мощности находятся как

$$K = \Delta P_{ном} - V_{ном}$$

Потери энергии установившемся режиме работы электропривода

Потери энергии. За время работы t_p двигателя с постоянной нагрузкой потери энергии

$$\Delta A = \Delta P \cdot t_p$$

При работе двигателя с циклически изменяющейся нагрузкой

$$\Delta A = \int_0^{t_u} \Delta P(t) \cdot dt \approx \sum_{i=1}^m \Delta P_i \cdot t_i$$

где $\Delta P_i \cdot t_i$ —потери мощности и время работы на i -м участке цикла;

m — число отдельных участков цикла;

$\sum_{i=1}^m t_i = t_u$ —время цикла.

Коэффициент полезного действия электроприводов

В общем случае, когда ЭП работает с различными скоростями и нагрузками на валу как в установившемся, так и переходном режимах, КПД определяется

$$\eta = \frac{A_{пол}}{A_{ном}} = \frac{A_{пол}}{A_{пол} + \Delta A} = \frac{\sum_i P_{пол i} \cdot t_i}{\sum_i P_{пол i} \cdot t_i + \sum_i \Delta P_i \cdot t_i}$$

где $A_{пол}$, $A_{ном}$ —полезная и потребленная энергия;

ΔA —потери энергии в ЭП;

$P_{пол i}$ —полезная механическая мощность ЭП на i -м участке цикла;

ΔP_i — потери мощности в ЭП на i -м участке цикла;

n — число участков работы ЭП.

Рассчитанный по этой формуле КПД называют цикловым или средневзвешенным.

Если ЭП работает в неизменном режиме с постоянной мощностью, то формула упрощается и принимает вид

$$\eta = \frac{P_{пол}}{P_{пол} + \Delta P}$$

КПД ЭП как электромеханической системы определяется произведением КПД преобразователя $\eta_{ПУ}$ и управляющего $\eta_{УУ}$ устройства, электродвигателя η_D и механической передачи $\eta_{МП}$

$$\eta = \eta_{ПУ} \cdot \eta_{УУ} \cdot \eta_D \cdot \eta_{МП}$$

Определяется по общей формуле КПД отдельных элементов ЭП, затем находится КПД ЭП в целом.

Наиболее значимым и определяющим является КПД двигателя. Рисунок 60, а иллюстрирует закономерность изменения номинального КПД электрических двигателей постоянного и переменного тока в зависимости от их номинальной мощности $P_{ном}$ и скорости $\omega_{ном}$.

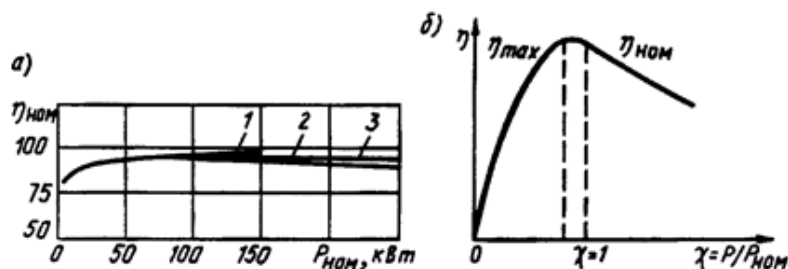


Рисунок 60 – Графики зависимости номинального КПД от номинальной мощности АД (а) и КПД от кратности нагрузки двигателя (б):

1 – АД серии А2; 2 – АД серии 4А $\omega_0=105$ рад/с; 3-АД серии 4А $\omega_0=314$ рад/с

Таким образом, более мощные и высокоскоростные двигатели характеризуются и более высокими номинальными КПД.

КПД отдельного двигателя зависит от развиваемой им полезной механической мощности на валу. При малых нагрузках КПД двигателя небольшой (рис. 60,б), по мере увеличения нагрузки он растет, достигая максимального значения при мощности, близкой к номинальной. Способы повышения КПД двигателей сводятся к следующему: ограничение времени работы двигателя на холостом ходу; обеспечение нагрузки двигателя при его работе, близкой к номинальной, в том числе путем замены малозагруженного двигателя на двигатель меньшей мощности (такая замена должна быть обоснована экономически и проведена только в том случае, когда капитальные затраты на модернизацию ЭП окупятся за счет сокращения эксплуатационных расходов) и применение регулятора экономичности.

Коэффициент мощности электропривода

ЭП, подключаемые к сети переменного тока, потребляют из нее активную P_d и реактивную Q мощности. Активная мощность расходуется на полезную работу ЭП и покрытие потерь в нем, а реактивная мощность, обеспечивая создание электромагнитных полей двигателя и других его элементов, непосредственно полезной работы не совершает. Отметим, что в отношении реактивной мощности точнее говорить не о потреблении ее, а об обмене (циркуляции) между сетью и двигателем.

Работа ЭП, как и любого другого потребителя активной и реактивной энергии, характеризуется коэффициентом мощности

$$\cos \varphi = P_a / S = P_a / \sqrt{P_a^2 + Q^2},$$

где S - полная мощность

Угол φ , как известно из электротехники, определяет сдвиг фаз между напряжением сети и током ЭП: если он потребляет реактивную мощность, то сдвиг фаз $\varphi \neq 0$ и $\cos \varphi \neq 1$

Если ЭП реактивную мощность не потребляет, то $\varphi = 0$ и $\cos \varphi = 1$.

ЭП, потребляя реактивную мощность, нагружает ею систему электроснабжения, вызывая дополнительные потери напряжения и энергии в ее элементах. По этой причине всегда следует стремиться к обеспечению максимально возможного $\cos \varphi$ ЭП как одного из основных энергетических показателей его работы.

Если ЭП работает в каком-то цикле при различных нагрузках или скоростях в установившемся и переходном режимах, то он как потребитель реактивной энергии характеризуется средневзвешенным или цикловым коэффициентом мощности, который определяется отношением потребленной активной энергии за цикл A_a к полной или кажущейся энергии A_n в соответствии с формулой

$$\cos \varphi_{\text{ц}} = A_a / A_n = \sum_{i=1}^n P_{ai} t_i / \sum_{i=1}^n S_i t_i,$$

Для большинства АД $\cos \varphi_{\text{ном}} \sim 0,8 \dots 0,9$. Для этих значений $Q = (0,5 \dots 0,75) P_p$ т.е. АД на каждый киловатт активной мощности потребляет из сети 0,5...0,75 кВА реактивной мощности и чем ниже $\cos \varphi$, тем большую реактивную мощность потребляет АД из сети, загружая ее дополнительным током и вызывая дополнительные потери.

Коэффициент мощности АД существенно зависит от его нагрузки. При холостом ходе АД коэффициент мощности невелик, так как при этом относительно велика доля реактивной мощности по сравнению с активной. По мере увеличения нагрузки АД возрастает и $\cos \varphi$, достигая своего максимального значения примерно в области ее номинальных значений.

АД являются основными потребителями реактивной мощности в системе электроснабжения, поэтому повышение коэффициента их мощности представляет собой важную технико-экономическую задачу. В настоящее время существуют несколько способов повышения $\cos \varphi$ АД.

Замена малозагруженных АД двигателями меньшей мощности. При замене АД меньшей мощности будет работать в области больших нагрузок с более высоким $\cos\varphi$. Напомним, что и КПД полностью загруженного двигателя будет высоким. Замена двигателя, как любая модернизация ЭП, должна быть экономически обоснована.

Ограничение времени работы АД на холостом ходу, т.е. работы с низким $\cos\varphi$. Для этого двигатель отключается от сети при его работе вхолостую автоматически или оператором.

Понижение напряжения питания АД, работающих с малой или переменной нагрузкой. При этом уменьшаются потребляемый из сети ток и реактивная мощность и повышается $\cos\varphi$. Реализация этого способа осуществляется с помощью регулятора напряжения или, когда это возможно, переключением обмоток статора со схемы треугольника на звезду, что приводит к снижению напряжения на обмотке каждой фазы в $\sqrt{3}$ раз.

Замена АД на СД, когда это возможно по условиям технологического процесса рабочей машины и экономически обосновано.

В тех случаях, когда этими средствами не удастся повысить коэффициент мощности до требуемого, на предприятиях предусматривают специальные установки для искусственного повышения средневзвешенного значения коэффициента мощности, состоящие из батарей специальных конденсаторов и пускорегулирующей аппаратуры.

Повышение коэффициента мощности путем подключения конденсаторов основано на том, что электрическая емкость представляет собой источник реактивной мощности: реактивный индуктивный ток компенсируется емкостным.

Применение компенсирующих установок связано с дополнительными затратами и обосновывается технико-экономическими расчетами.

Пути экономии электроэнергии

Из анализа причин потерь мощности в электроприводе определены следующие пути экономии электроэнергии.

1. правильно эксплуатировать производственные механизмы, обеспечивать своевременную смазку, регулировку, заточку режущих органов и т.д.

2. Полностью загружать машины, транспортеры, станки. Для контроля загрузки в энергоемких приводах устанавливать амперметры или ваттметры.

3. Исключить холостой ход производственных механизмов, так как при холостом ходе потребляемая мощность многих из них достигает 50% номинальных значений.

4. При замене электродвигателей, проектировании новых электроприводов отдавать предпочтение электродвигателям, имеющим большие КПД и коэффициенты мощности.

5. Для частых пусков проектировать электроприводы, обладающие минимальной кинетической энергией системы. Предусматривать последовательный пуск многоскоростных двигателей.

6. Для торможения стремиться использовать генераторный режим электродвигателей с отдачей энергии в сети.

7. Следить за качеством напряжения на предприятии, оно должно быть в пределах допустимых норм. Правильным распределением нагрузок по фазам, применением специальных трансформаторов на подстанции добиваться, чтобы напряжение было симметричным, так как в противном случае резко увеличиваются потери в трехфазных асинхронных электродвигателях.

8. Всеми мерами бороться за повышение коэффициента мощности, в установках большой мощности применять синхронные двигатели.

9. При выборе производственного оборудования учитывать то обстоятельство, что чем больше производительность агрегата, тем меньше электроэнергии расходуется на производство на единицу продукции. Всегда экономичнее один большой агрегат, чем несколько маленьких.

10. Совершенствовать электроприводы энергоемких производственных агрегатов путем установки автоматических регуляторов нагрузки, ограничителей холостого хода и т.д.

Л21 Нагрев и охлаждение электродвигателей. Нагрузочные диаграммы рабочих машин и двигателей. Номинальный режим работы электродвигателей

Правильный выбор номинальной мощности электродвигателя определяет экономическую эффективность привода.

Мощность выбирают исходя из необходимости обеспечения пуска, преодоления всех сопротивлений во время работы, соблюдения нормального теплового режима электродвигателя.

Нагрев электродвигателя вызывается потерями энергии. При длительной работе двигателя с постоянной нагрузкой, а следовательно, с постоянными потерями, температура двигателя превышает температуру охлаждающей среды на определенное значение и наступает тепловое равновесие. Если считать теплоотдачу двигателя пропорциональной разности температур двигателя и среды (температуре перегрева Θ), то $\Theta_y = \Delta P / A$, где ΔP – потери мощности, Вт, A – удельная теплоотдача двигателя, Вт/ $^{\circ}\text{C}$.

Удельная теплоотдача двигателя – это количество теплоты, отдаваемое двигателем в окружающую среду за секунду при разности температур в один градус.

Установившаяся температура перегрева Θ_y прямо пропорциональна потерям мощности и обратно пропорциональна теплоотдаче двигателя.

Удельная теплоотдача $A = \Delta P_n / \Theta_{y.n}$, где ΔP_n – номинальные потери мощности, Вт, $\Theta_{y.n}$ – номинальная установившаяся температура перегрева, $^{\circ}\text{C}$.

При включении двигателя в работу или при изменении нагрузки наблюдается тепловой переходный процесс.

Уравнение теплового баланса электродвигателя как однородного твердого тела, все точки которого имеют одинаковую температуру: $\Delta P dt = A \Theta dt + C d\Theta$.

За малый промежуток времени dt в двигателе выделяется теплота в количестве $\Delta P dt$. Часть ее, равная $A \Theta dt$, отдается в окружающую среду, а другая сообщается всему объему двигателя. Та теплота, которая поглощается двигателем, равна произведению теплоемкости на повышение температуры $d\Theta$. Теплоемкость двигателя равна произведению удельной теплоемкости на его массу m .

$$\text{Время нагрева до заданной температуры } t = T_m \ln \frac{\Theta_{нач} - \Theta_y}{\Theta_{кон} - \Theta_y}.$$

Величина T выражается в секундах или минутах и называется постоянной времени нагрева двигателя. Она представляет собой то время, в течение которого температура двигателя повысится от нуля до значения установившейся температуры при постоянных потерях и отсутствии отдачи теплоты в окружающую среду. Для двигателей небольшой мощности $T=10...20$ мин. Значение T больше у двигателей тихоходных, закрытого исполнения и возрастает с увеличением номинальной мощности.

Из графиков (рисунок 61,а) видно, что температура двигателя достигает практически установившегося значения за время, равное $4T$. Если двигатель не вращается, то охлаждается он медленнее. В этом случае теплоотдача уменьшается примерно в два раза и соответственно увеличивается постоянная времени переходного процесса T_0 и само время (рисунок 61,б).

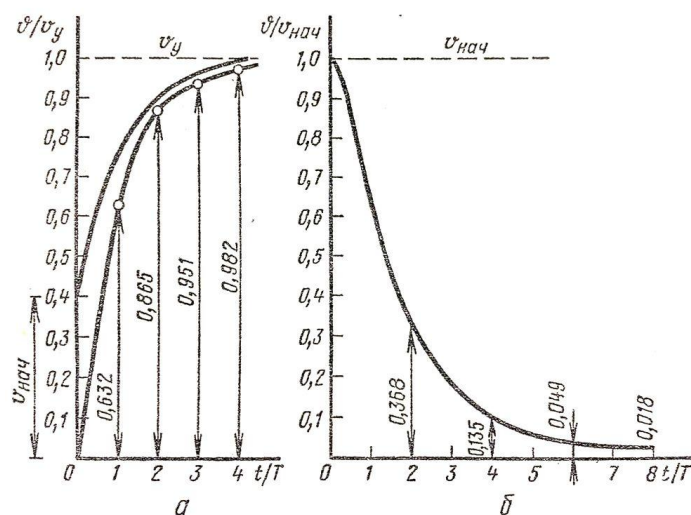


Рисунок 61 – Изменение температуры электродвигателя при нагреве (а) и охлаждении (б)

Постоянную времени нагрева и охлаждения определяют обычно аналитически, пользуясь равенством $T = C/A$. Приняв удельную теплоемкость материалов электродвигателя

равной 420 Дж/кг, с учетом уравнения теплового баланса, получим $T = \frac{420m\Theta_{у.н}}{\Delta P_n}$.

В электродвигателе наименьшей нагревостойкостью обладают изоляционные материалы. В электрических машинах в основном применяют изоляционные материалы, которые относят к классам А, Е, В, F, Н.

Класс А включает в себя материалы из хлопка, бумаги, полиамидных волокон, пропитанных маслом или погруженных в него, а также эмали и лаки. Предельно допустимая температура, которую называют температурным индексом для этих материалов, составляет 105°C.

В электродвигателях серии 4А применяют более нагревостойкую изоляцию из синтетических и неорганических материалов классов Е, В, F. Они имеют температурный индекс соответственно 120, 130, 155°C. Еще более нагревостойкие материалы класса Н применяют во взрывобезопасных двигателях большой мощности.

Срок службы изоляции зависит от температуры, при которой она работает. Установлено, что повышение рабочей температуры на 10°C по сравнению с предельно допустимой сокращает срок службы изоляции вдвое. При температуре более 200°C двигатель выходит из строя в течении нескольких минут. Вследствие этого нагрев электродвигателей, как и другого электрооборудования, является основным критерием допустимой нагрузки.

Кроме предельно допустимой температуры нагрева, указывается предельно допустимое превышение температуры двигателя над окружающей средой. Эта величина получается при вычитании из предельно допустимой температуры двигателя номинальной температуры окружающей среды, которая принята равной 40°C.

Номинальным называют режим работы, применительно к которому завод изготовил данную электрическую машину, чтобы она нормально действовала в течение всего срока службы.

Нагрузочными диаграммами называются зависимость нагрузки (мощности, вращающего момента или тока) от времени. Условия нагрева электродвигателей определяют основные *номинальные* режимы работы электрических машин, которые зависят от характера и длительности их работы. Режимы работы производственных машин и механизмов (а, следовательно, и двигателей) весьма разнообразны (от S1 до S8, где S – условное обозначение режима). К основным (типовым) режимам относят: *продолжительный* (S1), *кратковременный* (S2), *повторно-кратковременный* (S3), *перемежающийся* (S6) (рисунок

62). Дополнительные номинальные режимы: повторно-кратковременный с частым пуском (S4), повторно-кратковременный с частыми пусками и электрическим торможением (S5), перемежающийся с частыми реверсами (S7) и перемежающийся с изменением частоты вращения (S8).

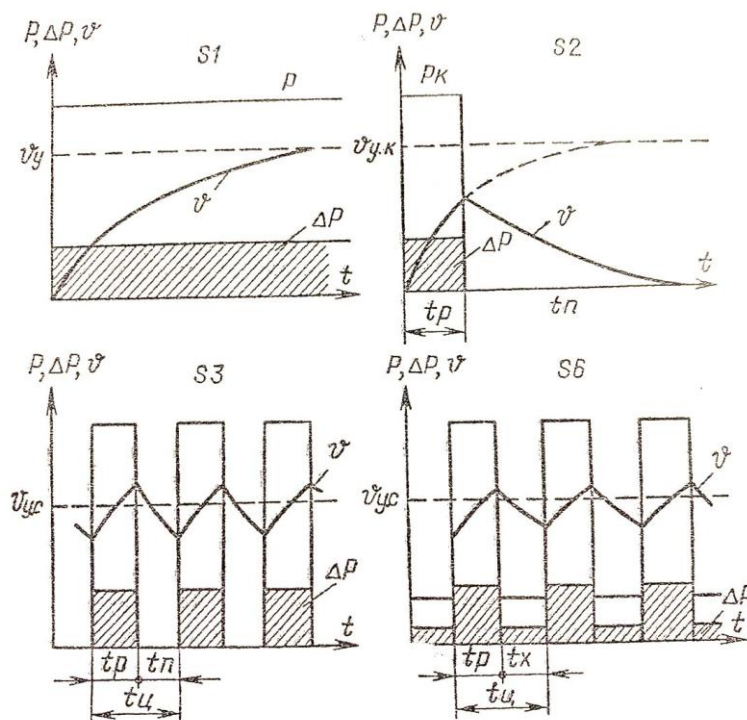


Рисунок 62 – Графики, характеризующие основные номинальные режимы работы электродвигателей

При **продолжительном режиме** работа двигателя происходит длительное время с постоянной или переменной нагрузкой, причем рабочий период настолько велик, что нагрев двигателя достигает установившейся температуры. Температуру считают установившейся, если в течение часа работы она увеличивается не более, чем на 1°C . Такое состояние в электродвигателе наступает при работе с постоянной нагрузкой в течении времени, равного $4T$. Следовательно, при длительности работы, равном $4T$ и больше, режим работы продолжительный.

При **кратковременном режиме** рабочие периоды чередуются с паузами. Во время пауз двигатель необязательно отключается от сети, он может работать вхолостую. В этом режиме паузы настолько длительны, что двигатель успевает охладиться до температуры окружающей среды, а за кратковременные рабочие периоды его температура не достигает установившегося значения. В этом случае продолжительность работы $t_p < 4T$, а продолжительность паузы $t_n > 4T$.

При **повторно-кратковременном режиме** рабочие периоды чередуются с периодами останова или холостого хода двигателя, как и при кратковременном режиме, но с менее длительными паузами. При этом двигатель за время рабочего периода не успевает нагреться до установившегося значения температуры, а за время паузы не успевает охладиться до температуры окружающей среды. В этом случае продолжительность работы $t_p < 4T$, продолжительность паузы $t_n < 4T$, то есть ни в одном из периодов температура не достигает установившегося значения, но среднее ее значение устанавливается неизменным.

Повторно-кратковременный режим характеризуется **продолжительностью включения ПВ**, т.е. отношением продолжительности рабочего периода t_p к продолжительности всего цикла $t_{ц}$, включая и паузы:

$$\text{ПВ}\% = \frac{t_p}{t_{ц}} 100\% = \frac{t_p}{t_p + t_0} 100\%,$$

В России приняты следующие стандартные значения ПВ%: 15, 25, 40, 60 и 100%, причем ПВ=25% и 40% принимают за номинальные значения.

При значении ПВ больше 60% режим работы двигателя считается длительным, при ПВ меньше 10% - кратковременным, а в пределах $10\% \leq \text{ПВ} \leq 60\%$ - повторно-кратковременным. Продолжительность цикла при этом не должна превышать 10 мин.

Перемежающимся режимом называется такой режим длительной работы электродвигателя, при котором кратковременные рабочие периоды чередуются с периодами холостого хода и $t_p < 4T$, $t_x < 4T$. Работа двигателя в этом случае характерна тем, что значение средней температуры достигает установившегося значения. Длительность цикла и относительная продолжительность нагрузки определяется так же, как для повторно-кратковременного режима.

Режимы работы производственных машин и электродвигателей определяют по нагрузочным диаграммам. Под нагрузочной диаграммой производственной машины подразумевается зависимость статического момента или мощности от времени.

Нагрузочная диаграмма двигателя, показывающая изменение электромагнитного момента во времени, отличается от нагрузочной диаграммы приводимой машины за счет динамического момента в переходных процессах. Если влияние переходных процессов не учитывать, то нагрузочные диаграммы двигателя и механизма совпадут.

Л22 Выбор электродвигателей по мощности при продолжительном, кратковременном режимах работы в условиях допустимого нагрева, обеспечения пуска, статической и динамической устойчивости

Выбор мощности двигателя при продолжительном режиме работы. Если момент и мощность производственного механизма не изменяются, то должен быть выбран двигатель с номинальной мощностью P_n , равной мощности нагрузки с учетом потерь в трансмиссии:

$$P_n = \frac{P_m}{\eta_m}, \text{ где } \eta_m - \text{КПД трансмиссии.}$$

Нагрузка на валу электродвигателя может периодически изменяться, при этом периодически меняются потери в двигателе и его температура. Когда двигатель достаточно поработает, его температура начинает колебаться около средней установившейся температуры.

Выбирая электродвигатель по нагреву, ставят условие, чтобы средняя температура в двигателе, равнялась номинальной. Для этого необходимо, чтобы средняя мощность потерь электродвигателя, работающего с переменной нагрузкой, была равна потерям мощности при номинальной нагрузке, то есть

$$\Delta P_n = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \dots + \Delta P_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}.$$

В практических расчетах этим методом, называемым методом средних потерь, предварительно выбирают двигатель по среднему значению нагрузки, а затем определяют потери для номинальной и частичных нагрузок, пользуясь равенством

$$\Delta P = \frac{P(1-\eta)}{\eta}.$$

Значение коэффициента полезного действия двигателя η принимают по справочнику.

Метод средних потерь трудоемок, поэтому применяют другой, более удобный метод среднеквадратичных или эквивалентных величин.

Если считать потери, состоящими из постоянных и переменных, пропорциональных квадрату тока, можно вывести формулу для определения так называемого эквивалентного тока. За эквивалентный принимают некоторый постоянный по значению продолжительный

ток, который вызывает такой же нагрев двигателя, как и действующий изменяющийся ток в рассматриваемый промежуток времени.

Для ступенчато-прямоугольного графика:

$$I_{\vartheta} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}.$$

В двигателях с неизменным магнитным потоком момент электродвигателя прямо пропорционален току, и для них эквивалентный момент вычисляется по формуле:

$$M_{\vartheta} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}.$$

В асинхронных, синхронных, с независимым возбуждением двигателях мощность практически прямо пропорциональна моменту, поэтому

$$P_{\vartheta} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}.$$

Номинальный момент двигателя, требуемый по условиям нагрева, $M_n \geq M_{\vartheta}$.

Номинальная мощность по условиям нагрева $P_n \geq P_{\vartheta}$.

Если пуск осуществляется под нагрузкой, а выбран асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, необходимо проверить, обеспечит ли он достаточно быстрый разгон агрегата. Для этого определяют требуемую номинальную мощность $P_{н(пуск)}$ или необходимый номинальный момент $M_{н(пуск)}$ по условиям пуска. При этом предполагают обычно, что минимальный пусковой момент двигателя с учетом возможного снижения напряжения в 1,25 раза больше статического момента рабочей машины при пуске:

$$M_{н(пуск)} = \frac{1,25 M_c}{\mu_{\min} u^2},$$

где $\mu_{\min}$ - кратность минимального момента двигателя,

u – напряжение во время пуска, выраженное в относительных единицах.

Умножив обе части на ω_n , получим выражение для мощности:

$$P_{н(пуск)} = \frac{1,25 M_c \omega_n}{\mu_{\min} u^2} = \frac{1,25 P_c}{\mu_{\min} u^2}.$$

Для агрегатов с большим приведенным моментом инерции надо определить продолжительность пуска, даже если их запускают без нагрузки. Допустимая продолжительность пуска при номинальном напряжении для короткозамкнутых двигателей равна 10...15с.

При переменной нагрузке следует определить также требуемую мощность двигателя по условиям допустимой перегрузки $P_{н(пер)}$, предполагая, что критический момент двигателя в 1,25 раза больше максимального момента нагрузки:

$$M_{н(пер)} = \frac{1,25 M_{\max}}{\mu_{\max}}, \quad P_{н(пер)} = \frac{1,25 P_{\max}}{\mu_{\max}},$$

где $\mu_{\max}$ - кратность максимального (критического) момента двигателя,

$M_{\max}, P_{\max}$ – наибольшие момент и мощность нагрузки.

Окончательно двигатель выбирают по большему значению из $P_n, P_{н(пуск)}, P_{н(пер)}$. Если период изменения нагрузки больше 10 минут, то необходимо дополнительно определить температуру нагрева выбранного электродвигателя.

Задача: По нагрузочной диаграмме (рисунок А) со следующими данными:

$$M_1 = 40 Н * м; M_2 = 30 Н * м; M_3 = 20 Н * м; t_1 = 10 мин; t_2 = 60 мин; t_3 = 60 мин; \varpi_m = 145 с^{-1}$$

выбрать электродвигатель серии АИР. Напряжение сети 380/220 В.

Решение:

1. Определяем режим работы электропривода.

Для этого найдем максимальную мощность рабочей машины:
 $P_m = M_1 \times \varpi_m = 40 \times 145 = 5800 \text{ Вт}$ Для двигателей такой мощности постоянная времени нагрева составит $T = 25 \text{ мин}$ (таблица А) Из графика нагрузочной диаграммы (рисунок А) видно, что время работы $t_p = t_1 + t_2 + t_3 = 10 + 60 + 60 = 130 \text{ мин} \geq 4 \times T = 4 \times 25 = 100 \text{ мин}$

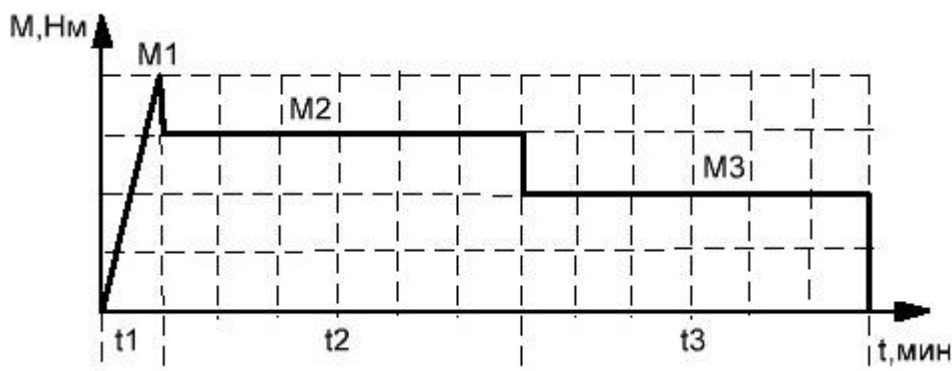


Рисунок А – Нагрузочная диаграмма

Время паузы $t_n \leq 4 \times T$. За время работы $t_p = 130 \text{ мин}$ двигатель успеет нагреться до установившейся температуры, а в период отключения успеет охладиться до температуры окружающей среды. Такой режим работы электропривода называется продолжительный и обозначается S1.

Таблица А – Ориентировочные значения постоянной времени нагрева для электродвигателей серии АИР

Номинальная мощность электродвигателя, кВт	Значение постоянной времени нагрева T, мин
До 4	15...20
5,5...11	25...30
15...37	35...40
45...90	50...60

2. Определяем эквивалентные мощности машины и двигателя:

$$M_{эм} = \sqrt{\frac{M_1^2 \times t_1 / 3 + M_2^2 \times t_2 + M_3^2 \times t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} = \sqrt{\frac{40^2 \times 10 / 3 + 30^2 \times 60 + 20^2 \times 60}{10 + 60 + 60}} = 25,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Эквивалентная мощность машины за рабочий период

$$P_{эм} = M_{эм} \times \varpi_m = 25,3 \times 145 = 3671 \text{ Вт}$$

Эквивалентная мощность на валу двигателя

$$P_э = \frac{P_{эм}}{\eta_m} = \frac{3671}{0,97} = 3785 \text{ Вт}$$

3. Выбираем предварительно электродвигатель.

Номинальная мощность двигателя должна быть равна или несколько больше эквивалентной мощности: $P_{ном} \geq P_э = 3785 \text{ Вт}$.

По каталогу выбираем двигатель АИР100L4У3 с паспортными данными: номинальная мощность 4,0 кВт, номинальная частота 1410 мин^{-1} (148 с^{-1}), кратность минимального момента 1,6, кратность максимального момента 2,2.

4. Проверяем пусковые и перегрузочные свойства двигателя. Допустим, что двигатель запускается при наибольшей нагрузке $M_1 = 40 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Определяем значение момента сопротивления машины, приведенного к валу двигателя при нагрузке M_1 :

$$M_{см} = \frac{M_1 \times \varpi_m}{\varpi_n} = \frac{40 \times 145}{148} = 39,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Развиваемый двигателем момент при пуске двигателя с учетом снижения напряжения в сети:

$$M_{n(пуск)} = \frac{1,25 \times M_{см}}{K_{мин} \times u^2} = \frac{1,25 \times 39,2}{1,6 \times 0,925^2} = 35,8 H * м,$$

где $K_{мин}$ – кратность минимального момента двигателя по каталогу;

$u=0,925$ – напряжение в сети во время пуска двигателя, выраженное в относительных единицах.

Номинальный момент двигателя:

$$M_n = \frac{P_{ном}}{\omega_n} = \frac{4000}{148} = 27,0 H * м.$$

Как видно, $M_n \leq M_{n(пуск)}$. Выбранный двигатель не обеспечит пуск рабочей машины при полной нагрузке, выбираем двигатель большей мощности и повторяем расчет:

выбираем двигатель АИР112М4У3 с паспортными данными: номинальная мощность 5,5 кВт, номинальная частота 1430 мин⁻¹ (150 с⁻¹), кратность минимального момента 1,6, кратность максимального момента 2,2.

Проверяем пусковые и перегрузочные свойства двигателя. Допустим, что двигатель запускается при наибольшей нагрузке $M_1 = 40 H * м$.

Определяем значение момента сопротивления машины, приведенного к валу двигателя при нагрузке M_1 :

$$M_{см} = \frac{M_1 \times \varpi_m}{\varpi_n} = \frac{40 \times 145}{150} = 38,6 H * м.$$

Развиваемый двигателем момент при пуске двигателя с учетом снижения напряжения в сети:

$$M_{n(пуск)} = \frac{1,25 \times M_{см}}{K_{мин} \times u^2} = \frac{1,25 \times 38,6}{1,6 \times 0,925^2} = 35,3 H * м$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_n = \frac{P_{ном}}{\omega_n} = \frac{5500}{150} = 36,7 H * м.$$

Как видно, $M_n \geq M_{n(пуск)}$. Выбранный двигатель обеспечит пуск рабочей машины при полной нагрузке.

Проверим, не перегрузится ли двигатель, преодолевая пик нагрузки:

$$M_{n(пер)} = \frac{M_{макс}}{0,75 \times K_{макс}} = \frac{40}{0,75 \times 2,2} = 24,2 H * м,$$

где $M_{макс}$ – наибольший момент, взятый по нагрузочной диаграмме;

$K_{макс}$ – кратность максимального момента по каталогу.

Как видно, $M_n \geq M_{n(пер)}$, т.е. двигатель преодолеет эту нагрузку.

Определение мощности двигателя при кратковременном режиме работы.

Двигатели, специально предназначенные для такого режима работы, выбирают так, чтобы их номинальная мощность равнялась мощности рабочей машины при соответствующей продолжительности работы.

Для механизмов малой и средней мощности применяют обычные двигатели, предназначенные для продолжительного режима. При этом по условиям нагрева за счет кратковременности работы номинальная мощность их может быть меньше мощности нагрузки. Формулу для определения номинального момента получают из уравнения нагрева двигателя, приравняв температуру в конце работы к номинальной установившейся температуре. Считая эти температуры пропорциональными квадрату соответствующих токов и моментов, получаем

$$M_n \geq M_{кр} \sqrt{1 - e^{-t_p/T}}, \quad P_n \geq P_{кр} \sqrt{1 - e^{-t_p/T}},$$

где $M_{кр}$, $P_{кр}$ – момент и мощность при кратковременной нагрузке,

t_p – продолжительность работы.

Так как необходимый момент, требуемый по условиям пуска, получается обычно больше, чем момент, вычисленный по условиям нагрева, окончательный выбор номинальной мощности асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором чаще приходится делать по условию обеспечения надежного пуска по равенству:

$$P_{n(пуск)} = \frac{1,25 M_c \omega_n}{\mu_{\min} u^2} = \frac{1,25 P_c}{\mu_{\min} u^2}.$$

Л23 Выбор электродвигателей по мощности при повторно-кратковременном режиме работы в условиях допустимого нагрева, обеспечения пуска, статической и динамической устойчивости

Двигатели могут быть выбраны из серии нормального исполнения либо из серии крановых, специально предназначенных для такой работы.

Двигатели, предназначенные для повторно-кратковременного режима, рассчитаны на стандартные продолжительности работы ε_n 0,15; 0,25; 0,40; 0,60 с длительностью цикла не более 10 минут. В справочниках приводится номинальная мощность двигателей для указанных ε_n .

При выборе двигателя мощность принимают равной мощности нагрузки при соответствующей относительной продолжительности работы рабочей машины. Если относительная продолжительность работы отличается от стандартной, делают перерасчет по выражению:

$$P_n = P \sqrt{\varepsilon / \varepsilon_n},$$

где P, ε – мощность и относительная продолжительность работы машины.

Для механизмов с повторно-кратковременным режимом работы можно использовать электродвигатели, рассчитанные по условиям нагрева для продолжительной работы. В этом случае $P_n = P \sqrt{\varepsilon}$.

Однако, чтобы учесть ухудшение охлаждения двигателя во время остановок, паузы сокращают вдвое. При этом обязательно делают проверку по условиям пуска и допустимой перегрузки.

Задача: По нагрузочной диаграмме (рисунок Б) со следующими данными:

$M_1 = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}; M_2 = 40 \text{ Н} \cdot \text{м}; M_3 = 80 \text{ Н} \cdot \text{м}, t_1 = 1 \text{ мин}; t_2 = 4 \text{ мин}; t_3 = 1 \text{ мин}; t_0 = 4 \text{ мин}; \varpi_m = 50 \text{ с}^{-1}$
выбрать электродвигатель для привода кормораздатчика. Напряжение сети 380/220 В.

Решение:

1. Определяем режим работы электропривода.

Для этого найдем максимальную мощность рабочей машины:
 $P_m = M_1 \times \varpi_m = 100 \times 50 = 5000 \text{ Вт}$ Для двигателей такой мощности постоянная времени нагрева составит $T = 20 \text{ мин}$ (таблица А) Из графика нагрузочной диаграммы (рисунок Б) видно, что время работы $t_p = t_1 + t_2 + t_3 = 1 + 4 + 1 = 6 \text{ мин} < 4 \times T = 4 \times 20 = 80 \text{ мин}$ время паузы $t_o = 4 \text{ мин} < 4 \times T = 4 \times 20 = 80 \text{ мин}$.

Время паузы $t_n \leq 4 \times T$. За время работы двигатель не успеет нагреться до установившейся температуры, а в период отключения не успеет охладиться до температуры окружающей среды. Такой режим работы электропривода называется повторно-кратковременный и обозначается S1.

2. Определяем эквивалентные мощности машины и двигателя:

$$M_{эм} = \sqrt{\frac{M_1^2 \times t_1 + M_2^2 \times t_2 + M_3^2 \times t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} = \sqrt{\frac{100^2 \times 1 + 40^2 \times 4 + 80^2 \times 1}{1 + 4 + 1}} = 61,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Эквивалентная мощность машины за рабочий период

$$P_{эм} = M_{эм} \times \varpi_m = 61,6 \times 50 = 3080 \text{ Вт}$$

Эквивалентная мощность на валу двигателя

$$P_{э} = \frac{P_{эм}}{\eta_m} = \frac{3080}{0,97} = 3175 \text{ Вт}$$

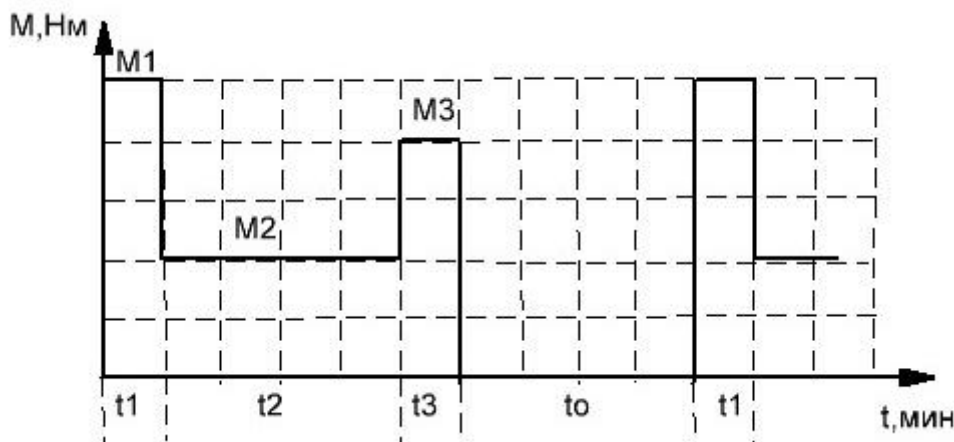


Рисунок Б – Нагрузочная диаграмма

3. Выбираем предварительно электродвигатель.

Продолжительность включения:

$$\varepsilon = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_0} = \frac{1 + 4 + 1}{1 + 4 + 1 + 4} = 0,6$$

В каталоге двигателей типа АИРС номинальная мощность двигателя приведена при ПВ=40% ($\varepsilon=0,4$). Поэтому для выбора двигателя надо эквивалентную мощность при $\varepsilon=0,6$ пересчитать на $\varepsilon=0,4$:

$$P_{40} = P_{60} \sqrt{\frac{\varepsilon_{60}}{\varepsilon_{40}}} = 3,175 \sqrt{\frac{0,6}{0,4}} = 3,9 \text{ кВт}$$

По каталогу выбираем двигатель повышенного скольжения АИРС112МВ6 с паспортными данными: номинальная мощность 4,2 кВт, номинальная частота 910 мин⁻¹ (148 с⁻¹), кратность минимального момента 1,6, кратность максимального момента 2,1.

4. Проверяем пусковые и перегрузочные свойства двигателя. Допустим, что двигатель запускается при наибольшей нагрузке $M_1 = 100 \text{ Н*м}$.

Определяем значение момента сопротивления машины, приведенного к валу двигателя при нагрузке M_1 :

$$M_{см} = \frac{M_1 \times \varpi_m}{\varpi_n} = \frac{100 \times 50}{95,55} = 52,3 \text{ Н*м}.$$

Развиваемый двигателем момент при пуске двигателя с учетом снижения напряжения в сети:

$$M_{н(пуск)} = \frac{1,25 \times M_{см}}{K_{мин} \times u^2} = \frac{1,25 \times 52,3}{1,6 \times 0,925^2} = 47,8 \text{ Н*м},$$

где $K_{мин}$ – кратность минимального момента двигателя по каталогу;

$u=0,925$ – напряжение в сети во время пуска двигателя, выраженное в относительных единицах.

Номинальный момент двигателя:

$$M_n = \frac{P_{ном}}{\varpi_n} = \frac{4200}{95,55} = 44,0 \text{ Н*м}.$$

Как видно, $M_n \leq M_{н(пуск)}$. Выбранный двигатель не обеспечит пуск рабочей машины при полной нагрузке, выбираем двигатель большей мощности и повторяем расчет:

выбираем двигатель АИРС132S4СУ1 с паспортными данными: номинальная мощность 6,3 кВт, номинальная частота 940 мин⁻¹ (98,7 с⁻¹), кратность минимального момента 1,5, кратность максимального момента 2,1.

Проверяем пусковые и перегрузочные свойства двигателя. Допустим, что двигатель запускается при наибольшей нагрузке $M_1 = 100 \text{ Н*м}$.

Определяем значение момента сопротивления машины, приведенного к валу двигателя при нагрузке M_1 :

$$M_{см} = \frac{M_1 \times \varpi_m}{\varpi_n} = \frac{100 \times 50}{98,7} = 50,7 \text{ Н*м}.$$

Развиваемый двигателем момент при пуске двигателя с учетом снижения напряжения в сети:

$$M_{н(пуск)} = \frac{1,25 \times M_{см}}{K_{мин} \times u^2} = \frac{1,25 \times 50,7}{1,5 \times 0,925^2} = 49,3 \text{ Н*м}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_n = \frac{P_{ном}}{\varpi_n} = \frac{6300}{98,7} = 63,8 \text{ Н*м}.$$

Как видно, $M_n \geq M_{н(пуск)}$. Выбранный двигатель обеспечит пуск рабочей машины при полной нагрузке.

Проверим, не перегрузится ли двигатель, преодолевая пик нагрузки:

$$M_{н(пер)} = \frac{M_{макс}}{0,75 \times K_{макс}} = \frac{100}{0,75 \times 2,1} = 63,5 \text{ Н*м},$$

где $M_{макс}$ – наибольший момент, взятый по нагрузочной диаграмме;

$K_{макс}$ – кратность максимального момента по каталогу.

Как видно, $M_n \geq M_{н(пер)}$, т.е. двигатель преодолеет эту нагрузку.

5. Вместо двигателя повышенного скольжения можно выбрать двигатель продолжительного режима. Определим мощность продолжительного режима:

$$P_n = P \sqrt{\varepsilon} = 3,175 \sqrt{0,6} = 2,5 \text{ кВт}$$

выбираем двигатель АИР112МА6У3 с паспортными данными: номинальная мощность 3 кВт, номинальная частота 955 мин⁻¹ (100 с⁻¹), кратность минимального момента 1,8, кратность максимального момента 2,5.

Проверяем пусковые и перегрузочные свойства двигателя. Допустим, что двигатель запускается при наибольшей нагрузке $M_1 = 100 \text{ Н*м}$.

Определяем значение момента сопротивления машины, приведенного к валу двигателя при нагрузке M_1 :

$$M_{см} = \frac{M_1 \times \varpi_m}{\varpi_n} = \frac{100 \times 50}{100} = 50 \text{ Н*м}.$$

Развиваемый двигателем момент при пуске двигателя с учетом снижения напряжения в сети:

$$M_{н(пуск)} = \frac{1,25 \times M_{см}}{K_{мин} \times u^2} = \frac{1,25 \times 50}{1,8 \times 0,925^2} = 40,6 \text{ Н*м}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_n = \frac{P_{ном}}{\varpi_n} = \frac{3000}{100} = 30 \text{ Н*м}.$$

Как видно, $M_n \leq M_{н(пуск)}$. Выбранный двигатель не обеспечит пуск рабочей машины при полной нагрузке, выбираем двигатель большей мощности и повторяем расчет:

выбираем двигатель АИР132S6У3 с паспортными данными: номинальная мощность 5,5 кВт, номинальная частота 960 мин⁻¹ (100,8 с⁻¹), кратность минимального момента 1,6, кратность максимального момента 2,2.

Проверяем пусковые и перегрузочные свойства двигателя. Допустим, что двигатель запускается при наибольшей нагрузке $M_1 = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Определяем значение момента сопротивления машины, приведенного к валу двигателя при нагрузке M_1 :

$$M_{см} = \frac{M_1 \times \varpi_m}{\varpi_n} = \frac{100 \times 50}{100,8} = 49,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Развиваемый двигателем момент при пуске двигателя с учетом снижения напряжения в сети:

$$M_{н(пуск)} = \frac{1,25 \times M_{см}}{K_{мин} \times u^2} = \frac{1,25 \times 49,6}{1,6 \times 0,925^2} = 45,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_n = \frac{P_{ном}}{\varpi_n} = \frac{5500}{100,8} = 54,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Как видно, $M_n \geq M_{н(пуск)}$. Выбранный двигатель обеспечит пуск рабочей машины при полной нагрузке.

Л24 Выбор электродвигателей по роду тока, уровню напряжения, по степени защиты от окружающей среды, способу монтажа, частоте вращения

Выбор электродвигателей по частоте вращения. Кроме мощности, электродвигатели отличаются номинальной частотой вращения, принципом работы и родом тока, исполнением по защите от окружающей среды, способу установки.

При выборе электродвигателя по номинальной частоте вращения учитывают экономические и технические показатели. Так, масса и стоимость быстроходных двигателей меньше, а номинальные КПД и коэффициент мощности больше.

В большинстве случаев частота вращения приводных валов сельскохозяйственных машин, за исключением вентиляторов и центробежных насосов, не совпадает со стандартными частотами вращения электродвигателей. Поэтому приходится учитывать стоимость и КПД механических передач.

Технико-экономические расчеты и практический опыт показывают, что в большинстве случаев наиболее экономичны двигатели с частотой вращения 1500 мин⁻¹. Число таких двигателей в сельском хозяйстве превышает 90 %.

Двигатели на 3000 мин⁻¹ применяют для привода центробежных насосов, вентиляторов большого напора, дробилок кормов.

Двигатели на 1000 мин⁻¹ используют для поршневых компрессоров, вентиляторов среднего напора большой подачи и в других случаях, когда возможно прямое соединение с валом рабочей машины.

Тихоходные двигатели обладают техническим преимуществом по сравнению с быстроходными в том случае, когда происходят частые пуски, реверсы. При этом решающими факторами становятся потери энергии и продолжительность переходных процессов, а тихоходные двигатели, обладая малым значением кинетической энергии ротора, обеспечивают меньшие потери энергии и продолжительность переходных процессов.

По роду тока электродвигатели выбирают на основании технико-экономических расчетов. Для машин, не требующих регулирования скорости, следует применять исключительно приводы переменного тока, которые значительно дешевле приводов постоянного тока.

Выбор электродвигателей по типу. Возможно сравнение трех основных типов двигателей переменного тока: асинхронного с короткозамкнутым ротором, асинхронного

с фазным ротором и синхронного. Выбирая тип двигателя в зависимости от характера нагрузки и мощности механизмов, можно руководствоваться следующими данными. При длительной постоянной и переменной нагрузке мощностью до 100 кВт наиболее экономичны асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, при нагрузках мощностью более 100 кВт — синхронные двигатели. При резкопеременной нагрузке до 100 кВт применяют асинхронные двигатели с повышенным скольжением, при мощности свыше 100 кВт — асинхронные двигатели с фазным ротором. При повторно-кратковременной и кратковременной нагрузках используют чаще всего асинхронные двигатели с повышенным скольжением, асинхронные двигатели с фазным ротором.

При выборе электродвигателей и способов регулирования для производственных механизмов, требующих электрического регулирования скорости, приходится учитывать ряд технических требований. Основные требования — диапазон, плавность регулирования, стабильность скорости, надежность и простота управления. В сельскохозяйственном производстве в этом случае чаще применяют асинхронные двигатели с фазным ротором, многоскоростные короткозамкнутые двигатели, двигатели повышенного скольжения с короткозамкнутым ротором.

Выбор электродвигателей по исполнению. Двигатели основного исполнения предназначены для применения в умеренном климате в зданиях промышленного типа.

Для приводов, предназначенных для работы в различных условиях окружающей среды, предусмотрен ряд специализированных исполнений: влагоморозостойкие, химостойкие, пылезащищенные, тропические, для сельского хозяйства и др.

Электродвигатели, как и другое электрооборудование, различают по климатическому исполнению и категории размещения изделия.

В соответствии с ГОСТ 15143.1 – 89 электротехнические изделия изготавливают в следующих климатических исполнениях и маркируют следующим образом: У — для районов с умеренным климатом, ХЛ — для районов с холодным климатом, УХЛ — для районов с умеренным и холодным климатом, Т — для районов как с сухим, так и влажным тропическим климатом, ТВ — для районов с влажным тропическим климатом, ТС — для районов с сухим, тропическим климатом, О — для всех макроклиматических районов на суше, М — для районов с умеренно-холодным морским климатом, ТМ — с морским тропическим климатом, в том числе и на судах каботажного плавания, ОМ — на судах неограниченного района плавания, В — для всех макроклиматических районов на суше и на море.

Кроме того, изделия в зависимости от места установки изготавливают для пяти категорий размещения, которые обозначают следующими цифрами: 1 — для эксплуатации на открытом воздухе; 2 — для использования на открытом воздухе или в помещениях, где колебания температуры и влажности несущественно отличаются от этих параметров на открытом воздухе (отсутствует солнечная радиация и атмосферные осадки), например, под навесом и в открытых помещениях; 3 — для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий; 4 — для работы в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями; 5 — для эксплуатации в помещениях с повышенной влажностью.

В условное обозначение типа (марки) изделия дополнительно после всех обозначений, относящихся к модификации изделия, вводят буквы и цифры, обозначающие вид климатического исполнения.

Все электротехнические изделия, в том числе и электродвигатели, должны иметь корпуса и оболочки, обеспечивающие защиту персонала от соприкосновения с токоведущими и движущимися частями, а также определенную степень защиты изделия от попадания внутрь оболочки твердых посторонних тел и воды согласно ГОСТ 14254—2015 (IEC 60529:2013).

Для обозначения степени защиты применяются буквы IP (International protection) и следующие за ними две цифры.

Первая цифра после IP (0...6) означает степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими и движущимися частями и изделия от попадания в него

тел: 0 — специальная защита отсутствует; 1 — защита от случайного соприкосновения большого участка человеческого тела с токоведущими и вращающимися частями; отсутствует защита от преднамеренного соприкосновения; имеется защита от попадания внутрь твердых тел диаметром более 50 мм; 2 — защита от соприкосновения пальцев человека с токоведущими и вращающимися частями и защита от попадания внутрь двигателя твердых тел диаметром более 12,5 мм; 3 — защита от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями инструмента, проволоки и других предметов, толщина которых превышает 2,5 мм, защита от попадания внутрь машины твердых тел диаметром более 2,5 мм; 4 — защита от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями предметов толщиной более 1 мм и защита от попадания внутрь двигателя твердых тел толщиной более 1 мм; 5 — полная защита от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями и полная защита от вредных отложений пыли внутри машины.

Степень защиты от воды определяется второй цифрой (0...8): 0 — защита от воды отсутствует; 1 — защита от капель сконденсировавшейся воды, падающих вертикально; 2 — защита от капель воды, падающих под углом не более 15^0 к вертикали; 3 — защита от дождя, падающего под углом не более 60^0 к вертикали; 4 — защита от брызг воды любого направления; 5 — защита от водяных струй в любом направлении; 6 — защита от воздействий, характерных для палубы корабля, включая захлестывание морской волной; 7 — защита при погружении в воду при определенном времени и давлении, указанных в стандарте; 8 — защита при погружении в воду на неограниченное время при давлении, указанном в стандарте.

Наиболее распространенные степени защиты двигателей на напряжение до 1000В и их краткое описание приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристика степени защиты двигателей

Обозначение	Характеристика
IP00	Отсутствуют: специальная защита обслуживающего персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями машины; защита от попадания твердых тел внутрь корпуса и проникновения воды
IP01	Машина, защищенная от капель воды, падающих вертикально на оболочку, и не имеющая специальной защиты обслуживающего персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями машины; защита от попадания твердых тел внутрь корпуса
IP10	Машина защищена от проникновения внутрь оболочки большого участка поверхности тела человека (например, руки), твердых тел размером более 50 мм, защита от проникновения воды отсутствует
IP11	Машина защищена от проникновения внутрь оболочки большого участка поверхности тела человека (например, руки), твердых тел размером более 50 мм и капель воды, падающих вертикально на оболочку
IP12	Машина защищена от проникновения внутрь оболочки большого участка поверхности тела человека (например, руки), твердых тел размером более 50 мм и капель воды, падающих вертикально на оболочку при наклоне оболочки на любой угол до 15^0 относительно нормального положения
IP13	Машина защищена от проникновения внутрь оболочки большого участка поверхности тела человека (например, руки), твердых тел размером более 50 мм и капель воды, падающих на оболочку под углом 60^0 от вертикали
IP20	Машина, защищенная от проникновения внутрь оболочки пальцев или предметов длиной более 80 мм, твердых тел размером свыше 12 мм, защита от проникновения воды отсутствует
IP21	Машина, защищенная от проникновения внутрь оболочки пальцев или предметов длиной более 80 мм, твердых тел размером свыше 12 мм и капель воды, падающих вертикально на оболочку
IP22	Машина, защищенная от проникновения внутрь оболочки пальцев или

	предметов длиной более 80 мм, твердых тел размером свыше 12 мм и капель воды, падающих вертикально на оболочку при наклоне оболочки на любой угол до 15 ⁰ относительно нормального положения
IP23	Машина, защищенная от проникновения внутрь оболочки пальцев или предметов длиной более 80 мм, твердых тел размером свыше 12 мм и капель воды, падающих на оболочку под углом 60 ⁰ от вертикали
IP43	Машина, защищенная от проникновения внутрь оболочки проволоки, твердых тел размером более 1 мм и капель воды, падающих на оболочку под углом 60 ⁰ от вертикали
IP44	Машина, защищенная от проникновения внутрь оболочки проволоки, твердых тел размером более 1 мм и воды, разбрызгиваемой на оболочку в любом направлении
IP54	Машина, не полностью защищенная от проникновения внутрь оболочки пыли (однако, пыль не может проникать в количестве, достаточном для нарушения работы изделия) и воды, разбрызгиваемой на оболочку в любом направлении
IP55	Машина, не полностью защищенная от проникновения внутрь оболочки пыли (однако, пыль не может проникать в количестве, достаточном для нарушения работы изделия) и защищенная от струй воды, выбрасываемых на оболочку в любом направлении
IP56	Машина, не полностью защищенная от проникновения внутрь оболочки пыли (однако, пыль не может проникать в количестве, достаточном для нарушения работы изделия) и защищенная от волн воды (вода при волнении не попадает внутрь оболочки в количестве, достаточном для погружения)

Способы охлаждения двигателей определены стандартом. Обозначение этих способов состоит из начальных букв IC слов International cooling и ряда букв и цифр, обозначающих способ охлаждения. Сначала указывается буква, обозначающая вид хладагента: А – воздух, Н – водород, W – вода, если хладагентом является только воздух, то буква опускается. Затем идет несколько цифр: *первая цифра* условно обозначает устройство цепи охлаждения для циркуляции хладагента, например, воздуха: 0 – хладагент свободно поступает в двигатель и свободно выводится из него, 3 – хладагент поступает в двигатель через подводящую трубу и выводится через отводящую трубу, 4 – хладагент циркулирует в замкнутом объеме двигателя и отдает свою теплоту через поверхность корпуса (обычно ребристую) в окружающую среду, 7 – хладагент циркулирует по замкнутой системе, включающей охладитель, и отдает свою теплоту хладагенту охладителя, встроенному в двигатель, 8 – то же, что и 7, но охладитель установлен вне машины; *вторая цифра* обозначает способ перемещения хладагента: 0 – хладагент перемещается за счет свободной конвекции, вентилирующее действие ротора незначительно, 1 – хладагент перемещается вентилятором, расположенным на валу двигателя, 2 – хладагент перемещается вентилятором, расположенным на валу двигателя, но вращаемый этим валом через передающее устройство, например, зубчатую или ременную передачу, 3 – то же, что и 2, но вентилятор вращается отдельным двигателем, получающим питание от выводов охлаждаемого двигателя, 7 – хладагент перемещается независимым вентилятором, установленным вне охлаждаемого двигателя и включенным в сеть, независимо от него, 8 – хладагент перемещается внутри двигателя за счет движения этого двигателя через хладагент, например, двигатель, установленный на движущемся объекте.

Если двигатель имеет несколько цепей охлаждения (например, внутренняя вентиляция и наружный обдув), то в обозначении может быть четыре цифры: две – для обозначения наружной цепи охлаждения и две – для внутренней.

IC01 – защищенный двигатель с внутренней самовентиляцией, вентилятор расположен на валу машины.

IC31 – защищенный двигатель с самовентиляцией, вентилятор расположен на валу двигателя, воздух поступает в двигатель и удаляется из него с помощью подводящей и отводящей труб.

IC0040 – закрытый двигатель с естественным охлаждением без вентилятора.

IC0141 – закрытый двигатель с самовентиляцией, ребристая или гладкая поверхность станины обдувается снаружи внешним вентилятором, расположенным на валу этого двигателя.

Применяемые в электрических двигателях способы охлаждения находятся во взаимосвязи с конструктивными формами исполнения этих машин по способу защиты. Например, в машинах закрытого исполнения (IP44, IP54, IP55 и др.) используют либо естественное охлаждение IC0040, либо охлаждение наружным обдувом IC0141; в машинах защищенного исполнения (IP20, IP21, IP22, IP23) применяют охлаждение с внутренней вентиляцией IC01, IC31 или IC37.

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

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

Условное обозначение исполнения по способу монтажа состоит из букв IM (начальные буквы слов International Mounting) и четырех цифр. *Первая цифра* – способ крепления двигателя в месте его установки: 1 – на лапах с подшипниковыми щитами, 2 – на лапах с подшипниковыми щитами, с фланцем на одном или двух щитах, 3 – без лап с подшипниковыми щитами, с фланцем на одном или двух щитах, 4 – без лап с подшипниковыми щитами, с фланцем на станине, 5 – без подшипниковых щитов, 6 – на лапах с подшипниковыми щитами со стоячковыми подшипниками, 7 – на лапах со стоячковыми подшипниками (без подшипниковых щитов), 8 – с вертикальным валом, кроме позиций 1, 2, 3 и 4 данного перечня, 9 – специальное исполнение по способу монтажа. *Вторая и третья цифры* пространственное положение машины и направление выступающего конца вала. *Четвертая цифра* – исполнение конца вала (цилиндрический или конический, один или два выступающих конца вала).

Виды исполнений	Схема
IM1001 С двумя подшипниковыми щитами на лапах, вал горизонтальный с цилиндрическим концом	
IM1011 С двумя подшипниковыми щитами на лапах, вал вертикальный с цилиндрическим концом, направленным вниз	
IM2001 С двумя подшипниковыми щитами, на лапах, с фланцем на одном щите, доступным с обратной стороны, вал горизонтальный с цилиндрическим концом	
IM2131 С двумя подшипниковыми щитами, на лапах, с фланцем на одном щите, не доступным с обратной стороны, вал вертикальный с цилиндрическим концом, направленным вверх	
IM3001 Без лап, с двумя подшипниковыми щитами, с фланцем на одном щите, доступным с обратной стороны, вал горизонтальный с цилиндрическим концом	

Электропривод в сельскохозяйственном производстве в большинстве случаев работает в окружающей среде, параметры которой значительно отклоняются от установленных норм для электродвигателей и аппаратуры управления. К таким параметрам относятся влажность, загазованность, запыленность и резкие колебания температуры воздуха в течение суток, недели, месяца. В ряде производственных помещений (животноводческие, птицеводческие, теплицы, отделения кормоцехов по приготовлению корнеклубнеплодов, посудомоечные и другие) наблюдаются повышенная влажность воздуха, концентрация углекислого газа, аммиака, сероводорода при значительных колебаниях температуры. Совокупное действие этих факторов вызывает увлажнение и постепенное разрушение изоляции со снижением сопротивления и повышением утечки тока на корпус. Особенно вредно это воздействие на электродвигатель, когда он не работает и его обмотка не нагревается и не подсушивается или когда он работает малое число часов в сутки. Чем больше времени электродвигатель находится в работе, тем суше его обмотка, выше сопротивление изоляции и воздействие окружающей среды на него сказывается меньше.

При работе электрооборудования в среде с повышенной запыленностью (отделения кормоцехов по приготовлению концентрированных кормов, мельницы, птичники, зернотока и др.) пыль оседает на обмотку и на конструктивные элементы электрооборудования, снижается теплоотдача, возникает повышенный нагрев и сокращается срок службы электрооборудования. Пыль, забившаяся в промежутки между ротором и статором, может тормозить вращающийся ротор, повышая нагрузку и нагрев электродвигателя.

Влажная, содержащая агрессивные газы воздушная среда вызывает коррозию электрических контактов и конструктивных элементов электрических машин и аппаратов. Вследствие этого увеличивается переходное сопротивление контактов, повышается их нагрев, что способствует еще большей коррозии и, следовательно, нарушению электрического контакта. Из-за коррозии ослабляется упругость пружин в электрических аппаратах и реле, что служит причиной нарушения их работы. Коррозия крепежных деталей затрудняет разборку оборудования. Чтобы увеличить срок службы электроаппаратуры ее целесообразно устанавливать вне животноводческих помещений.

Исследования показали, что срок службы электрооборудования общего исполнения в условиях сельского хозяйства сокращается в несколько раз. Поэтому для объектов сельскохозяйственного производства с повышенной влажностью и загазованностью воздуха, а также для наружных установок целесообразно выбирать электродвигатели и аппаратуру управления сельскохозяйственного назначения (закрытые с химовлагостойкой изоляцией обмоток).

Технологические особенности работы электроприводов

Технология и конструкция сельскохозяйственных машин существенно влияют на использование и загрузку электродвигателей, а также на возникновение ненормальных режимов работы. Например, существующая технология производства на фермах во многих случаях такова, что многие виды оборудования (стационарные кормораздатчики, доильные установки, кормозагрузочные и яйцесборочные транспортеры на птицефермах, навозоуборочные транспортеры и др.) работают лишь по несколько часов в сутки, то есть имеют низкий коэффициент использования.

Установки транспортерного типа имеют значительную протяженность, достигающую до десятков и сотен метров, большое число рабочих деталей с движущимися трущимися поверхностями. Они недостаточно надежны, так как движущиеся трущиеся элементы подвержены износу, поломкам, заклиниванию и создают аварийные режимы для приводных электродвигателей. Бывают случаи, когда наружные движущиеся части наклонных транспортеров ТСН-3.ОБ и других примерзают к неподвижным элементам конструкции. Для таких и аналогичных установок надо тщательно выбирать и настраивать защиту электродвигателей, в противном случае электродвигатели будут часто выходить из строя.

Вибрация рабочих машин, на которых крепятся электродвигатели, снижает электрическую прочность и увеличивает износ изоляции обмоток электродвигателей. В условиях сельскохозяйственного производства амплитуда вибрации электродвигателей значительно превышает допустимые нормы. Тепловое воздействие на изоляцию обмоток электрических машин со временем делает ее хрупкой.

Некоторые кормоприготовительные и другие машины предназначены для переработки разных видов продуктов (дробилки кормов, измельчители кормов, соломосилосорезки и др.), для переработки которых требуется разная мощность. Электродвигатель выбирают по наибольшей мощности, поэтому при переработке многих видов продукта электродвигатель будет не полностью загружен и иметь меньше КПД и $\cos \varphi$.

Загрузка электродвигателей зависит от интенсивности и равномерности подачи перерабатываемого продукта в машину. При механической подаче и загрузке продукта можно добиться требуемой интенсивности и равномерности, но при ручной подаче этого трудно добиться, и загрузка электродвигателей в этом случае колеблется в очень больших пределах. Кроме того, кормоприготовительные машины могут иногда забиваться продуктом.

В машинах с режущими рабочими органами (соломосилосорезки, корнеклубнерезки, пилорамы, круглопильные станки и др.) потребная мощность в процессе работы меняется. По мере затупления ножей она увеличивается.

Во всех перечисленных случаях для каждого электродвигателя целесообразна самостоятельная защита от возможных перегрузок. Из-за наличия на животноводческих фермах токопроводящих полов и значительного количества металлических частей, которые могут оказаться под напряжением, возрастает опасность поражения электрическим током людей и животных. Поэтому на животноводческих фермах целесообразно предусматривать специальные средства защиты: защитно-отключающие устройства (ЗОУП, РУД и др.), а также выравнивание потенциалов.

Иногда питание сельскохозяйственных электроприводов осуществляется от маломощных источников электроснабжения. К ним относят автономные электростанции и подстанции, мощность которых соизмерима с мощностью электродвигателей, и источники с сопротивлением питающих линий, соизмеримым с сопротивлением короткого замыкания электродвигателей. В этих случаях при пуске электродвигателя наблюдается значительное снижение напряжения, влияющее на работу потребителей и прежде всего асинхронных электродвигателей, у которых уменьшаются пусковой и максимальный моменты, что может привести к невозможности разбега пускаемого и остановке работающих двигателей.

Л26 Электропривод насосных установок. Приводные характеристики, режим работы. Расчёт мощности и выбор электродвигателя для привода насосных установок

В сельскохозяйственном производстве вода расходуется на хозяйственно-бытовые и санитарно-гигиенические нужды населения, поение животных и птицы, приготовление кормов, полив растений в сооружениях защищенного грунта и на поливное земледелие.

Подача воды, например, на животноводческих объектах осуществляется через водонапорные установки, оснащенные центробежными насосами, работающими от регулируемого и нерегулируемого асинхронного электропривода. Выбор насосных установок производится, исходя из принятой схемы водоснабжения, расчета суточной нормы воды, приходящейся на одного потребителя и учета количества потребителей одного вида.

Норма водопотребления в сутки на одну голову крупного рогатого скота 50...80 л, лошадей 60...80 л, свиней 15...25 л, овец и коз 10 л. На фермах крупного рогатого скота, оснащенных доильными залами, нормы водопотребления увеличиваются на 20%. Коэффициент часовой неравномерности принимается равным 2,5.

При расчете водоснабжения в зависимости от размера хозяйства учитывается пожарный расход воды 5...20 л/с и длительность процесса горения 2...3 ч. Необходимый расход воды обязаны обеспечить насосный агрегат, водопроводная сеть и резервный

источник водоснабжения. Рекомендуемая температура воды для поения животных $5...15^{\circ}\text{C}$. Слишком теплая вода плохо утоляет жажду и не освежает животных. Холодная вода уменьшает продуктивность скота и вызывает повышенный расход кормов.

Одна из наиболее распространенных схем водоснабжения животноводческих ферм включает следующий комплекс сооружений: водоприемник с насосной станцией, разводящую сеть трубопроводов, водонапорную башню и резервуар или специальный водоем для хранения противопожарного запаса воды. Для улучшения качества воды очень часто в предложенную схему водоснабжения вводят системы по очистки и обеззараживания жидкости.

Водоподъемные устройства

Насосные установки в сельскохозяйственном производстве применяются для перекачивания жидких сред, вязких жидкостей и технологической, охлаждающей и питьевой воды. Основным элементом рассматриваемых устройств для подачи воды являются насосы, которые подразделяются на центробежные и поршневые.

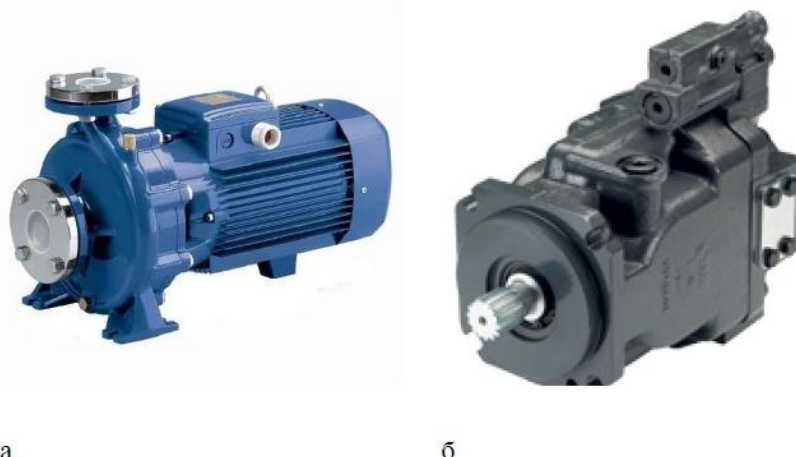


Рисунок 63 – Насосные установки: а – центробежный насос; б – аксиально – поршневой насос

На рисунке 63 представлены насосные агрегаты центробежного и поршневого типов.

В центробежном насосе рабочее колесо с лопатками расположено на валу внутри корпуса. Лопатки изогнуты в сторону противоположную направлению вращения колеса. Корпус насоса соединен со всасывающим и нагнетательным трубопроводами. При вращении жидкость, находящаяся в корпусе между лопатками, под действием центробежной силы отжимается к периферии, переходит в спиральную камеру и далее в напорный трубопровод. В центре насоса перед входом в рабочее колесо создается пониженное давление, и вода под действием атмосферного давления поступает из всасывающего трубопровода в насос. В настоящее время выпускаются следующие серии центробежных насосных агрегатов: К, КМ, ЭЦВ, НМШ, АХ, Х, ЦГ, ЦНС, Grundfos, Wilo, Pedrollo и т.д.

Поршневой насос простого действия состоит из рабочей камеры, имеющей всасывающий и напорный клапаны и цилиндр с поршнем. На конце всасывающей трубы устанавливают предохранительную сетку с обратным клапаном. В поршневом насосе всасывание и нагнетание жидкости происходит при возвратно-поступательном движении поршня в цилиндре насоса. При движении поршня вправо в замкнутом пространстве между крышкой цилиндра и поршнем создается разрежение и в камеру поступает определенный объем жидкости. При ходе поршня влево имеющийся объем воды выталкивается в напорный трубопровод. Подача поршневого насоса пропорциональна числу ходов поршня и не зависит от напора. На текущий момент выпускаются следующие серии поршневых насосов: НГС-420, VVS/VVP, PVB, PVQ, PVH, PVXS, PVE, PVM, PVWS, PLATA, LVP, MVP и т.д.

Нормы водопотребления позволяют определить общую расчетную потребность в воде объекта, для которого проектируется водопровод. Эта потребность определяется отдельно для каждой категории водопотребителей. Основным показателем требуемого

количества воды для водоснабжения сельскохозяйственного объекта принимается среднесуточный расход.

Суточный расход воды на хозяйственно-питьевые нужды животноводческой фермы рассчитывается по формуле:

$$Q = qN,$$

где q – расчетная норма воды на одного потребителя;

N – количество потребителей одного вида.

Расчетная норма водопотребления определяется из уравнения:

$$q = q_n K_{сут} K_{час},$$

где q_n – норма водопотребления, приходящаяся на одного потребителя;

$K_{сут}=1,1 \dots 1,3$ – коэффициент суточной неравномерности водопотребления;

$K_{час}=2 \dots 5$ – коэффициент часовой неравномерности водопотребления.

Среднесуточный расход воды изменяется по сезонам года в зависимости от вида и количества содержащихся на ферме животных.

Для обеспечения бесперебойной подачи воды на животноводческие объекты используют центробежные насосы, которые отличаются повышенной надежностью и простотой эксплуатации. Насосы выбирают по двум основным параметрам – производительности и напору.

Насосы относятся к числу механизмов с продолжительным режимом работы и постоянной нагрузкой. При отсутствии электрического регулирования скорости в насосных агрегатах небольшой мощности обычно применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, питаемые от сети 380 В. Для привода насосов мощностью свыше 100 кВт устанавливают асинхронные и синхронные двигатели на 6 и 10 кВ с прямым пуском, т.е. с включением на полное напряжение сети.

Двигатели поршневых насосов соединяются с валом насоса через замедляющую передачу (клиноременную или зубчатую), поскольку поршневые насосы являются тихоходными механизмами. Центробежные насосы в большинстве случаев выполняются быстроходными, поэтому их приводные двигатели имеют высокую угловую скорость ($\omega_0 = 150 - 300$ рад/с) и соединяются с валом насоса непосредственно.

Для центробежных насосов особенно важен правильный выбор угловой скорости насоса, так как его производительность пропорциональна угловой скорости, напор и момент – квадрату угловой скорости, мощность – ее кубу: $Q \propto \omega$, $H \propto \omega^2$, $M \propto \omega^2$, $P \propto \omega^3$.

Из этих соотношений следует, что при увеличении угловой скорости насоса мощность его возрастает, что может привести к перегреву электродвигателя. При занижении угловой скорости двигателя напор насоса может оказаться недостаточным для расчетной подачи.

Тип электродвигателя выбирают, исходя из условия окружающей среды и особенностей монтажа. Например, для привода погружных насосов типа ЭЦВ применяют электродвигатели мощностью 0,7 – 65 кВт специального исполнения типа ПЭДВ, рассчитанные для работы в буровых скважинах диаметром от 100 до 250 мм с подачей на высоту до 350 м. Обмотка статора двигателя выполнена проводом с полихлорвиниловой влагостойкой изоляцией.

Электродвигатель вместе с насосом устанавливается в скважине погруженным в откачиваемую воду (рисунок 64). Пример условного обозначения агрегата: ЭЦВ-6-10-80-М, где ЭЦВ-6 – электронасосный скважинный агрегат для воды с характеристикой «б» по диаметру скважины, а именно – для скважины с внутренним диаметром 149,5 мм, 10 – номинальная подача насоса, м³/ч, 80 – номинальный напор, м, М – вид климатического исполнения по ГОСТ 15150-69.

Условное обозначение электродвигателя, применяемого в агрегате: ПЭДВ4-144 (ПЭДВ – погружной электродвигатель водозаполненный, 4 – номинальная мощность, кВт, 144 – максимальный размер в поперечном сечении, мм).

В приводе непогружных центробежных и вихревых насосов используют асинхронные короткозамкнутые двигатели и двигатели с фазным ротором с влагостойкой изоляцией мощностью 1,5 - 55 кВт.

Погружные электронасосы в зависимости от уровня залегания водоносного слоя эксплуатируют на глубинах 40 - 230 м.

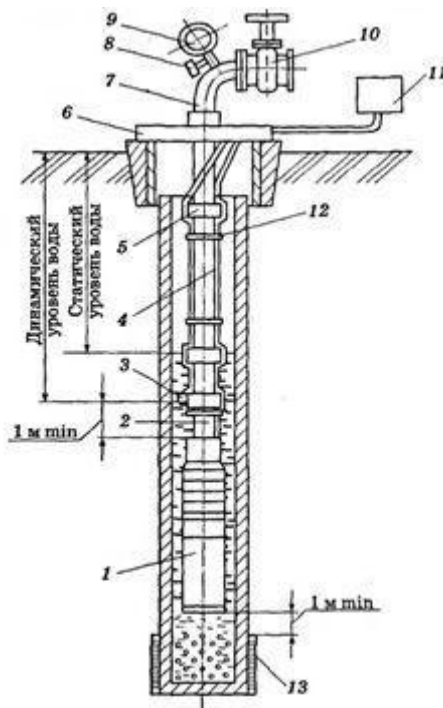


Рисунок 64 – Схема расположения агрегата в скважине:

- 1 - агрегат, 2 - водоподъемная колонна, 3 - датчик "сухого хода", 4 — кабель, 5 — муфта, 6 — опорная плита или оголовок, 7 — колено, 8 — кран трехходовой, 9 — манометр, 10 — задвижка, 11 — станция управления и защиты, 12 — хомут, 13 — фильтр

Механическая характеристика центробежного насоса имеет вентиляторный вид. Момент сопротивления трения в подшипниках насоса $M_c = 0,05 \text{ Мн}$.

Средний момент поршневого насоса при работе на магистраль, где поддерживается постоянный напор, не зависит от угловой скорости вращения. Пуск поршневого насоса осуществляется при открытой задвижке на напорном трубопроводе. Иначе может произойти авария.

Центробежный насос можно пускать как при открытой, так и при закрытой задвижке на напорном трубопроводе.

С учетом условий окружающей среды, особенностей монтажа, необходимой мощности и частоты вращения насоса по справочным таблицам выбирают электродвигатель соответствующего типа.

Задача: Выбрать автоматизированную башенную насосную установку для водоснабжения фермы КРС, если: $Q_{ср.сут} = 35 \text{ м}^3 \cdot \text{сут}^{-1}$, $H_p = 1850 \text{ кПа}$.

Определить максимальное число включений насоса, выбрать двигатель и пусковые аппараты. Источник водоснабжения - артезианская скважина.

Решение:

1. Определить максимальный часовой и секундный расход воды:

$$Q_{\text{максч}} = \frac{K_{\text{сут}} \cdot K_{\text{ч}} \cdot Q_{\text{ср.сут}}}{T \cdot \eta_c} = \frac{1,3 \cdot 2,5 \cdot 35}{15 \cdot 0,9} = 8,4 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

$$Q_{\text{максс}} = \frac{Q_{\text{максч}}}{3600} = \frac{8,4}{3600} = 0,0023 \text{ м}^3 / \text{с}$$

2. Пользуясь таблицей Б выбираем погружной насос ЭЦВ6-10-185, у которого $Q_n = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H = 1850 \text{ кПа}$.

3. Определяем расчетную мощность и выбираем электродвигатель:

$$P_p = \frac{Q_{\text{макс}} \cdot H_p}{\eta_n \cdot \eta_n} = \frac{0,0023 \cdot 1850}{1 \cdot 0,65} = 6,55 \text{ кВт},$$

где $\eta_n = 0,6 \dots 0,8$ - КПД насоса, для центробежных насосов;

$\eta_n \approx 1$ - КПД передачи, при соединении муфтой

По справочным данным выбираем электродвигатель типа ПЭДВ-8-140 со следующими паспортными данными: $P_{\text{ном}} = 8 \text{ кВт}$; $I_{\text{ном}} = 18,5 \text{ А}$; $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}} = 5,5$.

Запас мощности составит:

$$\Delta P = \frac{P_{\text{ном}} - P_p}{P_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{8 - 6,55}{8} \cdot 100 = 18,1\%$$

Запас мощности для данного двигателя не должен быть менее 15% (таблица В). Это требование выполняется.

4. Определяем частоту включения при типовом графике водопотребления:

$$Z = \frac{Q_{\text{ср.сут}}}{V_p} \cdot \left(1 - 0,054 \cdot \frac{Q_{\text{ср.сут}}}{Q_n} \right),$$

где V_p - регулируемый объем водонапорной башни:

$$V_p = \pi D_6^2 \cdot h / 4 = 3,14 \cdot 3^2 \cdot 1 / 4 = 7,1 \text{ м}^3$$

Для башни типа БР $D_6 = 3 \text{ м}$, $h = 1 \text{ м}$.

$$Z = \frac{35}{7,1} \cdot \left(1 - 0,054 \cdot \frac{35}{10} \right) = 4 \text{ вкл} / \text{сут}$$

или $Z = 0,17 \text{ вкл} / \text{ч}$, что не превышает допустимого 6 вкл/сут.

Таблица Б – Технические данные электронасосов

Насос			Электродвигатель			
Тип	Q_n , $\text{м}^3/\text{ч}$	H_n , кПа	Тип	$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$
ЭЦВ6-4-90	4	900	ПЭДВ-2-140	2,0	5,1	5,7
ЭЦВ6-4-70	4	700	ПЭДВ-1,6-95	1,6	4,2	5,7
ЭЦВ6-4-130	4	1300	ПЭДВ-2,8-140	2,8	7,0	5,7
ЭЦВ6-4-190	4	1900	ПЭДВ-4,5-140	4,5	10,5	6,1
ЭЦВ6-6,3-125	6,3	1250	ПЭДВ-4,5-140	4,5	10,5	6,1
ЭЦВ6-10-50	10	500	ПЭДВ-2,8-140	2,8	7,0	5,7
ЭЦВ6-10-80	10	800	ПЭДВ-4,5-140	4,5	10,5	6,1
ЭЦВ6-10-140	10	1400	ПЭДВ-8-140	8,0	18,5	5,5
ЭЦВ6-10-185	10	1850	ПЭДВ-8-140	8,0	18,5	5,5
ЭЦВ6-10-235	10	2350	ПЭДВ-11-180	11,0	25,0	5,5
ЭЦВ6-16-75	16	750	ПЭДВ-5,5-140	5,5	13,0	6,1
ЭЦВ8-16-140	16	1400	ПЭДВ-11-140	11,0	25,0	5,5
ЭЦВ8-25-100	25	1000	ПЭДВ-11-180	11,0	25,0	5,5
ЭЦВ8-25-150	25	1500	ПЭДВ-16-180	16,0	36,0	7,4
ЭЦВ10-63-65	63	650	ПЭДВ-22-210	22,0	47,0	7,4

Таблица В – Рекомендуемые значения запаса мощности погружных электродвигателей

Номинальная мощность электродвигателя, кВт	До 1,5	1,5...3,5	3,5...35	Более 35
Запас мощности, %	50	20	15	10

В сельском хозяйстве используют водонасосные установки трех типов: башенные с водонапорным баком, безбашенные с водонапорным котлом и с непосредственной подачей воды в водопроводную сеть. Почти в 90% случаев используют башенные водонасосные установки с расходом воды до 30 м³/ч. Если расход воды составляет 30...65 м³/ч, то рекомендуют двухагрегатные насосные станции с водонапорным котлом.

Безбашенная насосная установка типа ВУ работает следующим образом. Подаваемая насосом 1 вода идет к потребителям, а ее излишки наполняют воздушно-водяной котел 2, где вода, поднимаясь, сжимает находящийся в котле воздух. Когда давление в котле достигнет установленного значения, реле давления 6 контактами SP отключает электронасосный агрегат и подача воды прекращается. После этого вода потребителям подается под действие давления сжатого воздуха в котле. На пути воды через насос в водоисточник находится обратный клапан, и вода обратно в водоисточник не пойдет. По мере расходования воды давление в котле снижается. Когда оно достигнет установленного минимального значения, реле давления включит насосный агрегат. Обычно отношение минимального давления (включения) к максимальному (отключения) составляет 0,65...0,75 для установок небольшой подачи и 0,8...0,85 для установок с большой подачей. Воздушная подушка котла смягчает гидравлические удары, возникающие при динамических режимах работы электронасосного агрегата.

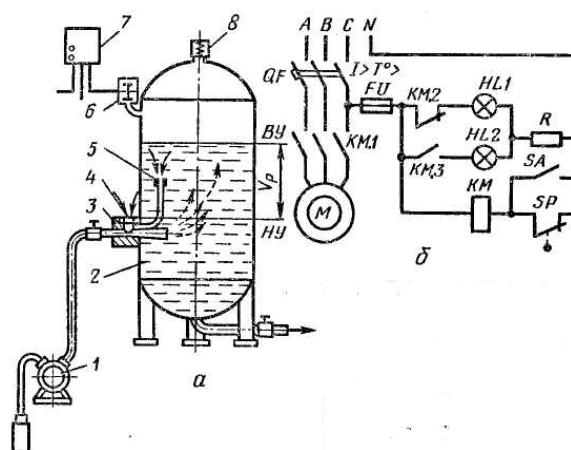


Рисунок 65 – Технологическая (а) и электрическая (б) схемы безбашенной насосной установки ВУ: 1 – насосный агрегат, 2 – воздушно – водяной котел, 3 – камера смешивания струйного регулятора, 4 – воздушный клапан, 5 – жиклер, 6 – реле давления, 7 – станция управления, 8 – предохранительный клапан

В воздушно-водяных котлах безбашенных насосных установок воздух непосредственно соприкасается с водой, в результате часть его растворяется и уносится водой, уменьшая объем воздушной подушки. Это может привести к нарушению нормальной работы установки. Для автоматического поддержания требуемого объема воздушной подушки в безбашенных установках типа ВУ имеется струйный регулятор, при помощи которого пополняется воздушная подушка воздухом.

Подаваемая насосом вода с большой скоростью проходит через сопло струйного регулятора, создавая в камере смешивания 3 разрежение. Под действием внешнего давления атмосферного воздуха при разрежении в камере 3 открывается клапан 4, пропуская из окружающей среды воздух, который в смесительной камере смешивается с водой и поступает в бак. Разрежение в смесительной камере 3 и, следовательно, пополнение воздуха происходят тогда, когда жиклер 5 трубки струйного регулятора находится в воде. При подаче воды в котел, когда жиклер находится в воздухе, который под давлением поступает в камеру смешивания и погашает там разрежение, атмосферный воздух прекращает поступать

в смесительную камеру. При достаточном наполнении бака воздухом или при снижении давления в момент включения насосного агрегата, когда жиклер находится в воздухе, подсоса воздуха из атмосферы не происходит.

В безбашенных насосных установках практически отсутствует емкость для запаса воды. Уменьшение объема котла уменьшает его стоимость, но при этом увеличивается частота включения насосного агрегата. Последнее необходимо учитывать при выборе мощности электродвигателя для насоса.

Наряду с безбашенными автоматизированными установками применяются погружные электронасосы, укомплектованные станциями управления, предназначенными для автоматического включения и отключения насоса при помощи датчика уровня или контактного манометра.

Автоматизация насосных установок позволяет повысить надежность и бесперебойность водоснабжения, уменьшить затраты труда и эксплуатационные расходы, сократить размеры регулирующих резервуаров. Автоматизация башенных насосных установок сводится к автоматическому включению насосных агрегатов при опорожнении напорного бака и их отключении при наполнении этого бака. Более совершенная автоматизация, кроме указанных операций, должна еще предусматривать автоматическое отключение насосных агрегатов при нарушении нормальных режимов пуска и работы и при наличии резервных агрегатов автоматическое включение из в работу. Автоматически должны осуществляться контроль и сигнализация за режимами пуска, работы, остановки агрегатов и за наличием и уровнем воды в водонапорной башне и водоисточнике, если последний имеет ограниченный запас воды.

Схема автоматизированной работы погружного насоса с использованием датчика уровней в баке напорной башни и датчика сухого хода в скважине насоса (рисунок 66).

В нормальных условиях работы погружной насос находится в воде, контакты датчика сухого хода SL3 замкнуты, реле KV2 включено, его замыкающие контакты KV2.1 в цепи катушки магнитного пускателя КМ замкнуты, светится сигнальная лампа HL4, сигнализирующая о наличии воды в зоне насоса.

Режим работы схемы задается переключателем SA1. При установке его в положение А (автоматическое) и включении автомата QF подается напряжение на электрическую схему управления. Если уровень воды в напорном баке находится ниже электрода нижнего уровня датчика, то контакты SL1 и SL2 в схеме разомкнуты, реле KV1 обесточено и его контакты KV1.1 в цепи катушки магнитного пускателя КМ замкнуты. В этом случае магнитный пускатель включится и включит электродвигатель насоса, одновременно с этим погаснет сигнальная лампа HL1 и засветится HL2. Насос будет подавать воду в напорный бак. Уровень воды в баке будет подниматься. Когда вода заполнит промежуток пространства между электродом нижнего уровня и корпусом датчика, подключенным к нулевому заземленному проводу, контакты SL2 замкнутся, но реле KV1 не включится, т.к. его контакты KV1.2, включенные последовательно с контактами SL2, разомкнуты. Когда вода достигнет электрода верхнего уровня датчика, контакты SL1 замкнутся, реле KV1 включится и, и разомкнув свои контакты KV1.1 в цепи катушки магнитного пускателя КМ, отключит последний, а, замкнув замыкающие контакты KV1.2, станет на самоподпитку через нижние контакты датчика SL2. Электродвигатель насоса отключится, погаснет сигнальная лампа HL2 и засветится HL1.

Повторное включение электродвигателя насоса произойдет при понижении уровня воды до положения, когда разомкнутся контакты SL2 и реле KV1 обесточится.

Реле KV1 выбрано постоянного тока, так как обмотка реле переменного тока при разомкнутом магнитопроводе могла бы перегореть при медленном заполнении водой верхнего промежутка датчика уровней, показанного на электрической схеме контактами SL1. Это может произойти вследствие того, что ток в обмотке реле переменного тока может в данном случае нарастать медленно до значения тока трогания (срабатывания), который в несколько раз больше его номинального тока, когда магнитопровод этого реле замкнут.

В случае аварийного снижения уровня воды в зоне погружного насоса ниже допустимого положения, когда вода выйдет из промежутка датчика сухого хода и ток между электродом датчика сухого хода и корпусом датчика (напорного трубопровода) прекратится, что соответствует в электрической схеме размыканию контактов датчика сухого хода SL3, реле KV2 обесточится и разомкнет контакты KV2.1 в цепи катушки магнитного пускателя КМ, который отключит электродвигатель погружного насоса. Лампа HL4 погаснет, а HL5 засветится, сигнализируя об аварийном снижении уровня воды в скважине или колодце.

[illegible]

Л28 Электропривод вентиляционных и вентиляционно - отопительных установок. Приводные характеристики, режим работы. Расчёт мощности и выбор приводного электродвигателя

118

удаления отработанного воздуха, отсасывания газов, поддержания микроклимата, а также подачи кислорода или газа в камеры электропечей, в котельных и других установках. Вентиляторы способны создавать перепад давления в диапазоне $(0,01 \dots 0,1) \cdot 10^5$ Па.

В животноводческих помещениях воздух загрязняется в результате выделения животными различного рода экскрементов, углекислого газа, сероводорода, водяных паров, избыточной теплоты, аммиака и метана, а также за счет механических примесей. Неудовлетворительное поддержание параметров микроклимата в помещениях с содержанием животных приводит к падению молочной продуктивности коров на 10...15%, уменьшению привесов свиней на 20...30%, снижению яйценоскости кур до 20% и эпидемии простудных заболеваний.

Наибольшее негативное воздействие на физиологическое состояние биологических объектов и их продуктивность оказывают два основных фактора – температура и влажность воздуха в помещении.

Различают вентиляционные установки с естественной тягой, с механическим побуждением воздухообмена и комбинированного действия. Вентиляционные системы подразделяются на приточные, вытяжные и смешанные, с подогревом и без подогрева воздушных масс. Приточные системы вентиляции с естественной тягой работают за счет скоростного напора ветра, а вытяжные – за счет разности температур внутри здания и снаружи.

Конструкции и принцип работы вентиляторов

По конструкции вентиляторы делятся на центробежные и осевые. Установки находят широкое применение в промышленности, АПК и в бытовой сфере.

Центробежные вентиляторы выпускаются низкого (не больше 1000 Па), среднего (1000...3000 Па) и высокого (3000...12000 Па) давления серий ВР, ВЦ, ЦП и Ц. На рисунке 67 представлены принципиальные конструкции центробежных вентиляторов.



Рисунок 67 – Центробежные вентиляторы: а – низкого и среднего давления, б – высокого давления

Рабочее колесо центробежного вентилятора вращается в кожухе. Воздух засасывается через боковое отверстие и выбрасывается в систему воздуховодов через верхний выходной раструб. Конструктивно центробежные вентиляционные установки низкого и среднего давления выпускаются без передаточного механизма, а агрегаты высокого давления изготавливаются с ременной передачей.

Осевые вентиляторы выпускаются следующих марок: ВО, ВОЭ, ЕСW, AR, AW. На рисунке 68 даны конструкции осевых вентиляторов.

Осевой вентилятор имеет рабочее колесо с несколькими лопатками. Крыльчатка вращается электродвигателем, укрепленным внутри корпуса, в результате создается тяга воздуха через раструб вентилятора. Осевые вентиляторы являются составной частью приточно-вытяжных установок и устанавливаются на стенах и крышах производственных помещений. В комплекте с различными нагревательными устройствами они применяются для обогрева и сушки помещений и в механизмах тепловых завес.



а



б

Рисунок 68 – конструкция осевых вентиляторов: а – вентилятор осевой для охлаждения промышленного оборудования, б – вентилятор вытяжной настенный

Механическая характеристика вентиляторов выглядит в виде параболы

Вентилятор - один из самых важных элементов искусственной системы вентиляции.

При подборе вентилятора стоит обратить внимание на два основных параметра – объем подаваемого воздуха (производительность) и давление создаваемого воздушного потока.

Осевые вентиляторы позволяют создавать большое давление на прямолинейных участках воздуховодов, но не способны обеспечивать высокую производительность. Если необходимо оснастить вентиляторами разветвленные сети воздуховодов, то лучше всего подойдут радиальные (центробежные) вентиляторы, которые обладают и достаточным давлением воздушного потока, и значительной производительностью. В свою очередь для монтажа в приточно-вытяжных системах вентиляции используют канальные вентиляторы. Установка производится непосредственно в вентиляционную систему, так как вентиляторы обладают низкими шумовыми характеристиками. Для систем с механическим побуждением вентиляции промышленных, сельскохозяйственных и общественных зданий используют осевые и центробежные, так называемые крышные вентиляторы. Крышные вентиляторы устанавливают на кровле зданий, чтобы они не занимали полезную площадь сооружений. Подача и удаление воздуха происходит через предусмотренные потолочные отверстия, поскольку технологический процесс воздухообмена не предусматривает наличие воздуховодов.

При выборе осевых и центробежных вентиляторов используется критерий быстроходности

$$m = \frac{53Q^{0,5}\omega}{H^{0,75}},$$

где Q – производительность вентилятора;

H – расчетное давление (напор).

Если критерий m, рассчитанный для стандартных синхронных угловых частот вращения ($\omega=75, 100, 150, 300$ рад/с) составляет 100 и более, то предпочтительнее укомплектовать вентиляционную установку осевым вентилятором. Комплектация механической системы центробежным вентилятором предусматривается, когда $m < 100$.

Мощность на валу электродвигателя вентилятора, потребляемая из сети, находится из выражения:

$$P_e = K_3 \frac{QH}{1000\eta_e\eta_n},$$

где K_3 – коэффициент запаса по мощности;

η_v, η_n – КПД вентилятора и механической передачи.

В зависимости от величины P_v по каталогу выбирают электродвигатель с номинальной мощностью, равной или ближайшей большей по отношению к расчетной.

Расход воздуха в животноводческих и птицеводческих помещениях определяют исходя из необходимости удалить из помещения излишнюю углекислоту, избыточную теплоту и уменьшить влажность. Наибольший полученный расход воздуха принимают за расчетный.

Требуемое количество воздуха, подаваемого вентилятором, чтобы обеспечить в помещении допустимое содержание углекислоты:

$$L = 1,2C / (C_2 - C_1),$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий выделение углекислоты микроорганизмами в подстилке,

C – количество углекислоты, выделенное животными, л/ч, определяется количеством животных и количеством углекислоты, выделяемой одним животным в зависимости от вида животных;

$C_1 = 0,3 \text{ л/м}^3$ – содержание углекислоты в наружном воздухе;

C_2 – допустимое содержание углекислоты в воздухе внутри помещения, л/м³.

Требуемое количество воздуха, подаваемого вентилятором, чтобы обеспечить в помещении удаление излишней влаги:

$$L = 1,1W / (d_2 - d_1),$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий количество влаги, испаряющейся с пола;

W – влага, выделяемая животными внутри помещения, г/ч, определяется количеством животных и количеством влаги, выделяемой одним животным в зависимости от вида животных;

d_1 – влагосодержание наружного воздуха, г/м³;

d_2 – допустимое влагосодержание воздуха внутри помещения, г/м³.

Влагосодержание определяется:

$$d_2 = d_{2\text{нас}} \varphi_2, \quad d_1 = d_{1\text{нас}} \varphi_1,$$

где $d_{2\text{нас}}$ – влагосодержание насыщенного воздуха внутри помещения при оптимальной температуре, г/м³;

$d_{1\text{нас}}$ – влагосодержание насыщенного наружного воздуха при расчетной температуре, г/м³;

φ_2 – допустимая относительная влажность воздуха внутри помещения;

φ_1 – расчетная относительная влажность наружного воздуха.

Значение расчетной температуры и относительной влажности наружного воздуха для вентиляционных установок в различных зонах принимают по справочнику. Если этих сведений нет, то ориентировочно расчетную температуру наружного воздуха можно принять равной -3°C , а относительную влажность $\varphi_1 = 0,9$.

Подачу электровентиляционных установок можно регулировать изменением числа подключаемых вентиляторов, площадью сечения воздухопровода, частотой вращения двигателя.
Задача: Выбрать центробежные вентиляторы приточной системы вентиляции коровника для холодного периода. В коровнике размещено 187 коров, средняя масса коровы 550 кг. Полное давление вентилятора $H = 1440 \text{ Па}$.

Решение:

Воздухообмен в холодный период:

$$L_B = M \cdot L_H = 187 \cdot 550 \cdot 0,17 = 19200 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Выбор вентилятора ведем по номограмме (рисунок В). на правой шкале подачи находим точку $L_B = 19200 \text{ м}^3 / \text{ч}$. Через эту точку проводим горизонтальную прямую, которая пересекает пунктирные лучи вентиляторов №8-№12. Из этих вентиляторов выбирают тот, у которого КПД имеет большее значение. Принимаем вентилятор №8, у которого $\eta = 0,78$ и коэффициент $A = 9700$. По значению коэффициента A находим частоту вращения вентилятора:

$$n = \frac{A}{N_2} = \frac{9700}{8} = 1212 \text{ об / мин}.$$

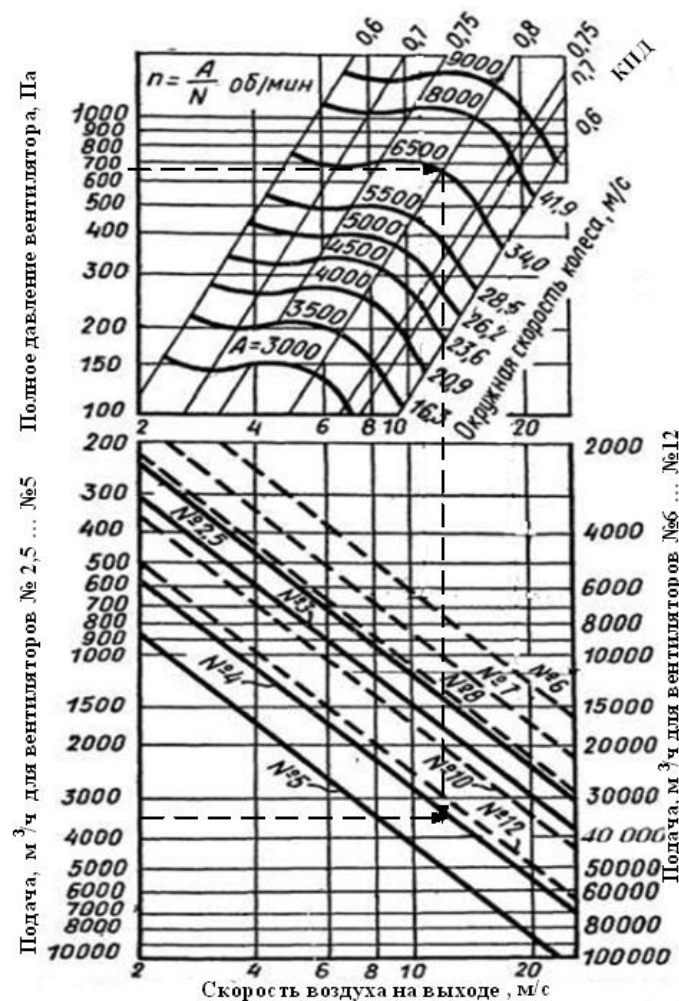


Рисунок В – Номограмма для подбора центробежных вентиляторов серии Ц4-70
Мощность электродвигателя для привода вентилятора:

$$P = \frac{L_B \cdot H}{\eta_B \cdot \eta_{\Pi}},$$

где $\eta_{\Pi}=0,95$ – КПД клиноременной передачи.

При подсчете мощности подачу выражают в $\text{м}^3/\text{с}$, а давление в кПа.

$$P = \frac{5,33 \cdot 1,44}{0,78 \cdot 0,95} = 10,4 \text{ кВт}.$$

Приняв коэффициент запаса $K_3=1,05$; окончательно получим

$$P_B = K_3 \cdot P = 1,05 \cdot 10,4 = 10,9 \text{ кВт}$$

По каталогу выбираем электродвигатель АИР132М4, $P_{\text{ном}}=11\text{ кВт}$, $n_{\text{ном}}=1460$ об/мин, $I_{\text{ном}}=22\text{ А}$. расхождение в частоте вращения учитываются соответствующими диаметрами шкивов клиноременной передачи между электродвигателем и вентилятором.

Таким образом, приточную вентиляцию коровника обеспечит один вентилятор №8.

Л29 Управление работой вентиляционных и вентиляционно – отопительных установок.

Схемы управления. Комплекты оборудования

В АПК применяются системы воздушного отопления с искусственной циркуляцией и сосредоточенной подачей воздуха в нескольких точках и системы воздушного отопления с искусственной циркуляцией и рассредоточенной подачей воздуха при помощи воздуховодов. Для обеспечения параметров воздушного режима производственных помещений АПК применяются: вентиляционные башни (приточные и вытяжные); вентиляционные приточные шахты; клапаны вентиляционные приточные («форточки») и клапаны воздушные;

вентиляторы осевые; вентиляторы центробежные; крышные вентиляторы; потолочные вентиляторы (дестратификаторы); приточно-вытяжные установки (ПВУ и другие); увлажнители воздуха; специализированное комплектное вентиляционное оборудование (типа «Климат»).

Вентиляционные башни предназначены для обеспечения подачи свежего воздуха в помещения в основном в переходной и теплый периоды года. Они представляют собой цилиндрические вертикально устанавливаемые воздуховоды с двухскоростными вентиляторами. На нижней части башни имеется рассекающий воздух, позволяющий подавать воздух в рабочую зону помещения горизонтальными струями; кроме того имеется система автоматического управления, представляющая собой шкаф для регулирования частоты вращения электродвигателей вентиляторов нескольких вентбашен одновременно.

Вентиляционные башни приточные (ВБП) и вытяжные (ВБВ) (рисунок 69) предназначены для обеспечения притока свежего воздуха или вытяжки загрязненного (отработанного) воздуха соответственно в животноводческих, птицеводческих и иных помещений. Они состоят из зонтика (алюминиевый композитный материал - ФКМ), корпуса (оцинкованная сталь или АКМ), обратного клапана «бабочка» (АКМ), вентилятора и дефлектора (АКМ). Башни могут быть удлинены за счет составных удлинителей.



Рисунок 69 – Вентиляционная башня

Вентиляционная башня приточная комбинированная (ВБПК) состоит из корпуса (оцинкованная сталь), зонтика, дефлектора, воздушной заслонки (все - АКМ) с электроприводом.

Дополнительно можно комплектовать вентиляторами, приточными и смешивающими. Смешивающий вентилятор предназначен для смешивания холодного приточного воздуха с теплым, находящимся внутри помещения. ВБПК работают в комплекте с вытяжными башнями или вытяжными вентиляторами и особенно эффективны в малых помещениях.

Для обеспечения направленного распределения воздушных потоков в животноводческих и птицеводческих помещениях используются различные клапаны вентиляционные приточные («форточка»), корпус которых выполнен из поливинилхлорида, имеет надежную теплоизоляцию и нержавеющие шарнирные элементы. Они оснащаются козырьком от попадания осадков и защитной ячеистой сеткой. Габаритные размеры: 230x1170 и 230x990 мм. Приточные форточки применяются для равномерного распределения воздушных потоков в проветриваемом помещении. Система управления микроклиматом птичника «Климат-2000» может контролировать приток воздуха в птичник изменяя угол открытия форточки (через систему тросов и блоков).

Клапаны воздушные (рисунок 70) применяются для плавного регулирования расхода воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. Клапаны воздушные предназначены для пропуска воздуха или невзрывоопасных смесей воздуха, не содержащих липких и волокнистых веществ и с температурой от -400 до +700 °С. Клапаны воздушные предназначены для работы при перепаде давления до 1800 Па без деформации при длине створок 1 м. Максимально допустимая скорость воздушного потока - 15 м/с.

Клапан воздушный состоит из алюминиевого корпуса, алюминиевых поворотных лопаток, уплотнений, шестерен и привода (ручного или электрического). Корпус и поворотные лопатки изготовлены из анодированного алюминиевого профиля, уплотнение - из профильной резины, шестерни и опорные втулки изготовлены из нейлона. Уплотнение лопаток в стыке предусмотрено профилированной резиной заделанной в лопатку. Торцевое уплотнение лопаток с корпусом предусмотрено лабиринтным упором. Клапаны изготавливаются двух типов: КВр - клапан воздушный с ручным приводом и КВэ - клапан воздушный с электрическим приводом.

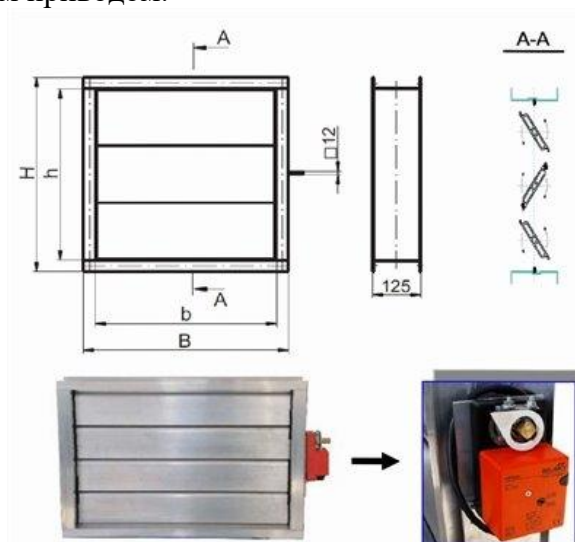


Рисунок 70 – Клапаны воздушные КВэ и КВр

В АПК применяются также крышные вентиляторы, которые предназначены для работы без сети воздухопроводов. При оптимальном режиме работы, когда производительность больше минимальной, вентиляторы могут работать с сетью воздухопроводов. Наиболее распространены отечественные крышные вентиляторы серий ВКР и КЦ. Вентиляторы серии ВКР (рисунок 71,а) - одностороннего всасывания, низкого давления, имеют назад загнутые лопатки, выполненные из углеродистой стали. Вентиляторы предназначены для эксплуатации в умеренном климате при температуре окружающей среды от -40 до +45 °С. Вытяжные системы вентиляции (крышные вентиляторы серий DVS, DHS и DVSI, рисунок 71,б) применяются в условиях агрессивной окружающей среды. Надежная эксплуатация DVS - в зданиях различного назначения (например, склады), DHS- экономичное решение для промышленных зданий с загрязненным вытяжным воздухом (например, птичники) и DVSI-применяются в административных зданиях и жилом фонде с высокими требованиями к уровню шума. Корпус и рабочее колесо вентиляторов выполнены из алюминия. Рама - из оцинкованной стали с защитным порошковым покрытием. Вентиляторы DHS имеют горизонтальный выброс воздуха, остальные - вертикальный.



Рисунок 71 – Крышные вентиляторы: а – серии ВКР, б – серий DVS, DHS и DVSI

Изменение скорости вращения однофазных вентиляторов осуществляется с помощью бесступенчатого тиристорного регулирования или пятиступенчатого трансформатора (путем переключения). Регулирование скорости двухскоростных трехфазных электродвигателей осуществляется изменением способа подключения («звезда»/«треугольник») или с помощью пятиступенчатого трансформатора. Вентиляторы монтируются на крышный короб.

Типовое устройство систем вентиляции в производственных помещениях содержания животных (КРС и свиней) и птицы на современном этапе отличается от классических систем, которые использовались в названных помещениях до 2000 г.

При средней (нормируемой) температуре наружного воздуха в диапазоне от -15 до +25 °С система вентиляции представляет собой естественную вентиляцию без нагрева приточного воздуха. Однако при этом помещения для содержания КРС в холодный период года должны иметь соответствующие конструктивные особенности с учетом «эффекта стока», не допускающего сквозняки и связанные с этим резкие перепады температуры (рисунок 72).



Рисунок 72 – Типовая конструкция помещения для содержания КРС

Суть «эффекта стока», используемого при проектировании и создании вентиляционных систем в животноводческих и птицеводческих помещениях, состоит в следующем. Более теплый внутренний воздух поднимается в помещении (трубе) и скапливается наверху или уходит наружу через открытые окна, вентиляцию и другие неплотности. Поднимающийся теплый воздух уменьшает давление в основе здания, захватывая холодный воздух через открытые двери, окна или через другие формы возможной утечки. Максимальная эффективность «эффекта стока» достигается в отопительный период при минимальной температуре наружного воздуха.

При достижении температуры наружного воздуха «экстремальных» значений до -30 °С (в холодный период) необходим локальный подогрев воздуха внутри помещения или +35 °С (в теплый период) необходимо включение дополнительной вентиляции (разгонные вентиляторы, например, YWF4E 0 Флюгер, рисунок 73), а также увлажнение внутреннего воздуха. В производственных помещениях для содержания КРС (взрослое поголовье) используют вентиляторы, производительностью по воздуху до 34 000 м³/ч.

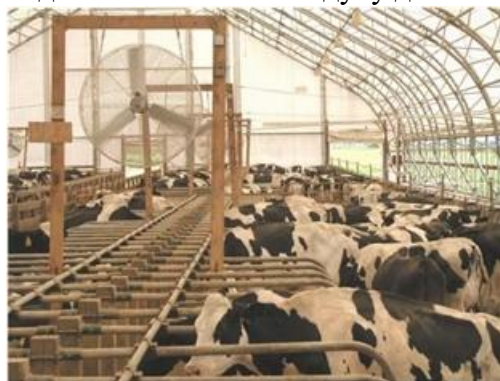


Рисунок 73 – Размещение разгонных вентиляторов в помещении содержания КРС

В помещениях коровников современная система вентиляции должна состоять из механизма приточной вентиляции и естественной (искусственной) вытяжки. Существует четыре основных варианта систем вентиляции:

вариант 1: система основывается на осуществлении циркуляции воздуха. Приток воздушных масс осуществляется через крышные шахты, а вытяжка происходит с помощью крышных вентиляторов;

вариант 2: система - приток воздуха происходит через перфорированный потолок, а вытяжка осуществляется через навозные каналы;

вариант 3: система состоит из оконных блоков, через которые происходит приток воздуха, а вытяжка осуществляется через крышные вентиляторы. Может включать дополнительные настенные вентиляторы;

вариант 4: система подходит для жарких регионов, позволяет увлажнять приточный воздух с помощью форсунок над форточками.

Естественная вытяжка происходит через крышные перекрытия или через оконные проемы (рисунок 74,а), обеспечивая оптимальный приток воздуха. Искусственная вытяжка-механическая вентиляция может осуществляться через каналы навозоудаления. Важно следить, чтобы воздух равномерно циркулировал по всем отсекам для животных.

Для вентиляции ангаров под содержание КРС чаще всего используется схема вентиляции с подачей воздуха по двум параллельным воздуховодам, которые монтируются в потолочной части (классическая схема). Это обеспечивает равномерную подачу воздушных масс, а внешний воздух поставляется из приточной камеры.



а



б

Рисунок 74 – Естественная вентиляция через: а – боковой занавес, б – специальные мембраны

В качестве штор в современных конструкциях помещений для содержания КРС используют мембраны IsoCell (рисунок 74,б), основные достоинства которых состоят в следующем: изолирующая и герметичная система позволяет снизить теплопотери и исключить риск промерзания здания; безопасная система (отсутствует какой-либо наматывающий механизм, который может привести к серьезным травмам); обеспечивается много света в помещении; обеспечивается очень большой приток свежего воздуха; значительно снижается потребление электроэнергии; обеспечиваются более комфортные условия содержания животных и труда работников; превосходная высококачественная и эстетичная система; система с низким уровнем шума. Мембраны содержат множество воздушных камер W-образной формы. Камеры изолируют внутренние ячейки мембраны от внешних ячеек и, тем самым, не пропускают холодный воздух в помещение. Прежде всего, такие мембраны используются в качестве стеновых перегородок в сельском хозяйстве, где требуется подавать большие объемы свежего воздуха.

Приточно-вытяжные установки (ПВУ, рисунок 75) предназначены для организации воздухообмена с рекуперацией теплоты в отдельных помещениях различного назначения (производственные, бытовые ит. п.). В холодное время года рекуператор позволяет снизить энергопотребление на нагрев приточного воздуха до 70 %, а летом сокращает расходы на кондиционирование.



Рисунок 75 – Современные ПВУ LuftMeer

ПВУ представляет собой агрегат, состоящий из приточной и вытяжной установки, расположенной в одном корпусе. ПВУ имеют различные конфигурации. Они могут быть крышные, потолочные, подвесные и т. п. Обычно установки комплектуются гибкими вставками, воздушными клапанами, фильтрами, камерами смешения, нагревателями, охладителями и шумоглушителями.

Установки с рекуперацией тепла очищают, нагревают и подают свежий воздух. Они извлекают тепло у выходящего воздуха и передают его поступающему воздуху. Установки имеют производительные и бесшумные вентиляторы, электрический нагреватель. Система автоматики позволяет регулировать воздушный поток и температуру подаваемого воздуха.

Включение установок и управление их производительностью осуществляется, как правило, при помощи тиристорного регулятора оборотов двигателя, который позволяет плавно изменять скорость вращения вентиляторов в диапазоне 0—100 %.

В классе вентиляционного оборудования приточно-вытяжные установки обладают широкой гаммой производительности - от 0,3 до 250 тыс. м³/ч. Теплопроизводительность установок (мощность нагревателя) находится в диапазоне от 6 до 2300 кВт, холодопроизводительность (например, установки КЦКП МАСКАЭРО фирмы ВУТ В (Ventus)) может достигать 1000 кВт.

Серия современных установок «Климат» представляет собой самый популярный в настоящее время класс вентиляционного оборудования, совмещающий систему приточно-вытяжной вентиляции и кондиционер в компактном теплоизолированном корпусе из оцинкованной стали со встроенной системой автоматики.

Внутри установки в изолированных приточном и вытяжном каналах размещены два радиальных вентилятора двустороннего всасывания, два кассетных фильтра, блок реверсивного теплового насоса, электрический (водяной) нагреватель и система автоматики. Реверсивный тепловой насос представляет собой заправленный в заводских условиях герметичный фреоновый контур с установленными в приточном и вытяжном каналах медно-алюминиевыми пластинчатыми теплообменниками.

При работе установки в режиме охлаждения теплообменник в приточном канале является испарителем и охлаждает приточный воздух, а теплообменник-конденсатор охлаждается удаляемым из помещения воздухом. В свою очередь, при работе в режиме нагрева, приточный наружный воздух нагревается от теплообменника, который в данном режиме работы выполняет функцию конденсатора, а расположенный в вытяжном канале теплообменник-испаритель поглощает тепловую энергию удаляемого воздуха.

Приточно-вытяжная многофункциональная вентиляционная установка «Климат-7200» предназначена для выполнения следующих функций: подача в обслуживаемые помещения свежего приточного воздуха без рециркуляции (смешения с вытяжным воздухом); удаление из обслуживаемых помещений отработанного воздуха; очистка приточного воздуха от пыли и аэрозолей (в зависимости от класса используемых фильтров степень фильтрации может составлять от EU-3 до EU-7); охлаждение или нагрев приточного воздуха с помощью

встроенного реверсивного теплового насоса (режим «лето») и нагрев воздуха электрическим нагревателем (режим «зима»).

Конструктивно установка состоит из трех блоков. Внутри установки в полностью изолированных приточном и вытяжном каналах размещены радиальные вентиляторы, фильтры, блок реверсивного теплового насоса, электрические нагреватели и система автоматики. Реверсивный тепловой насос представляет собой заправленные в заводских условиях и замкнутые внутри установки два фреоновых контура с установленными в приточном и вытяжном каналах медно-алюминиевыми теплообменниками. При работе установки в режиме охлаждения теплообменник в приточном канале является испарителем и охлаждает приточный воздух, а теплообменник- конденсатор охлаждается удаляемым из помещения воздухом.

Во всех ПБУ «Климат» использована система автоматизированного управления, которая осуществляет независимое трехступенчатое регулирование скорости приточного и вытяжного вентиляторов и автоматическое переключение режимов «нагрев/охлаждение» согласно показаниям температурных датчиков и настроек пользователя.

Л30 Электропривод кормоприготовительных машин. Приводные характеристики. Выбор приводного электродвигателя

Кормоприготовление — важнейшая технологическая операция в производстве различной животноводческой продукции. Различные виды кормов подвергаются мойке, измельчению, дроблению, сушке, варке и другим технологическим операциям с использованием соответствующих электроприводных машин и установок, которые можно агрегатировать в соответствующие технологические линии и комплексы. Как правило, электропривод машин и установок для приготовления кормов имеет нагрузку случайно переменного характера. Поэтому мощность нагрузки на валу электродвигателя их привода чаще всего рассчитывают на основании экспериментальных данных.

Барабанная корнеклубнемойка. Она предназначена для мойки корнеклубнеплодов перед дальнейшей их обработкой. Мощность нагрузки, кВт, на валу двигателя ЭП барабанной корнеклубнемойки:

$$P = 0,0045n + 0,2Q_n / \eta_n,$$

где n — частота вращения барабана, об/мин;

Q_n — номинальная производительность машины, т/ч;

η_n — КПД передачи.

Дробилка, измельчитель кормов. Мощность нагрузки, кВт, на валу двигателя ЭП:

$$P = K_{xx} A Q_n / \eta_n,$$

где $K_{xx} = 1,15 \dots 1,2$ — коэффициент, учитывающий потери холостого хода, включая расход мощности на вентиляцию;

A — энергия, расходуемая на измельчение определенной массы продукта, кДж/кг для дробилки или кВт • ч/т для измельчителя;

Q_n — номинальная производительность, кг/с для дробилки или т/ч для измельчителя;

η_n — КПД механической передачи.

Опытным путем при испытании различных типов дробилок установлено, что, например, для корнеплодов $A = 13$ кДж/кг, для зерна при среднем и тонком помеле при диаметре отверстий решета соответственно 6 и 3 мм $A = 40 \dots 70$ кДж/кг, при измельчении зерна в муку $A = 100 \dots 150$ кДж/кг. Дробилки кормов комплектуют асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями номинальной мощностью соответственно: ДКУ-1 — 15 кВт, КДУ-2 и ДБ-5 — 30 кВт.

Аналогично опытным путем установлено для измельчителей $A = 1,7 \dots 8$ кВт • ч/т при измельчении зеленой массы (сочные корма) и соломы, сена (грубые корма). Например,

широко распространенные измельчители кормов типов ИКС-5М, «Волгарь-5», ИГК-30 комплектуют асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями номинальной мощностью соответственно 7,5, 22 и 30 кВт, а производительные дробилки-измельчители типов ИРМ-50, ИРТ-165-02/04 соответственно оснащают асинхронным электродвигателем мощностью 90 и 110 кВт.

Мощность кормоприготовительных машин зависит от степени измельчения и механических свойств перерабатываемого материала, остроты ножей и производительности машин. Мощность возрастает при затуплении ножей и увеличении степени измельчения. Ввиду тяжелых условий пуска под нагрузкой с возможным забиванием и заклиниванием вращающихся частей кормоприготовительные машины пускают вхолостую. Дробильные машины обладают большим моментом инерции, обуславливающим значительную продолжительность разбега, достигающую до 2 минут.

Электропривод кормоприготовительных машин. Естественно, что пуск от сети 380/220 В мощных асинхронных электроприводов кормоприготовительных машин сопряжен с определенными трудностями из-за значительных пусковых токов двигателей. Наиболее радикальный и широко используемый способ снижения пусковых токов в питающей линии 380/220 В — использование в составе электропривода трехфазных асинхронных двигателей напряжением 660/380 В. При пуске трехфазную обмотку таких двигателей соединяют по схеме «звезда», а после разгона для работы переключают на схему «треугольник». Этим приемом значение пускового тока в линии снижают как минимум в 3 раза, а из-за снижения питающего напряжения даже несколько больше.

Ящики и шкафы управления. Для мощных асинхронных электроприводов выпускают комплектные ящики и шкафы управления, которые предназначены для ручного и автоматического управления электроприводами дробилок и измельчителей и осуществляют сигнализацию и защиту электродвигателей от перегрузок, коротких замыканий и неполнофазного режима работы.

Степень защиты оболочки всех изделий IP54. Например, для измельчителя грубых кормов ИГК-Ф-4 с приводным электродвигателем номинальной мощностью 45 кВт предназначен ящик управления типа Я5801-3974 У1, который обеспечивает пуск электродвигателя переключением обмоток статора со «звезды» на «треугольник», а также визуальный контроль тока перегрузки.

Структура условного обозначения ящика управления Я5801-3974(В) У1: Я — ящик; 5 — управление асинхронными двигателями трехфазного тока с короткозамкнутым ротором; 8 — группа класса с пуском при пониженном напряжении; 01 — порядковый номер разработки; 39 — исполнение по току (80 А); 7 — напряжение главной цепи 380 В; 4 — исполнение по напряжению цепи управления 220 В; (В) — модификация со встроенной температурной защитой (УВТЗ); У1 — климатическое исполнение и категория размещения.

Работа схемы управления ЭП. Ящик управления измельчителем корма ИГК-Ф-4 типа Я5801-3974 У1 выполнен в соответствии с принципиальной электрической схемой, приведенной на рисунке 76. Работа схемы управления электроприводом происходит следующим образом.

Включением автоматического выключателя QF1 подается напряжение на силовые контакты магнитных пускателей КМ1, КМ3 и на схему управления. При нажатии кнопки SB2 «Пуск» срабатывает реле времени КТ1, которое при подаче напряжения без выдержки времени замыкает контакт 4D-3D, включающий звуковую предупредительную сигнализацию в виде звонка НА1. По истечении 5...8 с замыкается контакт реле времени КТ1 3С-4С, который включает катушку магнитного пускателя КМ2, а затем замыкающими контактами КМ2 включается контактор КМ1. Двигатель М1 подсоединяется к питающей сети и запускается по схеме «Звезда», при этом катушка реле времени КТ1 обесточивается. При обесточивании катушки КТ1 с выдержкой времени, соответствующей продолжительности пуска двигателя М1, разомкнется контакт 4D-3D и замкнется контакт 1D-2D. В результате

контактор КМЗ переключит статорные обмотки электродвигателя со схемы «звезда» на схему «треугольник».

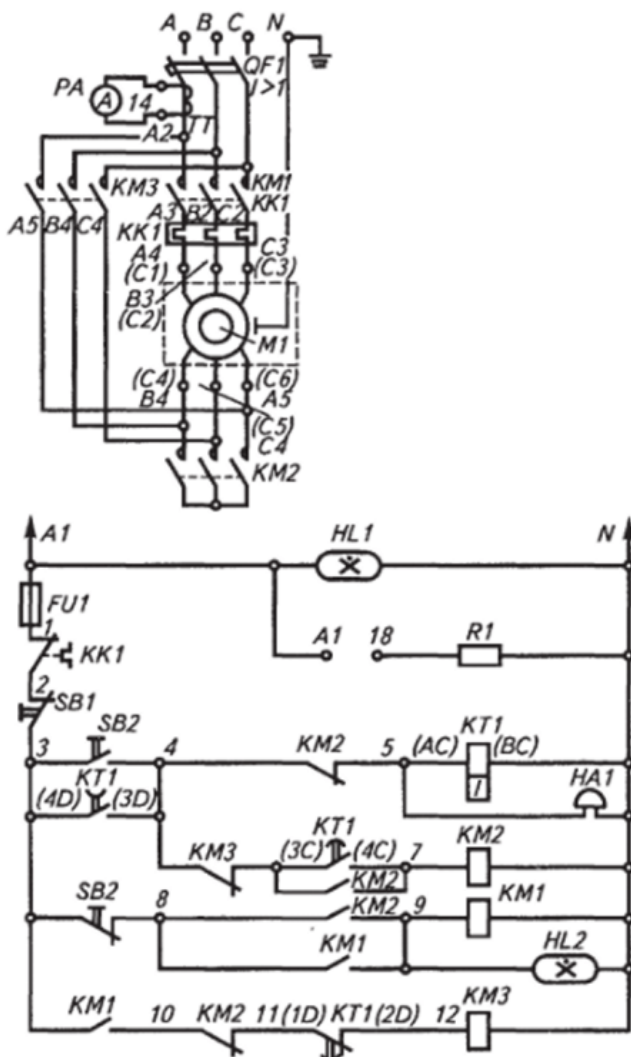


Рисунок 76 – Принципиальная электрическая схема управления электроприводом измельчителя кормов типа ИГК-Ф-4:

М1 — электродвигатель привода мощностью 45 кВт; КК1 — тепловое реле типа РТТ; РА — амперметр контроля тока нагрузки, включенный через трансформатор тока ТТ; HL1, HL2 — сигнальные лампы со встроенным балластным сопротивлением; HA 1 — звонок сигнализации пуска; КТ1 — реле времени; КМ1...КМ3 — контакторы; SB1...SB2 — кнопки кнопочного поста; QF1 и FU1 — автоматический выключатель и плавкий предохранитель системы максимально-токовой защиты

Л31 Приводные характеристики стационарных транспортеров в животноводстве и птицеводстве. Выбор электродвигателя для привода стационарных транспортеров. Комплексы оборудования, схемы управления

Скребокковые транспортеры

Скребокковые транспортеры входят в состав транспортирующих машин, в которых груз перемещается при помощи движущихся скребков по неподвижному желобу или трубе. В сельскохозяйственном производстве применяются для перемещения зерна, корнеклубнеплодов, силосной массы, грубых кормов и навоза.

Наиболее широкое распространение скребковые транспортеры нашли в технологическом процессе уборки навоза на животноводческих фермах. Навозоудаление является одним из самых трудоемких технологических процессов в животноводстве — в

среднем на него приходится 30..50% от всех трудовых затрат в хозяйстве. Одна корова, в зависимости от вида содержания, выделяет в сутки примерно 35...40 кг навоза, причем в период стойлового содержания 85% выделений приходится на поверхность пола. Очистка животноводческих помещений в большинстве средних и мелких российских хозяйствах осуществляется вручную.

С помощью технических средств навоз из животноводческих помещений удаляют механическим, гидравлическим и пневматическим способами.

Механический способ предусматривает применение транспортеров навозоудаления. Эффективными средствами механизации уборки навоза в коровниках при привязной системе содержания скота служат скребковые, цепные (ТСН-2,0Б, ТСН – 3,0Б, ТСН-160), штанговые (ТШ-30-А, ТШПН-4, ШТУ и др.) и шнековые транспортеры, а также скреперные установки.

Скреперные установки УС-10, УС-15 используют при беспривязном, боксовом содержании скота на сплошных бетонных или щелевых полах.

Убирают навоз рассматриваемыми установками за счет возвратно- поступательного движения скребка, который имеется на каждой ветви контура. Для каждой фермы в зависимости от ее размеров, осуществляется подгонка ветвей путем укорачивания длины цепного контура.

Производительность скребкового транспортера рассчитывается по уравнению:

$$Q = K_{\alpha} \varphi \gamma B H v ,$$

где K_{α} – коэффициент, учитывающий степень заполнения скребков в зависимости от угла наклона;

φ – коэффициент заполнения;

γ – плотность груза;

B – ширина скребка;

H – высота скребка;

v – скорость движения скребков.

На рисунке 77 представлен общий вид скребкового транспортера для уборки навоза марки ТСН-160.

Мощность двигателя для скребковых транспортеров определяется по формуле:

$$P_c = \frac{K_s Q}{A \eta_m} (K_c L + H),$$

где K_s – коэффициент сопротивления материала;

A – работа, затрачиваемая на перемещение 1 м^3 груза;

L – длина ветви;

H – высота подъема;

η_m – КПД транспортера.



Рисунок 77 – Общий вид навозоуборочного транспортера ТСН-160

Шнековые транспортеры

Шнековые цилиндрические транспортеры горизонтальные, наклонные, вертикальные используются для выгрузки, дозирования и транспортировки различных материалов. Передвижные мобильные шнековые конвейеры, изготовленные для сельскохозяйственного производства, применяются в зернохранилищах, силосовых и других складах хранения гранулированных компонентов, а так же для перемещения пищевых продуктов, например, сахара, муки, картофеля, корнеплодов, и т.п. Шнек состоит из привода, корпуса (трубчатого или желобчатого) и транспортировочного винта, находящего внутри корпуса. При попадании сыпучего или гранулированного вещества через отверстие, расположенного в начале корпуса, вовнутрь продукт при помощи винта перемещается в противоположный конец транспортера и выходит наружу через специальное отверстие.

Благодаря использованию модульной структуры предлагаемые шнеки могут быть практически любой длины. Сцепление цилиндрических модулей корпуса осуществляется путем скрепления промежуточных фланцев, а возможность удлинения спирали шнека достигается установкой промежуточных опор. На рисунке 78 представлена конструкция шнекового транспортера.

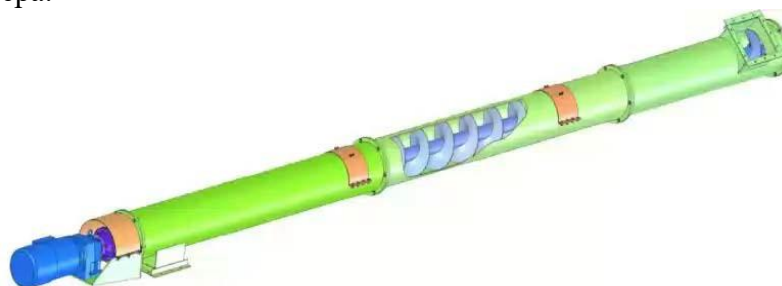


Рисунок 78 – Внешний вид шнекового цилиндрического транспортера

Производительность шнека рассчитывается из выражения:

$$Q = 0,25\pi(D^2 - d^2)sn\gamma k_v \psi k_c$$

где D – наружный диаметр винта;

d – диаметр вала винта;

s – шаг винта;

n – частота вращения шнека;

γ – насыпная плотность;

k_v – коэффициент отставания осевой скорости материала от осевой скорости образующей шнека;

ψ – коэффициент заполнения винта;

k_c – коэффициент снижения производительности с увеличением угла наклона транспортера к горизонту.

Мощность электродвигателя привода шнекового транспортера:

$$P_{ш} = \frac{9,81kQ}{\eta_n} (fL + H),$$

где k – коэффициент, учитывающий угол наклона транспортера;

f – коэффициент сопротивления перемещения материала о кожух;

L – длина транспортера;

H – высота транспортера;

η_n – КПД передачи.

Ленточные транспортеры

Ленточные транспортеры предназначены для перемещения сыпучих, кусковых, штучных грузов, а также щадящего горизонтального и полого-наклонного до 15° транспортирования зерна и продуктов его переработки. Широко используются на зерноперерабатывающих предприятиях, в приемных отделениях железнодорожного и

автомобильного транспорта, а также в надсилосных и подсилосных галереях элеваторов, мельниц, крупных, комбикормовых, маслоэкстракционных заводов и других предприятиях, связанных с приемом, хранением и переработкой зерна, масличных культур и приготовлением различного вида кормов.

Конвейеры предназначены для работы на открытом воздухе, под навесом, а также в неотапливаемых помещениях. Изготавливаются как в открытом, так и в закрытом исполнении.

Основной характеристикой ленточного транспортера является его производительность, на которую влияет множество факторов, но основной из них – это скорость движения ленты. Производят конвейеры со скоростью ленты от 0,2 до 3 м/с и с производительностью до 4000 м³/ч. Длина выпускаемых устройств составляет от 3 метров до 800 метров. На рисунке 6.7 представлен общий вид ленточного транспортера.



Рисунок 79 – Конструкция ленточного транспортера

Приводная система ленточного транспортера состоит из электродвигателя, редуктора, ведущего барабана и натяжной станции. Лента поддерживается равномерно расположенными по длине транспортера роликовыми опорами.

Производительность ленточного конвейера рассчитывается:

$$Q = \gamma v F ,$$

где γ – насыпная плотность материала;

v – скорость движения ленты;

F – площадь поперечного сечения слоя материала на ленте.

Мощность электродвигателя ленточного транспортера находится:

$$P_{\text{л}} = \frac{k_s Q}{1000 \eta_m} (CL + H) ,$$

где C – опытный коэффициент, зависящий от производительности транспортера и его длины.

Выпускают ленточные конвейеры лёгкого и нормального исполнения серии КЛ – стационарные; типа КЛ(Б) – стационарные, безроликовые; марки КЛ(П) – передвижные, для штучных грузов, комбикорма, зерна (ширина ленты до 800 мм) на предприятиях агропромышленного комплекса. Специальное исполнение конвейеров КЛ(Ц) – ленточно-цепные для мусороперерабатывающих предприятий. Ленточные конвейеры тяжелого исполнения типа УКЛС – стационарные, УКЛС(М) – модульные, передвижные с шириной ленты от 500 до 2000 мм для перемещения кусковых и сыпучих грузов с насыпной плотностью до 3,5 т/м³.

Нории - ковшовые элеваторы

Нории (ковшовые элеваторы) предназначены для подъема сыпучих материалов в вертикальном направлении.

Нории зерновые могут использоваться для перемещения зерна и продуктов его переработки. Нория – простой по конструкции унифицированный транспортер,

представляющий собой ковшовый элеватор, основная функция которого перемещение сыпучих материалов, применяемых на различных промышленных производствах и в сельском хозяйстве. Нории входят в состав технологических линий зерносушилок, элеваторов и маслозаводов, используются при погрузке судов в портах.

Отечественные предприятия производят нории типа Н (ленточные) и нории типа НЦ (цепные), тяговым органом которых является лента или цепь с закрепленными на ней ковшами.

Выпускаемые производителями нории имеют следующие технические характеристики: максимальная высота подъема от 6 до 20 м; производительность по зерну при насыпной плотности $\gamma=7$ (50кг/м³) и влажности 14 %, не менее 50...100 т/ч; скорость перемещения ленты 1...2 м/с; максимальная установленная мощность мотор-редуктора не более 4 кВт.

Элеватор состоит из замкнутого гибкого тягового органа (цепи или прорезиненной ленты), огибающего верхние приводные и нижние натяжные звёздочки или барабаны. Рабочие органы — ковши прикреплены болтами к цепям или ленте. Натяжение тягового органа регулируют винтовым устройством. Ковши загружаются в башмаке и разгружаются в головке. Нории чувствительны к перегрузкам и требуют равномерной загрузки и приводятся в действие электродвигателем.

На рисунке 80 даны конструкции зерновых норий.

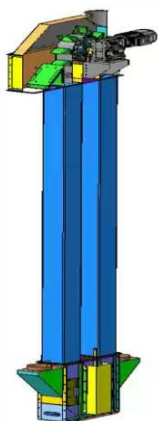


Рисунок 80 – Разновидности конструкций зерновой нории

Производительность ковшового элеватора определяется по формуле:

$$Q = \frac{\phi i v \gamma}{l},$$

где ϕ – коэффициент наполнения ковшей;

l – расстояние между ковшами;

i – вместимость одного ковша;

γ – насыпная плотность материала;

v – скорость движения ковшей.

Мощность электродвигателя, входящего в состав привода нории[^]

$$P_n = \frac{9,81QH}{\eta_n \eta_n},$$

где H – высота подъема материала.

Производительность нории возрастает с увеличением оборотов вращения двигателя до определенного предела. Превышение необходимого предела снижает коэффициент заполнения ковшей. Момент сопротивления трогания под нагрузкой может превышать номинальный электромагнитный момент до 35%. Для облегчения пуска перед остановкой закрывают заслонку загрузочного окна, а затем после схода продукта останавливают привод.

Л32 Приводные характеристики мобильных электрифицированных транспортных механизмов. Выбор приводного электродвигателя. Комплекты оборудования, схемы управления

В сельскохозяйственном производстве широко используют электроприводные мобильные машины и установки. Связано это с существенным упрощением кинематики таких машин и установок, с повышением их функциональности, надежности и экологичности. Характерная особенность электропривода мобильных машин и установок — используемый способ электропитания, который может быть: троллейным; кабельным; аккумуляторным; конденсаторным; дизель-генераторным или топливно-генераторным; комбинированным.

Троллейный способ.

При этом способе электропитания энергия к электродвигателям поступает от неизолированных проводов через подвижные контакты (щетки, ролики и дуги). Электрифицированный мобильный агрегат, двигаясь параллельно троллейным проводам, под управлением оператора или устройства управления выполняет соответствующую работу. Недостаток троллейного способа электропитания — низкая надежность подвижных контактов и повышенная опасность поражения электрическим током.

Кабельный способ

Этот способ электропитания наиболее пригоден для большинства мобильных машин и установок с ограниченным радиусом перемещения, поэтому его используют для двигателей электроприводов подвесных тележек, мобильных кормораздатчиков и погрузчиков. При этом электропривод агрегата получает питание по гибкому кабелю, представляющему собой кабель-штору, кабель в лотке или кабель-барабан, который в зависимости от места расположения агрегата разматывает с себя или наматывает на себя кабель электропитания. Недостаток кабельного способа электропитания — ускоренный износ кабеля.

Аккумуляторный способ.

Этот способ автономного электропитания — универсальное решение проблемы энергоснабжения электрифицированных мобильных машин и установок. В связи с созданием новых видов химических аккумуляторов его применяют на электрокарах (электротележках) и электропогрузчиках, работающих на твердых дорожных покрытиях внутри складов и хранилищ, аккумуляторных электромобилях небольшой грузоподъемности, предназначенных для внутрихозяйственного перемещения различных грузов. Недостаток аккумуляторного способа электропитания — низкий срок службы химических аккумуляторов при их достаточно высокой стоимости, длительность их заряда и повышенная опасность экологического загрязнения окружающей среды.

Конденсаторный способ

Этот способ электропитания основан на использовании конденсаторов. Разработаны новые типы конденсаторов с двойным электрическим слоем (КДЭС), которые имеют уникальные характеристики:

- быстрый заряд (для тяговой конденсаторной батареи 8... 15 мин);
- высокую удельную емкость (более 100 Ф/кг) и удельную мощность (0,2...2 кВт/кг);
- низкий саморазряд (до 40 % в месяц) и большой срок службы (более 5 лет).

Это привело к нарастающему внедрению конденсаторного способа электропитания электроприводов мобильных машин и установок. Основной недостаток конденсаторных аккумуляторов — их высокая стоимость.

Дизель-генераторный и топливно-генераторный способы. Это основные перспективные способы электропитания для энергоемких мобильных агрегатов. В первом случае двигатель внутреннего сгорания сопрягается с электрическим генератором, и от него с помощью электрокабеля (электротрансмиссии) энергия передается к электродвигателям привода ходовых колес, которые представляют собой мотор-колеса. По такой схеме

выпускают дизель- электрический трактор ДЭТ-250 мощностью 250 л. с. Во втором случае используют топливные элементы, превращающие химическую энергию топлива непосредственно в электрическую. Созданные опытные образцы электротракторов на топливных элементах подтверждают реальные возможности этого способа, но стоимость топливных элементов остается слишком большой для их экономически обоснованного использования в народном хозяйстве.

Комбинированный способ электропитания мобильного агрегата, например аккумуляторный и троллейный, в ряде случаев может оказаться экономически более целесообразным.

Мощность нагрузки на валу электродвигателя механизмов передвижения мобильного агрегата рассчитывают, как и у крановых механизмов, по формуле:

$$P_x = \frac{\mu(G_{мп} + G_g)v_{пр}}{\eta_{пр}},$$

где μ — коэффициент трения-движения, равный тангенсу угла наклона поверхности движения к горизонту, при котором под действием веса механизма он начинает равномерное движение;

$G_{мп}$, G_g — вес механизма передвижения и груза, Н;

$v_{пр}$ — скорость перемещения, м/с;

$\eta_{пр}$ — общий КПД передачи механизма передвижения.

Для электропогрузчиков на валу электродвигателя механизма подъема:

$$P_x = \frac{(G_{гз} + G_g)v_{пд}}{\eta_{пд}},$$

где $G_{гз}$, G_g — вес грузозахватывающего устройства и поднимаемого груза, Н;

$v_{пд}$ — скорость подъема груза, м/с;

$\eta_{пд}$ — общий КПД передачи механизма подъема.

Электромобильные электроустановки с централизованным электропитанием

На свиноводческих фермах применяют мобильные кормораздатчики с кабельным электропитанием типа КС-1,5, КЭС-1,7, КСП-0,8 и им подобные, которые существенным образом снижают трудозатраты на раздачу кормов животным при минимальных дополнительных затратах на систему кормораздачи. На рисунке 81 приведена конструкция мобильного кормораздатчика с кабельным электропитанием типа КС-1,5, а на рисунке 82 — его электрическая схема.

Для защиты людей и животных от поражения электрическим током электрооборудование кормораздатчика КС-1,5 подключают к питающему напряжению сети - 380/220 В через электронное защитно-отключающее устройство.

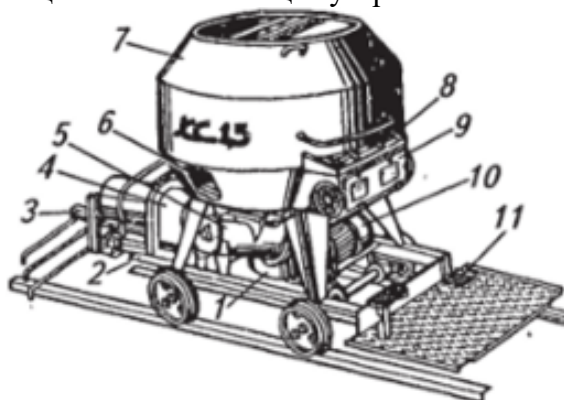


Рисунок 81 — Конструкция мобильного кормораздатчика типа КС-1,5:

- 1 — распределительная коробка; 2 — несущая рама; 3 — путевой выключатель;
- 4 — мотор-редуктор смесителя; 5 — выгрузные шнеки; 6 — лопастная мешалка;
- 7 — приемный бункер; 8 — пульт управления; 9 — панель электрооборудования;
- 10 — электродвигатель механизма передвижения; 11 — педаль тормоза

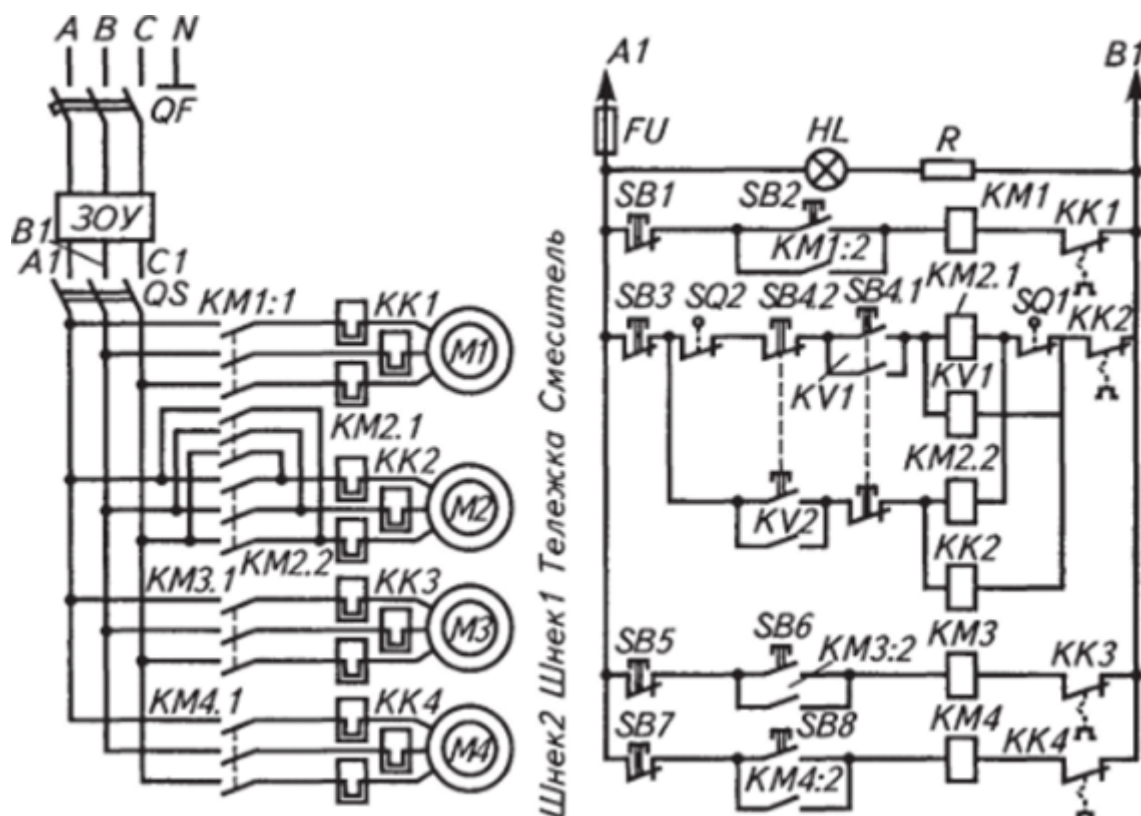


Рисунок 82 – Электрическая схема кормораздатчика КС-1,5

В состав электропривода кормораздатчика входят четыре трехфазных асинхронных двигателя с короткозамкнутыми роторами М1...М4, которые соответственно осуществляют привод мешалки смесителя (М1), механизма передвижения (М2) и выгрузных шнеков (М3, М4).

При включении автомата QF и защитно-отключающего устройства 30У загорается лампа HL, сигнализирующая о наличии напряжения в цепи управления. Затем включается пакетный выключатель QS, подающий напряжение в силовые цепи. При нажатии кнопки SB2 замыкается цепь магнитного пускателя KM1 и запускается электродвигатель смесителя М1. Затем кнопкой SB4.1 подают напряжение на катушку реверсивного магнитного пускателя KM2.1 и промежуточного реле KV1, которое своими замыкающими контактами блокирует пусковую кнопку SB4.1. Запускается электродвигатель ходовой тележки кормораздатчика М2 для движения кормораздатчика вдоль кормушек вперед. Кнопкой SB6 включают электродвигатель первого шнека М3 или кнопкой SB8 включают электродвигатель второго шнека М4 в зависимости от того, на какую сторону раздается корм. При двухсторонней раздаче корма включают оба шнека.

При нажатии педали тормоза размыкаются контакты конечного выключателя SQ1, отключается тяговый электродвигатель М2 и под действием тормоза и сил сопротивления движению кормораздатчик почти мгновенно останавливается. При отпуске педали тормоза контакты SQ1 снова замыкаются и происходит мгновенное включение тягового электродвигателя М2 без дополнительного нажатия кнопки SB4.1 или SB4.2 и движение происходит в ту сторону, в которую двигался кормораздатчик до нажатия педали тормоза.

Если на пути движения вперед встретится препятствие, то под его действием находящееся спереди раздатчика стержневое устройство 3 (рисунок 81) действует на конечный выключатель SQ2, размыкая его контакты и автоматически останавливая кормораздатчик.

После опорожнения бункера нажатием кнопки SB3 останавливают тяговый электродвигатель М2. Отключают электропривод выгрузных шнеков

кнопками SB5 и SB7. Затем тяговый электродвигатель кормораздатчика М2 переключают на обратный ход кнопкой SB4.2.

Электромобильные установки с автономным питанием

Мобильные машины и установки с аккумуляторным питанием в виде различных электрокар (электротележек), электропогрузчиков и электроштабелеров применяют для перемещений различных грузов как внутри производственных помещений с твердым покрытием, так и для внутрихозяйственных перевозок. Связано это прежде всего с пожаробезопасностью этих машин и установок, с отсутствием шума и отсутствием вредных выбросов, что имеет место у таких же средств, оснащенных двигателем внутреннего сгорания. Кроме того, они обладают высокой маневренностью и простотой управления, что делает их незаменимыми транспортными средствами для перемещения грузов внутри складских и других производственных помещений. На рисунке 83 приведены основные виды подобных мобильных средств, оснащенных аккумуляторным питанием, а на рисунке 84 одна из типовых схем контакторного управления электроприводом тележки с аккумуляторным питанием типа ЭТ-2040, общий вид которой представлен на рисунке 83,а.



Рисунок 83 – Общий вид мобильных средств с аккумуляторным питанием:
а — электротележка; б — электрокар; в — электропогрузчик

Электротележка ЭТ-2040. Она имеет двухосное шасси на пневматических шинах с передним управляемым и задним ведущим мостами. На шасси прикреплена рама; ее верхняя часть представляет собой грузовую платформу, под которой расположена аккумуляторная батарея. Движение ведущим колесам передается от электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения посредством карданного вала и дифференциала. Электротележка оборудована двумя системами тормозов: ножным тормозом с гидравлическим приводом, действующим на колеса, и ручным тормозом с механическим приводом, действующим на вал двигателя.

Основные технические данные электротележки ЭТ-2040: грузоподъемность 2000 кг, масса тележки 1860 кг, скорость движения с грузом 16 км/ч, без груза 22 км/ч, электродвигатель передвижения постоянного тока последовательного возбуждения типа РТ-2 ($P_n = 3,2$ кВт, $U = 40$ В, $I_n = 100$ А, $\omega_n = 100$ рад/с), закрытый, с естественным охлаждением.

Электрические цепи получают питание от аккумуляторной батареи, состоящей из двух одинаковых секций G1 и G2. Для коммутации силовых цепей используют контакторы КМ1...КМ7 и кремниевые вентили VD1, VD2 типа В2-200-3.

Двигатель М управляется поворотным командоконтроллером СА1, состоящим из кулачкового вала и переключателей цепей питания катушек контакторов КМ1...КМ7 блока А1. Вращение вала командоконтроллера осуществляется от педали водителя, при этом в каждом положении происходит переключение соответствующих контактов. Регулирование скорости тележки происходит изменением напряжения на якоре двигателя М путем переключения диодами VD1, VD2 контактором КМ1 секций G1 и G2 аккумуляторной батареи с параллельного соединения на последовательное, введением силового резистора R1 в цепь якоря и шунтированием обмотки возбуждения ОВМ силовым резистором R2.

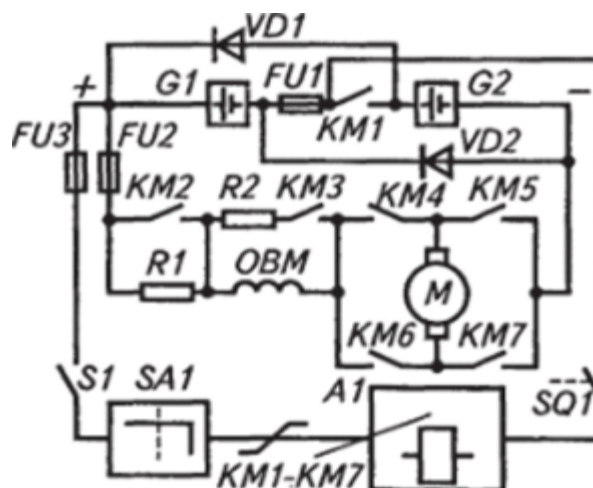


Рисунок 84 – Электрическая схема управления электроприводом тележки ЭТ-2040

Для подготовки тележки к работе следует включить выключатель S1, поставить переключатель реверса (на схеме не показан) в одно из положений «Вперед» или «Назад» и растормозить ручной тормоз, в результате чего замкнется контакт путевого выключателя SQ1.

Автономные источники электропитания. На основе рассмотренных средств с аккумуляторным питанием выпускают мобильные машины и установки кормораздачи, уборки производственных помещений, площадок и др. Все они оснащены тяговыми щелочными или кислотными аккумуляторами с соответствующими средствами их заряда. Наряду со свинцово-кислотными и железощелочными аккумуляторами находят применение тяговые никель-кадмиевые щелочные батареи, которые несколько дороже, но имеют меньший саморазряд, больший срок службы и экологически безопаснее.

В целях экономии электроэнергии батареи и увеличения продолжительности ее работы без подзарядки наряду с контакторными системами управления применяют бесконтактные импульсные системы, которые в энергетической части содержат только полупроводниковый широтно-импульсный или частотно-импульсный преобразователь.

Л33 Электропривод машин и установок для доения. Приводные характеристики вакуумных и молочных насосов

Для доения коров – одного из наиболее трудоемких процессов – применяют при доении в стойлах – доильные аппараты с переносными ведрами ДАС -2Б АД – 100А и с молокопроводом АДМ – 8, при доении на доильных площадках и в доильных залах – автоматизированные установки УДА-8 «Тандем», УДА- 16 «Елочка» и УДА-100 «Карусель», а так же механизированные установки УДТ-8 «Тандем» и УДЕ-8А «Елочка».

Около 90% коров на фермах содержатся в стойлах на привязи. При такой технологии содержания затраты труда в основном определяются способом доения коров, на которое затрачивается до 40% рабочего времени.

При привязном содержании наибольшее распространение получило доение в переносные ведра и в стандартный молокопровод. Применение молокопровода АДМ-8 за счет создания единой поточной линии доения и первичной обработки молока, механизации его транспортирования повышает качество продукции, на 15...20% снижает затраты труда по сравнению с доением в ведра.

Наиболее эффективно используются доильные установки с доением на площадках и в залах (УДА-8, УДА-16, УДА-100) при беспривязном и боксовом содержании коров. Вместе с тем при наличии автоматической групповой привязи такие установки могут эффективно использоваться также и при привязном содержании коров. Применение установок при

доения на площадках даже с учетом дополнительных затрат труда на отвязывание и привязывание животных позволяет повысить производительность труда на 25...50%.

На доильных установках УДА-8 и УДА-16, УДА-100 автоматизированы операции дооя, отключения вакуума и снятия доильного аппарата с вымени. Проверка в производственных условиях показала, что затраты труда оператора машинного доения на автоматизированных установках в 1,3...1,4 раза меньше. Манипулятором, на котором монтируется доильный аппарат, предусматривается ручная установка аппарата на вымя и автоматическое управление пневмоцилиндрами при машинном доое и снятие аппарата с вымени после окончания дооя.

Основной элемента автомата доения – потокомер – датчик молока, который выдает сигналы в зависимости от интенсивности молокоотдачи для управления работой пневмоцилиндров. При помощи последних через манипулятор осуществляется периодическое оттягивание молочных стаканов и таким образом происходит машинное додаивание. При уменьшении интенсивности доения (ниже 200г/мин) вакуум отключается, доильные стаканы спадают с сосков и доильный аппарат, закрепленный на манипуляторе, выводится из-под животного, давая возможность корове беспрепятственно выйти из станка.

В доильных установках УДА-100 «Карусель», помимо автомата управления доением, предусмотрен еще автомат для обработки вымени коров перед доением и управления конвейером доильной установки в зависимости от выдаивания и передвижения коров. В специальном станке с входной и выходной дверями вымя коровы обрабатывается теплой водой и щетками. Этот унифицированный пункт санобработки размещен непосредственно между доильной установкой и дверьми преддоильного зала.

Обмывание вымени коровы в санпункте начинается только после того, как от соответствующего датчика поступает сигнал о выходе очередной коровы с платформы. Это исключает возможное загрязнение обмытого вымени во время ожидания. Длительность обмывания вымени в санпункте 16с.

Управление конвейером доильной установки автомат санобработку осуществляет при помощи шести датчиков, обеспечивающих: остановку платформы, если корова за один полный оборот платформы (6,5 мин) не выдоилась, если корова не сошла с нее или не вышла на нее из санпункта, регистрацию ухода коров с платформы, включение санобработки коров, закрывание и открывание дверей санпункта и др. блок управления платформой, являющийся центральным звеном системы автоматического управления, построен на интегральных схемах и представляет собой сменный элемент. Его питание осуществляется стабилизированным напряжением 24В постоянного тока и от генератора импульсов напряжением 9В. На блок управления платформой поступает сигнал от бесконтактных конечных выключателей типа КВП-16, а также сигналы от переключателей режима и кнопки «Заполнение платформы». Переключатель и кнопка расположены на пульте управления. Блок платформы управляет пятью электромагнитными клапанами и двумя электромагнитными реле.

Для нормальной работы доильных установок в вакуум – проводе должен поддерживаться вакуум $5 \cdot 10^4$ Па (380 мм РТ ст). доильные установки для создания вакуума в вакуум-проводе комплектуются вакуум-насосами УВУ-60/45 или централизованными вакуумными установками ЦВУ-3, ЦВУ-6, ЦВУ-12 (рисунок 85).

Необходимая подача вакуум – насоса ($\text{м}^3/\text{ч}$):

$$Q_n = kqn,$$

где $k=2...3$ – коэффициент, учитывающий неполную герметизацию системы,

$q=1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ - расход воздуха одним доильным аппаратом при 60 пульсациях в минуту,

n – число доильных аппаратов в установке.

По необходимой подаче и требуемому вакууму, который в начале вакуум-провода должен быть $5,3 \cdot 10^4$ Па (400 мм рт ст), выбирают вакуум-насос с подачей Q ($\text{м}^3/\text{с}$) и вакуумом p ($\text{Н}/\text{м}^2$).

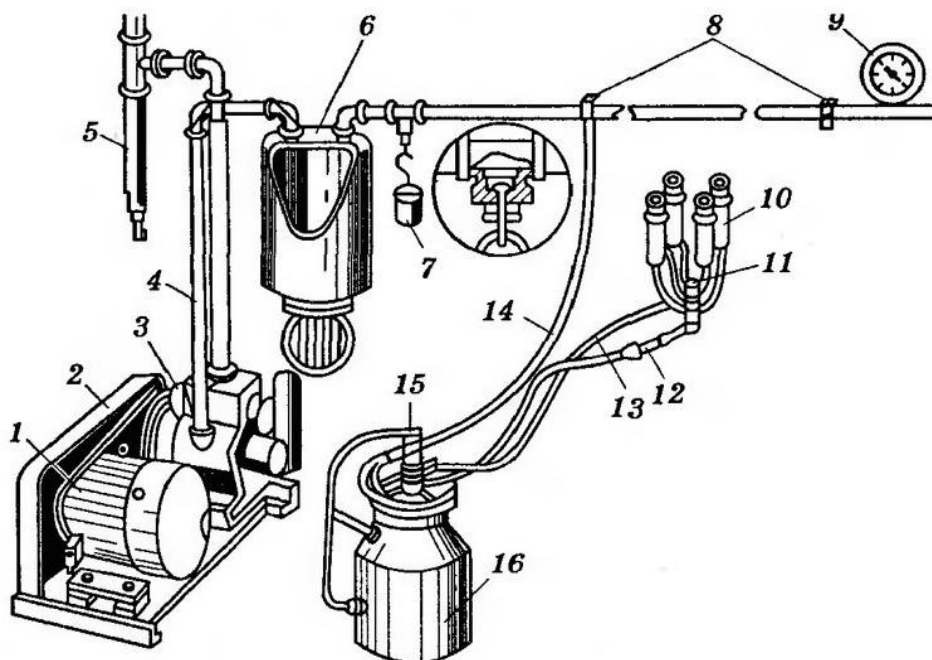


Рисунок 85 – Электропривод вакуум-насоса УВУ-60/45 доильной установки:

1 – электродвигатель, 2 – ограждение ременной передачи, 3 – вакуум-насос, 4 – вакуум-трубопровод, 5 – маслосборник выхлопной трубы вакуум-насоса, 6 – вакуум-баллон, 7 – вакуум-регулятор, 8 – кран, 9 – вакуумметр, 10 – доильные стаканы, 11 – коллектор, 12 – молочный шланг, 13 – вакуумный шланг, 14 – магистральный шланг, 15 – пульсатор, 16 – доильное ведро

Мощность электродвигателя для вакуум-насоса (кВт):

$$P = \frac{Qp}{1000\eta_n\eta_n},$$

где $\eta_n=0,2\ldots0,25$ – КПД вакуум-насоса,
 η_n – КПД передачи.

Мощность электродвигателя вакуум-насоса УВУ-60/45 при подаче $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ составляет 4кВт, а при подаче $45 \text{ м}^3/\text{ч}$ – 3кВт, момент трогания находится в пределах $(0,75\ldots1,0)\text{Мн}$.

Для крупных молочных комплексов и ферм можно использовать централизованные вакуумные установки ЦВУ-3, ЦВУ-6, ЦВУ-12 с подачей 180, 360, 720 $\text{м}^3/\text{ч}$ и соответственно мощностью электродвигателя 7,5; 17; 22 кВт.

ЛЗ4 Электропривод машин для первичной обработки молока. Приводные характеристики сепараторов с центробежной муфтой, высокочастотных, многоскоростных

Технологический процесс очистки молока состоит в том, что молоко, поступаая в барабан сепаратора, вращающийся с большой скоростью, проходит между тарелками (и направляется к напорному диску). Примеси, находящиеся в молоке, под действием центробежной силы отбрасываются к стенке грязевой камеры, образуя на ней плотный осадок. Последний удаляют вручную из грязевой камеры после остановки сепаратора-молокоочистителя. По кинематической схеме сепаратор относится к машинам с вращательным движением.

Разделение молока на сливки и обрат (обезжиренное молоко), осуществляемое под действием центробежных сил, которые действуют на частицы молока при вращении его в барабане сепаратора, называется сепарированием. Сепаратор молока, барабан которого обладает значительным маховым моментом, имеет тяжелый пусковой режим. Кинематическая схема электропривода сепаратора приведена на рисунке 86.

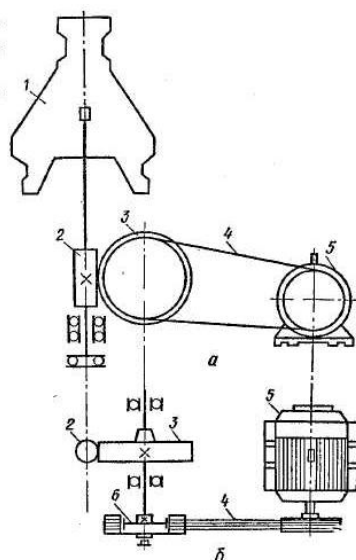


Рисунок 86 – Кинематическая схема электропривода сепаратора молока:
 а – фронтальный вид, б – вид в плане, 1 – барабан сепаратора, 2 – веретено,
 3 – шестерня, 4 – клиновидный ремень, 5 – электродвигатель, 6 – фрикционно –
 центробежная муфта

Момент сопротивления сепаратора на валу двигателя создается силами трения в подшипниках, в передаче привода и силами трения вращающихся частей о воздух и жидкость. Поэтому механическая характеристика носит «вентиляторный» характер и может быть выражена зависимостью

$$M_C = M_0 + b \cdot \omega^2,$$

где M_C – момент сопротивления сепаратора, приведенный к валу электродвигателя, имеющего номинальную частоту вращения 1430 мин^{-1} , Нм;

$M_0 = 0,2 \dots 1,0 \text{ Нм}$ – начальный момент на валу электродвигателя;

ω – угловая скорость барабана, рад/с;

b – коэффициент пропорциональности, зависящий от качества обработки элементов кинематической схемы привода, массы барабана, степени шероховатости поверхности барабана сепаратора.

Для центрифуг производительностью $50 \dots 1000 \text{ л/ч}$ в среднем $b = 1,8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Нм}}{(\text{рад/с})^2}$. Квадратичная зависимость момента сопротивления сохраняется при линейной скорости барабана до 70 м/с ($7000 \dots 10000 \text{ мин}^{-1}$).

Потребная мощность электродвигателя (Вт) для привода сепаратора в рабочем режиме

$$P = k \cdot M_C \cdot \omega,$$

где $k = 1,2 \dots 2$ – коэффициент, учитывающий мощность, необходимую на сообщение кинетической энергии жидкости, поступающей в барабан, а также на гидравлические потери и т.д.

В условиях неустановившегося режима (пуска) момент, создаваемый механическими колебаниями системы, в период первого резонанса и биений больше суммарного статического момента в $1,5 \dots 2$ раза. Пусковая мощность сепаратора в $1,3 \dots 2$ раза больше потребной мощности в рабочем режиме. Так как момент инерции барабана велик, продолжительность разбега длится $1,5 \dots 3 \text{ мин}$ и даже более.

Рабочая частота вращения барабана сепаратора не должна находиться в зоне резонансных колебаний. Это основное условие нормальной работы барабана.

Если для привода сепаратора установить асинхронный трехфазный короткозамкнутый электродвигатель такой мощности, которая равна потребной мощности при установившемся

режиме сепарирования, то кратность пускового момента должна быть не менее $1,8 \dots 2$, кратность максимального момента – $2,2 \dots 2,4$ и кратность минимального момента – $1,0$.

Пусковой ток электродвигателя в течении $1,5 \dots 3$ мин, особенно при повторных пусках с нагретого состояния, может нагревать его обмотку до недопустимых пределов и преждевременно выводить электродвигатель из строя. Чтобы уменьшить продолжительность действия пускового тока и продолжительность разбега сепаратора, можно использовать центробежную фрикционную муфту (рисунок 87,а). при включении электродвигателя шкив 1 начинает вращаться, пальцы 2 увлекают колодки 4, которые скользят по внутренней цилиндрической поверхности барабана 6. По мере увеличения частоты вращения становится больше центробежная сила, прижимающая колодки к внутренней поверхности барабана, и увеличивается сила трения между колодками и барабаном. Как только эта сила увеличится до значения достаточного для создания момента, равного моменту трогания сепаратора, начнется разбег сепаратора при моменте электродвигателя, по значению близком к максимальному. Происходит ускоренный разбег электропривода при большом избыточном моменте. Ток электродвигателя в начальный момент включения делает бросок (рисунок 87,б), а затем быстро и резко снижается до номинального значения. При пуске без муфты пусковой ток в течение всего времени разбега имеет достаточно большое значение. Нагрев электродвигателя в период пуска с центробежной муфтой в несколько раз снижается при одновременном уменьшении продолжительности разбега. При использовании центробежной фрикционной муфты мощность электродвигателя можно выбирать по номинальному режиму работы, так как в начальный момент включения электродвигатель разбегается практически вхолостую.

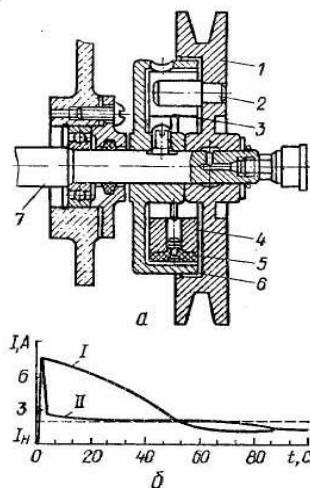


Рисунок 87 – Электропривод с центробежной муфтой: а – кинематическая схема муфты; б – диаграмма пускового тока; I – пуск без муфты; II – пуск с муфтой; 1 – ведущий барабан – шкив, 2 – палец, 3 – пружинное кольцо, 4 – колодка, 5 – накладка, 6 – ведомый барабан, 7 – приводный вал рабочей машины

Сократить продолжительность разбега и уменьшить нагрев электродвигателя в пусковом режиме можно также, применив двухскоростной электродвигатель и осуществив пуск сначала на меньшей скорости при большем пусковом моменте и меньшем пусковом токе, а затем путем автоматического переключения на вторую скорость, соответствующую нормальному рабочему режиму сепаратора. Автоматическое переключение частоты вращения осуществляется тахогенератором, подключенным на обмотку промежуточного реле. При достижении скорости переключения промежуточное реле срабатывает и переключает обмотку электродвигателя на вторую скорость. Это позволяет осуществить пуск электропривода сепаратора при большем пусковом моменте, меньшем пусковом токе с меньшим временем разбега и, следовательно, с меньшим нагревом электродвигателя в пусковом режиме.

Очистку молока от механических загрязнений осуществляют двумя способами — фильтрованием и центрифугированием. Все доильные установки, за исключением установок с доением в ведра, в линии первичной обработки молока имеют специальные фильтры. При доении в ведра используют установку ОМ-1, состоящую из центробежного очистителя и пластинчатого охладителя.

С целью уничтожения находящихся в молоке бактерий его подвергают пастеризации — нагреву до температуры 63...90 °С. Пастеризация может быть продолжительной (в ваннах ВДП-300, ВДП-600 и ВДП-1000) или кратковременной (в пластинчатых пастеризационно-охладительных установках ОПФ-1, ОПУ-3М, ОП2-У5).

Рассмотрим схему автоматизации установки ОПФ-1 (рисунок 87).

Из молокосборника молоко поступает в уравнительный бак. Из бака насос подает молоко в первую секцию пластинчатого аппарата (секцию регенерации), где молоко за счет теплообмена нагревается до 37...40 °С. Далее молоко поступает в молокоочиститель, очищается, подается в секцию № 2 регенерации и переходит в секцию пастеризации, где за счет теплообмена с горячей водой нагревается до температуры 76 °С (в установке ОПФ-1-20) или до 90 °С (в установке ОПФ-1-300). Пастеризованное молоко через выдерживатель проходит в секции регенерации, и его температура снижается до 20...25 °С. Затем молоко проходит первую секцию охлаждения холодной водой, а затем вторую — ледяной водой, где его температура снижается до 5...8 °С. Холодное молоко поступает в танки.

Горячая вода готовится в бойлере, где нагревается паром через инжектор паропровода от котельной установки.

Контроль температуры молока после пастеризационной секции осуществляется первичным преобразователем ТЕ (1). Его сигнал подается на регулятор TS (А1), формирующий сигнал исполнительному механизму трехходового клапана, который при низкой температуре молока перепускает его обратно в уравнительный бак.

Температура горячей воды после секции пастеризации контролируется преобразователем ТЕ (2), сигнал которого подается на регулирующий прибор ТС (А2). Исполнительный механизм управляет вентилем подачи пара в инжектор для изменения температуры горячей воды. Таким же образом управляют расходом ледяной воды с помощью регулятора ТС (А3), к которому подключен преобразователь ТЕ (3).

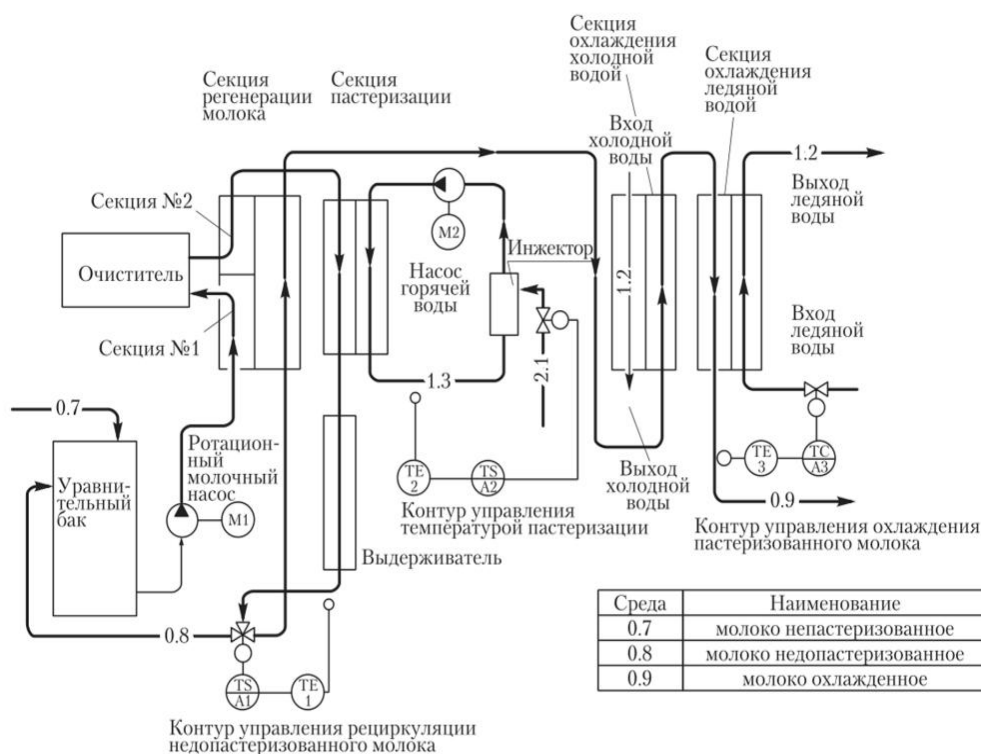


Рисунок 87 – Схема автоматизации пастеризационной установки ОПФ-1

На рисунке 88 представлена принципиальная электрическая схема управления установкой ОПФ-1. Включение и отключение приводов насосов и очистителей производится вручную с помощью кнопочных станций (на рисунке эти цепи не показаны).

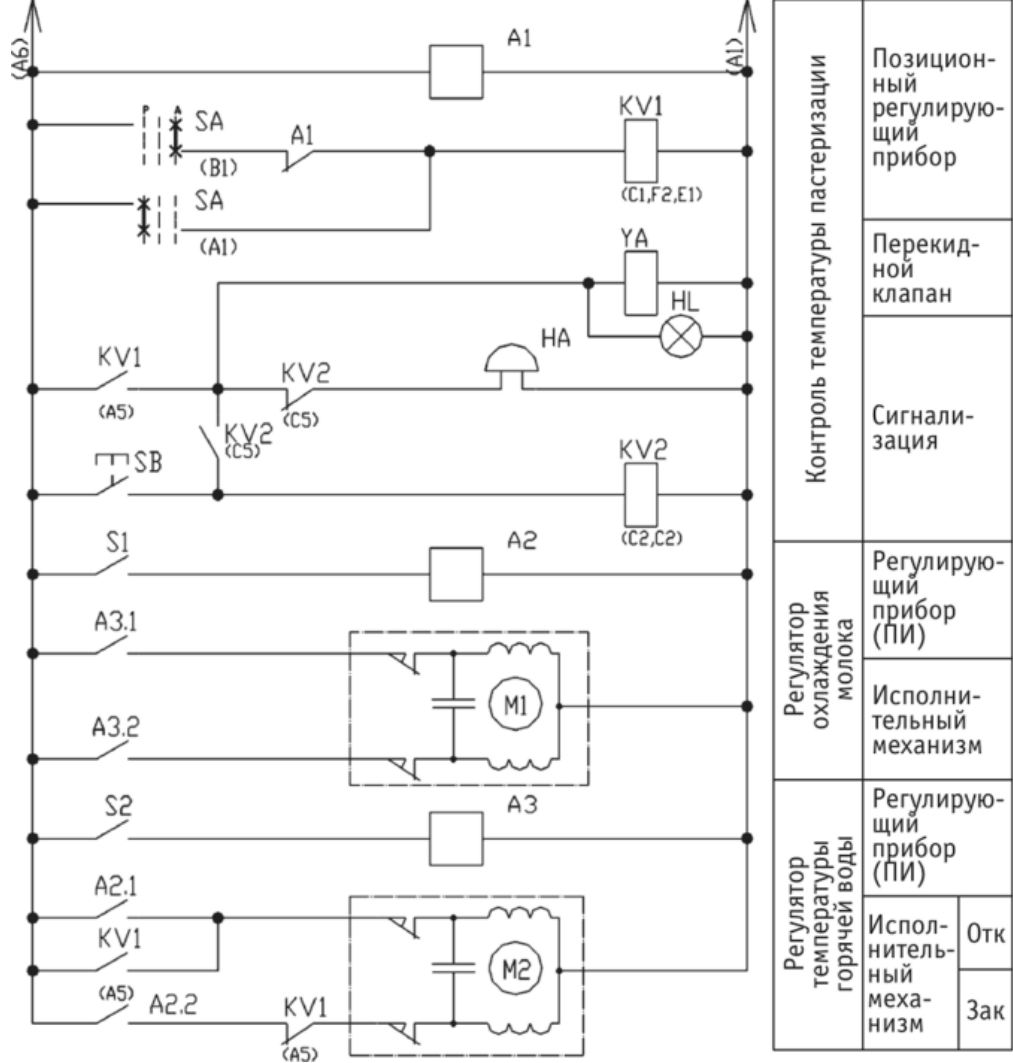


Рисунок 88 – Упрощенная принципиальная электрическая схема управления пластинчатой пастеризационной установкой

Тумблерами S1 и S2 подают питание на регуляторы A2 и A3.

В автоматическом режиме переключатель SA устанавливают в положение А. Если температура молока после секции пастеризации в норме, контакт регулятора A1 в цепи катушки KV1 разомкнут, питание на перепускной клапан YA не подается и молоко проходит в секцию регенерации.

При пониженной температуре молока контакт регулятора A1 в цепи катушки KV1 замкнут. Контакт реле KV1 замыкает цепь питания клапана YA и звонка HA. Снять звуковую сигнализацию можно кнопкой SB. Второй контакт реле KV1 подает сигнал на исполнительный механизм M2 для его большего открытия. Сигнал на открытие M2 подает и контакт регулятора A2.1 в случае недостаточной температуры горячей воды. Если температура горячей воды выше нормы, контакт A2.2, при условии нормальной температуры молока (контакт KV1 в цепи M2 замкнут), подает сигнал на закрытие исполнительного механизма в контуре обогрева. Исполнительным механизмом в контуре охлаждения молока аналогично вышеописанному управляет регулятор A3 по показаниям температуры ледяной воды.

Л35 Электропривод машин и агрегатов в растениеводстве. Выбор электродвигателей для привода машин и агрегатов зерноочистительно – сушильных пунктов и комплексов.
Комплекты оборудования, схемы управления

После комбайновой уборки зерно требуется очищать, сортировать, а влажное сушить. Засоренность зерна семенами сорняков, недомолоченными колосками, частицами соломы, битым зерном и другими примесями достигает 10-15% и более, а влажность – 25-30%. Для сохранения зерна его влажность должна быть не более 14%.

Промышленность выпускает зерноочистительные агрегаты и зерноочистительно-сушильные комплексы. Последние включают в себя зерноочистительное отделение соответствующей производительности и сушильное отделение с зерносушилкой, охладительной колонкой, нориями.

Зерноочистительные машины. Эти машины для первичной очистки зерна от примесей включают в себя основной рабочий орган — качающийся решетный стан, состоящий из решет, через которые просеивается зерновая масса. Дополнительными рабочими органами могут быть щетки решетного стана, шнеки загрузки и выгрузки, центробежный вентилятор продува зерновой массы. Как правило, центробежный вентилятор и шнеки имеют отдельные электроприводы.

Мощность нагрузки, кВт, на валу электродвигателя привода основного рабочего органа — плоских качающихся решет решетного стана рассчитывают по эмпирической формуле:

$$P = k_3 m a_{\text{онм}}^2 / 657,7 n \eta_n ,$$

где $k_3 = 1,2 \dots 1,5$ — коэффициент запаса;

$m = 100 \dots 300 \text{ кг}$ — масса решетного стана;

$a_{\text{онм}} = 15 \dots 30 \text{ м/с}^2$ — необходимое оптимальное ускорение решет;

$n = 500 \text{ об/мин}$ — рациональная частота колебаний решет;

$\eta_n = 0,6 \dots 0,7$ — КПД передаточного механизма.

Если дополнительные рабочие органы (щетки и шнеки) решетного стана имеют групповой привод от того же электродвигателя, то рассчитанную мощность для привода решетного стана увеличивают в 1,25...1,75 раза.

Цилиндрический триер. Он предназначен для разделения подаваемого в его вращающийся цилиндр зернового материала на различные фракции. Мощность нагрузки, кВт, на валу электродвигателя его привода:

$$P = p_{\text{уд}} Q_n / \eta_n ,$$

где $p_{\text{уд}} = 0,2 \dots 0,6 \text{ кВт/(т/ч)}$ — удельная мощность;

Q_n — номинальная производительность триера (или блока триеров), т/ч;

$\eta_n = 0,7 \dots 0,8$ — КПД механической передачи.

Как правило, машины и установки послеуборочной обработки сельскохозяйственной продукции агрегируют в поточные линии, в которых продукция в процессе обработки перемещается соответствующими конвейерами (транспортерами). В этом случае все электроприводы поточно-транспортной системы (ПТС) должны работать строго согласованно.

В качестве примера на рисунке 89 приведена технологическая схема послеуборочной обработки зерна на зерноочистительном агрегате ЗАВ-20, имеющем номинальную производительность 20 т/ч.

Зерноочистительные агрегаты типа ЗАВ — базовая основа целого ряда зерноочистительных и зерносушильных комплексов по послеуборочной обработке зерновых культур. Состав технологических машин и оборудования агрегата ЗАВ-20 отражен на рисунке 89. Все машины и оборудование увязаны между собой по производительности и смонтированы на блоке бункеров, к которому прикреплено перекрытие. Расстановка

технологического оборудования агрегата ЗАВ-20 и управление электроприводами позволяют работать по шести различным технологическим схемам. Основная схема очистки зерна по двум параллельным линиям: воздушно-решетная очистка — триерная очистка — блок бункеров.

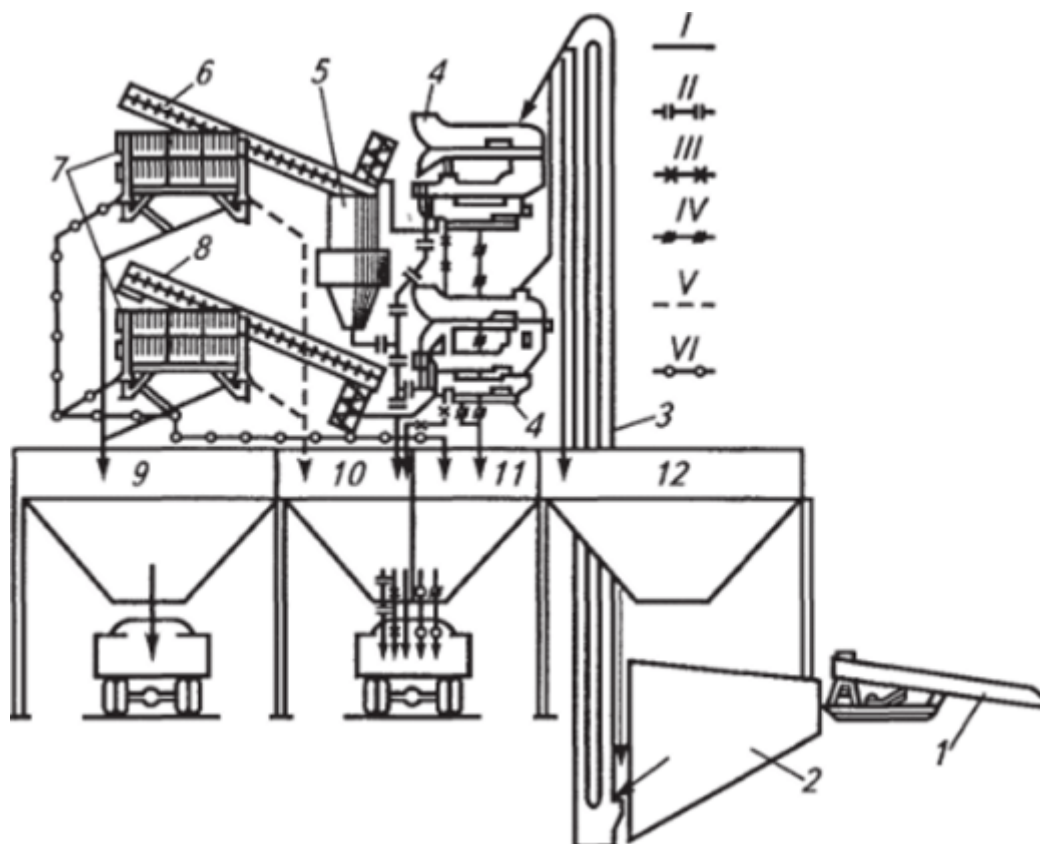


Рисунок 89 – Технологическая схема послеуборочной обработки зерна на зерноочистительном агрегате ЗАВ-20:

- 1—автомобилеподъемник с электрогидравлическим приводом; 2—приемный бункер;
3 — нория загрузки; 4— зерноочистительные воздушно-решетные машины;
5— централизованная воздушная система; 6, 8— шнеки загрузки и выгрузки триеров;
7—триерные блоки; 9— бункер чистого (посевного) зерна; 10— секция отходов; 11 —секция фуражного зерна; 12 — бункер резерва; I—путь обрабатываемой культуры; II —легкие примеси (полова, пыль); III—крупные примеси (колосья, солома, камни); IV— фуражные отходы (II сорт); V— длинные примеси (овсюг, колоски); VI — короткие примеси (куколь, гречишка)

Технологическая последовательность очистки зерна. Она состоит в следующем. Из автомобиля зерно выгружают автомобилеподъемником 1 в приемный бункер 2. Через окно бункера 2 оно самотеком поступает в нижнюю горловину загрузочной норы 3. Количество поступающего зерна регулируют заслонкой, которой управляет оператор со своего рабочего места у пульта управления. Нория 3 поднимает зерно вверх, где распределительный клапан разделяет его на два равных потока, и по зернопроводам поступает в приемные камеры двух параллельно работающих воздушно-решетных машин 4. Система распределительных клапанов и устройств направляет зерно на зерноочистительные воздушно-решетные машины и при необходимости в бункер резерва 12. Из приемных камер машин зерновой материал при помощи питающих валков подается в воздушные каналы, подключенные системой воздухопроводов к централизованной воздушной системе 5 агрегата. Излишек зернового материала из приемных камер зерноочистительных машин также сбрасывается в бункер резерва 12.

В воздушных каналах централизованной системы 5 выделяются легкие примеси, которые по системе воздухопроводов поступают в ее осадочную камеру. Из камеры воздух,

очищенный от примесей, вентилятором, попадает в атмосферу, а примеси — в секцию отходов 10. Очищенный от легких примесей зерновой материал подается на решетную очистку машин и здесь делится на три фракции: очищенное зерно, фуражное зерно и примеси. Очищенное зерно шнеками 6 и 8 по наклонным желобам подается в триерные блоки 7. Фуражное зерно и примеси через воронки и систему зернопроводов направляются в соответствующие бункера. Очистка зернового материала триерными цилиндрами может быть настроена на отделение длинных примесей, а при необходимости еще и коротких. Очищенное зерно и примеси по зернопроводам самотеком поступают соответственно в бункер чистого зерна 9 и секцию отходов 10. Фуражное зерно подается воздушным потоком в секцию 11, 12.

Другие технологические схемы работы зерноочистительного агрегата составляют часть основной схемы. Например, при малом поступлении зерна или неисправности одной из машин может действовать только первая или вторая линия. В зависимости от назначения зерна все схемы могут работать без триеров. Если есть перебои в подвозе зерна, используют зерно из резервного бункера.

Управление электроприводами машин и механизмов агрегата ЗАВ-20. Его осуществляют дистанционно с централизованного пульта управления. В схеме управления предусмотрены цепи блокировок и сигнализации. Сигнализация облегчает наблюдение за ходом технологического процесса и работой оборудования (рисунок 90).

Перед пуском агрегата в соответствии с требуемой технологией очистки зерна выбирают технологическую схему и ставят универсальный переключатель SA в соответствующее положение (рисунок 90). Перед пуском кнопкой SBC подают звуковой сигнал о предстоящем пуске агрегата. Кнопкой SB2 пускают выбранную технологическую линию в требуемой последовательности. Например, технологическую схему полной очистки зерна с использованием всего технологического оборудования, которой соответствует позиция 4 универсального переключателя SA, пускают следующим образом. Кнопкой SB2 включают пускатель KM1, в работу вступает электродвигатель привода вентилятора централизованной воздушной системы. Замыкающие вспомогательные контакты KM1 закрываются, и кнопками SB4 и SB6 вводят в действие блоки триеров 7. Закрываются вспомогательные контакты KM2 и KM3 в цепи катушек магнитных пускателей KM4 и KM5, KM6 и KM7, начинают работать обе зерноочистительные машины. После закрытия замыкающих контактов KM3 и KM6 оказывается возможным пустить в ход электродвигатель привода загрузочной норрии. Другие технологические потоки вступают в работу аналогичным образом. После пуска нужной технологической линии открывают задвижку приемного бункера, начинается подача и поточная обработка зерна. Привод задвижки может быть ручным и электрическим.

При остановке зерноочистительного агрегата первым закрывают приемное окно загрузочной норрии. Задвижку приемного окна норрии приводят в действие либо вручную, либо электродвигателем мощностью 0,55 кВт через винтовую передачу. Затем в обратной последовательности по ходу перемещения потока зерна отключают все остальные машины и механизмы.

Зерноочистительно-сушильные комплексы КЗС-20Ш и КЗС-20Б включают в себя зерноочистительный агрегат ЗАВ-20, дополненный машиной ЗД-10.000 для предварительной обработки зернового материала перед сушкой, и сушильное отделение.

Сушильное отделение комплекса КЗС-20Ш (рисунок 91) состоит из шахтной сушилки 7 с топкой 8, двух охладительных колонок 5, норрии 3 и 6 загрузки шахт и отгрузки зерна из сушилки в охладительные колонки, а от них в зерноочистительное отделение. Кроме того, в бункере резервного зерна отгорожена оперативная секция для высушенного материала.

Сушильное отделение комплекса КЗС-20Б состоит из двух барабанных зерносушилок СЗСБ-8 с двумя охладительными колонками и трех норрий.

Технологический процесс. Если влажность обрабатываемого зернового материала до 14%, комплексы работают по технологической схеме ЗАВ-20.

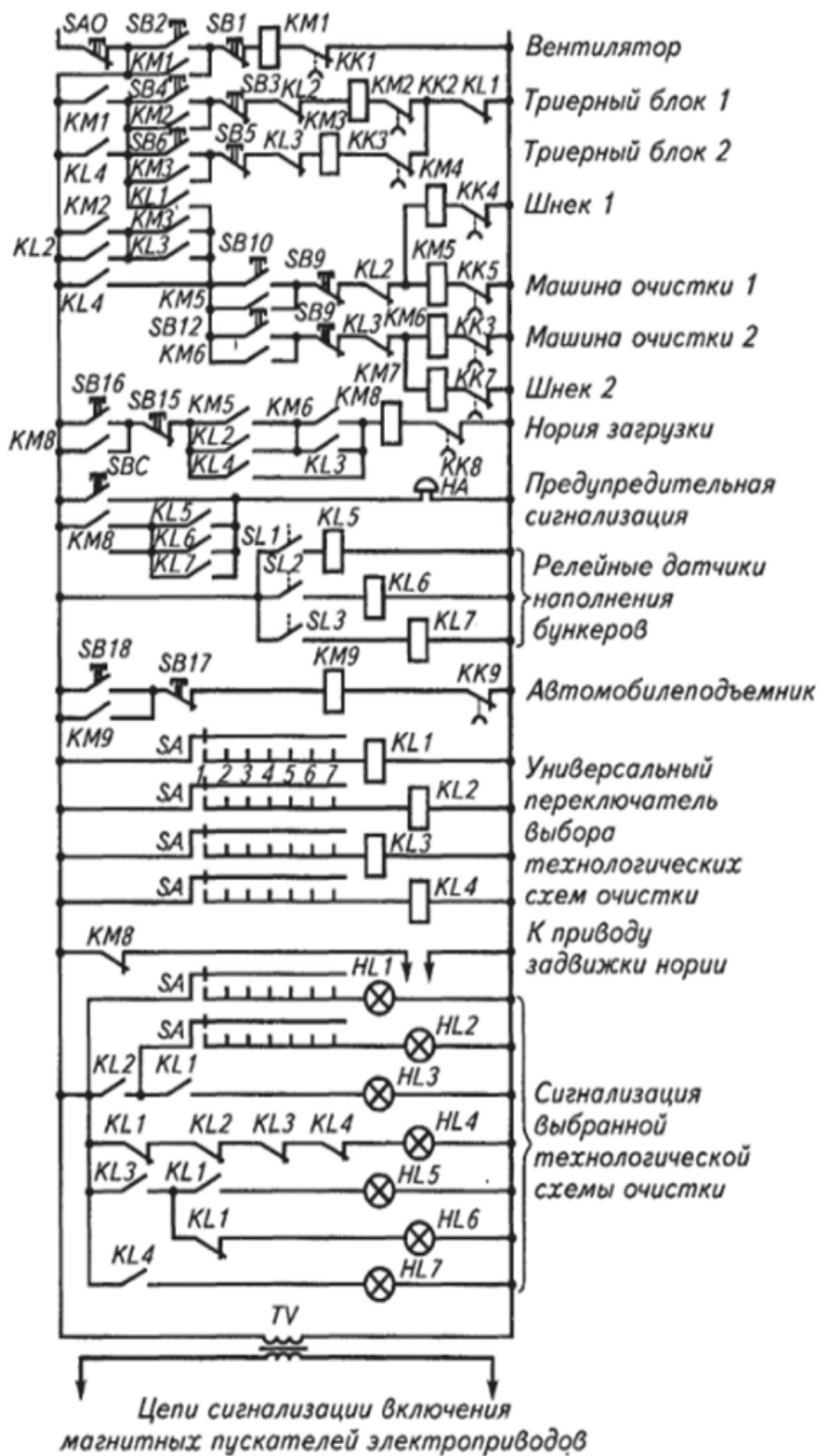


Рисунок 90 – Схема управления и сигнализации зерноочистительного агрегата ЗАВ-20

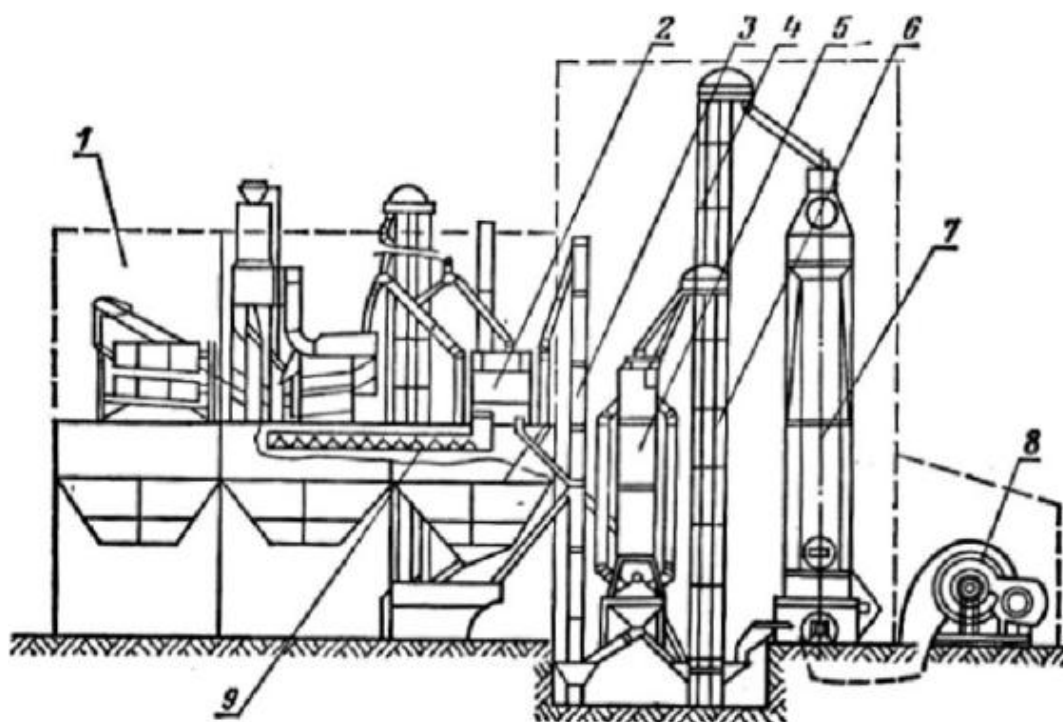


Рисунок 91 – Зерноочистительно-сушильные комплексы КЗС-20Ш:

1 - ЗАВ-20; 2 - машина предварительной очистки МПО-50; 3,6- нории; 4 - головка нории; 5 - охладительные колонки; 7— сушилка шахтная; 8 - топка; 9 - транспортер шнековый

При влажности зерна до 20% в комплексе КЗС-20Ш зерновой материал после предварительной очистки машиной 2 подается двумя равными потоками в правую и левую шахты сушилки 7 (параллельная работа шахт). Высушенный материал из каждой шахты двумя нориями 6 транспортируется в охладительные колонки 5, где охлаждается продувкой холодным воздухом. Оба потока охлажденного материала объединяются в один общий и транспортируются далее норией 3 для дальнейшей обработки в зерноочистительном отделении.

В случаях, когда влажность зерна больше 20%, зерновой материал подвергается двукратной сушке. Для этого после предварительной очистки очистителем 2 зерновой материал на сушку подается вначале в левую шахту, затем на охлаждение в охладительную колонку этой шахты. Далее материал подается на повторную сушку в левую шахту (последовательная работа шахт) и после охлаждения в охладительной колонке левой шахты отводится в зерноочистительное отделение для последующей обработки.

Если влажность меньше 20%, то сушку зернового материала на КЗС-20Б ведут двумя параллельными потоками. В этом случае зерновой материал каждого потока пропускают лишь через один из сушильных барабанов и работающую с ним в линии охладительную колонку.

Если влажность зерна больше 20%, зерновой материал сушат последовательно в два приема. Для этого обрабатываемый материал пропускают через первый сушильный барабан, его охладительную колонку, второй сушильный барабан и вторую охладительную колонку, и далее он поступает в оперативную секцию зерноочистительного отделения для дальнейшей обработки.

Л36 Приводные характеристики и особенности работы грузоподъемных механизмов.

Комплекты оборудования, схемы управления

Электрооборудование кранов должно обеспечивать надежную высокопроизводительную и безопасную работу. Электропривод кранов работает в повторно-кратковременном режиме с большой частотой включений в запыленных и влажных

помещениях, на открытом воздухе и в условиях резких изменений температур. Напряжение питания кранов не должно превышать 500 В. Поэтому электрооборудование здесь рассчитано на напряжение 220, 380, 500 В переменного и 220, 440 В постоянного тока. На вновь строящихся предприятиях напряжение 500 В не применяется, а напряжение 440 В используется главным образом в силовых кранов большей грузоподъемности.

Механизмы подъема и передвижения снабжены конечными выключателями, которые будучи введены в цепь управления, ограничивают ход захватывающего устройства вверх и передвижение моста и тележки в обе стороны. Электрические цепи и двигатели защищены от коротких замыканий и перегрузок достигающих больше 200 % максимальными токовыми реле. Тепловая защита двигателей крановых установок не предусматривается, поскольку двигатели работают в повторно-кратковременных режимах со значительными перегрузками, при которых возможно ложное срабатывание тепловых реле. Электрическая схема крана должна иметь нулевую защиту.

Все крановые механизмы должны быть снабжены тормозами, а подъемные механизмы - автоматическими тормозами закрытого типа, действующими при отключении питания. Все нетоковедущие металлические части электрооборудования должны быть соединены с металлической фермой крана, а та, в свою очередь, - с заземляющим контуром цеха через подкрановые рельсы.

Требования, предъявляемые к электроприводу крановых механизмов. Для выбора системы электропривода необходимо четко представлять себе технологические требования к приводу того механизма, для которого он выбирается. Для качественного выполнения подъема, спуска и перемещения грузов электропривод крановых механизмов должен удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Регулирование угловой скорости двигателя в сравнительно широких пределах в связи с тем, что тяжелые грузы целесообразно перемещать с меньшей скоростью, а пустой крюк или ненагруженную тележку - с большой скоростью для увеличения производительности крана. Пониженные скорости необходимы также для осуществления точной остановки транспортируемых грузов с целью ограничения ударов при их посадке и облегчают работу оператора, так как не требуют многократного повторения пусков для снижения средней скорости привода перед остановкой механизма.

2. Обеспечение необходимой жесткости механических характеристик привода, особенно регулировочных, с тем чтобы низкие скорости почти не зависели от груза.

3. Ограничение ускорений до допустимых пределов при минимальной длительности переходных процессов. Первое условие связано с ослаблением ударов в механических передачах при выборе зазора, с предотвращением пробуксовки ходовых колес тележек и мостов, с уменьшением раскачивания подвешенного на канатах груза при интенсивном разгоне и резком торможении механизмов передвижения; второе условие необходимо для обеспечения высокой производительности крана.

4. Реверсирование электропривода и обеспечение его работы как в двигательном, так и в тормозном режиме.

Выбор рода тока для электрооборудования крана имеет важное значение, поскольку с ним связаны такие показатели, как технические возможности привода, капиталовложения и стоимость эксплуатационных расходов, масса и размеры оборудования, его надежность и простота обслуживания.

Для привода крановых механизмов возможно применение различных двигателей и систем электропривода. Их выбор определяется грузоподъемностью, номинальной скоростью движения, требуемым диапазоном регулирования скорости привода жесткостью механических характеристик, числом включения в час. В настоящее время на кранах чаще всего применяют простые системы электропривода, в которых двигатели получают питание от сети переменного или постоянного тока.

Привод с асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором применяется для механизмов кранов небольшой мощности до 15 кВт работающих в легком режиме. Для

регулировки скорости используют двух или трехскоростные двигатели. Однако этот привод не обеспечивает необходимую жесткость регулировочных характеристик и устойчивую работу при пониженных скоростях.

Если необходимо в широком диапазоне регулировать скорость, а также необходимо обеспечить низкие устойчивые угловые скорости в различных регионах, то применяют двигатели постоянного тока последовательного возбуждения, которые допускают большие перегрузки по моменту и имеют мягкую естественную характеристику, что позволяет опускать и поднимать грузы с повышенной скоростью.

Двигатели параллельного возбуждения применяют в тех случаях, когда необходимо иметь достаточно жесткие механические характеристики при низких угловых скоростях, а также обеспечить работу двигателя на естественной характеристике в генераторном режиме.

Если требуется обеспечить повышенный диапазон регулирования скорости привода, ограничение стопорного момента и плавное протекание переходных процессов двигателя при напряженном режиме работы кранового механизма, то применяют регулируемый электропривод по системе Г-Д. Использование такой системы при больших мощностях двигателей позволяет облегчить аппаратуру управления и повысить полезность работы привода.

Электрическая таль - это малогабаритная лебедка, все элементы которой (электродвигатель, редуктор, тормоз, канатный барабан с нарезкой для укладки каната, шкаф с пусковой аппаратурой и другие необходимые устройства) смонтированы в одном корпусе или прикреплены к этому корпусу. Электрическая таль включает, также, ходовую часть для перемещения по монорельсовому пути и крюковую подвеску. Как правило, тали снабжаются подвесным пультом для управления с пола.

Электрические тали предназначены для подъема и горизонтального перемещения по монорельсовому пути грузов в помещениях и под навесом при температуре окружающего воздуха от -20 (-40) до +40°С.

Тали применяются в составе подвесных и опорных однобалочных, консольных, козловых и других кран а также монорельсовых дорог и самостоятельно.

Барабан 5 с канатом подъема (рисунок 92,а) приводится во вращение электродвигателем 8 через редуктор 4. Для ограничения подъема груза предусмотрен конечный выключатель 7, который отключает электродвигатель подъема 8 при упоре крюка в рычаг выключателя. К зажимам электродвигателя подъема подключена катушка электромагнита тормозного устройства, которое при включении электродвигателя и подаче напряжения на катушку электромагнита растормаживает электродвигатель. При отключении электродвигателя и электромагнита тормоза электродвигатель подъема затормаживается под действием пружин тормоза.

Технологическая схема работы электротали приведена на рисунке 92,б. груз 10 зацепляют крюком 6, включают электродвигатель 8 подъема и поднимают груз с разгрузочной площадки S1 до требуемой высоты. Затем отключают электродвигатель 8 и включают электродвигатель 2 перемещения. Груз перемещают до места назначения II-II, отключают электродвигатель 2 перемещения и включают электродвигатель 8 для опускания груза. Опускают груз до нагрузочной площадки S2, отключают электродвигатель 8, отцепляют груз. Включают электродвигатель 8 для подъема крюка, поднимают крюк (холостой ход), отключают электродвигатель 8 и отключают электродвигатель 2 перемещения на обратный ход. Перемещают (холостой ход) электроталь до исходного положения I-I, отключают электродвигатель 2, включают электродвигатель 8, опускают крюк для нацепления следующего груза (холостой ход), отключают электродвигатель 8. Работа электротали может происходить и в обратном порядке с подниманием груза с площадки S2, транспортированием и опусканием на площадку S1.

Электрическая схема управления электроталью (рисунок 92, в) предусматривает ручное и автоматическое управление при помощи установки переключателя SA в положение Р или А.

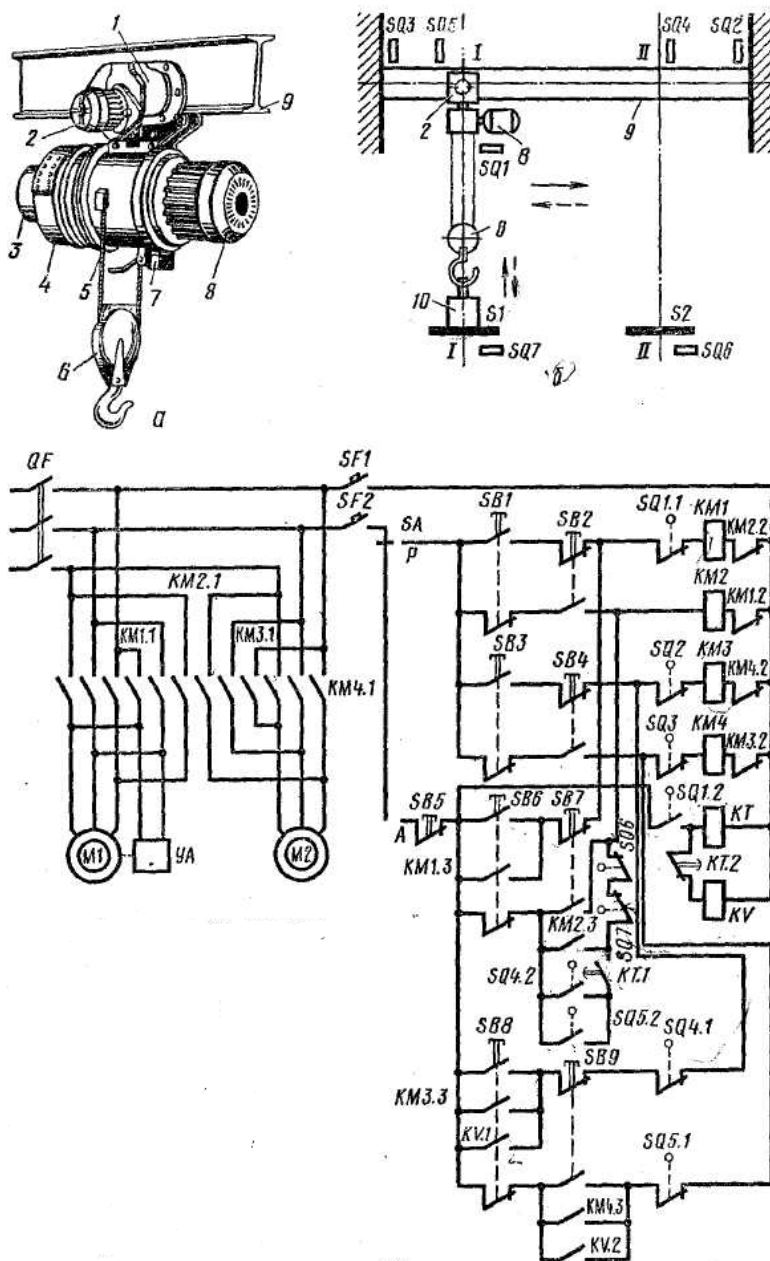


Рисунок 92 – Электропривод тали: а – общий вид электропривода; б – технологическая схема работы электротали; в – электрическая схема управления;
 1 – ходовая тележка, 2 и 8 – электродвигатели перемещения и подъема, 3 – электромагнитный тормоз, 4 – редуктор двигателя подъема, 5 – барабан, 6 – крюк, 7 – конечный выключатель, 9 – двухтавровая балка, 10 – груз; I-I, II-II – вертикальные осевые линии подъема и опускания груза, S1 и S2 – разгрузочная и нагрузочная площадки

Ручное управление электродвигателем подъема M1 осуществляется реверсивными пускателями KM1 и KM2 и кнопками SB1, SB2, а электродвигателем перемещения M2 соответственно пускателями KM3 и KM4 и кнопками SB3, SB4. Кнопки управления не имеют шунтирующих контактов пускателей, поэтому работа каждого двигателя возможна при нажатой соответствующей кнопке. Подъем груза вверх ограничивается путевым выключателем SQ1, а перемещение тали вдоль монобалки – выключателями SQ2 и SQ3.

При включении двигателя подъема M1 включается и электромагнит тормоз YA, растормаживающий электродвигатель, а при отключении электромагнита двигатель затормаживается с помощью пружин тормоза. Заводская станция управления выполнена по этой схеме. Для автоматизированного управления дополнительно предусмотрены реле

времени КТ, реле КV, конечные выключатели SQ4 и SQ5, установленные в конце и начале пути перемещения II-II и I-I, выключатели SQ6 и SQ7, которые срабатывают под действием силы тяжести груза на площадках S2 и S1, а возвращаются в исходное положение при помощи пружин при удалении груза, и кнопки управления SB5, SB6, SB7, SB8, SB9.

Для автоматизированного управления переключатель SA устанавливают в положение А и кнопкой управления SB9 или SB8 в зависимости от места расположения груза включают электродвигатель М2. Двигатель перемещает таль в нужном направлении отключается выключателем SQ5 или SQ4 в исходном положении I-I или II-II при размыкании контакта SQ5.1 или SQ4.1. по технологической схеме (рисунок 92,б) за исходное положение принято I-I. Контакты выключателя SQ7 разомкнуты под действием силы тяжести груза 10. Нажав кнопку SB7, включают электродвигатель М1 для спуска крюка к грузу. Отпустив кнопку SB7, отключают спуск. После зацепления груза кнопкой SB6 включают электродвигатель М1 для подъема груза. Достигнув конечного выключателя SQ1, крюк, действуя на него размыкает контакты SQ1.1, отключается подъем, а контактами SQ1.2 включаются реле КV и КТ. Контактными КV1 включается электродвигатель перемещения по направлению к месту назначения II-II, так как контакты SQ4.1, а SQ5.1 разомкнуты. После возвращения путевого выключателя SQ5 в исходное положение срабатывает реле КТ ($\Delta t_{ср} \approx 1 \dots 1,5с$), замыкает контакты КТ1 и размыкает КТ2, отключая реле КV. В конце пути перемещения II-II таль, действуя на выключатель SQ4, размыкает SQ4.1 и замыкает SQ4.2. включается электродвигатель М1 на опускание груза. При достижении грузом нагрузочной площадки S2 под действием его силы тяжести размыкаются контакты конечного выключателя SQ6 и электродвигатель М1 отключается. После отцепления груза нажимают кнопку SB6 на подъем крюка, и начинается работа электротали на холостом ходу (без груза). Работа электрической схемы повторяется в обратной последовательности.

Отключение спуска крюка в положении I-I происходит или от действия силы тяжести крюка на выключатель SQ7, или вручную.

Асинхронные короткозамкнутые двигатели подъема выбирают с повышенным скольжением. При опускании груза, когда он под действие силы тяжести преодолевает сопротивление холостого хода электропривода и может опускаться самостоятельно, электродвигатель работает в тормозном, т.е. генераторном режиме.

Выпускаемые электротали, как правило, комплектуются электродвигателями со стандартной повторностью включения $PB\% = 25\%$. мощность электродвигателя перемещения составляет 10...16% мощности электродвигателя подъема. Электропитание электротали осуществляется, как правило, при помощи гибкого кабеля или жестких троллей.

Кран-балка отличается от тали тем, что балка (монорельс), по которой перемещается таль, может перемещаться вдоль помещения при помощи электродвигателя. Для управления электродвигателями талей и кран-балок применяют реверсивные магнитные пускатели и пусковые кнопки, подвешенные на гибком бронированном кабеле.

Л37 Приводные характеристики и особенности работы переносного электрифицированного инструмента. Выбор приводного электродвигателя. Комплекты оборудования, схемы управления

Электроинструментом называют рабочие машины, движение рабочего органа которых осуществляется с помощью соответствующего электродвигательного устройства, а вспомогательные движения и управление самой машиной выполняют вручную.

Обозначение. Стандартизованное буквенное обозначение в начале марки электроприводного инструмента — ИЭ, затем идут цифры. Первая цифра указывает группу электроинструмента по назначению, вторая — подгруппу специализации. Последние две цифры означают порядковый регистрационный номер ручной машины данного типа. Всего по назначению предусмотрено девять групп ручных машин: 1 — сверлильные; 2 — шлифовальные и полировальные; 3 — резьбозавертывающие и резьбонарезные; 4 —

ударные и ударно-вращательные; 5 — дисковые пилы, машины фрезерные, ножницы, рубанки; 6 — машины специальные и универсальные; 7 — многошпиндельные машины; 8 — насадки, головки с приводом через гибкий вал; 9 — вспомогательное оборудование и принадлежности.

Например, марка электроинструмента ИЭ-1205 означает: ИЭ — инструмент электроприводной; 1 — номер группы по назначению — машина ручная сверлильная; 2 — номер подгруппы специализации — машина ручная сверлильная многоскоростная; 05 — порядковый регистрационный номер электроинструмента данной модели.

Основные части электроинструмента: корпус, рабочий орган (сверло, фреза, пила и т. д.), приводной электродвигатель и редуктор. Назначение последнего — преобразовывать механическую энергию электродвигателя и передавать ее рабочему органу. В некоторых случаях (например, электрорубанок) ротор обращенного электродвигателя (статор помещен внутри ротора) служит ножевым валом. Иногда вращательное движение передается от электродвигателя к рабочим элементам гибким валом. Электроинструмент снабжают рукоятками для переноски и направления инструмента во время работы. Дополнительная оснастка включает: электропреобразовательные устройства, токоподводящие провода и кабели, выключатели, сменные рабочие органы и приспособления, вентиляторы охлаждения и т. д.

Электрооборудование любого инструмента должно обладать следующими качествами: безопасностью в обслуживании; небольшой массой; большой перегрузочной способностью; достаточно жесткой механической характеристикой двигателя и повышенной механической прочностью. Безопасность в обслуживании необходима потому, что работающий непосредственно соприкасается с металлическими частями инструмента и в случае нарушения электрической изоляции может попасть под напряжение. Поэтому корпус электроинструмента при рабочем напряжении 380/220 В заземляют, а в особо опасных помещениях применяют инструменты на напряжение 24, 36 или 42 В. Для снижения веса электроинструмента его корпус и некоторые другие детали изготавливают преимущественно из легких сплавов. Мощность электродвигателя обычно не превышает 0,4... 1,5 кВт. Электроинструмент предназначен главным образом для производства мелких работ, его применяют для механизации ручных операций.

Классификация. По методу обеспечения безопасности работы ручной электроинструмент подразделяют на три класса.

К классу I относят электроинструмент на номинальное напряжение свыше 42 В, у которого хотя бы одна металлическая деталь, доступная для прикосновения, отделена от находящихся под напряжением частей только одной рабочей изоляцией и который имеет кабель с заземляющей жилой или электрический соединитель с заземляющим контактом.

К классу II относят электроинструмент типа класса I, у которого все части, находящиеся под напряжением, имеют двойную или усиленную изоляцию и который не имеет устройств для заземления.

К классу III относят электроинструмент на номинальное переменное напряжение до 42 В или постоянное не свыше 50 В, не имеющий устройств для заземления и предназначенный для питания от автономных или электропреобразовательных устройств, которые обеспечивают гальваническую развязку от основной питающей сети более высокого напряжения. Как правило, это электроинструмент с автономным аккумуляторным электропитанием и электроинструмент на повышенную частоту тока.

Если электроинструмент с признаками классов II или III имеет устройство для заземления, то такой электроинструмент относят к классу I. Для обозначения вида исполнения на ручном электроинструменте проставляют специальные маркировочные знаки (рисунок 93).



Рисунок 93 – Маркировочные знаки ручного электроинструмента:
а — с двойной изоляцией класса II; б — брызгозащищенного исполнения;
в — водонепроницаемого исполнения

Требования к электроинструменту и его приводу.

В процессе работы инструмент находится в руках рабочего. Поэтому, чтобы уменьшить его массу, многие детали изготавливают из алюминия и его сплавов и из синтетических материалов. Особенно минимальной должна быть масса электродвигателя, составляющая в среднем 50...60 % общей массы инструмента. Для уменьшения массы и упрощения конструкции инструмента двигатель встраивают в корпус инструмента, при этом число деталей всего устройства в целом сокращают до минимума. Для привода инструментов применяют быстроходные электродвигатели, обладающие наибольшей удельной мощностью, то есть мощностью двигателя, приходящейся на 1 кг его массы (Вт/кг).

Мощность нагрузки на валу двигателя режущего инструмента (Вт) рассчитывают на основании:

$$P_x = \frac{F_{рез} v_{рез}}{60 \eta_n},$$

где $F_{рез}$ — усилие резания, Н;

$v_{рез}$ — технологическая скорость резания, м/мин;

η_n — КПД механической передачи, принимаемый 0,7...0,85 для инструментов с вращательным движением рабочих органов и 0,4...0,5 для инструментов с возвратно-поступательным движением.

В свою очередь, усилие резания $F_{рез}$, Н, рассчитывают на основании эмпирической формулы:

$$F_{рез} = C_{рез} t X s Y,$$

где $C_{рез}$ — коэффициент, определяющий удельное сопротивление резанию, значение которого зависит от свойств обрабатываемого материала, Н/мм²;

t — глубина резания, мм;

s — подача режущего инструмента на один оборот, мм;

X, Y — опытные коэффициенты.

Значения $C_{рез}$, X, Y берут из справочной литературы по обработке материалов резанием.

Перегрузочная способность электродвигателей инструментов должна быть значительной, так как нагрузка на валу задается усилием работающего с инструментом и может превысить номинальную в несколько раз. При чрезмерной перегрузке двигатель останавливается, что снижает качество работы и производительность труда. Поэтому максимальный вращающий момент электродвигателей инструментов должен превышать номинальный в 3...3,5 раза.

Жесткость механических характеристик приводного электродвигателя должна обеспечить достаточное постоянство частоты вращения рабочего органа инструмента при переменной нагрузке. Поскольку в процессе работы инструменты подвергаются ударам, вибрациям и другим механическим воздействиям, электрооборудование инструмента должно обладать повышенной механической прочностью.

Двигатели ЭП электроинструмента. Исходя из перечисленных требований для привода электроинструментов применяют трехфазные асинхронные короткозамкнутые двигатели промышленной или повышенной частоты тока и однофазные универсальные коллекторные двигатели.

Асинхронные двигатели с одной парой полюсов, как правило, применяют, чтобы получить максимальную частоту вращения, которая при стандартной частоте 50 Гц равна 3000 об/мин. При такой частоте вращения трехфазные асинхронные двигатели имеют удельную мощность от 20 до 50 Вт/кг. Для увеличения удельной мощности применяют асинхронные двигатели, работающие на повышенной частоте тока, обычно 200 либо 400 Гц. При такой частоте тока и одной паре полюсов асинхронный двигатель развивает частоту вращения, равную соответственно 12 000 либо 24 000 об/мин. Удельная мощность этих двигателей увеличивается до 50... 150 Вт/кг. Недостаток электропривода инструмента на повышенную частоту тока — необходимость в преобразовательном устройстве для преобразования промышленной частоты 50 Гц в повышенную.

Однофазные асинхронные короткозамкнутые двигатели из-за присущих им недостатков, связанных в основном с малым значением пускового момента, малой перегрузочной способностью, низкой удельной мощностью, для привода электроинструмента не используют.

Универсальные коллекторные двигатели с последовательным возбуждением для привода ручного инструмента могут работать как от однофазной сети переменного тока, так и от сети постоянного тока. Они развивают частоту вращения до 12 000...16 000 об/мин. Удельная мощность инструмента с приводом от универсальных коллекторных двигателей составляет 45...65 Вт/кг. Основной их недостаток — наличие коллектора и токосъемных щеток, которые при работе загрязняются, искрят и подгорают, что затрудняет эксплуатацию такого электроинструмента в неблагоприятных условиях окружающей среды.

Применяют универсальные коллекторные двигатели для инструмента с относительно небольшой мощностью привода (до 1,5 кВт). Для коллекторных двигателей инструментов используют специальные металлографитные щетки, допускающие повышенные окружные скорости и большую плотность тока. На рисунке 94 приведена схема включения электропривода инструмента с универсальным коллекторным двигателем. Якорная обмотка двигателя М с обмоткой добавочных полюсов через коллектор и щетки последовательно соединены с двумя обмотками возбуждения ОВ1 и ОВ2.

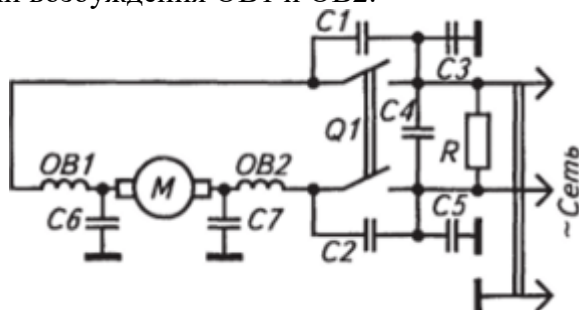


Рисунок 94 – Схема электропривода инструмента с универсальным коллекторным двигателем

К сети постоянного или однофазного переменного тока электродвигатель подключают выключателем Q1, который установлен на инструменте. Для того чтобы при отключении двигателя ликвидировать дугу, контакты выключателя шунтированы конденсаторами малой емкости C1 и C2 (примерно 0,1 мкФ). Конденсаторы C3, C4 и C5 образуют с разделенной на две части обмоткой возбуждения двигателя заградительный фильтр для подавления радиопомех, возникающих из-за коммутации электрической цепи на коллекторе при работе двигателя, которые возрастают с увеличением частоты вращения. Конденсаторы C6 и C7, включенные на корпус двигателя, способствуют уменьшению искрения на коллекторе, а конденсатор C4 — повышению коэффициента мощности двигателя. Его емкость достигает 0,5... 1 мкФ. Высокоомный резистор R небольшой мощности предназначен для разряда конденсаторов при отключении двигателя от сети.

Включают и выключают двигатели выключателями кнопочного или куркового типа, встроенными в корпус электроинструмента. К работе с электроинструментом допускают только подготовленный персонал, имеющий необходимые защитные средства (диэлектрические перчатки, изолирующие подставки и т. п.). Электропитание двигателей ручного инструмента осуществляют гибким шланговым кабелем, оснащенным штепсельной вилкой или штепсельным соединением с контактом для заземления корпуса инструмента.

Основные виды и характеристики электроинструмента, используемого в сельскохозяйственном производстве

Электроинструмент используют в металлообработке. Для механизации процесса рубки металлов применяют электрические рубильные молотки, у которых вращение вала электродвигателя преобразуется в возвратно-поступательное движение зубила, закрепленного на конце ударника. При резке металлов используют различные электрические ножовки, дисковые пилы, при резке листовой стали толщиной до 3 мм — электрические ножницы вибрационного типа, производительность которых достигает 3...6 м/мин. Они особенно удобны при резке по фигурному раскрою.

Для сверления и развертывания отверстий используют ручные сверлильные машины (электродрели) различных типов: легкие, средние и тяжелые для обработки отверстий диаметром соответственно до 9, 14 и 32 мм и угловые — для обработки отверстий в труднодоступных местах. Для механизации процесса нарезания резьбы применяют электрорезьбонарезатели, оснащенные специальными насадками. При шабрении используют электромеханические шаберы и электрические шабровочные головки.

В деревообработке наиболее распространены дисковые и цепные электропилы, электрорубанки, электрофрезы, электросверла, электродолбежники, сучкорезки. Для выполнения различных сборочных и вспомогательных работ используют гайковерты, лобзики, шуруповерты, электромолотки, трамбовки и многое другое. Для обработки почвы в сооружениях защищенного грунта используют электромотыги и электрофрезы, применение которых позволяет существенно облегчить и в несколько раз увеличить производительность труда по сравнению с ручной обработкой почвы.

Электродрели. Наиболее распространенный вид ручных машин с электрическим приводом — сверлильный (электродрели). Их основное исполнение — прямые односкоростные. Кроме того, имеются многоскоростные со ступенчатым и с плавным регулированием частоты вращения, ударно-вращательные (перфораторы). Действующим стандартом установлены сверлильные машины по максимальному диаметру сверла: 6, 8, 9(10), 13(14), 23 и 32 мм. В машинах до 13 мм сверло закрепляют в патроне, насаженном на укороченном конусе шпинделя. В машинах 14...32 мм сверло устанавливают во внутренний конус шпинделя. В ряде случаев предусматривают различные приспособления и насадки, которые расширяют область применения сверлильных машин. На рисунке 95 приведена одна из возможных типовых конструкций электродрели. При необходимости плавное регулирование частоты вращения электродрели достигают применением встроенного в ручку дрели тиристорного регулятора напряжения. При этом курок выключателя воздействует на переменный резистор, являющийся задатчиком выходного напряжения тиристорного регулятора, на выходное напряжение которого включен электродвигатель привода дрели.

Ударно-вращательные сверлильные машины предназначены для сверления отверстий в камне, кирпиче, бетоне. Производительность при обработке этих материалов возрастает, когда резание сочетается с ударным скалыванием.

Шлифовальные и режущие электроприводные инструменты. Их используют для обработки изделий шлифованием и полированием, строганием и для раскроя различных материалов с использованием соответствующих сменных насадок. Эти ручные машины, как правило, имеют защитный кожух, охватывающий режущий диск на дуге до 180° с указанием направления вращения шпинделя. Их выпускают на стандартизованные размеры режущих

дисков: 40, 63, 80, 100, 125, 150(180) и 200(230) мм. При этом скорость резания достигает 50...80 м/с.

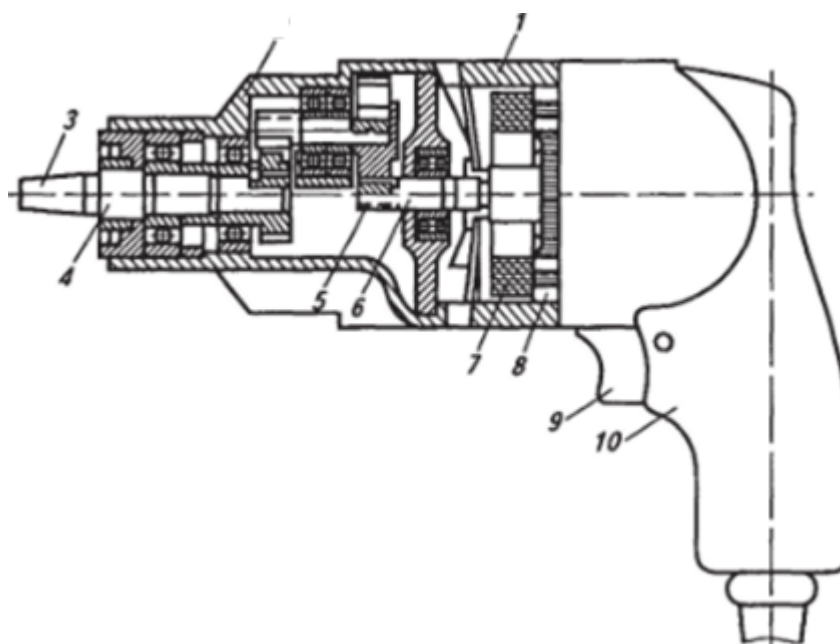


Рисунок 95 – Конструкция электродрели:

1 — корпус; 2,5— зубчатые пары редуктора; 3— конус; 4— рабочий вал; 6—ведущий вал; 7—статор; 8— ротор; 9— выключатель; 10— рукоятка

Высокочастотные стригальные электромашинки. Для электромеханизации трудоемкого процесса стрижки овец на овцеводческих фермах используют высокочастотные стригальные электромашинки типа МСУ-200 с приводом от трехфазного асинхронного двигателя частотой 200 Гц , напряжением 36 В и мощностью 115 Вт (рисунок 96).

При питании электропривода стригальной машинки используют шнур от машинного или полупроводникового преобразователя частоты. При этом ее режущий аппарат совершает 2200 двойных ходов в минуту. В частности, за счет этого обеспечивается производительная и качественная стрижка.

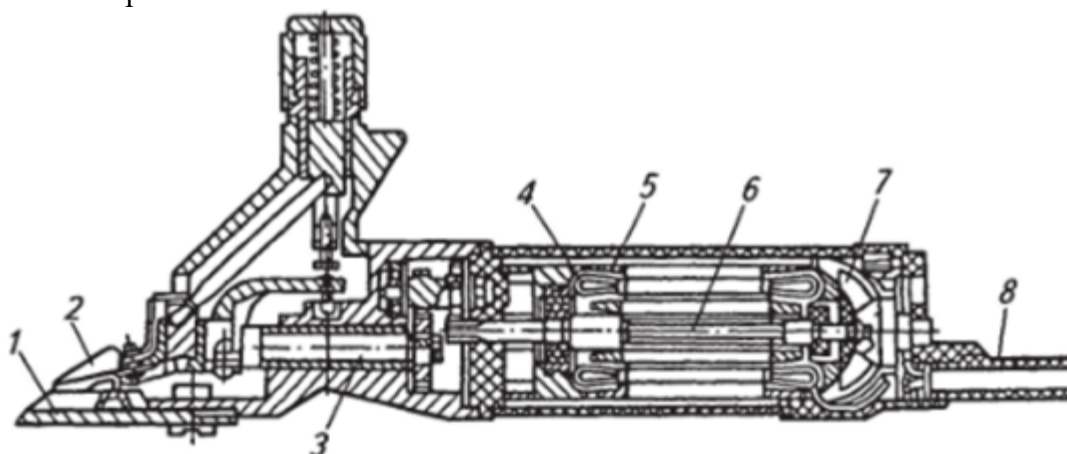


Рисунок 96 – Конструкция электроприводной машинки для стрижки овец типа МСУ-200:

1—гребенка; 2— нож; 3— вал привода; 4,5,6— корпус, статор и ротор электродвигателя с приводной шестерней; 7— вентилятор; 8— шнур питания

Л38 Основные сведения по технологии электромонтажных операций электропривода сельскохозяйственных машин и агрегатов

До начала монтажа электрических машин и многомашинных агрегатов общего назначения должны быть проверены наличие и готовность к работе подъемно - транспортных средств в зоне монтажа электрических машин (готовность подъемно-транспортных средств должна быть подтверждена актами на них испытание и приемку в эксплуатацию); подобран и испытан такелаж (лебедки, тали, блоки, домкраты); подобран комплект механизмов, приспособлений, а также монтажных клиньев и подкладок, клиновых домкратов и винтовых устройств (при бесподкладочном способе установки).

Монтаж электрических машин следует выполнять в соответствии с инструкциями предприятий - изготовителей. Электрические машины, прибывшие с предприятия - изготовителя в собранном виде, на месте монтажа перед установкой не должны разбираться.

Электродвигатели поступают на монтаж от заводов изготовителей в собранном виде и соответствующей упаковке. Их выгружают с помощью транспортных средств кранами (рисунок 97) и в исключительных случаях на катках по наклонным настилам, хранят в сухих вентилируемых помещениях. Части электродвигателей, подверженные коррозии, покрывают техническим вазелином или какой-либо другой смазкой, обертывают влагонепроницаемым материалом и защищают от механических повреждений.

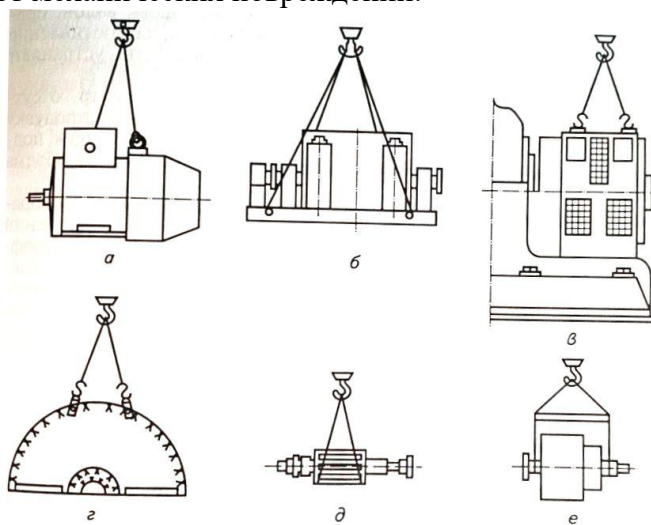


Рисунок 97 – Строповка электрических машин и их отдельных частей при перемещениях: а, б, в – собранных электрических машин, г – торцевого щита, д, е – ротора

Погрузочно – разгрузочные работы при монтаже оборудования обычно выполняют механизированным способом. При перемещении тяжестей необходимо соблюдать нормы подъема грузов (при возрасте старше 18 лет: женщины 10кг, мужчины 25кг). До начала работ проверяют исправность такелажа, расчищают пути перемещения груза, проверяют качество строповки. Подъем небольших двигателей (до 50кг) при установке их на фундаменты вручную выполняют не менее двух человек.

Предмонтажная подготовка электродвигателей.

Непосредственно перед началом монтажа проводят ревизию, регулировку и при необходимости сушку электродвигателей.

Ревизия. При ревизии проверяют крепление обмоток, наличие доски с выводными зажимами, исправность активной стали, отсутствие вмятин, задиров, ржавчины, состояние выводов обмоток, контактных колец у машин переменного тока, шеек валов, правильность соединений обмоток, размер зазоров, сопротивление изоляции обмоток. Обнаруженные мелкие дефекты устраняют собственными силами.

Ревизия двигателя включает в себя: внешний осмотр, отсутствие повреждений и загрязнений обмоток и корпуса; продувку двигателя сухим сжатым воздухом от пыли; снятие крышек, подшипников и проверку заполнения смазкой (не более 2/3 объема гнезда подшипника).

Регулировка. После ревизии выполняют регулировку. Проворачивая вал ротора рукой, убеждаются в свободном его вращении без стука и заеданий. Вал двигателя не должен иметь осевых люфтов, что говорит об исправности подшипников качения, на которых вращается ротор. Далее проводят осмотр состояния коробки и контактных выводов, измеряют сопротивление изоляции обмоток статора. Концы обмоток выводят в коробку выводов и обозначают соответствующими буквами.

Сопротивление изоляции обмоток статора друг относительно друга асинхронных двигателей напряжением до 1кВ измеряют мегомметром на 1кВ. для этого один провод мегомметра присоединяют к корпусу двигателя в свободном от краски месте, другим поочередно касаются поочередно выводов обмоток. Сопротивление межфазной изоляции должно быть не менее 0,5МОм при температуре воздуха 10...30⁰С. Если сопротивление близко к нулю, то изоляция обмотки повреждена и двигатель подлежит ремонту. Если сопротивление меньше 0,5 МОм, но не равно нулю, то изоляция обмотки увлажнена и такой двигатель нужно сушить.

Сушка. Способ сушки выбирают в зависимости от конструкции и мощности двигателя. Для двигателей мощностью до 15кВт рекомендуют применять обогрев обмоток инфракрасными облучателями или лампами накаливания. Лампы располагают вблизи обмоток или внутри статора, а двигатель закрывают огнестойким кожухом с отверстиями для выхода испаряющейся влаги. Двигатели мощностью 15...40 кВт сушат горячим воздухом от тепловоздуховки или, теплом, выделяемым в обмотках при прохождении тока. Для этого затормаживают ротор и включают напряжение питания, пониженное до 12...15% номинального напряжения двигателя. В обмотках устанавливают ток, равный 0,7 номинального тока двигателя; в процессе сушки следят, чтобы температура обмоток не превышала 80...90⁰С. Двигатели мощностью более 40 кВт сушат нагревом статора токами индукционных потерь (вихревыми токами). Режим сушки контролируют мегомметром и термометром.

Сопротивление изоляции измеряют через каждый час. Сушку считают законченной, если в течении 2...4 ч сопротивление изоляции не изменяется и равно не менее 1МОм. По результатам сушки составляют протокол.

Л39 Технические условия и техническая документация при выполнении монтажных работ электрифицированных машин и агрегатов

Монтаж электрических машин, электроприводов, трансформаторов и трансформаторных подстанций выполняется в соответствии с требованиями СНиП, ПУЭ и монтажных инструкций заводов-изготовителей. Перед монтажом следует убедиться в соответствии исполнения оборудования условиям его эксплуатации.

Перед началом монтажа следует иметь ясное представление о монтируемом оборудовании, объемах, характере и условиях монтажа. Необходимо подробно ознакомиться с проектом оборудования, данными машин и аппаратов (по каталогу или с натуры), техническими условиями для монтируемой аппаратуры, чертежами и нормами завода-изготовителя, требованиями заказчика, а также с соответствующими стандартами и нормами.

Способы монтажа чрезвычайно разнообразны ввиду очень большого диапазона мощностей, конструктивных решений, типов и форм исполнения оборудования. Кроме того, поскольку монтаж обычно производится у потребителя, а не в сборочных цехах завода, то организация и приемы монтажа отличаются своей спецификой. В частности, это проявляется в том, что работы по монтажу стремятся выполнять наиболее простыми средствами.

В России, как и в других индустриально развитых странах, функционируют специализированные организации по производству электромонтажных работ, обычно действующие по договорам подряда с заказчиком и построенные по территориальному признаку. Эти монтажные организации занимаются не только монтажными и пусконаладочными работами, но и разработкой отдельных научно-технических проектов,

изготовлением изделий и конструкций, не выпускаемых промышленностью серийно. На крупных промышленных предприятиях, особенно в периоды реконструкции производства, часто создаются собственные электромонтажные цехи или участки.

Для качественного выполнения электромонтажных работ при минимальных затратах труда и материальных ресурсов необходимо провести инженерную подготовку, включающую разработку:

- технического проекта на базе изучения проектно-сметной документации электрической части соответствующего энергетического объекта;

- экономического обоснования; проекта организации работ; проекта производства работ (ППР);

- необходимых чертежей, монтажных схем и технологических карт на проведение работ;

- сетевых графиков на проведение монтажных и пусконаладочных работ.

На основании ППР оформляются спецификации и заявки на необходимые монтажные механизмы, оборудование и приспособления, инвентарные устройства, инструменты и монтажные материалы, а также на электромонтажные изделия, электрические конструкции, блоки и узлы, подлежащие изготовлению на заводах и в центральных монтажно-заготовительных мастерских.

Кроме того, в процессе подготовки к монтажу и монтажу необходимо обеспечить:

- комплектование и своевременную доставку на объекты необходимых материально-технических ресурсов;

- контроль за поступлением материалов и комплектующих изделий в монтажно-заготовительные мастерские для изготовления монтажных блоков, узлов и нестандартного оборудования и их комплектование;

- контроль за своевременным исполнением заказов на монтажные блоки, узлы и нестандартное оборудование, а также за качеством работ монтажно-заготовительных мастерских;

- комплектование и доставку готовой продукции мастерских на монтажные объекты.

Инженерная подготовка производства выполняется специальными группами подготовки производства или инженерно-техническими работниками — прорабами и мастерами, на которых возложено руководство монтажными работами. На группу подготовки производства возлагаются также функции получения, проверки, обработки, учета и хранения проектной и сметной документации по всем объектам монтажа. В случае необходимости группой проводится корректировка проекта с целью максимального повышения уровня индустриализации монтажных работ, а также возможной замены нестандартных конструкций на типовые.

В качестве основного технического документа при производстве электромонтажных работ выступает утвержденный Проект электроустановки (ПЭ). В строгом соответствии с ним должны производиться все электромонтажные работы. Какие-либо изменения в проект могут быть внесены только по согласованию с проектной организацией — автором проекта. К главным документам, в соответствии с требованиями которых производятся работы, относятся действующие ПУЭ и строительные нормы и правила. На их основе разрабатываются ППР, монтажные инструкции и технологические карты, а также заводские инструкции на поставляемое оборудование и материалы. Выполнение электромонтажных работ на объектах без ППР не допускается.

Крупный проект производства работ по монтажу электрооборудования должен содержать:

- локальный сетевой график электромонтажных работ, увязанный с комплексным сетевым графиком строительства объекта;

- график движения рабочей силы;

- строительный генеральный план энергетического объекта с расположением постоянных и временных транспортных путей, схем энергоснабжения, водоснабжения,

мастерских, складов, бытовых помещений и других сооружений и устройств, необходимых для нужд электромонтажа;

ведомость физических объемов электромонтажных работ;

укрупненные калькуляции трудовых затрат;

ведомость основного электротехнического оборудования с указанием сроков комплектации оборудования;

ведомость основных вспомогательных материалов; ведомость конструкций и изделий, подлежащих изготовлению

на заводах монтажных изделий или в монтажно-заготовительных мастерских;

ведомость монтажных узлов и блоков, подлежащих предварительной укрупненной сборке в монтажно-заготовительных мастерских; ведомость монтажных машин, механизмов, аппаратов, приспособлений, инструментов и инвентарных устройств;

технологические карты на работы, выполняемые по новой технологии, не получившей широкого распространения;

схемы такелажа крупногабаритного и тяжеловесного оборудования;

решения по технике безопасности, требующие проектной разработки;

краткую пояснительную записку, содержащую необходимые обоснования принятых в ППР основных решений и методов производства работ.

Объем электромонтажных работ при составлении ППР определяется по рабочим чертежам и сметам, а потребность в материальных ресурсах — по спецификациям, составленным по рабочим чертежам и действующим нормативным документам.

Монтажные инструкции — это директивные документы, регламентирующие технологию выполнения работ в общем виде. Детально работы описываются в технологических картах трудовых процессов.

Технологические карты предназначены для обеспечения передовой технологии монтажного процесса при выполнении работ по монтажу отдельных элементов электротехнического узла или отдельных узлов электротехнических устройств. Технологические карты на сложные работы и работы, выполняемые новыми методами, не получившими широкого распространения, должны разрабатываться в составе ППР.

Технологические карты содержат как технологическую последовательность выполнения работ, так и описание приемов и методов труда, перечень механизмов, приспособлений и инструмента, график трудового процесса, калькуляцию затрат труда, схемы организации рабочих мест, число необходимых работников определенной квалификации, нормы времени и расценки на выполнение работ. Таким образом, в технологических картах должны быть разработаны следующие разделы:

технико-экономические показатели монтажных работ (физические объемы работ, трудоемкость работ в человеко-днях, выработка на одного рабочего в день, затраты машино-смен и энерго- ресурсов);

организация и технология выполнения монтажных процессов (схема организации работ и рабочих мест с указанием фронта работ, расположение частей и деталей подлежащего монтажу электрооборудования, расположение и порядок перемещения машин и механизмов, основные указания о последовательности и методах выполнения работ, специальные требования по технике безопасности);

организация и методы труда рабочих (количественный и квалификационный состав бригад с учетом достигнутого и возможного перевыполнения норм, график выполнения работ с указанием трудоемкости на единицу объема и на весь объем работ);

материально-технические ресурсы (ведомость необходимых монтажных материалов, ведомость монтажных изделий и конструкций, изготавливаемых на заводах монтажных изделий и в центральных монтажно-заготовительных мастерских, ведомость машин, механизмов, приспособлений и инструмента);

калькуляция трудовых затрат.

В электропромышленности для монтажа оборудования разработаны типовые технологические карты, которые значительно облегчают работу по составлению подобных документов и способствуют внедрению единых форм ведомостей, графиков и таблиц.

Вся проектная техническая документация анализируется заказчиком, который перед передачей ее монтажной организации для производства работ обязан поставить на ней подпись и штамп «Разрешается к производству работ».

Любые виды электромонтажных работ выполняются в два этапа: 1) заготовительные работы в мастерских и подготовительные непосредственно на объектах; 2) электромонтажные работы на объекте. Перед началом электромонтажных работ на объекте обычно проводятся:

- подготовительные работы по освоению монтажной площадки с организацией электромонтажного участка;

- подготовка производственных, складских, бытовых помещений и монтажной площадки (к помещениям и площадкам, необходимым для нормальной работы электромонтажного участка, относятся приобъектная мастерская, материальный склад, склад для горюче-смазочных материалов, инструментальная кладовая, навесы и открытые площадки для хранения металла, механизмов, монтажных приспособлений и инвентарных устройств, кабельное поле, бытовые помещения и помещение для конторы участка);

- организация временного энергоснабжения объектов электромонтажа;

- мероприятия по технике безопасности, охране труда и противопожарной безопасности.

При проведении электромонтажных работ необходимо учитывать не только основные правила устройства энергетических сетей и электропроводок, но и природные и климатические условия местности, виды строений и характеристики помещений, где этот монтаж осуществляется.

Общие требования ко всем помещениям для электрооборудования: помещение должно быть сухим, светлым, прохладным, чистым, свободным от пыли и паров; должно допускать возможность легко внести оборудование при монтаже и вынести его при демонтаже; должна существовать возможность монтировать аппаратуру без снятия и повреждения другого оборудования, находящегося в этом же помещении; должен быть доступ для обслуживания и эксплуатации.

К началу монтажа электрического и электромеханического оборудования строительные работы в помещении, включая отделку, должны быть закончены, так как цементная пыль вредна для оборудования — разъедает обмотки, засоряет подшипники, загрязняет провода, шины, контакты, изоляторы. Если нет возможности отложить монтаж электрооборудования до окончания строительных работ, то монтируемые или уже установленные устройства должны быть отгорожены стенкой или надежно укрыты.

Л40 Выполнение работ по установке электродвигателей на фундаменте, салазках, раме, кронштейнах. Соединение двигателя с рабочей машиной. Выверка установки: соосность, центрование. Подключение к питающей сети

Электрические машины и электроприводы малой мощности обычно устанавливаются на металлических рамах или на технологическом оборудовании (станках, конвейерах и др.), а средней и большой мощности — на бетонных или железобетонных фундаментах. Фундамент должен быть достаточно массивным, чтобы воспринимать статические и динамические нагрузки от работающего оборудования, не допуская сдвигов и вибраций при его работе. Строители должны нанести на фундаменты их главные (продольную и поперечную) оси и отметку верхней поверхности фундамента относительно нулевого репера.

Перед монтажом следует проверить готовые фундаменты на их соответствие проектной документации: правильность положения фундамента по отношению к отдельным

элементам конструкции здания и другим фундаментам, а также точность размеров фундамента по основным осям.

Затем приступают к разметке главных осей фундамента. Для этого используются оседержатели (рисунок 98), состоящие из стойки 1, закрепленной на ней скобы 3, в которой на оси крепится несущий ролик 5. Через ролик перебрасывается стальная струна 6 с грузом 2, по которой можно перемещать нить 7 с отвесом 8. Схема разметки главных осей показана на рисунке 99. После разметки главные оси наносят на фундамент, используя для отметок нити с отвесами.

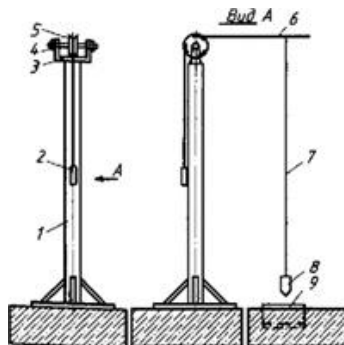


Рисунок 98 – Оседержатель: 1 — стойка; 2 — груз; 3 — скоба; 4 — гайка; 5 — несущий ролик; 6 — струна; 7 — нитка; 8 — отвес; 9 — осевая плашка

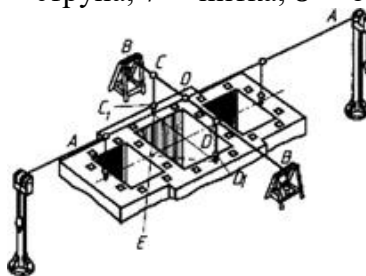


Рисунок 99 – Схема разметки главных осей фундамента: А—А — главная продольная ось; В—В — главная поперечная ось

По нанесенным на фундамент осям проверяют размеры колодцев под фундаментные болты (рисунок 100), а также правильность их выполнения и расположения по отношению к главным осям.

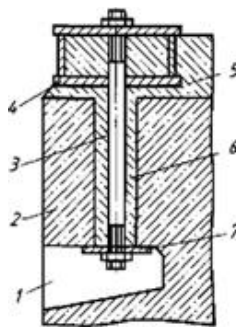


Рисунок 100 – Колодец в фундаменте для установки фундаментных болтов:
1 — ниша; 2 — фундамент; 3 — фундаментный болт; 4 — фундаментная плита; 5 — цементная подливка; 6 — колодец; 7 — анкерная плитка

Правильное выполнение колодцев показано на рисунке 101, а. Далее проверке подлежит горизонтальность фундаментов (их верхняя плоскость) и их высота.

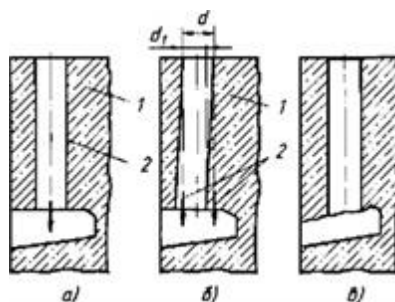


Рисунок 101 – Правильное (а) и неправильное (б, в) выполнение колодцев под фундаментные болты: 1 — фундамент; 2 — отвесы

Горизонтальность фундаментов определяется с помощью уровней или нивелира. На практике используют гидростатический уровень (рисунок 102), рамный прецезионный уровень (рисунок 103), а также уровень с микрометрическим винтом. При больших размерах фундаментов целесообразно применение гидростатического уровня и нивелиров, при малых — рамного прецезионного уровня. Уровень с микрометрическим винтом используется обычно для выверки линии валов и их уклонов.

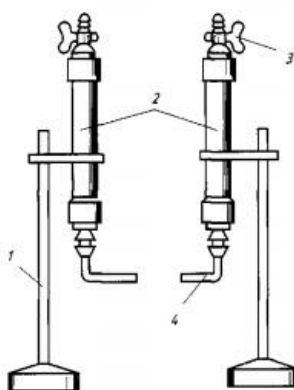


Рисунок 102 – Гидростатический уровень: 1 — подставки; 2 - стеклянные трубки (колонки); 3 — краник; 4 - соединительная резиновая трубка

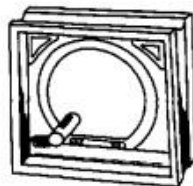


Рисунок 103 – Рамный прецезионный уровень

Перед началом монтажа проводят проверки: соответствия машины ее проектной документации; комплектности машины и сохранности крепежных деталей; появления возможных повреждений за время транспортировки и хранения путем предварительного осмотра после расконсервации; состояния подшипников, коробки выводов, коллектора, контактных колец, щеточного механизма и др.; сопротивления изоляции обмоток, подшипников и щеточных траверс. Если сопротивление изоляции обмоток меньше минимально допустимого, проводят сушку обмоток; воздушного зазора между статором и ротором, а также зазоров в подшипниках скольжения и уплотнений валов. Осуществляется с помощью пластинчатых (рисунок 104) и клиновых (рисунок 105) щупов. Проверка воздушного зазора возможна лишь для машин открытого и защищенного исполнений, поскольку она проводится без разборки машины; на отсутствие задевания ротора о статор. Ротор машины должен свободно вращаться в подшипниках при его повороте рукой (при мощности до 10... 15 кВт) или рычагом (для машин большей мощности).

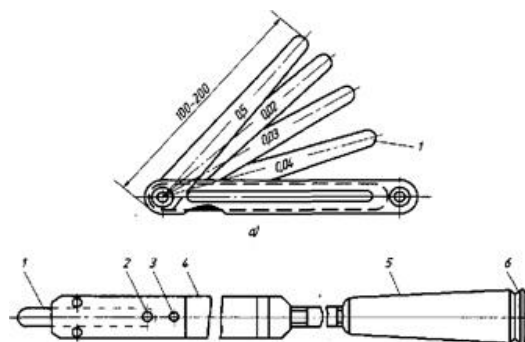


Рисунок 104 – Пластинчатые щупы (а — раздвижной; б — со сменными пластинами): 1 — калиброванные пластины; 2 — штифт; 3 — винт; 4 — накладка-прижим; 5 — ручка; 6 — пробка

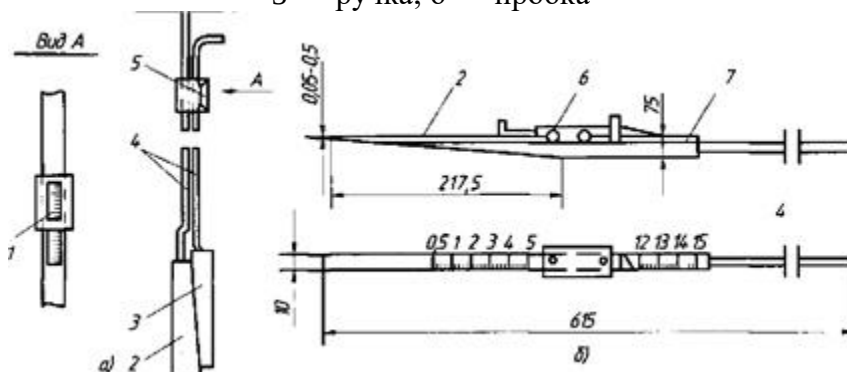


Рисунок 105 – Специальный (а) и клиновой (б) щупы: 1 — нониус; 2, 3 — клинья; 4 — стержни; 5 — обойма; 6 — движок; 7 — указатель

Выявленные в процессе осмотра неисправности следует устранить до начала монтажа. Если нет уверенности в том, что во время хранения и транспортировки машина осталась неповрежденной, проводят ее полную разборку с ревизией отдельных узлов. При необходимости заменяют смазку в подшипниках и затягивают болтовые соединения.

В зависимости от мощности и конструктивного исполнения электрические машины могут поступать на место монтажа в собранном или разобранном виде. В первом случае по известным установочным размерам машины заранее изготавливают крепежные детали и конструкции. Машины устанавливаются на металлических рамах или фундаментах (общих с приводным двигателем или с приводом или отдельных от них). Поскольку установочные размеры имеют допуски, указанные в чертежах, перед монтажом следует заготовить комплект прокладок, перекрывающий поле допусков.

Монтаж машин малой и средней мощности. Машины небольшой мощности соединяются с приводным механизмом с помощью муфт различного типа и зубчатых, ременных или фрикционных передач. На рисунке 106 показаны наиболее часто встречающиеся типы муфт.

При соединении с помощью муфт на концы валов соединяемых машин насаживают полумуфты, предварительно проверив цилиндричность и соответствие наружного диаметра конца вала машины и внутреннего диаметра полумуфты с помощью измерительных скоб (рисунок 107) и нутромеров (рисунок 108). Величина натяга при посадке указывается на чертеже, а сама посадка осуществляется в горячем состоянии.

При установке валы сочленяемых машин могут иметь радиальное и угловое смещение (рисунок 109), что повлечет за собой соответствующее смещение полумуфт (рисунок 110). При работе агрегата это приведет к повышенным вибрациям и, следовательно, к быстрому износу подшипников, муфт и болтовых соединений. Поэтому сочленяемые машины должны быть установлены таким образом, чтобы торцевые поверхности полумуфт были параллельны, а оси валов соединяемой машины и механизма находились на одной линии.

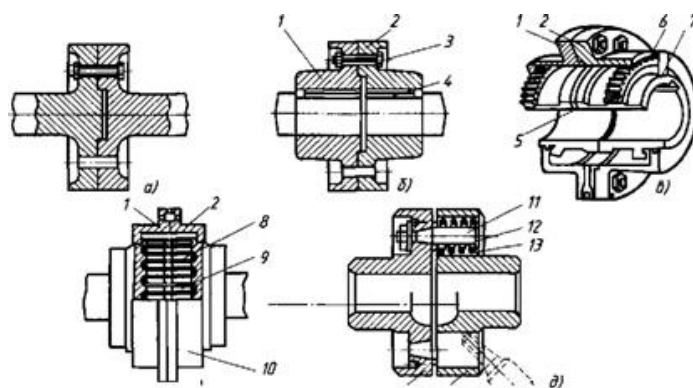


Рисунок 106 – Соединение валов (а) и муфт (б — жесткой поперечно-свертной; в — зубчатой; г — полужесткой зубчато-пружинной; д — упругой втулочно-пальцевой): 1,2 — полумуфты; 3 — точеный болт; 4 — шпонка; 5, 7 — ступицы; 6 — зубчатый венец; 8 — ленточная пружина; 9 — зубья; 10 — кожух; 11 — палец-болт; 12 — кожаная шайба; 13 — разрезное кольцо

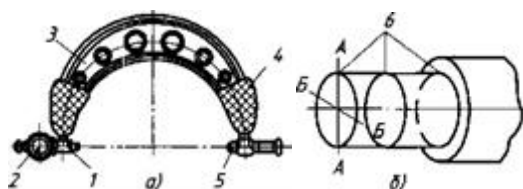


Рисунок 107 – Скоба с отсчетным устройством (а) и определение посадочных размеров конца вала (б): 1,5 — подвижная и переставная пятки; 2 — отсчетное устройство; 3 — корпус; 4 — теплоизоляционная накладка; 6 — места измерений

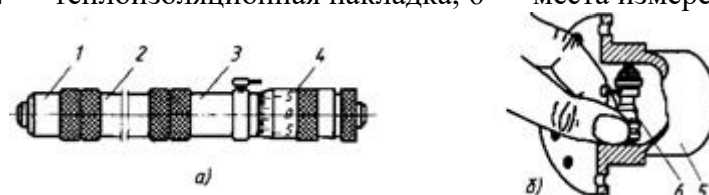


Рисунок 108 – Микрометрический нутромер (а) и определение им посадочных размеров конца вала (б): 1- измерительный наконечник, 2 – удлинитель, 3 – трубка, 4 – микрометрическая головка, 5 – полумуфта, 6 – нутромер

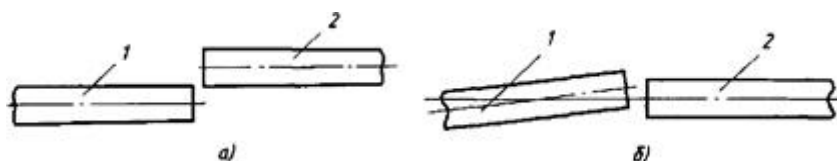


Рисунок 109 – Смещение валов: а — боковое (радиальное); б — угловое (осевое)

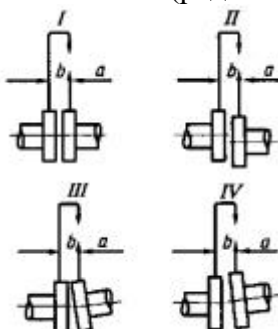


Рисунок 110 – Взаимные положения валов машин, соединяемых с помощью полумуфт: I — валы расположены на одной прямой, их оси совпадают; II — оси валов параллельны; III — центры валов совпадают, их оси расположены под углом; IV — центры валов сдвинуты, их оси расположены под углом

Для этого проводят центровку валов с помощью центровочных скоб различной конструкции. Некоторые из них приведены на рисунках 111 – 113. Контроль точности центровки осуществляется по величине радиальных а и осевых в зазоров в четырех точках, равномерно расположенных по окружности муфты, при совместном повороте соединяемых валов на угол 0, 90, 180 и 270 градусов. После получения удовлетворительных отклонений (каждый тип муфт имеет свои допустимые отклонения в радиальных и осевых зазорах) окончательно закрепляют машину на фундаменте и после повторной проверки центровки валов соединяют полумуфты между собой.

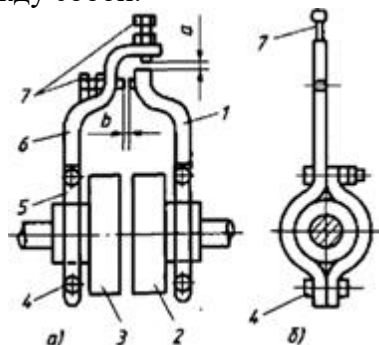


Рисунок 111 – Центровка валов с помощью радиально-осевых скоб: 1,6 —внутренняя и наружная скобы; 2,3 — полумуфты; 4, 7 — болты; 5 — хомут

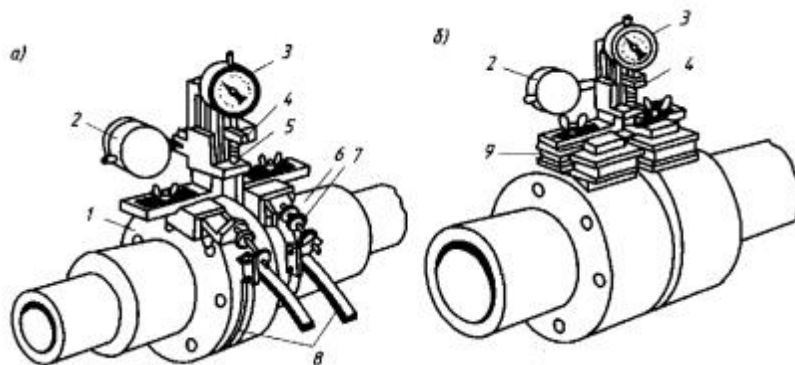


Рисунок 112 – Приспособления с ленточным (а) и электромагнитным (б) прижимами: 1, 6 — полумуфты; 2, 3 — индикаторы; 4 — держатель; 5 — измерительный стержень; 7 — натяжное устройство; 8 — стальная лента; 9 — электромагнит

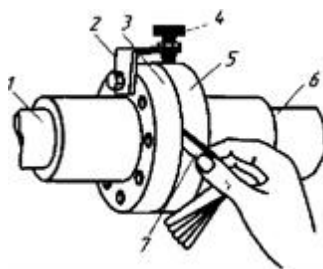


Рисунок 113 – Центровка валов способом обхода одной точкой: 1,6— валы; 2 — скоба; 3, 5 — полумуфты; 4 — измерительный болт; 7— шуп

При использовании цепной или ременной передачи необходимо совместить средние линии звездочек или шкивов, установленных на ведомом и ведущем валах, и обеспечить натяжение цепи или ремня. Средние линии звездочек и шкивов, как правило, совмещают с помощью натянутой параллельно им струны с использованием обычного измерительного' инструмента. Для обеспечения требуемого натяжения машина должна иметь возможность перемещаться в плоскости, образованной осями вращения соединяемых машин. В ряде случаев для создания натяжения используются специальные натяжные ролики.

При использовании цилиндрической зубчатой передачи необходимо обеспечить параллельность валов соединяемых машин и одинаковый зазор между зубьями сопрягаемых шестерен по всей длине зуба. Допуск на несоосность валов в этом случае обычно не превышает 0,5. Контроль несоосности проводится с помощью индикаторов, способом «обхода одной точкой». После закрепления электрической машины на фундаменте ее корпус заземляется.

Монтаж машин большой мощности. Особенность монтажа крупных электрических машин, поступающих в собранном состоянии, состоит в том, что он начинается с установки отдельной фундаментной плиты, на которую устанавливают машину, после чего проводят центровку валов. Ряд машин имеет на конце вала фланец, через который она соединяется с механизмом. Кроме того, при большой длине L ротора под действием его веса P происходит прогиб вала в вертикальной плоскости (рисунок 114). Поэтому при горизонтальном положении соединяемых машин плоскости полумуфт (или фланцев) оказываются расположены под углом друг к другу, как показано на рис. 115, а.

Центровка валов в этом случае заключается в такой установке соединяемых валов, при которой их общая линия представляет в вертикальной плоскости плавную кривую (рис. 115, б), а в горизонтальной — прямую линию. При центровке торцы сопрягаемых полумуфт (или фланцев) устанавливаются параллельно, а осевые линии валов должны быть продолжением одна другой и совпадать у сопрягаемых полумуфт (фланцев). Для этого путем установки прокладок под лапы корпуса добиваются равенства углов наклона шеек вала к горизонтальной линии. Угол наклона проверяется по уровню, установленному горизонтально на выходном конце вала.

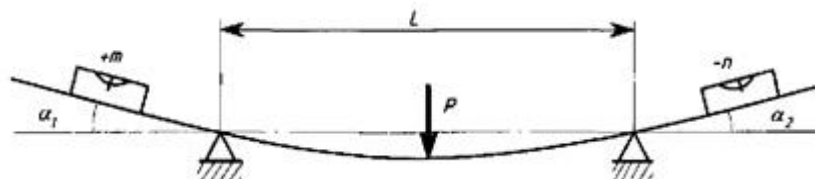


Рисунок 114 – Схема измерения уклонов шеек вала

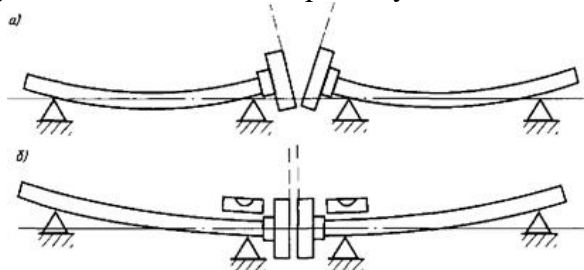


Рисунок 115 – Положение валов, соединяемых с помощью полумуфт: а — до выверки; б — после выверки линии вала

Если крупная электрическая машина поступает на сборку в разобранном состоянии (статор и ротор отдельно), то ее собирают в такой последовательности. Сначала на монтажной площадке размещают и осматривают все узлы машины, затем подготавливают фундамент (разметка, колодцы под фундаментные болты и пр.), устанавливают и выверяют фундаментную плиту, монтируют стояковые подшипники, устанавливают статор. Затем в него вводится ротор (см. рисунок 116), а шейки ротора устанавливаются на подшипники.

Центровка валов осуществляется так же, как и в предыдущем случае, но прокладки устанавливаются под корпуса подшипников. После центровки закрепляют корпуса машины и подшипников, пригоняют вкладыши подшипников скольжения и их уплотнения, выверяют зазоры в подшипниках и между статором и ротором электрической машины. Устанавливают дополнительное оборудование, необходимое для работы машины (системы охлаждения, смазки подшипников и т.д.), производят монтаж и регулировку токосъемных механизмов, соединение электрических цепей, заземляют корпус машины.

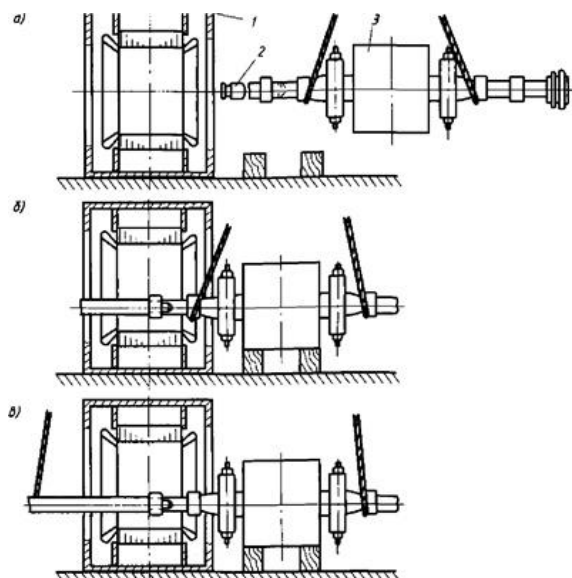


Рисунок 116 – Схема ввода ротора в статор с использованием удлинителя (а — начало ввода; б — установка ротора на шпалы; в — закрепление стропа на удлинителе): 1 — статор; 2 — удлинитель вала; 3 — ротор

При отсутствии грузоподъемных механизмов в помещении сборки электрической машины для ввода ротора в статор можно использовать деревянные стойки 1, на которых установлена балка 2 (рисунок 117).

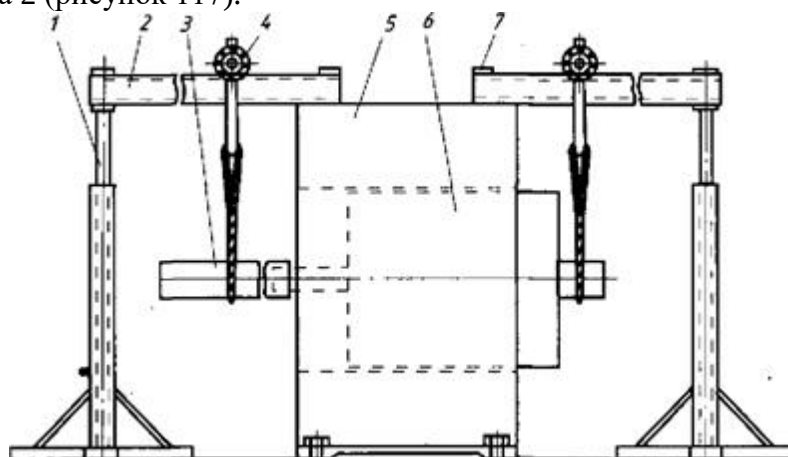


Рисунок 117 – Схема ввода ротора в статор с применением удлинителя и специального приспособления: 1 — стойка; 2 — балка; 3 — удлинитель; 4 — грузовой ролик; 5 - статор; 6 — ротор; 7 — накладка

Л41 Наладка электропривода перед пуском. Содержание и порядок проведения измерений и испытаний, сдача в работу

Наладка (пусконаладочные работы) - это комплекс работ по пуску, испытанию и доведению оборудования и средств автоматизации до режима нормальной их работы. Эти работы должны обеспечить надежное и бесперебойное действие систем автоматизации при выполнении ими функций контроля, управления и регулирования объектов управления в режимах, заданных проектом и службами эксплуатации предприятия.

Эксплуатация — это совокупность подготовки и использования системы автоматизации по назначению, ее технического обслуживания, хранения и транспортировки.

Подготовку и эксплуатацию приборов, средств и систем автоматизации следует начинать одновременно с монтажными работами по установке этих средств согласно проекту. Общее наблюдение за ходом и качеством выполнения монтажных работ и их приемка должны быть поручены представителям службы эксплуатации предприятия. Такая

совместная работа работников службы эксплуатации с монтажниками способствует повышению качества монтажных работ и сокращению объема пусконаладочных работ.

Проведение наладочных работ состоит из следующих этапов:

- анализа технической документации;
- определения характеристик установленного оборудования;
- стендовой проверки средств автоматического регулирования;
- наладки регуляторов;
- составления технического отчета.

Анализ технической документации на установку и средства автоматизации проводится с целью ознакомления с параметрами объектов и всей системы в целом, с принятой проектом схемой автоматизации, а также для оценки правильности выбора средств автоматизации. В процессе анализа уточняются задачи автоматического регулирования. Особое внимание следует обратить на соответствие проектной схемы автоматизации технологическим требованиям объекта.

Характеристики оборудования (насосов, вентиляторов, компрессоров, водонагревателей и т.д.) определяются в процессе натурного обследования по табличкам, имеющимся на оборудовании, и сравниваются с проектными данными. При несоответствии фактических и проектных данных составляется акт. Дальнейшие работы проводятся только после согласования с заказчиком возникших разногласий с проектной организацией и получения от нее разрешения на продолжение работ. Кроме того, определяется наличие, достаточность и правильность установки КИПиА (контрольно-измерительных приборов и аппаратуры).

По результатам анализа технической документации и натурного обследования составляется заключение о возможности проведения наладочных работ. При необходимости намечаются и выполняются мероприятия по доработке схемы автоматизации.

Наладка электропривода установки заключается в наладке преобразователя (параметрировании регуляторов и т.д.) и программируемого, проверке работоспособности электродвигателей и коммутирующей аппаратуры. Первоначально производится стендовая проверка оборудования. Наладка электропривода производится в режиме ручного управления, наладка системы автоматического управления - первоначально производится отдельно от электропривода. После монтажа установки необходимо проверить правильность установки оборудования (электродвигателей, автоматики и силовой части), а также работоспособность установки в целом. При возникновении неисправностей необходимо пользоваться документацией на преобразователь частоты и программируемый контроллер.

В практике встречаются электродвигатели с потерянными обозначениями выводов фаз обмоток. Это в ряде случаев — причина выбрасывания электродвигателей вполне исправных и работоспособных. Начала и концы фаз обмотки электродвигателя при утраченной маркировке можно определить способом открытого треугольника. Эту работу выполняют в два этапа. Сначала при помощи контрольной лампы определяют принадлежность проводов, выходящих из двигателя к каждой из трех фаз. Для этого к одному из зажимов сети присоединяют любой из шести выводов обмотки (рисунок 118, а), а к другому зажиму сети — провод от лампы накаливания. Включают рубильник и вторым проводом, идущим от лампы накаливания, прикасаются поочередно к выводам статорной обмотки до тех пор, пока лампа не загорится. Это соответствует случаю, когда оба вывода идут от одной фазы двигателя. Выводы статорной обмотки нужно пометить, например, перевязать их. Затем операцию повторяют до завершения попарного распределения всех выводов.

Далее обмотки электродвигателя соединяют в открытый треугольник, как показано на рисунке 118, б. Параллельно каждой фазе обмотки включают вольтметр. При подаче напряжения в данную цепь вольтметры покажут одинаковое напряжение, если фазы обмотки электродвигателя включены согласно, т. е. начало—конец—начало—конец—начало—конец. Если одна из фаз обмотки оказалась включенной встречно, то вольтметр,

подключенный к ее выводам, покажет наибольшее напряжение по сравнению с показаниями двух других вольтметров. Руководствуясь показаниями вольтметров, можно сразу на выводы фаз обмотки надеть соответствующие, бирки с обозначениями начал и концов.

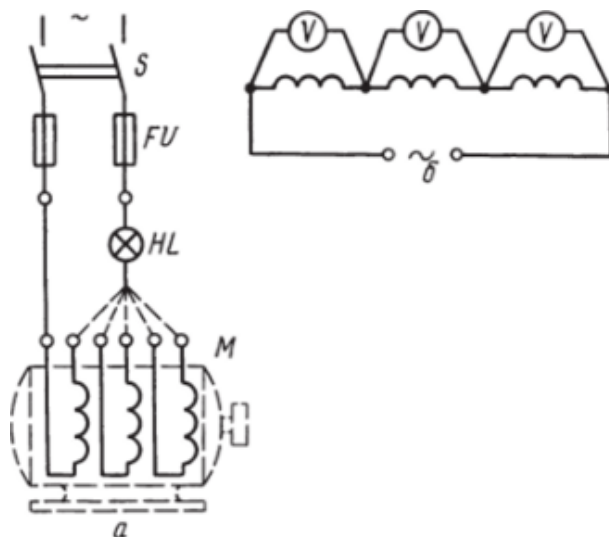


Рисунок 118 – Схема включения приборов при выполнении маркировки фаз трехфазного электродвигателя: а — определение принадлежности выводов к трем фазам; б — соединение фаз в открытый треугольник

Для проверки правильности выполненной маркировки обмотки электродвигателя соединяют в треугольник и включают в сеть.

Перед установкой трехфазного асинхронного электродвигателя проверяют сопротивление изоляции его обмоток статора относительно корпуса.

У электродвигателя с фазным ротором кроме определения сопротивления изоляции обмоток статора по отношению к земле и одной к другой измеряют сопротивление изоляции по отношению к корпусу. При этом между кольцами и щетками устанавливают изолирующие прокладки.

Для измерения сопротивления изоляции обмоток электродвигателей используют мегомметры. Конструктивно они оформлены в пластмассовых брызгонепроницаемых корпусах и состоят из генератора постоянного тока, обычно на 500 или 1000 В с ручным приводом, и измерительного механизма ИМ (рисунок 119). Последний выполнен в виде двухрамочного логометра магнитоэлектрической системы, т. е. прибора, показания которого почти не изменяются при колебаниях напряжения на зажимах генератора при вращении рукоятки.

Неподвижная часть прибора — постоянный магнит. Подвижная часть — две жестко скрепленные между собой под углом рамки со стрелкой.

Рабочая (токовая) рамка прибора имеет небольшое число витков изолированного провода с большой площадью поперечного сечения. Она включается в цепь генератора последовательно с измеряемым сопротивлением.

Противодействующая рамка имеет большое число витков тонкого изолированного провода. Она включена под напряжение, развиваемое генератором. Электрический ток подводится к рамкам с помощью безмоментных пружин, поэтому стрелка при неработающем мегомметре может находиться в произвольном положении.

Взаимодействие токов, протекающих по обмоткам рамок логометра, с полем постоянного магнита создает два вращающих момента, пропорциональные протекающим токам. Суммарный вращающий момент отклоняет подвижную часть и связанную с ней указательную стрелку на угол, пропорциональный значению сопротивления изоляции.

Шкала прибора состоит из двух частей, проградуированных в МОм и кОм.

Для переключения с одного предела измерения на другой служит специальный переключатель SA. В тех случаях, когда надо исключить возможные погрешности от токов

утечки и шунтирующего влияния сопротивления изоляции, используют мегомметр с зажимами Л (линия), З (земля) и Э (экран).

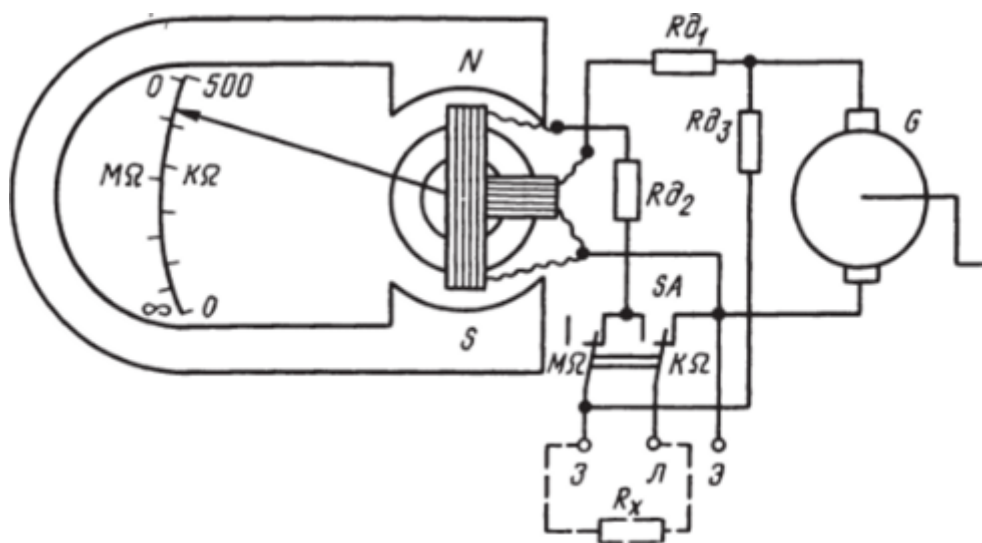


Рисунок 119 – Устройство и схема включения мегомметра

Перед измерениями прибор устанавливают в рабочее положение (горизонтальное), отстегивают ремennую ручку, открывают крышку прибора и откидывают приводную рукоятку.

Исследуемые объекты к мегомметру подключают следующим образом: зажим Л — к каждой обмотке — фазе (поочередно), зажим З — к корпусу электродвигателя (земле). При измерении сопротивления изоляции между обмотками выводы мегомметра подключают к двум обмоткам.

Переключатель ставят в положение кОм или МОм в зависимости от измеряемого значения сопротивления изоляции. После этого начинают вращать рукоятку с частотой 120 мин⁻¹ и отсчитывают показания прибора.

Перед началом измерений необходимо убедиться в том, что прибор исправен. Если стрелка прибора при вращении рукоятки генератора с частотой 120 мин⁻¹ (измеряемая установка к прибору не подключена) остановится на отметке ∞ (бесконечно большое сопротивление) при положении переключателя МОм, а при переводе переключателя в положение кОм стрелка прибора переместится на отметку 0 шкалы МОм, то это означает, что прибор исправен. Если стрелка не занимает указанных положений, прибор считается неисправным.

Перед выполнением измерений необходимо убедиться, что с измеряемых участков электрической сети или обмоток испытуемых электродвигателей напряжение снято и не может быть подано включением коммутационного аппарата, например рубильника.

При измерении сопротивления изоляции обмоток электродвигателей может оказаться, что обмотки очень хорошо изолированы одна от другой, при этом мегомметр покажет ∞.

Тема 1.6. ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ

Л42 Общие вопросы электротермии. Электрический нагрев

Электротермия (от электро... и греч. *thérme* - жар, тепло) – прежде всего, это:

прикладная наука о процессах преобразования электрической энергии в тепловую энергию;

раздел электротехники, рассматривающий вопросы проектирования, изготовления и эксплуатации электротермических установок;

отрасль энергетики, охватывающая вопросы потребления электрической энергии для нагрева, фазового преобразования материала или сырья, обогрева в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве, медицине и быту;

совокупность электротехнологических процессов с использованием теплового действия электрической энергии в различных отраслях народного хозяйства.

В электротермии в зависимости от способа преобразования электрической энергии в тепловую различают: нагрев сопротивлением, дуговой нагрев, индукционный нагрев, диэлектрический нагрев, электронный нагрев, нагрев излучением оптического квантового генератора (лазера), плазменный нагрев, термоэлектрический нагрев.

Понятие «электротермические установки» (или «электротермическое оборудование») включает в себя следующее электротехнологическое оборудование: электрические печи, плазменные реакторы, электрические нагревательные установки, приборы промышленного, коммунального и бытового назначения и т.п.

Применение электрической энергии для генерирования теплоты обеспечивает: возможность концентрации большой энергии в малых объемах, вследствие чего могут быть получены высокие температуры, недостижимые при других способах теплогенерации; возможность иметь большие скорости нагрева и компактность конструкции электротермических установок; возможность регулировать значения температуры и зоны её распределения в рабочем пространстве электротермической установки, что позволяет осуществлять равномерный нагрев в больших объёмах материалов и изделий (при прямом электронагреве) или избирательный нагрев (при поверхностной закалке, при зонной плавке), создавая при этом благоприятные условия для автоматизации теплового и технологического процессов; возможность создания в рабочем пространстве электротермических установок вакуума, что позволяет использовать давление как фактор регулирования параметров технологического процесса (вакуумные или компрессионные электрические печи), применять контролируемые (инертные или защитные) атмосферы для защиты нагреваемых материалов и изделий от вредных воздействий воздуха (в частности, уменьшение угара); отсутствие дымовых газов (продуктов сгорания топлива), что позволяет увеличить коэффициент использования тепла – КПД электротермических установок, обуславливая чистоту их рабочих поверхностей; транспортабельность и простоту подачи электрической энергии (по линиям электропередачи).

Более интенсивное и широкое развитие электротермии сдерживается из-за существующих недостатков, присущих такому способу генерации теплоты: более высокая стоимость эксплуатации электротермических установок по сравнению с другими типами нагревателей и печей; высокая стоимость изготовления, комплектации и эксплуатации электротермического оборудования, а следовательно, большие капитальные затраты, более высокие требования к технической культуре производства, большой расход дорогих и дефицитных материалов на изготовление электротермического оборудования; меньшая надёжность, долговечность и ремонтпригодность электротермических установок; зависимость работы электротермической установки от режима работы энергосистемы.

На долю электротермии приходится до 15% от всей потребляемой промышленностью электрической энергии. На базе электрического нагрева созданы и развиваются производства специальных сталей, ферросплавов, цветных и лёгких металлов и сплавов, твёрдых сплавов, редких металлов, карбида кальция, фосфора и других продуктов; осуществляется обработка

металлов давлением и их термическая обработка; реализуются вопросы электрификация быта.

Агропромышленный сектор представляет собой крупного потребителя тепловой энергии, основная часть которой тратится на различные технологические нужды. Низкотемпературный нагрев в сельском хозяйстве является наиболее перспективной отраслью электротермии. Однако проблема использования электроэнергии для теплофикации технологических процессов в сельскохозяйственном производстве и быту остается одной из наиболее актуальных производственных задач.

Сельскохозяйственным предприятиям, как объектам теплоснабжения присущи характерные особенности, к которым в первую очередь следует отнести такие как:

низкая плотность тепловых нагрузок и большая рассредоточенность потребителей, что обуславливает широкое распространение децентрализованных систем теплоснабжения от топливных котельных, обладающих целым рядом известных недостатков (большие транспортные расходы на доставку топлива, потери топлива при транспортировке и хранении, значительные затраты ручного труда на обслуживание большого количества маломощных топливных установок по причине сложности автоматизации, “перетопы” в связи с недостаточной гибкостью топливных установок и неполным сгоранием топлива из-за плохого состояния оборудования и нередким применением низкокалорийного топлива (бурый уголь, дрова и т.п.), что снижает КПД топливных установок до 0,08...0,15 вместо расчетных – 0,35...0,5;

большая неравномерность нагрузки и малый коэффициент использования максимума, что сопровождается перерасходом топлива в периоды провалов нагрузки;

для нормальной жизнедеятельности животных, птиц и растений необходимы оптимальные параметры микроклимата, не допускающие резких колебаний.

В сельскохозяйственном производстве большинства развитых стран электроэнергия широко используется в качестве источника тепла. Так, например, к началу 70-х годов на тепловые нужды производства и быта приходилось в Австрии - 40%, в Германии - 55%, в США - более 50% от общего потребления электроэнергии сельским хозяйством. Причем, удельный вес электроэнергии, используемой на электротеплоснабжение, продолжает расти быстрыми темпами и составляет в настоящее время существенную часть энергетического баланса, и даже оказывает существенное влияние на экономику этих стран.

Уровень развития электротеплоснабжения сельского хозяйства нашей страны также достаточно высок. Так, удельный вес электронагрева в общем потреблении электроэнергии агропромышленным сектором увеличился с 15...20% в 1975 году до 31 % в 1993 году. Основными потребителями энергии являлись и являются системы, обеспечивающие оптимальную среду обитания животных, и технологические процессы, связанные с содержанием, кормлением, уходом за животными и первичной обработкой производимой ими продукции. В сумме они составляют основную долю в общих энергозатратах. На ферме с поголовьем 1200 коров установленная мощность технологического оборудования составляла в 80-х годах 21,3%, централизованное отопление и горячее водоснабжение - 28%, электрокалориферы в системах вентиляции - 46,4%, то есть большая часть энергобаланса приходилась на тепловые процессы.

Широкое применение электроэнергии для электрификации тепловых процессов сдерживается недостаточной мощностью электрических станций и пропускной способностью сельских сетей, ограниченной номенклатурой и объемом выпускаемого электротермического оборудования, а также не всегда грамотным решением вопросов применения электрического нагрева, что не позволяет получить от электронагрева максимальный экономический эффект. Например, одно из главных преимуществ электрической энергии – ее делимость и способность передаваться на большие расстояния – сводится к минимуму применения электродвигателей. Мощные централизованные электродвигательные были в середине 80-х годов призваны заменить котельные, работающие на жидком и твердом топливе. Подобное строительство сопряжено с дополнительными

затратами на возведение трубопроводов, их теплоизоляцию, с дополнительными потерями тепла, то есть, связано с недостатками, присущими обычным схемам теплоснабжения. Более целесообразно превращать электрическую энергию. В тепло централизованно, максимально приблизив этот процесс к потребителю.

Закономерности преобразования электрической энергии в тепловую

Электрический нагрев – это нагрев тел или вещества с использованием электрической энергии. При электрическом нагреве в материале создаётся электрическое поле. Способы его образования могут быть различными.

Электрическое поле в проводнике создаётся при непосредственном его подключении к источнику ЭДС. Под действием поля свободные заряды (ионы, электроны) начинают перемещаться, приобретая кинетическую энергию. Сталкиваясь с нейтральными атомами и молекулами, они отдают запас кинетической энергии, который расходуется на увеличение теплового движения частиц, и температура вещества повышается.

Электрическое поле в проводнике, расположенном в индукторе, наводится переменным магнитным полем. Наведённое электрическое поле вызывает движение свободных зарядов, энергия которых, как и в первом случае, превращается в теплоту.

Электрическое поле в диэлектрике, находящемся в конденсаторе, вызывает движение связанных зарядов, которые под влиянием электрического поля смещаются один относительно другого только в некоторых пределах. Смещение происходит с «трением», что приводит к выделению теплоты.

С точки зрения термодинамики, теплота – это мера внутренней энергии системы, связанная с молекулярным (тепловым) движением, независимая от механического движения тел или их взаимного расположения. Изменение внутренней энергии происходит под действием внешних факторов и может осуществляться либо затратой работы, либо путём теплообмена. Преобразование электрической энергии в тепловую сопровождается затратой работы (энергии) электромагнитного поля.

Существуют два термодинамических обратных способа или две схемы преобразования электрической энергии в тепловую: схема прямого преобразования и схема косвенного преобразования.

Прямое преобразование. Принцип прямого преобразования энергии электромагнитного поля в тепловую состоит в том, что энергия поля тем или иным способом передаётся (сообщается) атомам или молекулам нагреваемой среды и расходуется на повышение интенсивности их теплового движения.

Косвенное преобразование. Принцип косвенного преобразования состоит в том, что электрическая энергия в тепловую энергию не превращается, а используется лишь для переноса теплоты от одной среды (источника теплоты) к другой (потребителю теплоты), причём температура источника теплоты может быть ниже температуры приёмника.

Классификация электротермических установок

Электротермические установки (ЭТУ) классифицируют по следующим признакам: 1) по способу превращения электрической энергии в тепловую и другим признакам; 2) по роду тока; 3) по частоте тока; 4) по способам теплопередачи; 5) по технологическому назначению; 6) по напряжению питания; 7) по рабочей температуре.

Классификация ЭТУ по способу преобразования электрической энергии в тепловую (рисунок 120): 1) нагрев сопротивлением прямой (рис. 120 а) и косвенный (рис. 120 б); 2) нагрев электрической дугой (рис. 120 в); 3) нагрев в переменном магнитном поле – индукционный способ (рис. 120 г); 4) нагрев в переменном электрическом поле – диэлектрический способ (рис. 120 д); 5) нагрев электронным пучком (рис. 120 е); 6) нагрев квантами (инфракрасный, лазерный способы нагрева) (рис. 120 ж); 7) плазменный нагрев (рис. 120 з); 8) термоэлектрический нагрев.

Классификация электротермических установок по роду тока: 1) постоянного тока; 2) переменного тока.

Классифицируют электротермические установки по частоте тока: 1) промышленной частоты (50 Гц); 2) повышенной частоты; 3) высокой частоты; 4) сверхвысокой частоты

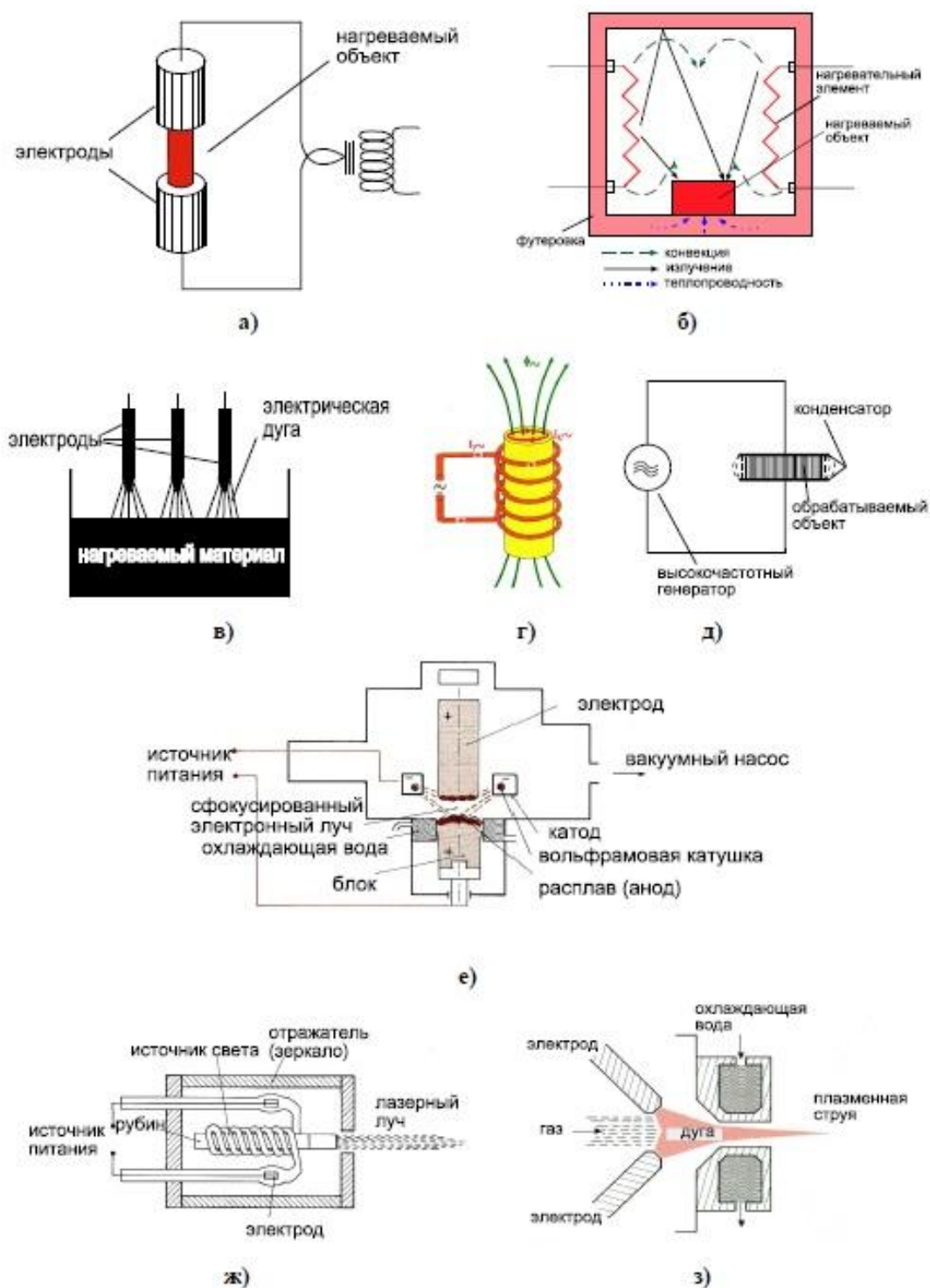


Рисунок 120 – Классификация ЭТУ по основным, применяемым способам превращения электрической энергии в тепловую энергию: а и б - нагрев сопротивлением (прямой и косвенный); в – электрической дугой; г – индукционный; д – диэлектрический; е – электронно-лучевой; ж – лазерный; з – плазменный

По виду нагрева ЭТУ можно разделить на 2 группы: прямого нагрева (рис. 120 а); косвенного нагрева (рис. 120 б).

Электротермические установки по режиму работы делят на 2 группы: непрерывного действия; периодического действия.

По рабочей температуре различают ЭТУ: низкотемпературные (до 500...600⁰ С); среднетемпературные (до 1250⁰ С); высокотемпературные (свыше 1250⁰ С).

Электротермические установки бывают напряжением: до 1кВ; свыше 1кВ; безопасного напряжения.

По технологическому назначению ЭТУ разделяют на: универсальные; специальные.

Л43 Электронагрев сопротивлением: электроконтактный и электродный. Открытые и закрытые нагревательные элементы

Электронагрев сопротивлением основан на преобразовании электрической энергии в тепловую в твердых или жидких проводниках (проводящих средах), включенных в электрическую цепь при протекании по ним электрического тока. Количество выделенной в проводнике теплоты определяется законом Джоуля – Ленца. При неизменной силе тока и продолжительности нагрева количество теплоты пропорционально сопротивлению проводника, отсюда и происходит название способа нагрева.

Если роль проводника выполняет сам нагреваемый материал (тело), то происходит прямой электронагрев сопротивлением. Это могут быть проводники первого рода (металлы, сплавы, графит), обладающие электронной проводимостью; проводники второго рода и полупроводники, имеющие ионную проводимость (вода, молоко, сочные и влажные корма и др).

Прямой нагрев сопротивлением подразделяется на два вида: электроконтактный – нагрев металлических тел (проводников первого рода) и электродный – нагрев проводников второго рода.

Прямой электронагрев сопротивлением

Электроконтактный нагрев, связанный с преобразованием электрической энергии в теплоту непосредственно в металлическом нагреваемом изделии (детали), применяют при нагреве заготовок или деталей из черных и цветных металлов для последующей горячей обработки давлением (ковка, штамповка, гибка и т. п.), для термической обработки (закалка, отпуск, отжиг), а также с целью контактной электрической сварки давлением.

Принципиальная схема простейшей установки электроконтактного нагрева изделий D показана на рисунке 121. Основные элементы схемы: токоподводящие контакты К, через которые напряжение переменного тока вторичной обмотки трансформатора Т подводится к нагреваемому изделию, токопроводящие провода, шины, зажимные устройства и т. д. Для надежного прижатия контактов К. используют различные приспособления (гидравлические, пневматические, электромагнитные и др.), создающие дополнительное усилие F.

Количество теплоты, выделяемой в единицу времени, т. е. мощность, Вт:

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R},$$

где R - сопротивление детали переменному току. Ом:

U - значение напряжения приложенного к проводнику, В.

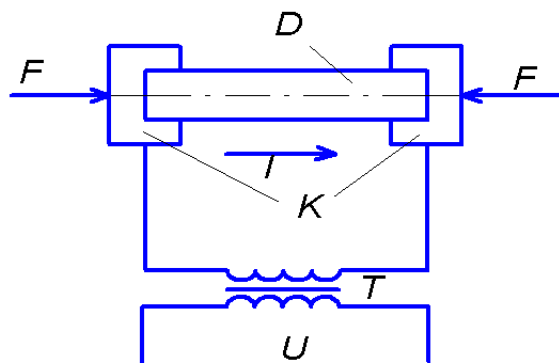


Рисунок 121 – Схема установки электроконтактного нагрева

Так как сопротивление R металлических тел с хорошей электропроводностью небольшое, для прямого их нагрева требуются значительные токи (сотни и тысячи ампер) при напряжении 5...25 В. Для прямого нагрева применяют переменный ток благодаря относительной простоте получения низкого напряжения от понижающих трансформаторов.

При протекании переменного электрического тока по проводнику (металлическая деталь) проявляется поверхностный эффект, заключающийся в неравномерном распределении плотности тока по сечению проводника, которая экспоненциально уменьшается по направлению к его оси.

Максимальное значение плотности тока на поверхности проводника, а в слое, толщина которого равна эквивалентной глубине проникновения, выделяется около 90 % общего количества теплоты.

Для проводников из ферромагнитных материалов мощность определить сложно, так, как нужно учесть перемагничивание материала, а также зависимость магнитной проницаемости от тока, протекающего по проводнику.

В устройствах и установках электроконтактного нагрева определяют не параметры нагревательных устройств, поскольку ими служат нагреваемые детали, а параметры источника питания. Для выбора трансформатора необходимо знать его мощность $S_{тр}$ и вторичное напряжение U_2 .

Если известны масса m , кг, детали, начальная t_1 и конечная t_2 температуры нагрева, °С, а также его продолжительность τ , с, то полезная мощность, Вт:

$$P_{пол} = mc(t_2 - t_1) / \tau$$

С учетом электрических и тепловых потерь общая мощность, Вт, подводимая к электронагревательному устройству:

$$P_{общ} = P_{пол} / \eta ,$$

где $\eta = 0,55 \dots 0,82$ - коэффициент полезного действия устройств электроконтактного нагрева. Чтобы сократить электрические потери и достичь максимального КПД, суммарное сопротивление вторичной обмотки понижающего трансформатора, соединительных проводов и контактов должно быть минимальным.

Среднее значение вторичного напряжения за время нагрева:

$$U_2 = \sqrt{RP_{общ}} ,$$

где R - среднее значение сопротивления детали при переменном токе за время нагрева.

Мощность трансформатора, В·А, с учетом повторно-кратковременного режима работы установки:

$$S_{мп} = \frac{P_{общ}}{\eta_{мп} \cos \varphi} \sqrt{ПВ} ,$$

где $\eta_{тр} = 0,9 \dots 0,95$ - КПД трансформатора;

$\cos \varphi = 0,6 \dots 0,85$ - средний коэффициент мощности;

ПВ - относительная продолжительность включения установки.

Электроконтактный нагрев применяют главным образом для деталей, имеющих одинаковое сечение по длине. При этом тепловой КПД зависит от геометрических параметров детали. Чем больше отношение длины l детали к поперечному сечению, S , тем выше КПД. При небольшом значении этого отношения КПД резко снижается.

Электродный нагрев. Материалы электродов

В электродных нагревателях материал с ионной проводимостью, заключенный между электродами, образует проводник, в котором при протекании электрического тока по закону Ленца-Джоуля выделяется теплота, используемая для нагрева воды, молока, почвы и др. В устройствах электродного нагрева применяют исключительно переменный ток, так как при постоянном токе возникает электролиз. Несмотря на то, что принято считать, что при переменном токе электролиз не происходит, при больших плотностях тока это явление все

же наблюдается. Поэтому нагрев выполняют при небольших плотностях тока, максимальное значение которых зависит от конфигурации применяемых электродов.

В качестве материалов для электродов можно использовать любые проводники. Однако следует помнить, что они должны противостоять коррозии в электрическом поле, при высокой температуре и большой влажности. При нагреве материалов, предназначенных для технических нужд, электроды изготавливают из конструкционной стали или латуни. При нагреве продуктов, идущих на кормление или поение животных, электроды не должны образовывать токсичные оксиды. В большей мере этому требованию отвечают уголь и графит. Однако их используют редко из-за нетехнологичности. Более распространены электроды из нержавеющей стали.

Простейшую электродную систему, состоящую из пары плоских электродов, применяют в нагревателях небольшой мощности, используемых редко. В мощных нагревателях применяют трехфазные системы, состоящие из нескольких электродов. Наиболее распространена система из трех плоских электродов, изогнутых под углом 120° (рис. 122,а), и электродов в виде коаксиальных цилиндров (рис. 122,б). Используют также плоские электроды (рис. 122,в), число которых для обеспечения симметричной нагрузки питающей сети принимают $3n+1$, где n - целое число.

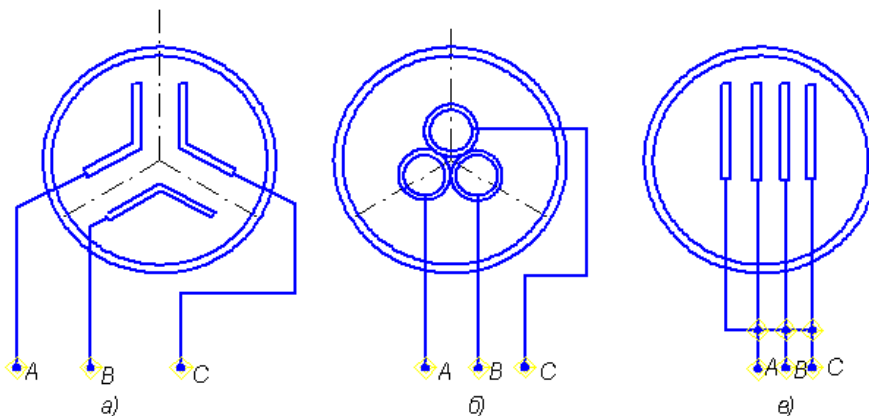


Рисунок 122 – Электродные системы: а) из электродов, изогнутых под углом 120° ; б) из коаксиальных цилиндрических электродов: в) из плоских электродов

Если принять, что напряжение U в процессе нагрева постоянное и конструктивные параметры S и l не изменяются, то вследствие зависимости удельной электрической проводимости нагреваемого материала от температуры мощность в процессе нагрева будет изменяться. При закипании воды мощность нагревателя снижается, так как при этом уменьшается удельная электропроводимость воды.

Так как электропроводимость большинства материалов, подлежащих электродному нагреву, объясняется присутствием в них воды, то максимальная плотность тока на электродах и в соприкасающихся с ними объемах нагреваемого материала ограничивается условиями недопустимости процесса электролиза. Предельная плотность тока $j_{доп}$, A/cm^2 , не приводящая к электролизу, зависит от конструкции электродных систем. Для плоских электродов она может быть принята равной $0,5 A/cm^2$. Для электродов цилиндрической формы максимальное значение допустимой плотности тока составляет $1,5...2 A/cm^2$.

В установках периодического действия при неизменном напряжении на электродах плотность тока не остается постоянной в процессе нагрева. Она возрастает из-за уменьшения удельного электрического сопротивления материала при увеличении температуры. При конечной температуре нагрева плотность тока не должна превышать допустимого значения. В установках непрерывного действия она изменяется только в первоначальный период, когда установка выходит на сбалансированный по теплоте режим, т. е. температура выходящего из нагревателя продукта стабилизируется. Во всех зонах межэлектродного промежутка плотность тока определяется удельным сопротивлением материала при постоянном

питающем напряжении и неизменных конструктивных параметрах электродной системы. Напряженность электрического поля в нагреваемом материале, зависящая от подведенного к электродной системе напряжения и расстояния между электродами, во время работы остается неизменной.

Вместе с этим по мере продвижения материала в нагревателе температура его повышается, а удельное сопротивление уменьшается. При входе в нагреватель холодный материал имеет минимальное удельное сопротивление, а на выходе-максимальное, соответствующее конечной температуре нагрева.

При расчете электродных нагревательных устройств определяют требуемую мощность и конструктивные параметры электродной системы. Требуемую мощность находят с учетом технологических условий, которые характеризуют тот или иной производственный процесс. Для нагревателей периодического действия такими параметрами являются: объем V , м^3 , нагреваемого материала; его удельная теплоемкость C , $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$; плотность δ , $\text{кг}/\text{м}^3$; удельное, электрическое сопротивление ρ , $\text{Ом}\cdot\text{м}$; время нагрева τ , с; начальная t_1 и конечная t_2 температуры, $^\circ\text{C}$, нагрева. Необходимо также знать тепловой КПД нагревателя η_t , который ориентировочно может быть принят по аналогии с другими электронагревателями, работающими в сходных условиях. Для нагревателей непрерывного действия задается производительность L , $\text{м}^3/\text{с}$ устройства.

Косвенный электронагрев сопротивлением

Нагревательные элементы - основной узел электротермического оборудования, реализующего косвенный нагрев методом сопротивления. Безотказная работа элементов во многом определяет надежность электротермических установок и возможность соблюдения требуемого технологического режима.

Материал нагревателей выбирают в первую очередь в зависимости от требуемой рабочей температуры оборудования и условий работы нагревательных элементов. Эти материалы должны быть жаростойкие (не окисляться в условиях высокой температуры), жаропрочны (сохранять прочностные качества при высоких температурах) и технологичны (легко поддаваться обработке при изготовлении установки). Перечисленным требованиям должны отвечать материалы всех конструктивных элементов, находящихся в рабочем пространстве электротермического оборудования.

К материалам нагревательных элементов также предъявляются специфические требования, обусловленные особенностями их работы. Так, удельное электрическое сопротивление элементов должно быть большое, что позволяет выбрать конструктивные параметры нагревателей таким образом, чтобы их можно было разместить в ограниченном объеме и включать непосредственно в сеть, не снижая напряжения. Кроме того, их температурный коэффициент сопротивления должен быть небольшим для того, чтобы сопротивление холодного и горячего нагревателей и, следовательно, мощность, потребляемая установкой из сети, изменялась незначительно. Физические свойства материала нагревательных элементов должны быть постоянные, т. е. противостоять старению - увеличению сопротивления с течением времени, что вызывает уменьшение мощности установки

Сплавы хромникелевые (нихромы), хромалюминиевые (фехрали) и хромникельалюминиевые (нихромы с алюминием) - основные материалы для нагревателей косвенного нагрева сопротивлением.

Хромникелевые сплавы в наибольшей мере отвечают требованиям, предъявляемым к материалам нагревательных элементов. Различают нихромы двойные, содержащие хром и никель (Х20Н80), и тройные, в состав которых, кроме никеля и хрома, входит железо (Х15Н60). Чем больше никеля в сплаве, тем выше его качество и рабочая температура. Максимальная рабочая температура двойного нихрома Х20Н80 - 1100°C . В низкотемпературных электротермических установках достаточно надежно работают более дешевые двойные нихромы, содержащие 24...27 % хрома и 17...20 % никеля (Х25Н20 и Х23Н18).

Стоимость хромалюминиевых сплавов по сравнению с нихромами более низкая, прочность при высоких температурах меньшая, обрабатываются они хуже. Для нагревателей с рабочей температурой до 700 °С применяют фехраль Х13Ю4 - сплав, содержащий помимо железа 13 % хрома и 4 % алюминия.

Характеристики хромоникельалюминиевых сплавов (например, Х15Н60Ю3А) по сравнению с безникелевыми улучшены (рабочая температура до 1100°С), и стоимость их более низкая за счет уменьшения содержания никеля.

В электротермических установках с рабочей температурой выше 1250 °С применяют неметаллические нагреватели из карборунда, дисилицида молибдена, графита или из тугоплавких металлов (вольфрама, тантала, ниобия и др.).

Температурный коэффициент сопротивления нагревателей, изготовленных из обычной стали, большой, жаростойкость и жаропрочность невысокие, сопротивление зависит от значения тока, протекающего по нагревателю. Однако вследствие дешевизны и не дефицитности их широко применяют в низкотемпературных электротермических устройствах с рабочей температурой 300...400°С.

Нагревательные элементы по конструктивному исполнению принято разделять на открытые, закрытые и герметические.

Открытые нагреватели из металлических сплавов изготавливают из проволоки или ленты, свернутых в спираль или изогнутых зигзагообразно (рис. 123, а и б). Открытые спиральные и зигзагообразные нагреватели крепят на керамических жаропрочных изоляторах в рабочем пространстве электротермических установок. Теплота от таких нагревателей передается конвекцией и излучением. Чем выше температура нагревателя, тем большая часть энергии инфракрасным излучением передается нагреваемому материалу.

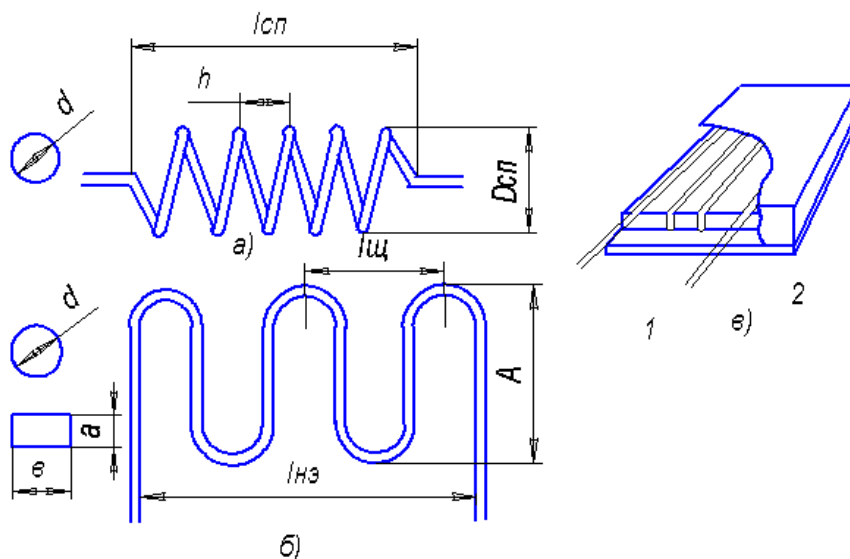


Рисунок 123 – Нагревательные элементы;

а и б - открытые соответственно в виде спирали и зигзагообразные; в - закрытые;
1 - нагреватель; 2 - защитный кожух.

В нагревательных элементах закрытого исполнения (рис 123, в) нагреватель находится в защитном кожухе, предохраняющем его от механического воздействия окружающей среды. Защищенные нагревательные элементы передают теплоту в основном конвекцией.

В электротермических устройствах открытые и закрытые элементы используют из-за их простоты и невысокой стоимости. Однако наиболее распространены в электротермическом оборудовании сельскохозяйственного назначения герметические нагревательные элементы или ТЭНы.

Трубчатые нагревательные элементы (ТЭНы) применяют для нагрева воды, воздуха, растворов электролитов и других сред. ТЭНы можно размещать в нагреваемой среде. Они надежно работают при вибрациях и ударных нагрузках, отличаются электро- и пожароопасностью, повышенным сроком службы.

ТЭН (рис. 124, а) представляет собой тонкостенную металлическую трубку (оболочку) 1 с наполнителем, в которую запрессована нагревательная спираль 2 из проволоки с большим удельным электрическим сопротивлением. В качестве наполнителя 4 используют периклаз - кристаллический оксид магния или кварцевый песок с хорошими электроизоляционными и теплопроводящими свойствами. Концы спирали соединены с контактными стержнями 3, которые через изоляторы 5 выходят наружу нагревателя и служат для присоединения к ним проводов питающей сети. Контактные стержни и проходные изоляторы надежно герметизируют термовлагодостойким лаком.

Материал оболочки (медь, латунь, углеродистая и нержавеющая сталь) определяет механическую прочность ТЭНа, его химическую стойкость и зависит от назначения электронагревателя. ТЭНы с оболочкой из нержавеющей стали, имеющей повышенную жаропрочность и коррозионную стойкость, применяют для нагрева агрессивных сред, а также при работе с температурой на оболочке ТЭНа свыше 450 °С. ТЭНы с медной оболочкой используют при небольших температурах в средах, вызывающих коррозию других металлов. Например, для подогрева воды предназначены трубчатые нагревательные элементы из медной трубки, покрытой оловом, никелем или хромом. Стальные трубы используют для изготовления ТЭНов, нагревающих сухой воздух, масло и т. и. при температуре оболочки, не превышающей 400...450 °С. Для ТЭНов, работающих при повышенной влажности воздуха, температура которых может превышать 450 °С, чаще всего применяют трубы из высоколегированной стали.

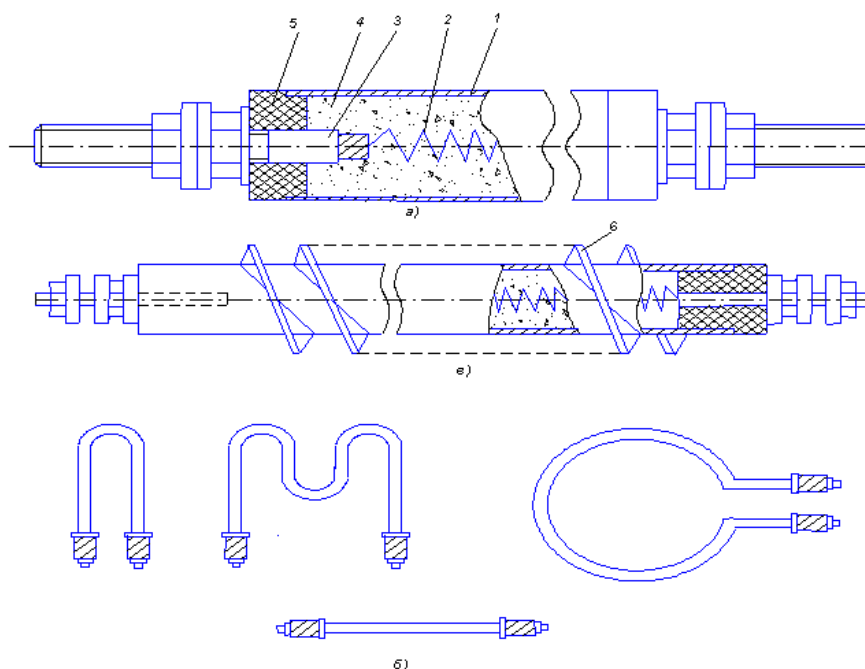


Рисунок 124 – Герметические нагревательные элементы:

- а - разрез ТЭНа; б - разновидности ТЭНов; в - ТЭН с оребрением;
1- оболочка (трубка); 2 - нагревательная спираль; 3 - контактный стержень;
4 - наполнитель (периклаз); 5 - изолятор; 6 - оребрение.

В сельскохозяйственном производстве используют трубчатые электронагреватели серий НВ, НВЖ, ТЭН, ЭТ для воды, слабых растворов солей, щелочей и кислот; НВС, ТЭН, ЭТ для нагрева воздуха до 350 °С в установках и помещениях; НВСЖ для нагрева воздуха до 600 °С; НММ, НММЖ, ТЭН, ЭТ для минеральных масел и пищевых жиров. Обозначение Н [1] Ж [2] [3] нагревателей серии НВ, НВЖ, НВС, НВСЖ, НММ, НММЖ расшифровывают

следующим образом: Н - нагреватель; [1] - В - воды, ВС - воздуха, ММ - масла, Ж - с жаропрочной оболочкой; [2] -развернутая длина, м; [3] - номинальная мощность, кВт. Обозначение ТЭН - [1] [2] [3] / [4] [5] [6] расшифровывается так: Т - трубчатый; Э - электрический; Н - нагреватель; [1] - развернутая длина, см; [2] - условное обозначение длины контактного вывода; [3] - наружный диаметр оболочки (трубки), мм; [4] - номинальная мощность, кВт; [5] - условное обозначение нагреваемой среды; [6] - номинальное напряжение, В. Обозначение ЭТ-[1] нагревателей серии ЭТ указывает: Э - электронагреватель; Т - трубчатый; [1] - развернутая длина, см.

Для рационального размещения ТЭНов в рабочей зоне электротермического оборудования им придают различную форму (рис. 124, б) и устанавливают при помощи крепежных устройств (штуцеров, планок и т. п.), соединенных с оболочкой сваркой, пайкой, или опрессовкой.

При нагреве газообразных сред для увеличения теплоотвода от ТЭНов применяют оребрение 6 (рис. 124, б), выполняемое из металла с хорошей теплопроводностью. Это способствует сокращению габаритных размеров электротермических установок и, следовательно, их металлоемкости.

Основной параметр, характеризующий ТЭНы, - удельная поверхностная мощность P_F , Вт/см²:

$$P_F = \frac{P}{\pi D l_a},$$

где Р мощность ТЭНа, Вт;

D - диаметр, см,

l_a - активная длина, см, ТЭНа.

Предельное значение P_F ТЭНа определяется условиями работы, допустимыми температурами спирали, наполнителя и оболочки. Для ТЭНов, имеющих стальную оболочку, нихромовую нагревательную спираль и периклаз в качестве наполнителя, допустимая удельная мощность составляет от 2 Вт/см² при нагреве воздуха в условиях свободной конвекции до 11 Вт/см² при нагреве воды в условиях вынужденной конвекции. Чтобы определить число нагревателей для конкретных установок, подсчитывают потребную мощность, находят общую мощность $P_{уст}$ электротермической установки и по каталогу для соответствующих условий работы определяют тип ТЭНа и его номинальную мощность Р1. Для равномерной загрузки трехфазной питающей сети число ТЭНов должно быть кратным трем.

Нагревательные провода и кабели

Специальные, провода и кабели, являясь разновидностью нагревательных элементов при электронагреве сопротивлением, имеют токопроводящую жилу из стали или нихрома, покрытую сверху специальной изоляцией.

Провода используют в технологических процессах сельскохозяйственного производства, в которых рабочая температура не превышает 40°С и применение других нагревательных устройств затруднено по условиям обеспечения электробезопасности или по другим причинам; для обогрева почвы и воздуха в сооружениях защищенного грунта, пола в животноводческих и птицеводческих помещениях, водопроводов на вводе в производственные помещения и т.д.

Нагревательные провода ПОСХП, ПОСХВ и ПОСХВТ имеют однопроволочную стальную токоведущую жилу и полиэтиленовую или поливинилхлоридную изоляцию. В проводе ПНВСВ повышенной надежности, кроме того, есть дополнительная изоляция из фторопластовой ленты, экран из стальных проволочек диаметром 0,3 мм и наружная поливинилхлоридная оболочка. Такая конструкция нагревательного провода позволяет в 4...5 раз увеличить срок его службы.

В отличие от проводов нагревательные кабели могут иметь до трех токопроводящих жил из нихрома. Их изолируют асбестом, силиконом, кристаллическим оксидом магния, кремний с органической резиной, периклазом и другими теплостойкими материалами.

Снаружи кабель покрыт оболочкой из свинца, алюминия, меди, нержавеющей стали или поливинилхлоридного пластика, предохраняющей его от воздействия внешней среды и механических повреждений. По сравнению с нагревательными проводами кабели имеют большие удельные, мощности и рабочие температуры. Так, кабели с наружной оболочкой из нержавеющей стали и магнезитовой изоляцией рассчитаны на температуру до 400 °С. В некоторых случаях их удобнее использовать, чем ТЭНы, так, как при монтаже кабели можно свободно изгибать, придавая им необходимую форму без нарушения их целостности.

Промышленность выпускает нагревательные кабели типов КНРПВ и КНРПЭВ с одной и двумя токоведущими жилами и оболочкой из поливинилхлоридного пластика. Кабели рассчитаны на номинальное напряжение 220 В и устойчивы к воздействию температуры окружающей среды от - 50 до +60 °С. Электрическое сопротивление изоляции кабеля длиной 1 км составляет 100 МОм.

Нагревательные устройства из проводов и кабелей выполняют фиксированным монтажом. В зависимости от технологического назначения они могут быть уложены зигзагообразно или в виде параллельных нитей непосредственно в нагреваемую среду (почву, бетонный пол и др.), подвешены на изоляторах (при обогреве воздуха в парниках и теплицах), проложены в трубах (обогрев насестов).

Нагревательные элементы электротермических установок и устройств рассчитывают на определенную мощность и определенное напряжение. Чтобы обеспечить номинальный режим, нагревательный элемент подключают к питающей сети соответствующего напряжения. В процессе работы электротермических установок мощность электронагревателей можно регулировать, изменяя напряжение и сопротивление.

Наиболее просто мощность регулируют ступенчато, переключая нагревательные элементы на различные схемы. При этом изменяются либо число подключенных к сети элементов и их общее сопротивление, либо напряжение на каждом из них. В большинстве элементов электротермических установок применяют стандартное сетевое напряжение. Нагреватели мощностью до 1 кВт обычно выполняют однофазными, большей мощности - трехфазными.

Однофазные установки с регулируемой мощностью имеют два или более нагревательных элемента (секции) (рис. 125, а). При использовании двух нагревательных элементов мощность регулируют за счет переключения секций, включаемых параллельно (максимальная мощность) или последовательно (минимальная мощность). Среднюю мощность нагрева получают при включении одной секции.

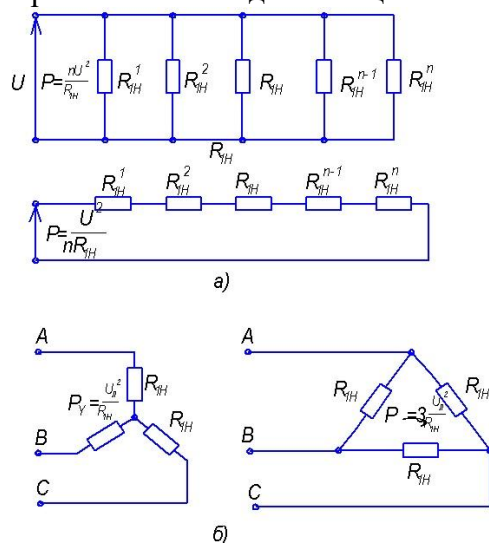


Рисунок 125 – Схемы включения нагревательных секций

Изменяя схему их включения, мощность можно регулировать ступенчато, что приемлемо в тех случаях, когда по условиям технологического процесса не требуется точное поддержание температуры.

Л44 Электродуговой нагрев. Свойства электрической дуги. Устойчивость горения дуги, регулирование тока дуги. Требования к источникам питания

Электрическая дуга – это устойчивый самостоятельный разряд в газах или парах металлов, характеризующийся высокой плотностью тока и низким значением катодного падения напряжения. По физической природе электрическая дуга представляет собой низкотемпературную плазму, состоящую из электронов, положительных ионов и небольшого количества отрицательных ионов. Температура дуги находится в пределах $5000...12000^{\circ}\text{C}$ и способна плавить и испарять самые тугоплавкие материалы. Плотность тока дуги достигает значений $10^6...10^8 \text{ A/m}^2$.

Дуга возбуждается между двумя (в однофазной дуге) электродами – анодом и катодом (в дуге постоянного тока), разогнанный в электрическом поле поток электронов на своем пути возбуждает и ионизирует молекулы газа и паров металла. Возбужденные молекулы, возвращаясь в исходное состояние, испускают видимые, инфракрасные и ультрафиолетовые излучения. Электроды нагреваются и плавятся за счет энергии падающих на них потоков электронов (анод) и положительных ионов (катод), а также за счет потока инфракрасных излучений столба дуги. Катод нагревается меньше, чем анод, за счет расходования части энергии, приносимой на катод потоком положительных ионов, на работу выхода электронов (термоэлектронная эмиссия). Горение дуги сопровождается следующими эффектами, определяющими области использования электродугового нагрева:

Большим выделением теплоты на электродах, на чем основана электросварочная техника, а также промышленные печи прямого нагрева;

Высокоинтенсивным инфракрасным излучением, что используется в электродуговых печах косвенного нагрева;

Мощным потоком видимого излучения, что используется в установках прожекторного освещения;

Интенсивным ультрафиолетовым излучением. Как генератор ультрафиолетовых излучений электрическая дуга не используется из-за низкого энергетического КПД.

В сельскохозяйственном производстве основное применение электродугового нагрева – электросварка, без которой невозможны эксплуатация и ремонт техники.

Сварочная дуга классифицируется по роду среды, в которой происходит дуговой разряд: открытая (горящая в воздухе), закрытая (горящая под флюсом), дуга в среде защитных газов – и по роду тока (постоянного, переменного, трехфазного). Дуга постоянного тока может быть прямой полярности, когда к электроду подводят отрицательный полюс источника питания, а к детали – положительный, и обратной, когда плюс источника питания подается на электрод, а минус – на деталь.

Дуга характеризуется полной $P = U_d I$ и эффективной $P_{эф} = U_d I \eta_{эф}$ мощностью, где U_d и I – напряжение и ток дуги, $\eta_{эф}$ – эффективный КПД, представляющий собой отношение количества тепловой энергии, введенной дугой в изделие, к энергии, потребленной дугой из сети. Величина $\eta_{эф}$ зависит от материала электродов, изделия и условий сварки.

Источники питания для дуговой сварки должны обеспечивать устойчивое горение дуги, стабильность режимов сварки, безопасность обслуживания установок. Эти требования выполняют надлежащим выбором параметров источников питания: напряжение холостого хода, внешней характеристики, способа регулирования сварочного тока.

Напряжение холостого хода выбирают из условия надежного зажигания дуги и безопасности обслуживания. Для дуги переменного тока напряжение зажигания составляет $50...55\text{В}$, следовательно, напряжение холостого хода не может быть ниже этого значения. Верхний предел значений ограничивается условиями безопасности и составляет $65...80\text{В}$, а для сварочных трансформаторов на $1000...2000\text{А}$ оно повышается до 120В .

Зажигание дуги постоянного тока происходит при более низких напряжениях порядка $30...40\text{В}$. Напряжение холостого хода источников питания постоянного тока находится в пределах $45...90\text{В}$.

Внешняя характеристика источников сварочного тока – это зависимость напряжения на его выходных зажимах $U_{\text{н}}$ от значения тока нагрузки I : $U_{\text{н}} = f(I)$. По характеру этой зависимости внешняя характеристика может быть падающей, жесткой и возрастающей.

Дуга и источник питания образуют систему, которая будет находиться в устойчивом равновесии, если случайные изменения силы тока будут с течением времени уменьшаться, то есть система будет возвращаться в исходное состояние.

Падающая характеристика используется в аппаратах ручной сварки, где необходимо обеспечить устойчивость дуги и малое изменение сварочного тока при изменении длины дуги. Это достигается при небольшой кратности тока короткого замыкания, которая составляет при падающей характеристике 1,2...1,4. При больших токах короткого замыкания источник питания испытывает большие перегрузки, а качество сварки и безопасность обслуживания из-за разбрызгивания металла ухудшаются.

Источники с жесткой и возрастающей характеристиками используются для сварки под флюсом и в среде инертных газов (аргон, углекислый газ).

Необходимая для устойчивого горения дуги индуктивность сварочной цепи на переменном токе может быть получена либо в трансформаторе, либо включением в цепь дуги реактивной катушки. Индуктивность обеспечивает получение крутопадающей характеристики источника и возможность его настройки на заданный режим. В зависимости, от способа создания в цепи дуги индуктивного сопротивления трансформаторы могут быть с увеличенным магнитным рассеянием без реактивной катушки и нормальным магнитным рассеянием в сочетании с реактивной катушкой.

На рисунке 126, а показана электромагнитная схема трансформатора с увеличением магнитным рассеянием, а на рисунке 126, б – распределение магнитных потоков. В трансформаторах установлен сердечник стержневого типа. Первичная W_1 и вторичная W_2 обмотки разнесены по высоте магнитопровода. При прохождении тока по обмоткам возникают магнитные потоки, основная часть которых (создаваемая намагничивающее силой первичной и вторичной обмоток) замыкается по стержню магнитопровода ФТ, а другая – по воздуху, образуя потоки рассеяния ФР1 и ФР2. Потоки рассеяния наводят в трансформаторе реактивную ЭДС, определяющую его индуктивное сопротивление, которое регулируют, изменяя магнитное сопротивление на пути потоков рассеяния. Это достигается при раздвижении катушек по высоте магнитопровода, размещении первичной и вторичной обмоток на разных стержнях сердечника, установке в окне магнитопровода подвижного или неподвижного магнитного шунта. В трансформаторах типов ТС, ТСК и ТД с подвижными катушками первичная и вторичная обмотки расположены вдоль стержня магнитопровода на некотором расстоянии одна от другой. Магнитное рассеяние регулируют, изменяя расстояние между обмотками.

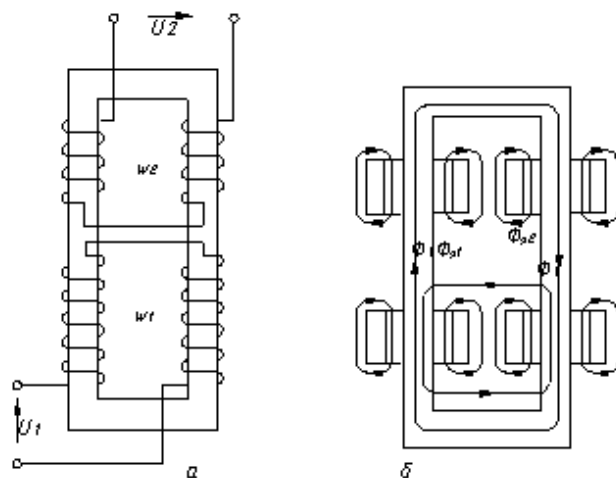


Рисунок 126 – Электромагнитная схема сварочного трансформатора с повышенным
(а) магнитным рассеянием и распределение (б) магнитных потоков

В сварочных трансформаторах типа СТШ (рис. 127, а) катушки первичной W_1 и вторичной W_2 обмоток расположены на разных стержнях магнитопровода. Между обмотками в окне магнитопровода установлен магнитный шунт, перемещением которого на пути потоков рассеяния изменяют индуктивное сопротивление, внешнюю характеристику и сварочный ток.

В трансформаторах типа ТСД с нормальным рассеянием обмотки размещают на стержневом магнитопроводе таким образом, чтобы потоки рассеяния были минимальными. Для получения необходимой индуктивности в цепь дуги последовательно со вторичной обмоткой включают дополнительную реактивную катушку W_p . В зависимости от ее конструктивного выполнения различают трансформаторы с отдельной и совмещенной катушкой. Промышленность выпускает трансформаторы только с совмещенной реактивной катушкой, которую располагают на магнитопроводе с обмотками трансформатора (рис. 127, б).

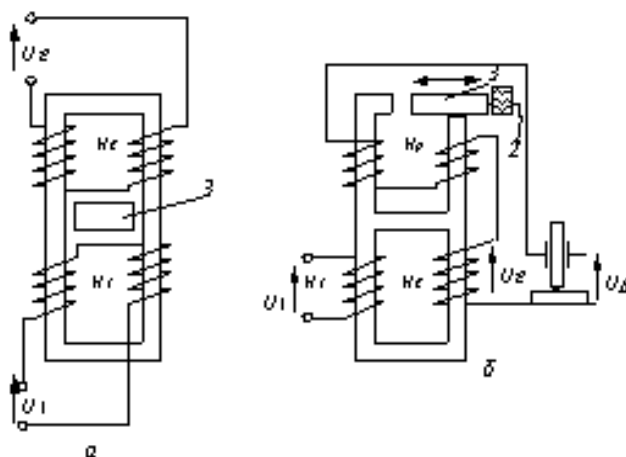


Рисунок 127 – Электромагнитные схемы сварочных трансформаторов с магнитным шунтом (а) и нормальным рассеянием (б): 1 – подвижный пакет магнитопровода; 2 – рукоятка; 3 – магнитный шунт

Крутизна падающей нагрузочной характеристики определяется значением индуктивного сопротивления X_p катушки W_p . Значение X_p изменяют, перемещая подвижный пакет 1 магнитопровода дросселя при помощи рукоятки 2. С ростом воздушного зазора магнитный поток в реактивной катушке и ее индуктивное сопротивление уменьшаются, а сварочный ток увеличивается.

Для питания дуги постоянного тока используют преобразователи, агрегаты и выпрямители.

Преобразователь – установка, состоящая из асинхронного электродвигателя и генератора постоянного тока. При отсутствии электроснабжения для электросварки применяют сварочные агрегаты, включающие в себя двигатель внутреннего сгорания и генератор постоянного тока.

Все однопостовые генераторы снабжены намагничивающими обмотками W_n , получающими питание от независимого источника (рис. 128, а) или от самого генератора (рис. 128, б). В первом случае – это генераторы с независимым возбуждением, во втором – с самовозбуждением. При протекании намагничивающего тока по обмотке W_n в генераторе наводится намагничивающий магнитный поток, который регулируют, изменяя ток намагничивания при помощи резистора R . Обмотка возбуждения W_p включена последовательно с дугой. Магнитный поток Φ_p , создаваемый намагничивающей силой обмотки W_p возбуждения, возникает только при нагрузке генератора. В зависимости от способа включения обмотки W_p поток Φ_p направлен встречно или согласно с намагничивающим потоком Φ_n .

При размагничивающем действии потока Φ_p нагрузочная характеристика генератора приобретает крутопадающий характер. Последовательная размагничивающая обмотка

возбуждения предусматривается в генераторах преобразователей ПСО-200, ПСО-500, ПСО-800, АСО-2000.

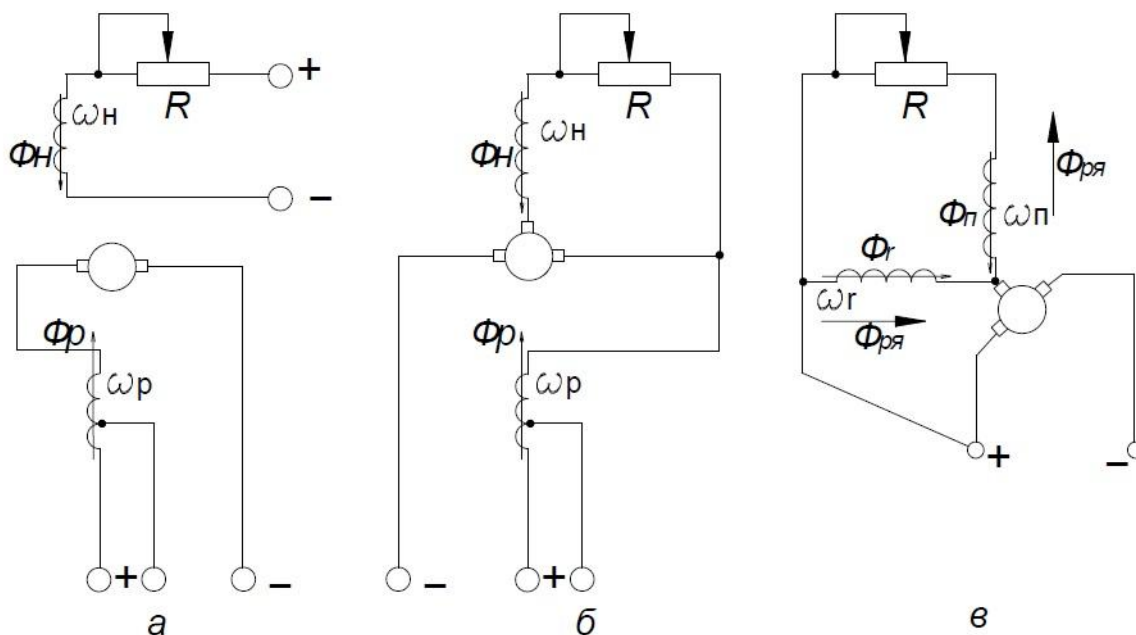


Рисунок 128 – Схема генераторов сварочного тока: а – с независимым возбуждением; б – с самовозбуждением; в – с расщепленными полюсами

При подмагничивающем действии потока Φ_r нагрузочная возрастающая характеристика генератора становится жесткой.

Генератор с параллельной обмоткой самовозбуждения и последовательно включенной размагничивающей обмоткой (рис. 128, б) при встречном их включении имеет падающую внешнюю характеристику, создаваемую за счет размагничивающего действия последовательной обмотки W_p . Сварочный ток регулируют ступенчато, переключая число витков последовательной обмотки. В пределах каждой ступени сварочный ток плавно изменяют реостатом R . По этой схеме выполнены генераторы преобразователей ПСО-300М и др.

У генераторов с расщепленными полюсами (рис. 128, в) падающие внешние характеристики получаются в результате размагничивающего действия потока обмотки якоря (реакции якоря). В таких генераторах одноименные полюса расположены рядом и каждую их пару считают одним, но расщепленным на два. Вертикально размещенные полюса называют поперечными, а горизонтально – главными. Последние имеют небольшое сечение и работают всегда при полном магнитном насыщении, т.е. магнитный поток Φ_g , при всех нагрузках остается неизменным. Генераторы с расщепленными полюсами, по существу, являются двухполюсными, и их магнитный поток можно разделить на потоки Φ_g и Φ_p , которые определяют ЭДС якоря.

На холостом ходу, когда отсутствует ток в якорной цепи, магнитный поток реакции якоря, направленный навстречу потоку Φ_p , также равен нулю. Поэтому поток Φ_p и результирующий поток, определяемый потоками Φ_g и Φ_p , имеют наибольшие значения, а генератор – наибольшее напряжение.

При работе под нагрузкой через обмотку якоря проходит ток, создающий поток реакции якоря, совпадающий с направлением магнитного потока Φ_g главных полюсов и увеличивающий его. Направление потока Φ_p противоположное, и поток реакции якоря уменьшает его. Таким образом, магнитный поток якоря с учетом режима постоянного насыщения главных полюсов не может увеличить поток Φ_g , он только уменьшает поток Φ_p , что приводит к снижению напряжения на генераторе.

При коротком замыкании в сварочной цепи магнитный поток реакции якоря наибольший, в этом случае результирующий магнитный поток, а следовательно, и напряжение генератора уменьшаются до нуля. Таким образом, размагничивающее действие потока реакции якоря создает падающий характер внешней характеристики генератора. Сварочный ток регулируют реостатом в цепи обмотки W_p возбуждения, создающей поток Φ_p .

Преобразователи ПС-300М, ПС-300, СУГ-2Р и другие оборудованы генераторами с расщепленными полюсами. Универсальные сварочные преобразователи предназначены для питания постов ручной и автоматической дуговой сварки в защитной среде. Требуемый характер внешней характеристики получают при различном включении обмоток возбуждения. К сварочным преобразователям с универсальными характеристиками относятся ПСУ-300 и ПСУ-500.

Преимущества сварочных выпрямителей перед генераторами заключаются в более высоком КПД и более высоких динамических показателях. Они не имеют вращающихся частей, просты в изготовлении и надежны в эксплуатации. Выпрямители состоят из трансформатора и блока неуправляемых (селеновых, кремниевых) или управляемых (тиристоров) вентилях. Сварочные выпрямители бывают с круто- и пологопадающими или жесткими и универсальными характеристиками. Наиболее распространены одно- и трехфазные мостовые схемы выпрямления.

Выпрямители с крутопадающими внешними характеристиками применяют для ручной дуговой сварки. К этой группе относятся выпрямители типов ВСС, ВКС и ВД.

Например, выпрямители типа ВСС представляют собой сварочную установку, состоящую из понижающего трансформатора TV (рис. 129), блока селеновых выпрямителей VD1...VD6, электродвигателя М вентилятора для принудительного охлаждения и аппаратуры управления, смонтированной в общем кожухе. Трехфазный понижающий трансформатор выполнен с увеличенным магнитным рассеянием, что обеспечивает создание семейства падающих характеристик. Сварочный ток регулируют переключением первичной и вторичной обмоток с треугольника на звезду, а также изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками.

Для получения крутопадающей внешней характеристики и регулирования тока в некоторых конструкциях сварочных выпрямителей используют дроссель насыщения, включенный между трансформатором с нормальным рассеянием и выпрямительным блоком. Сварочный ток регулируют, изменяя намагничивание дросселя.

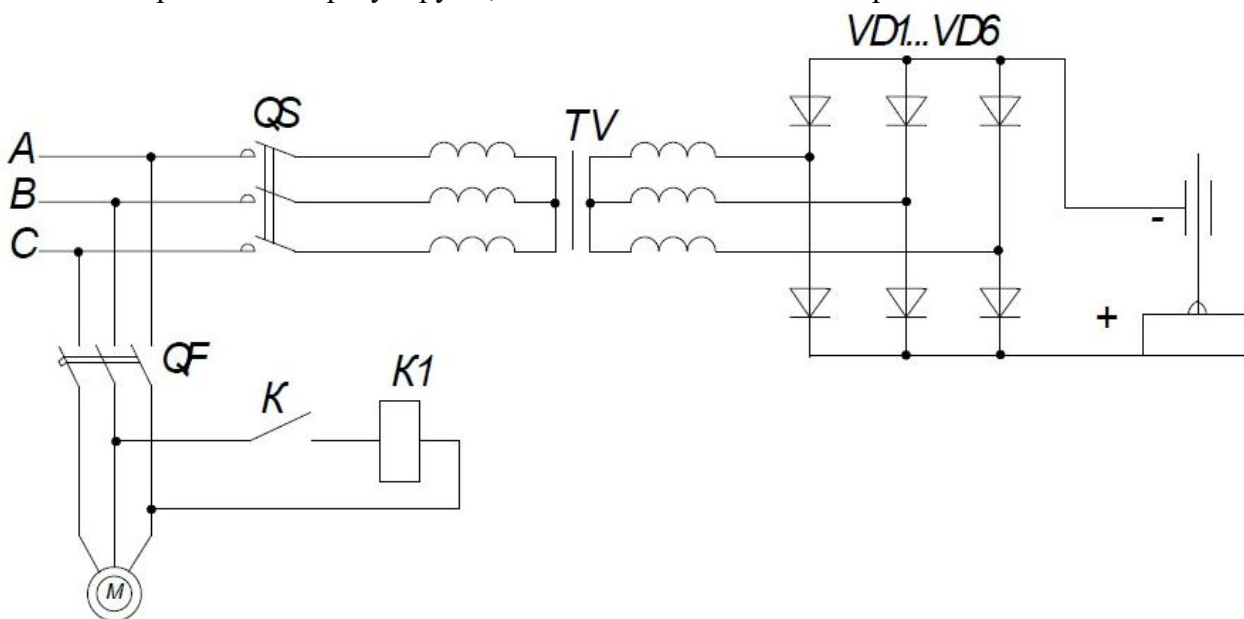


Рисунок 129 – Электрическая схема сварочного выпрямителя ВСС

Сварочные выпрямители ВС, ВДГ, ВДЖ и другие, с полого-падающей или жесткой внешней характеристикой предназначены для сварки в защитной среде. Выпрямитель типа ВС (рис. 130); состоит из трехфазного трансформатора TV с нормальным магнитным рассеянием и секционированной первичной обмоткой, выпрямительного блока VD1...VD6, собранного на кремниевых вентилях по трехфазной мостовой схеме, переключателей для регулирования напряжения на дуге, стабилизирующего дросселя L в цепи выпрямительного тока, электродвигателя М вентилятора.

Напряжение, подаваемое на дугу, регулируют при помощи переключателя, изменяющего число витков первичных обмоток трансформатора. Дроссель L ограничивает скорость нарастания тока с целью уменьшения разбрызгивания расплавленного металла. Для расширения диапазона режимов сварки дроссель секционируют.

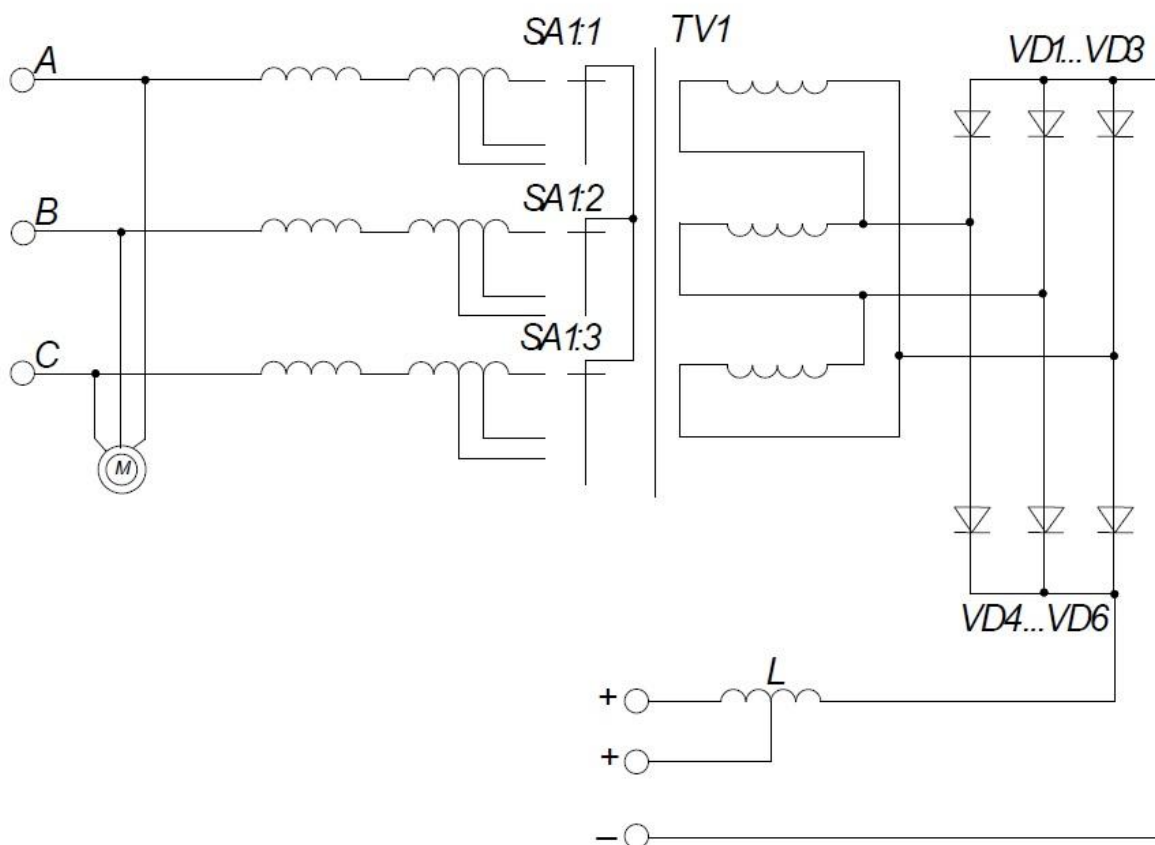


Рисунок 130 – Электрическая схема выпрямителя ВС

Универсальные сварочные выпрямители работают как на жестких, так и на падающих внешних характеристиках. Они обеспечивают изменение сварочного тока и напряжения на дуге, стабилизацию режима сварки при отклонениях напряжения сети.

Например, сварочный выпрямитель типа ВДУ (рис. 131) состоит из трехфазного трансформатора Т, вентильного блока из шести тиристоров VS1...VS6, собранных по шестифазной схеме с уравнительным дросселем L1, магнитного усилителя А, блока управления БУ тиристорами, охлаждающего вентилятора с электрическим двигателем М, стабилизирующего дросселя L2.

Для получения жестких характеристик индуктивность стабилизирующего дросселя уменьшают, а для получения крутопадающих увеличивают. Сварочный ток регулируют плавно при помощи блока управления, изменяя угол открытия тиристоров.

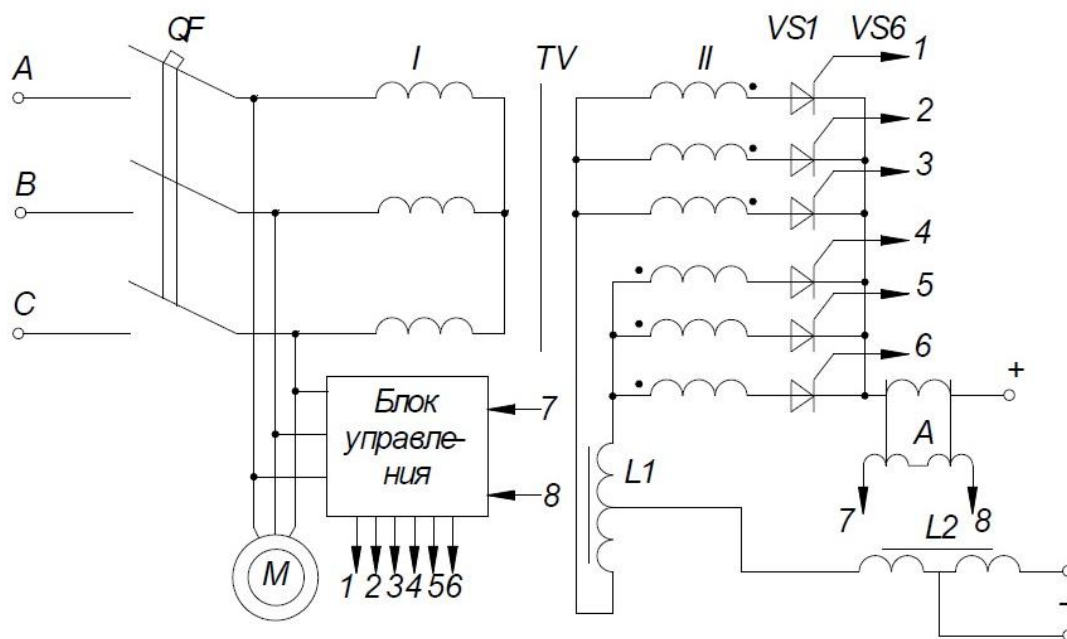


Рисунок 131 – Электрическая схема выпрямителя ВДУ

Л45 Индукционный нагрев. Физические основы. Элементы установок. Индукторы. Проникновение в металл электромагнитного поля. Удельная поверхностная мощность и режимы. Использование тока промышленной частоты

Индукционный нагрев основан на поглощении электромагнитной энергии металлическими телами, помещенными в быстропеременное магнитное поле. По закону электромагнитной индукции в теле (заготовке, изделии) наводится ЭДС $e = -\frac{d\Phi}{dt}$, под действием которой в этом теле протекают так называемые вихревые токи, нагревающие тело.

Интенсивный нагрев можно получить лишь в магнитных полях высокой напряженности и частоты, которые создаются специальными устройствами - индукторами (индукционными нагревателями), питаемыми от сети или индивидуальных генераторов токов высокой частоты (рис. 132). Рабочим органом установок индукционного нагрева являются нагревательные индукторы, создающие магнитное поле высокой напряженности соответствующей частоты. Заготовку помещают в переменное магнитное поле индуктора, который является как бы первичной обмоткой воздушного трансформатора, вторичной обмоткой которого служит нагреваемое тело. Эффективность нагрева тем выше, чем ближе вид испускаемой индуктором электромагнитной волны к форме нагреваемой поверхности. Вид волны (плоская, цилиндрическая и др.) определяется формой индуктора.

В зависимости от применяемых частот установки индукционного нагрева разделяются следующим образом:

- а) низкой (промышленной) частоты (50 Гц);
- б) средней (повышенной) частоты (до 10 кГц);
- в) высокой частоты (свыше 10 кГц).

Деление индукционного нагрева по частотным диапазонам диктуется техническими и технологическими соображениями. Физическая сущность и общие количественные закономерности для всех частот одинаковы и основываются на представлениях, о поглощении проводящей средой энергии электромагнитного поля.

Частота оказывает существенное влияние на интенсивность и характер нагрева. При частоте 50 Гц и напряженности магнитного поля 3000-5000 А/м удельная мощность нагрева не превышает 10 Вт/см², а при высокочастотном (ВЧ) нагреве мощность достигает сотен и

тысяч Вт/с². При этом развиваются температуры, достаточные для плавления самых тугоплавких металлов.

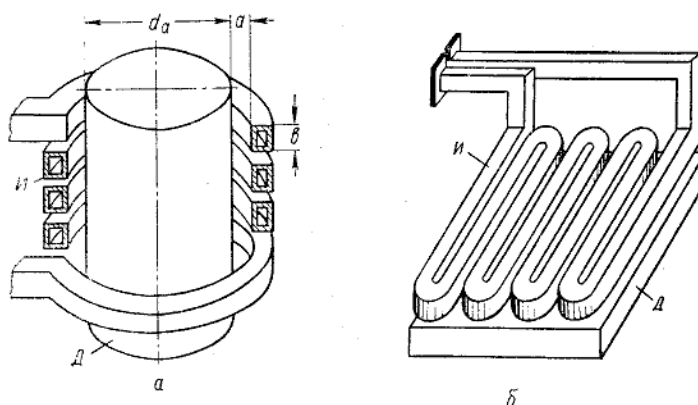


Рисунок 132 – Индукторы:

а - цилиндрический; б - петлевой для нагрева плоских деталей; И - индуктор; Д - деталь

Вместе с тем, чем выше частота, тем меньше глубина проникновения токов в металл и, следовательно, тоньше нагреваемый слой, и наоборот. На высоких частотах осуществляют поверхностный нагрев. Снижая частоту и увеличивая тем самым глубину проникновения тока, можно осуществить глубинный или даже сквозной нагрев, одинаковый по всему сечению тела. Таким образом, выбирая частоту, можно получить необходимый по технологическим условиям характер нагрева и его интенсивность. Возможность нагрева изделий практически на любую толщину - одно из основных преимуществ индукционного нагрева, который широко используется для поверхностей закалки деталей и инструмента.

Поверхностное упрочнение после индукционного нагрева значительно повышает износостойкость изделий по сравнению с тепловой обработкой в печах. Индукционный нагрев успешно применяется также для плавки, термической обработки, деформации металлов и в других процессах.

Индуктор - это рабочий орган установки индукционного нагрева. Эффективность нагрева тем выше, чем ближе вид испускаемой индуктором электромагнитной волны к форме нагреваемой поверхности. Вид волны (плоская, цилиндрическая и др.) определяется формой индуктора.

Конструктивное оформление индукторов зависит от формы нагреваемых тел, целей и условий нагрева. Простейший индуктор представляет собой изолированный проводник, помещенный внутри металлической трубы, вытянутый или свернутый в спираль. При пропускании по проводнику тока промышленной частоты в трубе наводятся греющие ее вихревые токи. В сельском хозяйстве предпринимались попытки использовать этот принцип для обогрева почвы в закрытом грунте, насестов для птицы и др.

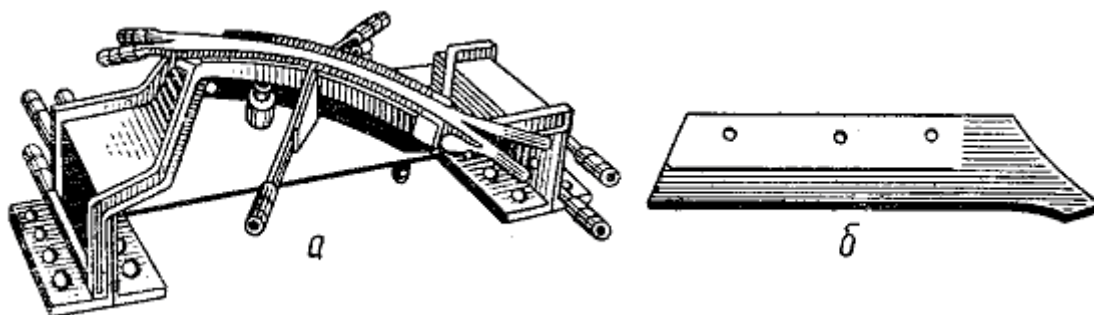


Рисунок 133 – Индуктор для закалки лемехов: а - индуктор; б - лемех

В индукционных водонагревателях и пастеризаторах молока (работы по ним не вышли пока за рамки экспериментальных образцов) индукторы выполняют по типу статоров

трехфазных электродвигателей. Внутри индуктора помещен металлический сосуд цилиндрической формы. Вращающееся (или пульсирующее при однофазном исполнении) магнитное поле, создаваемое индуктором, наводит в стенках сосуда вихревые токи и нагревает их. От стенок тепло передается находящейся в сосуде жидкости.

При индукционной сушке древесины штабель досок перекладывают металлическими сетками и помещают (закатывают на специальной тележке) внутрь цилиндрического индуктора из проводников большого сечения, намотанных на каркас из изоляционного материала. Доски нагреваются от металлических сеток, в которых индуцируются вихревые токи.

Приведенные примеры поясняют принцип установок косвенного индукционного нагрева. К недостаткам таких установок относятся низкие энергетические показатели и малая интенсивность нагрева. Низкочастотный индукционный нагрев достаточно эффективен при прямом нагреве массивных металлических заготовок и определенном соотношении между их размерами и глубиной проникновения токов (см. далее).

Индукторы высокочастотных установок выполняют неизолированными, они состоят из двух основных частей - индуктирующего провода, при помощи которого создается переменное магнитное поле, и токоподводов для подключения индуктирующего провода к источнику электрической энергии.

Конструктивное выполнение индуктора может быть весьма разнообразным. Для нагрева плоских поверхностей используются плоские индукторы, цилиндрических заготовок - цилиндрические (соленоидные) индукторы и т. п. (рис. 132). Индукторы могут иметь сложную форму (рис. 133), обусловленную необходимостью концентрации электромагнитной энергии в нужном направлении, подвода охлаждающей и закалочной воды и пр.

Для создания полей высокой напряженности по индукторам пропускают большие токи, исчисляемые сотнями и тысячами ампер. В целях снижения потерь индукторы изготавливают с возможно малым активным сопротивлением. Несмотря на это, они все же интенсивно нагреваются как собственным током, так и за счет теплопередачи от заготовок, поэтому их оборудуют принудительным охлаждением. Индукторы обычно выполняют из медных трубок круглого или прямоугольного сечения, внутри которых пропускается проточная вода для охлаждения.

Основными параметрами, характеризующими режимы индукционного нагрева, являются частота тока и к. п. д. В зависимости от применяемых частот условно различают два режима индукционного нагрева: глубинный нагрев и поверхностный.

Глубинный нагрев ("малыми частотами") осуществляется при такой частоте f когда глубина проникновения за примерно равна толщине нагреваемого (закаливаемого) слоя x_k (рис. 134, а). Нагрев происходит сразу на всю глубину слоя x_k скорость нагрева выбирают такой, чтобы передача тепла теплопроводностью в глубь тела была незначительной.

Поскольку в этом режиме глубина проникновения токов за сравнительно большая ($z_a \gg x_k$), частота тока индуктора должна быть относительно низкой ("малой"). Нагрев сразу всего слоя x_k требует сравнительно большой мощности генератора. Такой режим целесообразен при поточном производстве в условиях высокой загрузки оборудования.

Поверхностный нагрев ("большими частотами") проводят на сравнительно высоких частотах. При этом глубина проникновения токов за значительно меньше толщины нагреваемого слоя x_k (рис. 134, б). Прогрев на всю толщину x_k происходит за счет теплопроводности металла. При нагреве по этому режиму требуются меньшие мощности генератора (на рисунке 134 полезная мощность пропорциональна заштрихованным площадям, имеющим двойную штриховку), но время нагрева и удельный расход электроэнергии возрастают. Последнее связано с прогревом за счет теплопроводности глубинных слоев металла. К.п.д. нагрева, пропорциональный отношению площадей с двойной штриховкой ко всей площади, ограниченной кривой t и осями координат, во втором

случае ниже. Вместе с тем следует отметить, что прогрев до определенной температуры слоя металла толщиной b , лежащего за слоем закалки и называемого переходным слоем, совершенно необходим для надежной связи закаленного слоя с основным металлом. При поверхностном нагреве этот слой толще и связь надежнее.

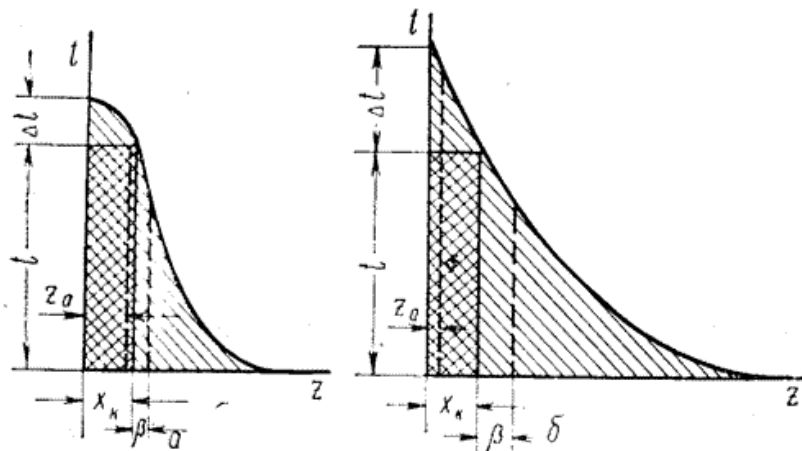


Рисунок 134 – Распределение температуры от поверхности в глубь тела при глубинном (а) и поверхностном (б) индукционном нагреве

При значительном понижении частоты нагрев становится вообще неосуществимым, так как глубина проникновения будет очень большой и поглощение энергии в изделии незначительным.

Индукционным способом можно осуществлять как глубинный, так и поверхностный нагрев. При внешних источниках тепла (плазменный нагрев, в электропечах сопротивления) глубинный нагрев невозможен.

По принципу работы различают два вида индукционного нагрева: одновременный и непрерывно-последовательный.

При одновременном нагреве площадь индуктирующего провода, обращенная к нагреваемой поверхности изделия, примерно равна площади этой поверхности, что позволяет одновременно нагревать все ее участки. При непрерывно-последовательном нагреве изделие перемещается относительно индуктирующего провода, и нагрев отдельных его участков происходит по мере прохождения рабочей зоны индуктора.

Выбор частоты. Достаточно высокий к. п. д. может быть получен лишь при определенном соотношении между размерами тела и частотой тока. О выборе оптимальной частоты тока упоминалось выше. В практике индукционного нагрева частоту выбирают по эмпирическим зависимостям.

В технике индукционного нагрева используются токи низкой (промышленной) частоты 50 Гц, средней частоты 150-10000 Гц и высокой частоты от 60 кГц до 100 МГц.

Токи средней частоты получают при помощи машинных генераторов или статических преобразователей частоты. В диапазоне 150-500 Гц используются генераторы обычного синхронного типа, а выше (до 10 кГц) - машинные генераторы индукторного типа.

В последнее время машинные генераторы вытесняются более надежными статическими преобразователями частоты, выполняемыми на трансформаторах и тиристорах.

Токи высокой частоты от 60 кГц и выше получают исключительно при помощи ламповых генераторов. Установки с ламповыми генераторами используются для выполнения разнообразных операций термической обработки, поверхностной закалки, плавки металлов и др.

Нагревательные генераторы выполняются, как правило, с самовозбуждением (автогенераторы). По сравнению с генераторами независимого возбуждения они проще по устройству и имеют лучшие энергетические и экономические показатели.

Схемы ламповых генераторов для нагрева принципиально не отличаются от радиотехнических, но имеют некоторые особенности. От этих схем не требуется строгая стабильность частоты, что заметно их упрощает. Принципиальная схема простейшего генератора для индукционного нагрева приведена на рисунке 135.

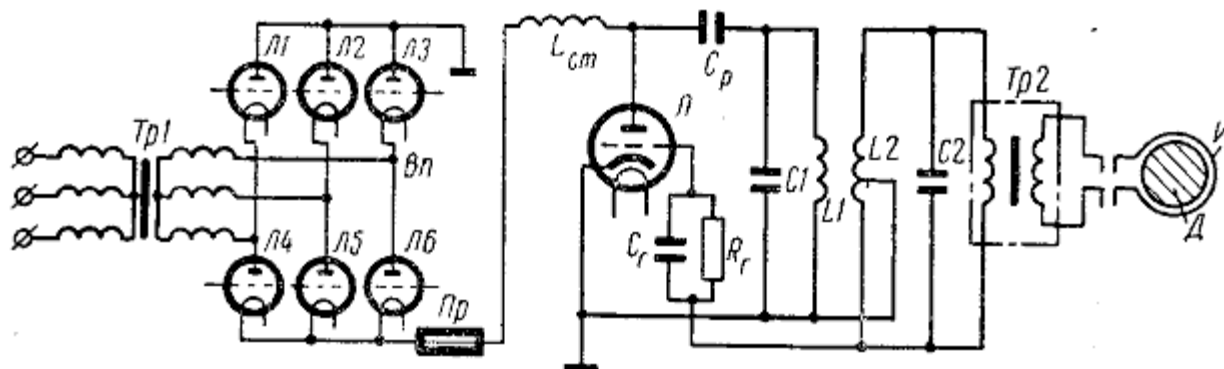


Рисунок 135 – Принципиальная электрическая схема лампового автогенератора для индукционного нагрева:

Tr1 - трансформатор анодный; Вп - выпрямитель на тиратронах; Пр - предохранитель; Lcm - дроссель анодный; Л - лампа генераторная; Ср - конденсатор разделительный; Сг, Rr - конденсатор и сопротивление гридника; С1, L1 - конденсатор и индуктивность анодного контура; L2 - катушка связи; С2 - конденсатор нагревательного контура; Tr2 - высокочастотный трансформатор; И - индуктор; Д - деталь

Основным элементом схемы является генераторная лампа. В нагревательных генераторах чаще всего используются трехэлектродные лампы, которые по сравнению с тетрами и пентодами проще и обеспечивают достаточную надежность и устойчивость генерации. Нагрузкой генераторной лампы служит анодный колебательный контур, параметры которого индуктивность L и емкость C подбираются из условия работы контура в резонансе на рабочей частоте:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Для собственной частоты эквивалентное резонансное сопротивление контура R_a является чисто активным

$$R_a = \frac{L}{RC}$$

где R - приведенное сопротивление потерь контура.

Параметры контура R, L, C определяются с учетом изменений, вносимых электрофизическими свойствами нагреваемых тел.

Питание анодных цепей генераторных ламп осуществляется постоянным током от выпрямителей, собранных на тиратронах или газотронах (рис. 135). Питание переменным током по экономическим соображениям применяется только для малых мощностей (до 5 кВт). Вторичное напряжение силового (анодного) трансформатора, питающего выпрямитель, составляет 8 - 10 кВ, выпрямленное напряжение 10 - 13 кВ.

Незатухающие колебания в автогенераторе возникают при наличии достаточной положительной обратной связи сетки с контуром и выполнении определенных условий, связывающих параметры лампы и контура.

Обратная сеточная связь в генераторах для индукционного нагрева выполняется чаще всего по трехточечной схеме, когда сеточное напряжение берется от части индуктивности анодного или нагревательного контура. На рисунке 135 напряжение на сетку подается от части витков катушки связи L2, которая представляет собой элемент индуктивности нагревательного контура.

Нагревательные генераторы в отличие от радиотехнических чаще всего выполняются двухконтурными (рис. 135) или даже одноконтурными. Двухконтурные генераторы легче настраиваются в резонанс и более устойчивы в работе.

В генераторах возбуждаются колебания второго рода. Анодный ток протекает через лампу импульсами, только в течение части ($1/2-1/3$) периода. Благодаря этому снижается постоянная составляющая анодного тока, уменьшается нагрев анода и повышается к. п. д. генератора. Форму импульсов имеет и сеточный ток. Отсечка анодного тока (в пределах угла отсечки $q = 70-90^\circ$) осуществляется подачей на сетку постоянного отрицательного смещения, которое создается падением напряжения на сопротивлении гридлика R_g при протекании постоянной составляющей сеточного тока.

Для согласования нагрузки в схемах предусматривается возможность регулировать резонансное сопротивление контура R_a и изменять напряжение на сетке U_c . Изменение этих величин достигается введением в контур дополнительных емкостей или индуктивностей и переключением анодного, катодного и сеточного зажимов (щупов), соединяющих контур с лампой.

Установки индукционного нагрева весьма распространены на ремонтных заводах

В ремонтном производстве токи средней и высокой частоты применяются для сквозного и поверхностного нагрева деталей из чугуна и стали под закалку, перед горячей деформацией (ковкой, штамповкой), при восстановлении деталей методами наплавки и высокочастотной металлизации, при пайке твердыми припоями и др.

Особое место занимает поверхностная закалка деталей. Возможность концентрации мощности в заданном месте детали позволяет получать сочетание наружного закаленного слоя с пластичностью глубинных слоев, что значительно повышает износостойкость и устойчивость к знакопеременным и ударным нагрузкам.

Достоинства поверхностной заправки при помощи индукционного нагрева заключаются в следующем:

- 1) возможность закаливать детали и инструмент на любую необходимую толщину, при необходимости обрабатывая только рабочие поверхности;
- 2) значительное ускорение процесса закаливания, что обеспечивает высокую производительность установок и снижает стоимость термообработки;
- 3) обычно меньший по сравнению с другими способами нагрева удельный расход энергии вследствие избирательности нагрева (только на заданную глубину) и быстротечности процесса;
- 4) высокое качество закаливания и уменьшение брака;
- 5) возможность организации поточности производства и автоматизации процессов;
- 6) высокая культура производства, улучшение санитарно-гигиенических условий труда.

Установки индукционного нагрева выбирают по следующим основным параметрам: назначению, номинальной колебательной мощности, рабочей частоте. Выпускаемые промышленностью установки имеют стандартную шкалу мощностей со следующими степенями: 0,16; 0,25; 0,40; 0,63; 1,0 кВт и далее при умножении этих чисел на 10, 100 и 1000.

Установки для индукционного нагрева имеют мощности от 1,0 до 1000 кВт, в том числе с ламповыми генераторами до 250 кВт, а выше - с машинными генераторами. Рабочую частоту, определяемую расчетом, уточняют по шкале частот, разрешенных для применения в электротермии.

Высокочастотные установки для индукционного нагрева имеют единую индексацию: ВЧИ (высокочастотные индукционные).

После букв через тире обозначается в числителе колебательная мощность (кВт), в знаменателе - частота (МГц). После цифр пишутся буквы, обозначающие технологическое назначение. Например: ВЧИ-40/0,44-ЗП - высокочастотная установка индукционного

нагрева, колебательная мощность 40 кВт, частота 440 кГц; буквы ЗП - для заковки поверхностей (НС - для сквозного нагрева, СТ - сварки труб и т. п.).

Л46 Диэлектрический нагрев. Физические основы. Удельная мощность, передаваемая в материал

Токи высокой частоты (ТВЧ) значительно расширили технологические возможности и области применения электрического нагрева в различных отраслях народного хозяйства, медицине, биологии, быту, научных исследованиях. Особенно велико значение ТВЧ для нагрева электрически не проводящих и плохо проводящих материалов - диэлектриков и полупроводников.

Диэлектрический нагрев осуществляется в высокочастотном электрическом поле. Принципиальная электрическая схема простейшей установки приведена на рисунке 136. Диэлектрик Д помещается между обкладками рабочего конденсатора C_k , образующего с индуктивностью L_k и регулируемой емкостью $C_{кр}$ колебательный контур лампового генератора токов высокой частоты. Рабочий конденсатор, в котором происходит нагрев материала, является диэлектрическим нагревателем.

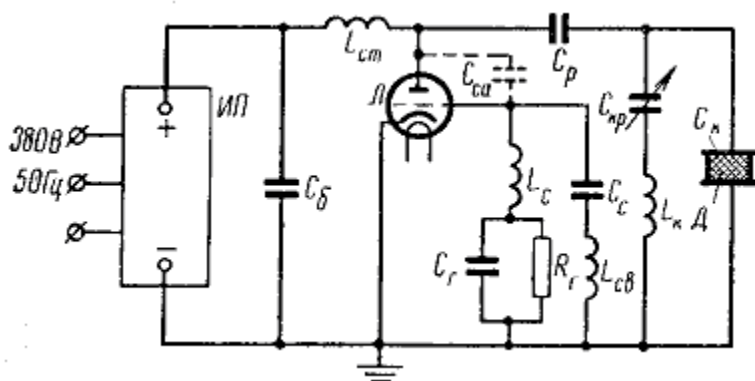


Рисунок 136 – Принципиальная электрическая схема лампового автогенератора для диэлектрического нагрева:

ИП - источник питания; Л - генераторная лампа; $C_{б}$ - конденсатор блокировочный;

$L_{ст}$ - дроссель анодный; $C_{р}$ - конденсатор разделительный; $C_{р}$, $R_{р}$ - конденсатор и сопротивление гридлика; $L_{с}$, $C_{с}$ - дроссель и конденсатор сеточный; $L_{св}$ - катушка связи;

$L_{к}$ - индуктивность колебательного контура; $C_{к}$ - рабочий конденсатор;

$C_{кр}$ - регулируемый конденсатор; Д - диэлектрик; $C_{са}$ - межэлектродная емкость сетка-анод

Нагрев токами высокой частоты наиболее целесообразен для материалов с плохой теплопроводностью. В сельскохозяйственном производстве к ним относится большинство продуктов и кормов, подлежащих сушке: зерно, хмель, чай, табак, концентрированные корма, - а также пищевые жидкости: молоко, фруктовые соки и др.

При обычных (внешних) способах подвода тепла процесс сушки или тепловой обработки затягивается. Длительное пребывание продуктов в температурном поле отрицательно влияет на их качество, возрастают потери тепла, производительность установок невысока.

При нагреве в поле конденсатора тепло выделяется одновременно по всему объему однородного по электрофизическим свойствам материала, вследствие чего продолжительность нагрева резко сокращается. В процессах сушки быстрый нагрев внутренних слоев материала приводит к созданию градиентов температуры и давления, направленных к наружной поверхности тела, что способствует быстрому удалению излишней влаги. Если материал неоднороден, становится возможным избирательный нагрев отдельных компонентов, имеющих различную спектральную чувствительность к ТВЧ.

Интенсивность нагрева практически ограничивается лишь технологическими условиями и целостностью материала.

Интенсивный нагрев диэлектриков возможен лишь в электрическом поле высокой частоты. Нагрев в поле конденсатора (собственно диэлектрический нагрев) осуществляется на частотах от 0,5 до 100 МГц. Область более высоких частот, от 100 до 300 МГц, составляют токи сверхвысокой частоты (СВЧ). Нагрев токами СВЧ (волнами дециметрового и сантиметрового диапазона) осуществляется в объемных резонаторах или путем направленного излучения электромагнитной энергии. Этот вид диэлектрического нагрева имеет свои особенности как по принципу генерирования токов СВЧ, так и по характеру нагрева. На этих частотах уже заметно проявляется поверхностный эффект вследствие затухания электромагнитной волны в диэлектрике.

Основные особенности высокочастотного нагрева диэлектриков состоят в следующем.

1. Нагрев токами высокой частоты является прямым нагревом - электрическая энергия преобразуется в тепло непосредственно в полупроводниках или диэлектриках, помещенных в быстропеременное электрическое поле. Во многих случаях это позволяет коренным образом изменять технологию процессов, повышать качество продукции и производительность труда. Примерами этому могут служить опыт применения ТВЧ для сушки зерна и других сельскохозяйственных продуктов и кормов, пастеризация и стерилизация молока и др. При ВЧ нагреве расход электроэнергии непосредственно на изменение теплосодержания материалов наименьшей по сравнению с другими способами, а к. п. д. выше, хотя общий расход электроэнергии с учетом потерь в генераторах и вспомогательных устройствах нередко оказывается больше.

2. Токи высокой частоты позволяют осуществлять избирательный нагрев благодаря возможности концентрации мощности в нужном направлении и использованию спектральной чувствительности неоднородных по физическим свойствам материалов. Это свойство используется в процессах сушки, дезинсекции зерна, замаривания коконов тутового шелкопряда и др.

3. При ВЧ нагреве достигается высокая концентрация мощности в единице объема нагреваемой среды, что позволяет значительно интенсифицировать производственные процессы. Появляется возможность использовать механические воздействия, возникающие в материалах при быстром неравномерном нагреве, например при диэлектрическом разрушении камней, вспучивании материалов органического происхождения и др. Кроме того, ВЧ нагрев диэлектриков позволяет снизить отходы продукции, осуществить поточность и широкую автоматизацию производства.

В сельском хозяйстве диэлектрический нагрев имеет большие возможности применения для сушки зерна, семян трав, овощей, фруктов, чая, хлопка, дезинсекции зерна, замаривания шелковичных коконов. Не менее важно применение ТВЧ для пастеризации, стерилизации молока и молочных продуктов, фруктовых и ягодных соков, в процессах консервирования.

К недостаткам диэлектрического нагрева следует отнести высокую стоимость оборудования, более высокий (во многих случаях) удельный расход электроэнергии, необходимость в квалифицированном обслуживающем персонале. Поэтому его применение экономически целесообразно там, где это ведет к коренному усовершенствованию технологии процессов и где высокие капитальные и эксплуатационные затраты компенсируются повышением качества и увеличением выхода продукции, значительным ростом производительности труда.

К установкам диэлектрического нагрева предъявляются следующие основные требования:

1) обеспечить заданные технологические условия (по температурным режимам, скорости нагрева и т. п.);

- 2) полностью сохранить материал и его качества, не допускать электрического пробоя материала;
- 3) возможность согласования электрических параметров нагрузки с параметрами источника питания;
- 4) обеспечить устойчивый режим работы в конденсаторе без искрения;
- 5) максимальное значение к. п. д.

Выполнение этих требований связано в основном с правильным выбором мощности установок, напряженности поля и рабочей частоты конденсатора.

Особенности генераторов ТВЧ для диэлектрического нагрева. Магнетроны

Ламповые генераторы ТВЧ для диэлектрического нагрева имеют много общего с генераторами для индукционного нагрева. У них общий принцип действия, и их часто выполняют на одних и тех же генераторных лампах. В обоих случаях используют, как правило, генераторы с самовозбуждением (автогенераторы). Однако между ними существуют и различия, обусловленные разными диапазонами генерируемых частот. В технике высокочастотного нагрева частотный диапазон индукционного нагрева относят к "низким" частотам, а диэлектрического нагрева, у которого частоты на 2-3 порядка выше, - к "высоким".

В диапазоне высоких частот (выше 5-10 МГц) на работу генераторов заметное влияние оказывают паразитные емкости и индуктивности монтажа, а также межэлектродные емкости лампы: катод- анод, сетка - катод, сетка - анод. Это усложняет настройку генератора и затрудняет его работу.

В высокочастотных генераторах межэлектродные емкости используются как элементы обратной сеточной связи. На схеме, приведенной на рисунке 136, таким элементом является межэлектродная емкость сетка - анод $C_{са}$, показанная пунктиром. Так как в соответствии с теорией ламповых генераторов реактивное сопротивление между сеткой и катодом в этом случае должно быть противоположного знака, то есть индуктивным, то обратная сеточная связь по виду является индуктивной. Такой вид обратной связи наиболее распространен в схемах высокочастотных генераторов.

При нагреве в поле конденсатора с ростом температуры изменяются параметры нагреваемого материала (влажность, электрофизические свойства), которые наряду с параметрами элементов колебательного контура определяют значение резонансного сопротивления R_a $R_a = L/RC$. Это приводит к нарушению условия $R_a = R_z$, оптимальности работы генератора и изменению частоты. Поддержание оптимального режима нагрева (согласование нагрузки) - одна из основных трудностей в работе высокочастотных генераторов (особенно значительной мощности). Генераторы обычно выполняются по более сложным, чем на рисунке 136, двух- и многоконтурным схемам, обеспечивающим возможность согласования нагрузки в процессе нагрева. Принципы согласования такие же, как у генераторов индукционного нагрева. Простейшие одноконтурные схемы с рабочим конденсатором, являющимся частью емкости колебательного контура, имеют ограниченную возможность настройки и применяются лишь в установках небольшой мощности для выполнения определенного технологического процесса.

Магнетроны. Повышение требований технологии к нагреву диэлектриков привело к использованию токов сверхвысоких частот (СВЧ), к которым принято относить токи частотой выше 50- 100 МГц.

Основные особенности нагрева энергией СВЧ состоят в следующем:

- 1) значительное повышение интенсивности нагрева. Переход к более высоким частотам является единственным средством повышения удельной мощности нагрева, так как значение напряженности электрического поля ограничивается электрической прочностью нагреваемого материала;
- 2) лучшее использование спектральной чувствительности нагреваемых материалов, что открывает новые возможности для избирательного нагрева и повышения эффективности высокочастотной электротермии.

Нагрев в поле СВЧ может использоваться в тех же процессах, что и диэлектрический нагрев. Весьма перспективно применение СВЧ-нагрева в процессах приготовления пищи на предприятиях общественного питания и в быту.

Для генерирования токов СВЧ обычные вакуумные триоды и тетроды непригодны. При частотах более 100 МГц уже заметно проявляется механическая инерция электронов, а время пробега электрона между электродами лампы становится соизмеримым с периодом колебаний. Это существенно затрудняет управление электронным потоком при помощи управляющего электрода и, следовательно, генерирование ВЧ-колебаний модуляцией электронного потока по плотности. Возникающие при таких частотах даже небольшие "паразитные" емкости и индуктивности в конструктивных элементах ламп вносят существенные погрешности в нормальный режим работы ламп. Малопригодными оказались и обычные колебательные контуры, имеющие на этих частотах значительные потери на излучение.

Выход был найден в использовании специальных электронных приборов - магнетронов, в которых генерирование СВЧ-колебаний осуществляется модуляцией электронного потока по скорости. Магнетроны значительно расширили область применения диэлектрического нагрева.

В магнетронах (рис. 137) используется движение электронов во взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях, создаваемых в кольцевом зазоре между катодом и анодом. Между электродами подается анодное напряжение, создающее радиальное электрическое поле, под действием которого вырываемые из подогретого катода электроны устремляются к аноду. Анодный блок помещается между полюсами электромагнита, который создает в кольцевом зазоре магнитное поле, направленное по оси магнетрона. Под действием магнитного поля электрон отклоняется от радиального направления и движется по сложной спиральной траектории. В пространстве между катодом и анодом образуется вращающееся электронное облако с языками, напоминающее ступицу колеса со спицами. Пролетая мимо щелей объемных резонаторов анода, электроны возбуждают в них высокочастотные колебания. Каждый из объемных резонаторов представляет собой колебательную систему с распределенными параметрами. Электрическое поле концентрируется у щелей, а магнитное поле сосредоточено внутри полости.

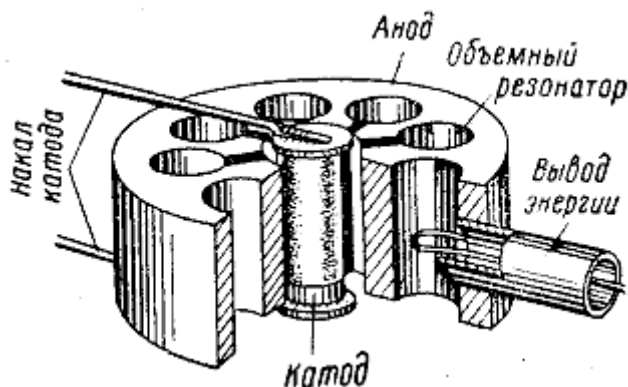


Рисунок 137 – Анодный блок магнетрона

Вывод энергии из магнетрона осуществляется при помощи индуктивной петли, помещаемой в один или чаще два соседних резонатора. По коаксиальному кабелю энергия подводится к нагрузке.

Нагрев токами СВЧ осуществляется в волноводах круглого или прямоугольного сечения или в объемных резонаторах, в которых возбуждаются электромагнитные волны простейших форм $TE_{10}(H_{10})$ (в волноводах) или TE_{101} (в объемных резонаторах). Нагрев может осуществляться и излучением электромагнитной волны на объект нагрева.

Питание магнетронов осуществляется выпрямленным током с упрощенной схемой выпрямителя. Установки очень малой мощности могут питаться переменным током. Простота устройства и относительно невысокая стоимость магнетронов в сочетании с

высокой интенсивностью нагрева и разнообразием применения токов СВЧ открывают перед ними большие перспективы применения в различных областях сельского хозяйства.

Л47 Термоэлектрический, электронно-лучевой, лазерный нагрев

Под термоэлектрическими явлениями понимают три термоэлектрических эффекта – Зеебека, Пельтье и Томсона, связанных с процессом переноса теплоты между местами контакта (спаями) в проводниках и полупроводниках.

Эффект Зеебека заключается в следующем. Если составить электрическую цепь (термоэлемент) из двух разнородных проводников и места контактов поддерживать при разных температурах, то на свободных концах появится термоэлектродвижущая сила или термоЭДС (рис. 138). В цепи, замкнутой на миллиамперметр, можно обнаружить электрический ток, который будет протекать до тех пор, пока температуры спаев будут различны.

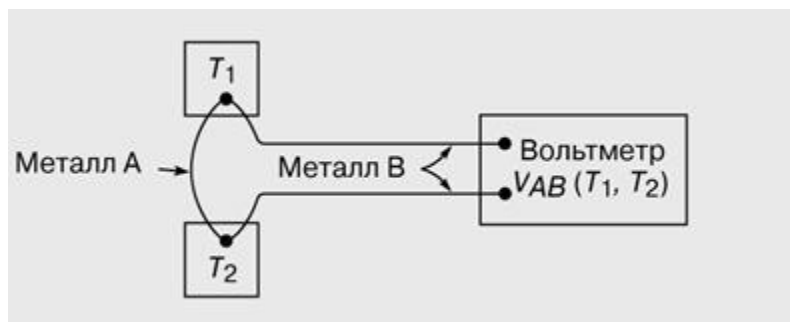


Рисунок 138 – Термоэлектрическое явление Зеебека
ТермоЭДС, мкВ,

$$E = e(T_2 - T_1),$$

где e – коэффициент Зеебека, мкВ/К;

T_2 и T_1 – температуры горячего и холодного спаев, К.

Явление Зеебека обусловлено тем, что средняя энергия электронов, участвующих в переносе тока, во всех проводниках зависит от температуры, но в несходных материалах по-разному. Электроны в нагретом спае приобретают более высокие скорости и устремляются на холодный спай, на котором накапливается отрицательный заряд. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока возникающая таким образом термоЭДС не уравновесит термодиффузию электронов. Явление Зеебека широко используется в термометрии – в любой термопаре происходит непосредственное преобразование тепловой энергии в электрическую. Заметим, что коэффициент e для большинства металлов невелик и не превышает несколько микровольт на градус. В отличие от металлов коэффициент e у полупроводников значительно больше и составляет сотни микровольт на градус.

Эффект Пельтье представляет собой явление, обратное явлению Зеебека. Этот эффект был открыт Пельтье в 1814 г и объяснен русским ученым Ленцем в 1838 г.

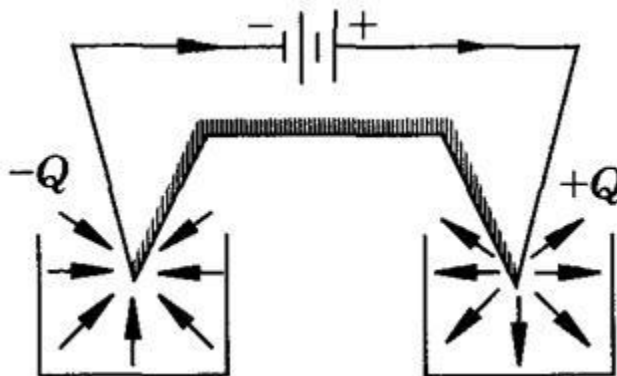


Рисунок 139 – Термоэлектрическое явление Пельтье

Если через электрическую цепь, составленную из разнородных материалов, пропустить ток, то в зависимости от его направления в дополнение к теплоте Ленца-Джоуля на одном из его контактов выделяется теплота, а на другом она поглощается, т.е. происходит охлаждение (рис. 139). Явление Пельтье можно объяснить следующим образом. Т.к. в различных проводниках средняя энергия электронов, участвующих в переносе электрического тока, несходна, электроны при переходе из одного проводника в другой либо пополняют свою энергию, отнимая ее в месте контакта у атомов проводника, в который они перешли, либо, наоборот, передают этим атомам избыток энергии. В первом случае теплота Пельтье поглощается, а во втором выделяется. Особенно сильно эффект Пельтье проявляется в системах, состоящих из полупроводников с электронной и дырочной проводимостью. При этом если электрический ток направлен от дырочного полупроводника к электронному, то тепловая энергия в контакте выделяется. Когда ток протекает от электронного полупроводника к дырочному, тепловая энергия в контакте поглощается.

Теплота Пельтье, Дж: $Q_{II} = K_{II} I \tau$,

где K_{II} – коэффициент Пельтье, В/с;

I – сила тока в цепи термоэлемента, А;

τ – время протекания тока, с.

Между коэффициентами Пельтье и Зеебека существует связь $K_{II} = eT$,

где T – температура спаи, К.

Эффект Томсона состоит в том, что при прохождении электрического тока по однородному проводнику, в котором существует перепад температур, к теплоте Ленца-Джоуля дополнительно выделяется или из нее поглощается некоторое количество теплоты (теплота Томсона), Дж: $Q_{Tom} = K_T I (T_2 - T_1) \tau$,

где K_T – коэффициент Томсона, В/(с·К);

T_2 и T_1 – температура в различных участках проводника, К.

Эффект Томсона объясняется тем, что в более нагретом участке проводника средняя энергия носителей тока больше, чем в менее нагретом. Если носители тока перемещаются в направлении убывания температуры, то они избыток энергии отдают кристаллической решетке и выделяется теплота. Если носители тока движутся в противоположном направлении, то они пополняют свою энергию за счет энергии кристаллической решетки и теплота поглощается.

В основе работы термоэлектрических устройств нагрева и охлаждения лежит использование эффекта Пельтье.

Термоэлектрические тепловые насосы

Если электрическую цепь, состоящую из большого числа положительных и отрицательных полупроводников (термоэлементов), расположить так, чтобы спаи, где происходит выделение тепла (нагрев), и спаи, где происходит поглощение тепла (охлаждение), образовали изолированные друг от друга каналы, то при пропускании электрического тока из одного канала можно получить тепло, а из другого – холод. После перемены направления тока теплый канал становится холодным, а холодный – горячим. Если между холодным и горячим каналами создать разность температур, большую, чем между наружным воздухом и помещением, то можно холодный воздух или воду охлаждать еще сильнее в холодном канале, то есть отнимать тепло от холодной среды, а в горячем канале нагревать теплый воздух помещения в основном за счет тепла, отнятого от холодного воздуха. Т.е. работа теплового насоса заключается в перекачке тепловой энергии от материала с более низкой температурой к материалу с более высокой температурой.

Бытовые холодильники являются, по существу, тепловыми насосами – теплота забирается в холодильной камере (происходит охлаждение) и отдается окружающему пространству от испарителя (происходит нагрев). Распространенные компрессионные и абсорбционные агрегаты имеют значительную массу, большие габариты и потребляют много электроэнергии. Кроме того, они не могут плавно регулировать температуру. Движущиеся части и газ – фреон ограничивают срок службы компрессоров. Этих недостатков лишены

термоэлектрические тепловые насосы. Рассмотрим термоэлемент, составленный из ветвей с дырочной (р -типа) и электронной (n -типа) проводимостью (рис. 140).

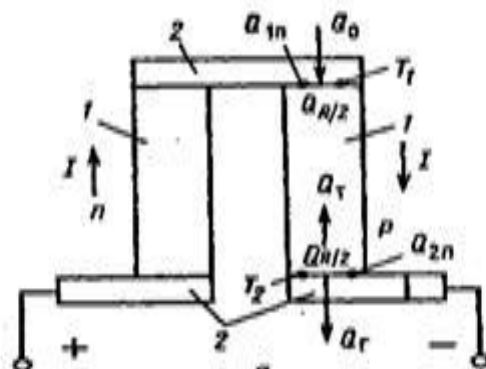


Рисунок 140 – Схема термоэлемента: 1 – ветвь термоэлемента; 2 – металлическая пластина

Ветви термоэлемента соединяют металлической пластиной. При пропускании тока через термоэлемент в направлении от (+) к (-) на п-р переходе (холодном спае) поглощается, а на р-п переходе (горячем спае) выделяется в единицу времени теплота Пельтье Q_p .

Холодному спаю от окружающей среды сообщается теплота Q_o . Кроме того, по ветвям термоэлемента вследствие их теплопроводности от горячего спаю к холодному передается теплота Q_T . С некоторым приближением можно считать, что на каждом из спаев выделяется половина теплоты Ленца-Джоуля Q_R . Уравнение теплового баланса для холодного спаю может быть записано в следующем виде: $Q_o + Q_T + 0,5Q_R = Q_{1п}$, отсюда теплота, забираемая от окружающей среды $Q_o = Q_{1п} - Q_T - 0,5Q_R$.

Уравнение теплового баланса для горячего спаю запишется так: $Q_{2п} + 0,5Q_R = Q_{г} + Q_T$, где $Q_{г}$ - теплота, передаваемая горячим спаем нагреваемому объекту, отсюда $Q_{г} = Q_{2п} + 0,5Q_R - Q_T$.

Так как $Q_{г}$ и Q_o представляют собой количество теплоты в единицу времени, то работа электрических сил (потребляемая мощность): $P = Q_{г} - Q_o$.

Окончательно: $el(T_2 - T_1) + I^2 R$, где R - сопротивление ветви термоэлемента, Ом.

Из анализа уравнения видно, что потребляемая термоэлементом мощность P расходуется на преодоление термоЭДС и активного сопротивления; термоэлемент при этом работает как тепловой насос, перекачивая теплоту от окружающей среды нагреваемому объекту.

Наиболее экономичным с точки зрения потребления электрической энергии является режим работы теплового насоса, при котором отопительный или холодильный эффекты максимальные. При работе в режиме охлаждения максимальному холодильному коэффициенту соответствует определенный ток в цепи термоэлемента. Это объясняется тем, что при больших значениях тока теплота Ленца-Джоуля Q_R , пропорциональная квадрату тока, превышает теплоту Пельтье, пропорциональную току, т.е. вместо охлаждения будет происходить нагрев. При работе в режиме нагрева экстремальная зависимость отопительного коэффициента от тока отсутствует.

Холодо- и теплоподачу тепловых насосов регулируют, изменяя силу тока, протекающего по термоэлементам. Регулирование может быть непрерывным или по принципу включено-выключено. Последнее отличается большей простотой, но меньшей экономичностью, т.к. через ветви термоэлементов, имеющих высокую теплопроводность, при отключении питания возникает большая передача теплоты.

Для питания термоэлектрических нагревательных и холодильных устройств используют источники постоянно тока или тока с незначительной пульсацией. Наиболее распространены выпрямители однофазного переменного тока с последующим сглаживанием пульсации в фильтре. Чтобы получить нужное напряжение, применяют понижающий

трансформатор и одно- или двухполупериодные схемы выпрямления. Для сглаживания пульсации применяют, как правило, индуктивные фильтры, включенные последовательно с термобатареей, или аккумуляторы, соединяемые параллельно с термобатареей. В случае трехфазного выпрямления фильтры обычно не ставят, т.к. пульсация при этом незначительная.

Термоэлектрические устройства могут найти применение для охлаждения питьевой воды в полевых условиях. Вода охлаждается при протекании через термобатарейку или в сосуде для ее хранения. Аналогичные охладители могут быть использованы и для молока. При этом необходимо, чтобы оно стекало тонким слоем по охлаждаемым сторонам термобатарейки. Такая конструкция обеспечивает хороший теплообмен с молоком и легкий доступ к поверхностям, требующим мытья после пользования.

Термоэлектрические тепловые насосы особенно перспективно применять в качестве кондиционеров в различных производственных помещениях для поддержания комфортных условий по температуре (рис.141). Легкий переход с охлаждения на нагрев и, следовательно, большая гибкость по сравнению с обычными системами дают значительные преимущества термоэлектрическим кондиционерам.

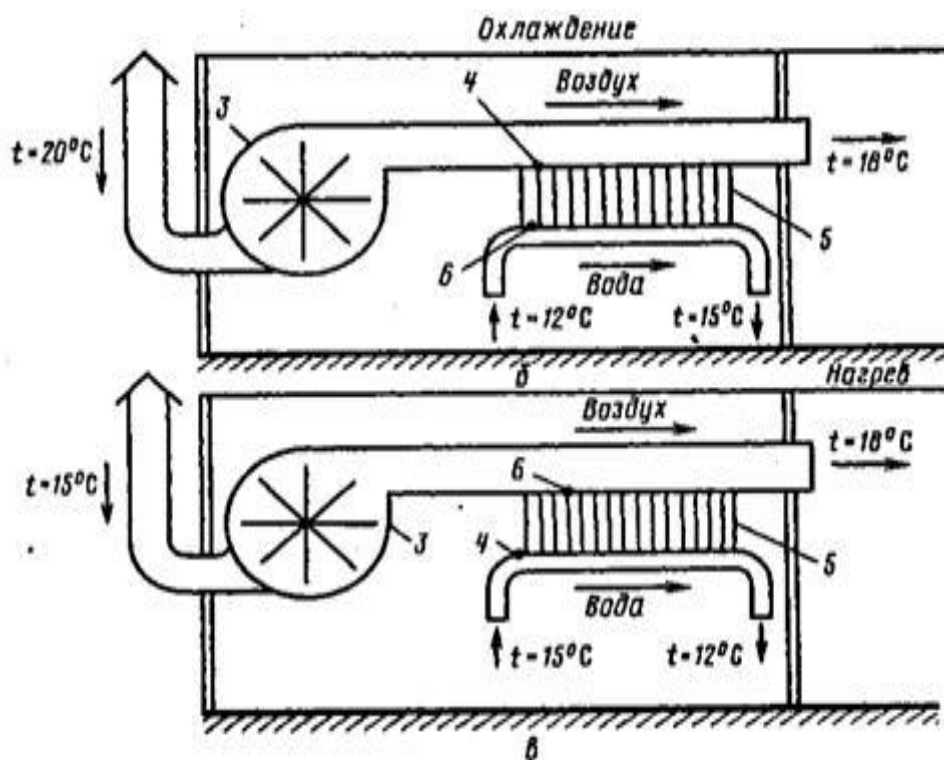


Рисунок 141 – Схема термоэлектрического полупроводникового насоса, применяемого для охлаждения (б) и нагрева (в) воздуха; 3 – приточный вентилятор; 4 и 6 – холодные и горячие спаи; 5 – тепловой насос

Электронно-лучевой нагрев (ЭЛН) широко применяется при обработке тугоплавких и химически активных металлов, сварке, испарении металлов и оксидов, выращивании монокристаллов, металлизации и напылении и т. д.

К основным преимуществам электронно-лучевого нагрева можно отнести: возможность в широких пределах плавно изменять удельную энергию в зоне нагрева; большую удельную мощность в месте взаимодействия электронного луча с обрабатываемым изделием или материалом; возможность с помощью магнитной системы управлять пространственным положением луча; возможность использования вакуума как рабочей среды; возможность получения малоразмерной (прецизионной) зоны воздействия электронного луча на обрабатываемый материал.

Главными недостатками данного вида нагрева считаются наличие высокого вакуума, сложность изготовления, эксплуатации и высокая стоимость электронно-лучевого оборудования.

Электронный луч, используемый в качестве нагревательной установки, представляет собой направленный поток электронов, переносящих свою энергию от излучателя к изделию. Ускоренные электроны, получившие кинетическую энергию, пропорционально их скорости передают ее веществу обрабатываемой поверхности. Ввиду того что электроны отдают свою энергию при столкновении с молекулами и атомами вещества, в рабочей камере должен поддерживаться глубокий вакуум, который необходим и для защиты катода от бомбардировки положительными ионами.

Испускаемые катодом электроны получают ускорение в электрическом поле и формируются электромагнитными полями в электронный пучок или луч.

Сформированный пучок электронов проходит через рабочую камеру и попадает на поверхность обрабатываемого объекта.

Глубина проникновения электронов и протяженность зоны интенсивного выделения тепловой энергии составляет около 10^{-6} м и для твердых тел нагрев является поверхностным. Мощность рентгеновского излучения в энергетическом балансе электронно-лучевой установки очень мала, однако его биологическое воздействие для человека является опасным. Поэтому при разработке и изготовлении ЭЛУ необходимо предусмотреть мероприятия по защите обслуживающего персонала от рентгеновского излучения.

Представляют научный интерес явления, связанные со вторичной эмиссией электронов с бомбардируемой электронным лучом поверхности металла. Так, например, перегретая (на 200-1000 К) выше температуры плавления поверхность ванны расплавленного металла является мощным источником термоэлектронной эмиссии.

Хотя мощность термоэлектронной эмиссии мала, ее ток, поглощаемый стенками камеры, может достигать десятков и сотен ампер. Поэтому заземление электронно-лучевой установки должно быть надежным. Определенная часть электронов луча отражается от поверхности металла и поглощается стенками камеры, что приводит к существенным потерям мощности электронного луча (для легких металлов - 5-10 %, для тяжелых - 15-25 %) и значительно снижает энергетический баланс установки.

В рабочей камере электронно-лучевой установки протекают сложные процессы взаимобмена электронов луча с атомами остаточных и выделяющихся во время плавки и нагрева газов, с атомами металлических паров, находящихся над расплавленным металлом, и т. п.

Все конструкции электронно-лучевых установок имеют набор систем, которые сходны по своему назначению и принципу действия. Их можно разделить на два комплекса - энергетический и электромеханический.

Энергетический комплекс состоит из электронной пушки с блоками питания и управления лучом. Электронной пушкой является устройство, которым пучок электронов под воздействием электрического и магнитного полей в луч, ускоряемый электрическим полем, выводится через анод и направляется на нагреваемое изделие или поверхность.

Одним из главных узлов электронной пушки является катод. Его изготавливают из тугоплавких металлов (W, Ta, Mo), оксидов редкоземельных металлов (Zr, La). Катоды прямого нагрева применяются при небольших токах эмиссии (до 20 мА), катоды косвенного нагрева - при больших (до 200 мА). Заданная плотность электронного луча находится путем подбора конфигурации катодного электрода и анода, так как после прохождения анода электроны движутся в пространстве вне электрического поля. Ввиду того что электронный луч обладает объемным пространственным зарядом, в результате столкновения электронов нарушается фокусировка луча.

Поэтому после электростатической фокусировки луч дополнительно фокусируется электромагнитной линзой, которая представляет собой катушку в магнитопроводе,

запитанную от выпрямителя, обеспечивающего устойчивое напряжение и небольшую пульсацию.

Электромеханический комплекс включает вакуумную рабочую камеру, систему позиционирования и перемещения заготовки, систему наблюдения за ходом процесса, систему защиты от рентгеновского излучения.

Вакуумная камера является базовым элементом электронно-лучевой установки, наиболее важным и сложным узлом электромеханического комплекса. Конструкция определяется видом технологического процесса. Камера должна быть герметичной и механически прочной. Материал, из которого она изготовлена, должен надежно поглощать рентгеновское излучение.

Главная функция вакуумной камеры — создание и поддержание в рабочем объеме и в электронной пушке необходимого вакуума.

Система позиционирования и перемещения заготовок определяется видом операции. Самым простым устройством, применяемым при электронно-лучевой плавке, можно считать устройство вытягивания слитка. Самые сложные системы бывают задействованы при размерной обработке: они обеспечивают 5—6 видов различных перемещений с очень высокой точностью — в 1—5 мкм.

Электронные плавильные установки.

Многочисленным семейством электронно-лучевых установок являются плавильные установки, предназначенные в основном для переплавки стали, молибдена, ниобия и других тугоплавких и химически активных металлов. Их мощность варьирует от 50 до 2 000 кВт.

Одна из простых схем электронной плавильной установки с кольцевым катодом и автоэлектронным нагревом, в которой анодом является сам расплавляемый металл, представлена на рис. 142. Катодом К служит нагретая до 2 500 К током вольфрамовая спираль. Анодом А является расплавляемый электрод и жидкометаллический слой в верхней части слитка, образующегося в кристаллизаторе. Катод окружает молибденовый экран Э, находящийся под тем же потенциалом. Покидающие катод электроны отталкиваются экраном и в виде кольцевого пучка направляются на электрод и в жидкометаллическую поверхность слитка. Нижняя часть электрода расплавляется под ударами бомбардирующих его электронов. Расплавленный металл каплями стекает в ванну.

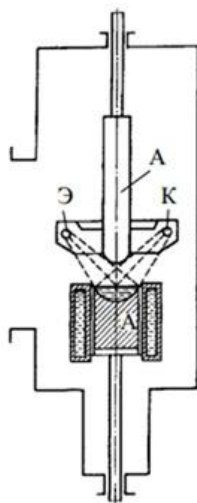


Рисунок 142 — Схема электронно-лучевой установки с кольцевым катодом

При изменении положения электрода будет изменяться и количество попадающих на него электронов. Если электрод приподнять так, что прекратится его плавление, тогда металл в ванне будет перегреваться или держаться при неизменной температуре.

Установки с кольцевым катодом работают на ускоряющем напряжении от 5 до 15 кВ. Главными их преимуществами являются простота конструкции и высокая проводимость: это позволяет получать в них большие токи пучка при малом напряжении. Их недостатком является нахождение катода в зоне камеры, поэтому при газовыделении с поверхности

ванны он оказывается в зоне повышенного давления. Покинувшие катод электроны сталкиваются с атомами газов и ионизируют их. Образующиеся при этом положительные ионы направляются к катоду и адсорбируются на нем, что сильно снижает его эмиссионную способность и сокращает срок службы. По этой причине плавильные электронно-лучевые установки с кольцевым катодом имеют ограниченное применение для переплава металлов с незначительным выделением газа.

Лазер представляет собой мощный источник когерентного направленного светового потока.

Работа лазера основана на дискретном изменении энергии электронов, ионов, атомов или молекул вещества, вызванном внешним источником возбуждения (накачкой).

Возбужденные частицы вещества излучают на длине волны, характерной для данного вещества. Высокая монохроматичность, когерентность лазерного излучения позволяют фокусировать луч в пятно диаметром до нескольких микрометров. В зоне действия луча сосредоточивается поток колоссальной плотности — до 10^{16} — 10^{24} Вт/м². При плотности потока 10^{10} — 10^{12} Вт/м² плавится и испаряется любой тугоплавкий и сверхтвёрдый материал.

Обработку лучом лазера можно вести в любой прозрачной среде — твердой, жидкой, газообразной, в вакууме.

Достоинства лазерной обработки: отсутствие механического воздействия на изделие; высокая точность, быстрота настройки; ограниченность зоны термического воздействия, вызывающего структурные изменения обрабатываемого материала. Любой лазер имеет активную среду, помещенную в резонатор, и генератор накачки, возбуждающий атомы в среде.

Оптический резонатор по торцам излучателя представляет собой систему двух плоских строго параллельных зеркал. Зеркало, через которое «выводится» излучение, делают полупрозрачным.

При накачке в активной среде между зеркалами возникает состояние, когда количество атомов на верхнем энергетическом уровне превышает количество их на нижнем энергетическом уровне. Лавинный процесс излучения начинается в тот момент, когда хотя бы один возбужденный атом спонтанно излучает фотон в направлении, параллельном оптической оси. Этот фотон «вынуждает» другой возбужденный атом также испустить фотон и т. д.

Множественно отражаясь от зеркал резонатора, фотоны распространяются через активную среду и интенсифицируют развитие процесса. Геометрические размеры резонатора таковы, что световая волна, дважды отразившись от зеркал, сдвигается по фазе на величину, кратную целому периоду. Таким образом обеспечивается положительная обратная связь.

Если населенность верхнего уровня активной среды превышает некоторую пороговую величину, зависящую от коэффициента отражения полупрозрачного зеркала, процесс интенсивно нарастает. Световые волны, параллельные оси резонатора, усиливаются и выводятся через полупрозрачное зеркало в виде узкого пучка когерентного света. Чтобы направленность излучения была высокой, необходима строгая параллельность зеркал резонатора.

Монохроматичность излучения определяется резонансными свойствами отдельных атомов и молекул, которые избирательно поглощают или излучают свет определенной волны. Фаза, частота, поляризация и направление распространения совпадают с характеристиками волны внешнего электромагнитного поля накачки. Это и определяет когерентность излучения.

Рассмотрим устройство лазера. В качестве активного вещества в лазерах нашли применение кристаллы рубина и алюмоиттриевого граната (АИГ), газовые смеси гелия с неоном, азота с углекислым газом, а также полупроводниковые материалы (арсенид галлия и др.).

Основные элементы твердотельного лазера: оптическая головка, источник питания, блок поджога и синхронизирующее устройство. В оптическую головку входят активный элемент (его помещают между зеркалами резонатора) и источник накачки.

Для работы в импульсном режиме с большой частотой повторения, а также в непрерывном режиме наиболее пригоден лазер на АИГ с примесью неодима.

Кристаллы АИГ отличаются высокой теплопроводностью, большой термической стойкостью и низким порогом возбуждения. Частота повторения импульсов доходит до 50 кГц, а выходная мощность в непрерывном режиме составляет 300 Вт при сравнительно высоком КПД (до 2,5 %).

Лазерные технологические установки УЛ-2М, УЛ-20М и другие независимо от назначения строят по типовой схеме (рис. 143).

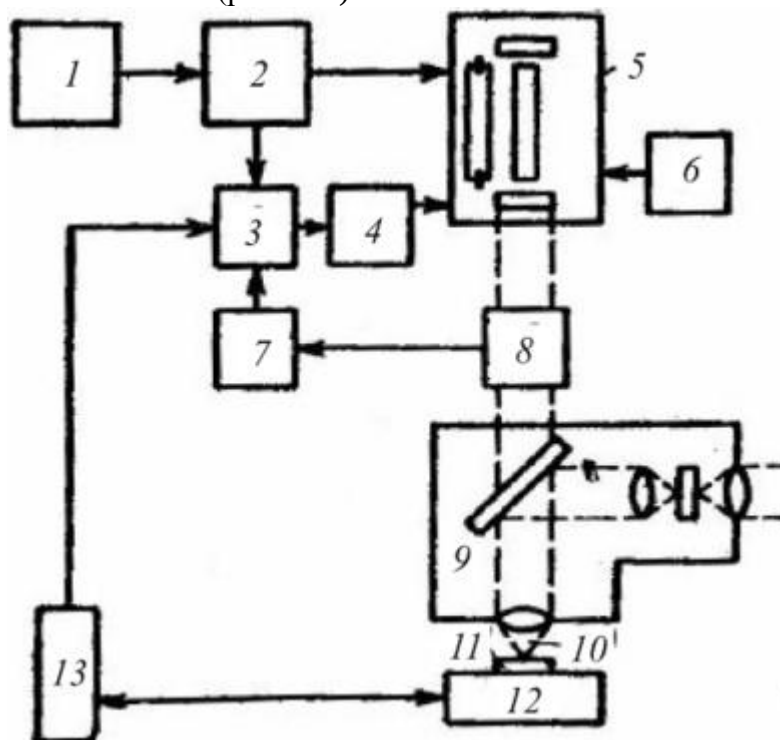


Рисунок 143 – Типовая схема лазерной технологической установки:

- 1 — зарядное устройство; 2 — емкостный накопитель; 3 — система управления;
- 4 — блок поджога; 5 — лазерная головка; 6 — система охлаждения; 7 — система стабилизации энергии излучения; 8 — датчик энергии излучения; 9 — оптическая система;
- 10 — сфокусированный луч лазера; 11 — обрабатываемая деталь;
- 12 — координатный стол; 13 — система программного управления

В качестве фокусирующей оптической системы применяют стеклянные отражатели, покрытые серебром или алюминием, а также металлические охлаждаемые отражатели. Возможно применение линзовой оптики.

Управление лазерным лучом осуществляется по заданной программе системы программного управления.

В зависимости от плотности мощности лазерные потоки разделяют на потоки: малой плотности мощности (менее 10^3 Вт/м²); умеренной плотности мощности (от 10^9 до 10^3 Вт/м²); высокой плотности мощности (от 10^{13} Вт/м²).

Для технологических целей в основном используют световые потоки умеренной плотности мощности.

Л48 Электрические водонагреватели и котлы: устройство, принцип работы, выбор, область применения. Энергосберегающие режимы и технологии

В сельском хозяйстве горячую воду получают в огневых и электрических водонагревателях, водогрейных и паровых котлах или в бойлерах при наличии

централизованной котельной. Выбирают водонагреватели по расчетному часовому расходу горячей воды из суточных графиков горячего водоснабжения и режимов водопотребления.

Электрический нагрев воды применяют на животноводческих и птицеводческих фермах, в теплично-парниковых хозяйствах, в гаражах, мастерских и др. Электрические водонагреватели используют там, где экономически невыгодно или вообще невозможно осуществить централизованное горячее водоснабжение.

Аккумуляционные водонагреватели

Электрический нагрев воды осуществляют с помощью электроводонагревателей аккумуляционного типа ЭВН, имеющих высокий коэффициент полезного действия, автоматическое управление температурой воды и скоростью нагрева. Эти электроводонагреватели имеют теплоизоляционный слой между резервуаром и кожухом, благодаря чему температура воды при отключении напряжения снижается очень медленно: примерно на $0,8^{\circ}\text{C}$ за 1 ч. Аккумуляционные электроводонагреватели круглосуточно снабжают объект горячей водой, включаются только в ночные часы пониженных нагрузок энергосистемы. Для этой цели предусмотрено управление электроводонагревателями типа ЭВН вместимостью 800 и 1600 л по заданной программе, обеспечивающей включение их в периоды пониженной нагрузки энергосистемы и выключение в период максимальных нагрузок.

Нагревают воду в этих электроводонагревателях трубчатые электронагревательные элементы — ТЭНы.

Электроводонагреватель типа ЭВН-200М выполнен в виде цилиндрического резервуара (рис. 144, а), на поверхности которого уложен теплоизоляционный слой из минеральной или стеклянной ваты, а в последних конструкциях — из синтетического пеноматериала. Сверху теплоизоляция защищена кожухом. Снизу к резервуару приварены ножки. К нижней боковой части резервуара приварен патрубок с фланцем, к которому прикреплены три трубчатых нагревательных элемента — ТЭН мощностью по 2 кВт каждый. Фланцевый проем закрывается съемной панелью.

На фланце размещены датчики температуры, при помощи которых осуществляется автоматический режим работы и поддерживается постоянная температура воды (90°C). Температуру воды контролируют при помощи термометра, расположенного в металлической оправе.

Для обеспечения безопасности (на случай взрыва) электроводонагреватель имеет предохранительный клапан, который срабатывает при повышении давления внутри резервуара выше допустимого. Станция управления размещена в отдельном шкафу, который устанавливают около электроводонагревателя. Кожух электроводонагревателя и шкаф управления окрашены химостойкой эмалью.

Разбор воды из электроводонагревателя происходит путем перелива, при этом нагретая вода вытесняется через верхний разборный патрубок резервуара давлением холодной воды, поступающей из водопровода через нижний приточный патрубок. Такой способ имеет ряд преимуществ, так как резервуар всегда остается наполненным, что обеспечивает максимальный запас воды, исключает возможность «сухой» (без воды) работы водонагревателя. Разбор горячей воды и нагрев поступающей воды происходят одновременно.

Для включения водонагревателя в сеть предназначен автоматический выключатель QF типа AE2000 (рис. 144, б). При достижении заданной температуры воды датчик температуры размыкает свои контакты ВК, находящиеся в цепи питания катушки промежуточного реле KV. Реле KV срабатывает и размыкает цепь катушки магнитного пускателя КМ, который управляет работой нагревательных элементов ЕК. При снижении температуры ниже заданной контакты датчика снова замыкаются: срабатывает реле и своими контактами замыкает цепь питания катушки магнитного пускателя, вызывая включение под напряжение нагревательных элементов водонагревателя ЕК.

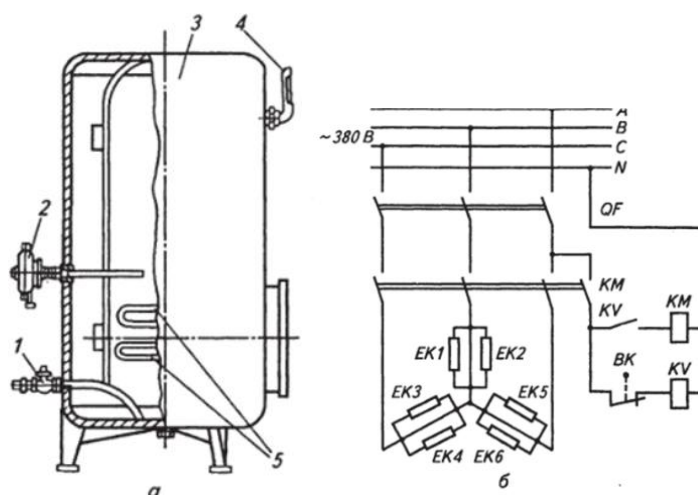


Рисунок 144 – Устройство электроводонагревателя типа ЭВН (а) и схема его включения (б):

1—входной патрубок с вентилем для подачи воды; 2 — датчик температуры воды; 3 — корпус; 4— патрубок выхода горячей воды с указателем температуры; 5 — нагревательные элементы

Электроводонагреватели ЭВН приспособлены для работы только по открытой схеме без противодавления. Этого недостатка лишены электроводонагреватели САЗС и САОС, которые могут работать в замкнутых системах горячего водоснабжения с давлением до 0,4 МПа. Эти электроводонагреватели устроены так же, как нагреватели ЭВН, но их комплектуют центробежными насосами, обеспечивающими циркуляцию горячей воды в системе. Терморегуляторы регулируют температуру воды в системе в диапазоне 0...90⁰С.

Проточные электроводонагреватели

Для подогрева воды до 90 °С применяют проточные электроводонагреватели типа ВЭП и ВЭО (прежнее обозначение ЭПВ-2). Нагреватель представляет собой резервуар (рис. 145, а) цилиндрической формы, заключенный в металлический кожух 2, закрытый сверху съемным колпаком 5. В нижней части резервуара 3 находится патрубок 1 для подачи холодной воды, а в верхней части — патрубок 9 для отбора горячей воды. Внутри резервуара расположены ТЭНы 4, укрепленные на верхнем днище резервуара. Над днищем выведены зажимы нагревательных элементов.

Для защиты нагревательных элементов от перегорания при повышении температуры свыше допустимой на верхнем днище резервуара установлено температурное реле 6, которое отключает электронагреватель от сети при температуре воды более 95 °С. На выходном патрубке установлен предохранительный клапан 8, срабатывающий при давлении свыше $2 \cdot 10^5$ Па. В корпусе клапана имеется углубление, в которое вставляют термометр 7 для контроля за температурой воды.

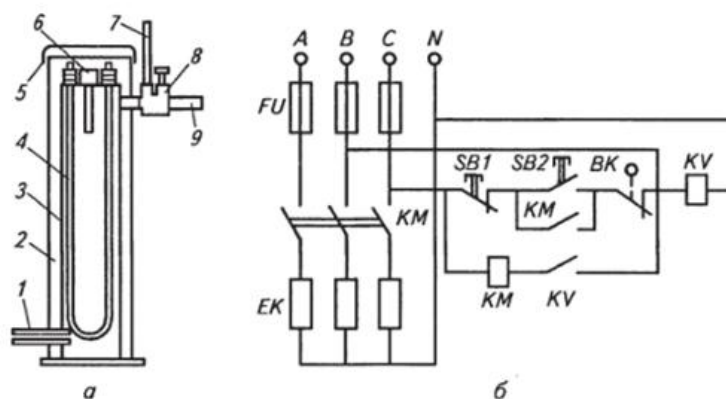


Рисунок 145 – Проточный электроводонагрсватель типа ВЭО: а — устройство; б — схема включения

Принципиальная схема включения водонагревателя приведена на рисунке 145, б. При нажатии кнопки SB2 «Пуск» подается напряжение на катушку промежуточного реле KV, при этом контакт температурного реле ВК замкнут. Реле KV срабатывает и своими замыкающими контактами KV замыкает цепь питания катушки магнитного пускателя КМ по цепи С-FU-KV-КМ-FU-В. Кнопка «Пуск» блокируется вспомогательным контактом КМ, это обеспечивает самопитание катушки промежуточного реле KV. В этом положении электронагреватель подключен к электрической сети.

Чтобы отключить электронагреватель от сети, достаточно нажать кнопку SB1 «Стоп». При этом цепь катушки реле KV разрывается, контакт KV размыкается и разрывает цепь питания катушки магнитного пускателя КМ, электронагреватель выключается.

При повышении температуры воды более 90 °С срабатывает температурное реле, размыкается контакт реле ВК и электронагреватель отключается от сети. Вновь включить электронагреватель можно через 2...3 мин кнопкой «Пуск» после остывания температурного реле и замыкания его контактов.

Получают распространение проточные электроводонагреватели типа ЭВ-Ф-15 мощностью 15 кВт, которые имеют резервуар для воды емкостью 12 л.

На животноводческих предприятиях применяют проточную водонагревательную установку ВЭП-600, которая предназначена для подогрева питьевой воды в коровниках с поголовьем до 200 животных с привязным содержанием. Установка ВЭП-600 (рис. 146) состоит из водонагревателя 3, шкафа управления 2, насоса 7 с электродвигателем 8 и автопоилок. Вода из водопровода поступает в нагреватель 3, а подогретая подается через электроизолирующую вставку 1 к автопоилкам. Температуру воды в водонагревателе контролируют датчиком ВК1, а в системе автопоилок — ВК2.

Установка ВЭП-600 представляет собой сварную цилиндрическую емкость на 100 л, закрытую кожухом. Для уменьшения потерь теплоты между кожухом и емкостью проложена минеральная вата. Внутри емкости расположены три ТЭНа. Принципиальная электрическая схема установки ВЭП-600 представлена на рис. 146, б. Она предусматривает: включение и отключение ТЭНов через магнитный пускатель КМ1, насоса через пускатель КМ2 защиту ТЭНов, электродвигателя насоса и цепей управления от аварийных режимов предохранителями FU1, FU2 и автоматическим выключателем QF световую сигнализацию о работе ТЭНов при помощи сигнальной лампы НЛ.

Работает установка следующим образом. Включают главный автоматический выключатель QF, тумблер SA устанавливают в положение «Авт.». Трансформатор TV и диодный мост VD1...VD4 получают питание. Если температура воды в водонагревателе ниже заданной, то контакт ВК1 разомкнут, а на управляющий электрод симистора VS1 подается напряжение. Симистор открывается и катушка магнитного пускателя КМ1 получает питание. Через замкнувшиеся силовые контакты КМ1 напряжение подается на ТЭНы. Одновременно загорается сигнальная лампа НЛ. ТЭНы будут включены до тех пор, пока температура в водонагревателе не достигнет заданного значения, после чего замкнется контакт ВК1, симистор VS1 закроется и пускатель КМ1 обесточится.

Симистор представляет собой полупроводниковый переключающий прибор, имеющий структуру п-р-п-р-п или р-п-р-п-р. Слой п имеет электронную проводимость, слой р — дырочную. Структура симистора показана на рисунке 147. Из этого рисунка видно, что при полярности напряжения, показанной знаками «+» и «—» без скобок, работает левая половина прибора (направление движения электронов изображают стрелками). При обратной полярности, показанной знаками в скобках, ток идет в обратном направлении через правую половину прибора. Таким образом, при наличии управляющего сигнала симистор отпирается при любой полярности напряжения и проводит ток в обоих направлениях. Симисторы имеют выводы от соответствующих базовых областей.

Температуру воды в системе автопоилок коровника контролируют датчиком ВК2 (см. рис. 146, б), установленным у самой дальней автопоилки. Если температура воды в системе меньше заданной, то размыкается контакт ВК2, симистор VS2 открывается, напряжение

подается на катушку КМ2 и электродвигатель насоса получает питание. Вода в системе автопоилок циркулирует до тех пор, пока ее температура не достигнет заданного значения.

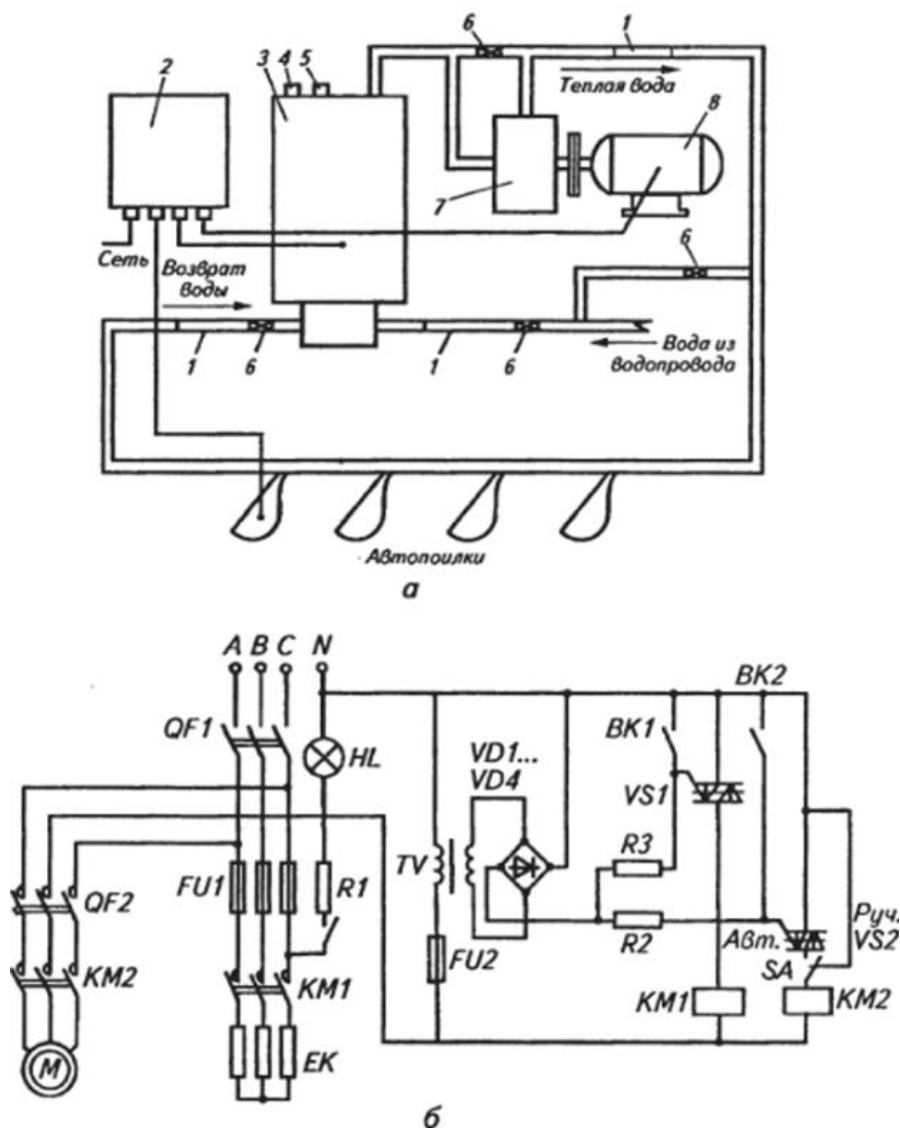


Рисунок 146 – Проточная водонагревательная установка ВЭП-600:
а — технологическая схема; б — электрическая схема; 1 — изолирующие вставки; 2 — шкаф управления; 3— водонагреватель; 4, 6— предохранительный и обратный клапаны; 5 —температурное реле; 7— насос; 8— электродвигатель

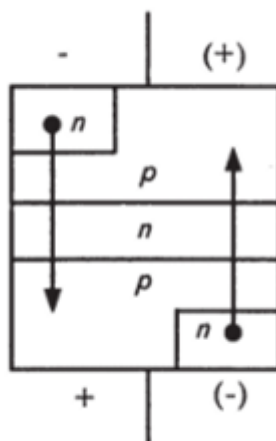


Рисунок 147 – Устройство симистора

Электродные водогрейные установки

При получении горячей воды для технологических нужд на животноводческих и птицеводческих фермах, в теплицах и парниковых хозяйствах, а также для отопления отдельных производственных и подсобных помещений применяют электродные водогрейные установки. В отличие от элементного нагрева воды (ТЭНами) при электродном нагреве теплота выделяется за счет прохождения электрического тока через воду, обладающую хорошей проводимостью.

Простота конструкций электродных водогрейных установок и их эксплуатация без постоянного обслуживающего персонала за счет простейшей автоматизации обеспечивают возможность распространения установок в сельском хозяйстве.

Основные недостатки электродных водогрейных установок: зависимость мощности установки от удельного сопротивления и температуры используемой воды, т. е. от наличия в ней растворимых веществ, определяющих ее проводимость; повышенная электроопасность при аварийных асимметричных режимах работы установок, а также питающей электросети; возможность выноса опасных потенциалов напряжения через подводящие и разводящие трубопроводы.

Электродные электрические нагреватели применяют для нагрева воды и почвы. В этих нагревателях нагрев среды, обладающей электропроводимостью и находящейся между электродами, происходит в результате прохождения через нее электрического тока.

Однофазный электродный водонагреватель состоит из двух систем электродов, установленных в баке с водой. Размеры электродов и расстояние между ними зависят от мощности водонагревателя и напряжения питающей сети. Материалами для электродов могут служить медь, сталь, нержавеющая сталь и графит. Для нагрева питьевой воды применяют электроды только из нержавеющей стали.

Трехфазная система электродного водонагревателя простейшего типа состоит из трех электродов в виде стальных цилиндрических труб или пластин, изогнутых под углом 120°. Электроды располагают в баке с водой.

Мощность, потребляемая электродными водонагревателями, растет с повышением температуры (вследствие увеличения подвижности ионов растворенных солей), что создает некоторые неудобства при их эксплуатации.

В сельскохозяйственном производстве широко применяют водогрейные электродные установки разнообразных конструкций, начиная от простейших и кончая сложными установками большой мощности с автоматическим и программным управлением в комплексе с аккумулялирующими емкостями. Наибольшее распространение получили электродные водогрейные установки типа ЭПЗ и КЭВ мощностью 25... 1000 и 40... 1000 кВт.

Электродный котел типа ЭПЗ имеет на каждую фазу по два цилиндрических электрода, вставленных один в другой. Между этими металлическими цилиндрами с помощью штурвала вертикально перемещаются стеклотекстолитовые (диэлектрические) цилиндры, которые обеспечивают возможность регулирования мощности котла в диапазоне от 10 до 100 %. Котлы ЭПЗ промышленность выпускает и с пластинчатыми электродами.

Электроводонагреватели типа КЭВ изготавливают в двух исполнениях: с пластинчатыми и цилиндрическими электродами. На рисунке 148 представлено устройство котла КЭВ с пластинчатыми электродами. В корпусе 9 водонагревателя, изготовленного из стандартной трубы, вварены входной 1 и выходной 7 патрубки для воды. Вода нагревается при движении между плоскими электродами, собранными в один многопластинчатый пакет 4. Электродные пластины изолированы одна от другой фторопластовыми втулками.

Питание от сети переменного трехфазного тока подводится к электродным пластинам по трем токоведущим шпилькам 3, изолированным от дна проходными изоляторами 2. Мощность регулируют при помощи пакета диэлектрических пластин 6, помещенных в верхней части котла и перемещающихся вертикально в зазорах между электродными пластинами 4 с помощью штурвала 8. Для выравнивания фазных нагрузок крайние пластины в электродном пакете изолированы с наружной стороны

защитными диэлектрическими экранами 5. Мощность котла можно регулировать в пределах 25...100 %.

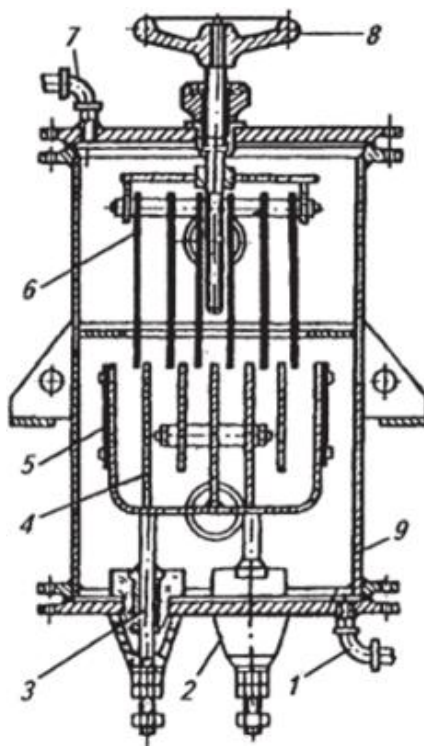


Рисунок 148 – Устройство электродного котла КЭВ

В сельскохозяйственном производстве также применяют электродные котлы для получения пара, используемого для запаривания кормов, стерилизации молочной посуды. К числу таких устройств относят котлы типа КЭПР и КЭП.

Л49 Электротермические установки для создания микроклимата в животноводстве и птицеводстве. Параметры микроклимата в помещениях, системы и виды отопления. Оборудование систем общего отопления: электрокалориферные и приточно-вытяжные установки, теплоаккумулирующие установки с электродкотлами, кондиционеры

Главными факторами успешного ведения животноводческого и птицеводческого хозяйства на промышленной основе являются микроклимат в помещениях для содержания скота и птицы и кормовая база. Что касается питания животных и птицы, это сфера ответственности зооинженера, а вот при решении вопросов, связанных с микроклиматом, решающее слово за энергетиком.

Микроклимат - совокупность физических и химических параметров (температура, влажность, подвижность воздуха, содержание углекислоты, аммиака, сероводорода, запыленность, наличие микрофлоры, ионосодержание и др.) воздушной среды, искусственно создаваемых в закрытых помещениях.

Температура воздуха - один из основных параметров микроклимата. Ее влияние на продуктивность животных и птицы во многом зависит от их породы и индивидуальных особенностей. Так, для крупного рогатого скота молочного направления оптимальной считают температуру в помещении 8-15 °С. У молочных коров при температуре воздуха выше 20-22 °С отдача молока снижается, а при более высокой температуре уменьшается его жирность. С понижением температуры до минус 5 °С потребление кормов коровами возрастает в 1,5-2 раза. При снижении температуры воздуха в свинарниках до 5 °С уменьшаются среднесуточные привесы на 40-60 г, а расход корма возрастает на 0,3-0,5 кормовой единицы.

Оптимальные температурные параметры воздушной среды помещений для содержания животных и птицы создают при помощи отопительных средств и устройств вентиляции, объединяемых понятием «отопительно-вентиляционная система».

Необходимая температура в помещениях для содержания животных и птицы создается электроотопительными системами, которые могут быть общего, местного и комбинированного обогрева. Системы общего обогрева предусматривают поддержание равномерной температуры во всем объеме помещения. Местный обогрев обеспечивает оптимальную температуру только в помещениях, где находятся животные и птица. Комбинированный обогрев осуществляется с использованием как общего, так и местного отопления. Отличительной особенностью работы такой схемы является то, что температура воздуха в местах нахождения животных и птицы отличается от вспомогательных помещений (кормохранилище, складские помещения, ремонтные мастерские и т. д.).

Большие животноводческие комплексы и птицефабрики обеспечиваются теплом, как правило, большими котельными, которые работают на угле, мазуте или газе. А для местного обогрева применяют электротермические и бактерицидные установки (калориферы, электрорадиационные панели и ультрафиолетовые лампы). Однако чаще применяют комбинированный обогрев, используя, наряду с теплом от котельных и малоинерционных электрообогревателей, доводчики, которые позволяют поддерживать температуру с высокой точностью в боксах с молодняком животных и птицы. С точки зрения электроснабжения, такой принцип обогрева является наиболее эффективным.

Для определения мощности системы электрообогрева помещений для содержания скота и птицы пользуются уравнением баланса тепловых потоков $\Phi_{ТО} = \Phi_{ТП}$,

где $\Phi_{ТО}$ - общий тепловой поток источников теплоты, находящихся внутри помещения, Вт;

$\Phi_{ТП}$ - суммарный тепловой поток потерь, Вт.

Тепловой поток внутри помещения создается в основном системой электроотопления, животными и птицей: $\Phi_{ТО} = \Phi_{О} + \Phi_{Ж}$,

где $\Phi_{О}$ - тепловой поток системы электроотопления, Вт;

$\Phi_{Ж}$ - тепловой поток животных и птицы, Вт.

Тепловой поток потерь, Вт: $\Phi_{ТП} = \Phi_{огр} + \Phi_{в} + \Phi_{и}$,

где $\Phi_{огр}$ - тепловой поток потерь через ограждения, Вт;

$\Phi_{в}$ - тепловой поток потерь с вентиляцией, Вт;

$\Phi_{и}$ - тепловой поток потерь на испарение влаги с различных поверхностей, Вт.

С учетом уравнений предыдущих выражений тепловой поток системы электроотопления: $\Phi = \Phi_{огр} + \Phi_{в} + \Phi_{и} - \Phi_{Ж}$.

Общий поток тепловых потерь через строительные ограждения определяют, используя удельный тепловой поток потерь (удельную тепловую характеристику здания) - тепловой поток, теряемый 1 м³ объема здания при разности температур внутреннего и наружного воздуха 1 °С. Расчет выполняют по формуле: $\Phi_{огр} = \Phi_{уд} V (t_{в} - t_{н})$,

где $\Phi_{уд}$ - удельный тепловой поток потерь, Вт/(м³·°С);

V - строительный объем здания, м³;

$t_{в}$ и $t_{н}$ - расчетные температуры внутри помещения и наружного воздуха, °С.

При определении мощности системы отопления помещений животноводческого и птицеводческого хозяйства в зимний период за расчетную температуру воздуха принимают минимально допустимую температуру. Расчетная температура наружного воздуха берется в зависимости от климатического района расположения хозяйства. Удельный тепловой поток для помещений животноводческих комплексов и птицефабрик берут из расчета 0,6—1,4 Вт/(м³·°С).

Тепловой поток, идущий на нагрев приточного воздуха: $\Phi_{в} = L_{в} \rho_{в} C_{в} (t_{в} - t_{н})$,

где $\Phi_{в}$ - объемная подача воздуха на притоке, м³/с;

ρ_v - плотность воздуха, кг/м³;

C_v - удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг*°C).

В холодный период объемную подачу приточного воздуха определяют по влажности, которая в помещениях птицефабрики или животноводческой фермы не должна превышать 80 %, и по предельной концентрации углекислого газа в воздухе помещений.

Тепловой поток, связанный с испарением влаги в помещении: $\Phi_u = \frac{nW_u q_u}{3600}$,

где n - количество животных (птиц) в помещении;

W_u - количество влаги, испаряемой в помещении одним животным (одной птицей), г/ч;

q_u - теплота фазового преобразования воды в пар, Дж/г.

Тепловой поток, выделяемый животными (птицей), вычисляют как $\Phi_{ж} = n\Phi_1$,

где n - количество животных (птиц) в помещении;

Φ_1 - тепловой поток, выделяемый одним животным (одной птицей), Вт.

Для определения мощности системы электроотопления пользуются зависимостью:

$$P_o = \frac{\Phi_o}{\eta_T},$$

где η_T - тепловой КПД, учитывающий потери теплоты в системе отопления.

Тепловой КПД при использовании электрокалориферов, смонтированных в отдельных помещениях, принимают равным 0,95, а при использовании электродвигателей - 0,90-0,92.

Все исходные данные для расчета объемной подачи приточного воздуха и составляющих теплового баланса принимают в соответствии с нормативами и справочными материалами.

Электрокалориферные установки

В животноводческих и птицеводческих хозяйствах применяют электрокалориферные установки двойного назначения, т. е. и для вентиляции, и для отопления. Причем приточная вентиляция помещений состоит из нескольких каналов, в которых размещают электрокалориферы. Такая система обеспечивает высокую надежность работы, даже если выйдет из строя не одна, а несколько установок одновременно. Данная система легко автоматизируется по теплообеспечению и подаче свежего воздуха, что позволяет поддерживать оптимальный микроклимат в помещении.

Электрокалорифер - устройство или аппарат, имеющий электронагревательные элементы (спирали или тэны) и вентилятор. Он предназначен для принудительного нагрева воздуха путем продувания его через электронагревательные элементы.

Электрокалориферы нашли широкое применение благодаря своей компактности и высокому теплообмену по сравнению с электронагревательными устройствами естественного теплообмена.

Тепловой узел может состоять из спиралей, смонтированных на керамических изоляторах, и трубчатых простых или оребренных (обладающих развитой поверхностью нагрева) электронагревательных элементов. Отопительные калориферы предназначены для отопления, сушки воздуха, создания искусственного климата, а также применяются в сушильных камерах при различных технологических процессах.

На рис. 149 представлена электрокалориферная установка типа СФОА, широко применяемая как в животноводческих комплексах, так и на птицефабриках. Предельно допустимая температура поверхности нагревателей отопительно-вентиляционных электрокалориферных установок составляет 170-180 °С. При этой температуре кислород воздуха не выгорает, что соответствует санитарно-гигиеническим и зооветеринарным требованиям. Температура воздуха на выходе из электрокалорифера должна быть не больше 40-50 °С.

Наряду с электрокалориферной установкой СФОА в животноводческих и птицеводческих комплексах используют установки типа СФОЦ. По своим техническим

характеристикам установки СФОА и СФОЦ незначительно отличаются друг от друга и поэтому обе широко применяются в соответствующих хозяйствах.

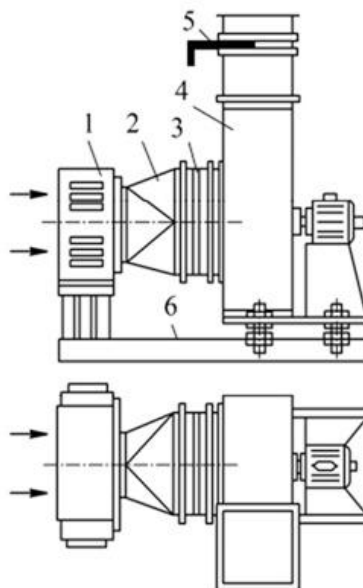


Рисунок 149 – Электрокалориферная установка типа СФОА: 1 - электрокалорифер; 2 - диффузор; 3 - мягкая вставка; 4 - вентилятор; 5 - заслонка-шибер; 6 - рама

Установки названных типов состоят из унифицированного калорифера типа СФО, центробежного вентилятора Ц-4-70 и шкафа управления. Электрокалорифер состоит из каркаса с вмонтированным в него блоком с ТЭНами общей мощностью 90 кВт и кожуха, изготовленного из листовой стали. Электропитание калориферных установок осуществляют от трехфазной сети переменного тока напряжением 0,4 кВ и в редких случаях напряжением 220 В.

Электрокалориферы СФОА и СФОЦ имеют схожие принципиальные схемы управления, позволяющие ступенчато регулировать потребляемую мощность нагревательными элементами, а следовательно, и тепловую производительность установки. В качестве элементов, контролирующих температуру помещений, используют биметаллические датчики типа ДТКБ-53. Схемой предусмотрено отключение нагревательных элементов при достижении ими температуры выше 180 °С с остановкой двигателя вентилятора. Для контроля за температурой ТЭНов устанавливают биметаллические датчики типа ТР-200 или другого типа с аналогичными характеристиками.

В электрокалориферной установке СФОЦ модификации И1 для ступенчатого регулирования мощности нагревательных элементов используют два электронных регулятора типа ТЭЗП и ТЭ4П. В установке СФОЦ модификации И3 применяют двухскоростной электродвигатель привода вентилятора для регулирования подачи воздуха в помещения для содержания животных и птицы, что существенно повышает эффективность эксплуатации данного типа электрокалорифера. Более того, в данной установке для регулирования потребляемой мощности из сети используют электронный регулятор напряжения, собранный на тиристорах.

Принципиальная электрическая схема электрокалориферной установки типа СФОЦ-И3 представлена на рис. 150. Схема включает в себя следующие элементы и блоки: блок UZ1, который имеет автоматический выключатель QF; плату AZ1 управления; трехфазный силовой ключ AZ2, выполненный на гибридных модулях, содержащих диод-оптронный тиристор, сигнальную лампу, предохранитель FU, защитные цепи R1C1-R6C6 электрокалорифера и электродвигателя вентилятора; плату AZ1, предназначенную для управления тиристорным ключом, отключающую автоматический выключатель QF по сигналам датчиков, установленных в силовой цепи, при возникновении аварийных ситуаций.

необходимость повышенной вентиляции при сравнительно низкой температуре (4-12 °С) воздуха в помещении.

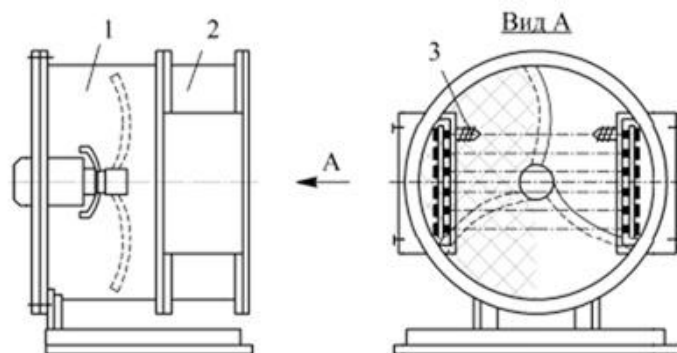


Рисунок 151 – Электрокалориферная установка СФОО: 1 - вентилятор; 2 - калорифер; 3 - трубчатый оребренный электронагреватель

Комплектное оборудование типа ПВУ предназначено для автоматизированных приточно-вытяжных систем вентиляции и воздушного отопления различных помещений сельскохозяйственного назначения, в которых допускается частичная рециркуляция воздуха, удаляемого из помещения.

Приточно-вытяжная установка ПВУ (рис. 152) состоит из двух концентрически расположенных металлических цилиндров с зазором между ними и осевого вентилятора 4 специальной конструкции, находящегося внутри установки. Лопастей вентилятора смонтированы таким образом, что по внутреннему цилиндру воздух движется вверх и вытяжкой удаляется из помещения, а по зазору между цилиндрами воздух движется вниз, осуществляя приток наружного воздуха в помещение. ТЭНы 2, смонтированные в зазоре между цилиндрами, при необходимости подогревают приточный воздух. Размер выходных отверстий и направление движения потока можно менять.

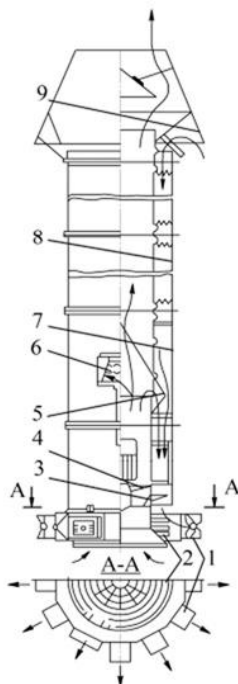


Рисунок 152 – Приточно-вытяжная установка: 1 - приточные насадки; 2 - электронагревательные элементы; 3 - вентиляторная секция; 4 - вентилятор; 5 - рециркуляционные заслонки; 6 - электропривод заслонок; 7 - секция рециркуляционных заслонок; 8 - промежуточная секция; 9 – зонт

Недостатком отопительно-вентиляционных установок такого типа является то, что потребление электроэнергии осуществляется по свободному графику, т. е. в любое время

суток, в том числе в часы максимума электрических нагрузок. Кроме того, они не допускают перерывов в электроснабжении на длительное время.

Что такое теплоаккумулятор. Это прибор системы отопления, который принимает на себя тепловую энергию, накапливает ее, с целью последующей отдачи в систему отопления. В случае с твердотопливными котлами, буферные емкости (теплоаккумуляторы) собирают тепло от твердотопливного котла, который уже прогрел помещение, но процесс горения угля в топке еще продолжается. До установки теплоаккумулятора, это невостребованное тепло попросту уходило бы на улицу через форточку, систему вентиляции, или просто в дымоход. С установкой буферной емкости, эта тепловая энергия вначале собирается в емкость, а затем отдается в отопительную систему без дополнительного запуска угольного котла. Как работает теплоаккумулятор с электрическим котлом. Основная идея загрузки буфера кроется в мощности электродкотла, подключении его по ночному тарифу. Ночью, электродкотел, обладающий повышенной мощностью может не только прогревать теплоноситель для системы отопления, но и при превышении тепловой энергии запитывать ночью буферную емкость. Прогретый ночью теплоноситель, впоследствии, будет отдаваться в отопительную систему днем, когда стоимость электроэнергии уже будет тарифицироваться по более дорогому тарифу. При этом, сам электродкотел не будет включаться. Таким образом, можно сэкономить свои деньги, искусственно увеличив интервал энергопотребления в ночном, дешевом тарифе. При большой мощности электрического котла, весь потенциал генератора тепла будет довольно быстро прогревать буфер.

Как рассчитать объем теплоаккумулятора.

Расчет объема буферной емкости можно производить по специальным теплотехническим формулам со многими неизвестными, или можно воспользоваться обычным народным расчетом. Упрощенный вид определения объема теплоаккумулятора следующий: на 1 кВт мощности отопительного котла необходимо 30 литров объема буферной емкости. Другими словами, при мощности электродкотла около 15 кВт, объем буферной емкости (теплоаккумулятора) должен составлять около 500 литров. Конечно, стоит внести поправки при подборе объема буфера на возможности выдачи электродкотлом дополнительного, невостребованного тепла. Очевидно, что если электрический котел еле-еле справляется только с отопительной системой напрямую, то для прогрева буфера у него попросту не останется необходимой мощности загрузки. В таком случае, объем теплоаккумулятора стоит высчитывать по принципу остаточной мощности.

Теплоаккумулятор с электрическими ТЭНами.

Есть техническое решение, которое позволяет загружать буферную емкость недорогим теплом по ночному тарифу, без использования электродкотла. Многие производители теплоаккумуляторов оснащают свою продукцию специальными погружными гильзами для установки электрических ТЭНов сразу в тело теплоаккумулятора. И данное техническое решение, может быть даже технически более правильное, чем загрузка буфера от электродкотла. Во-первых, вы не перегружаете основной источник отопления - электродкотел. Во-вторых, нет теплотерь по температуре теплоносителя, при передаче тепла от электродкотла теплоаккумулятору. В-третьих, Вы сами регулируете энергопотребление буферной емкости, набирая оптимальную электрическую мощность ТЭНами. Выбор нагревательных элементов по мощности зависит исключительно от остаточных возможностей потребления электроэнергии с учетом работающего электродкотла. В-четвертых. Вы не привязаны к мощности электродкотла при выборе объема бочки теплоаккумулятора. Объем выбираете сами, именно по суммарной мощности электрических ТЭНов. Возможности набора электрических ТЭНов для теплоаккумулятора, как правило, следующий: 2 кВт, 3 кВт, 6 кВт, 9 кВт. Таким образом, у вас существенно увеличивается оперативный технический простор для сбора тепла в буферную емкость в ночном режиме электропотребления.

Л50 Локальный электрообогрев молодняка животных и птицы. Классификация установок. Электрообогреваемые полы, коврики, брудеры, их устройство, методика определения основных параметров

Системы общего отопления даже при высоком расходе энергии не всегда способны обеспечивать надлежащие параметры микроклимата, особенно при содержании в одном помещении взрослых животных и молодняка, для которых по зоотехническим требованиям необходимы различные условия среды обитания (температура, влажность). Рациональное решение этой проблемы находят в применении устройств местного (локального) обогрева, которые обычно дополняют систему общего отопления. Местный электрообогрев применяют главным образом для молодняка животных и птицы, но он может быть целесообразен и при содержании взрослых животных (при отсутствии подстилочного материала, для высокоудойных коров). При определенных условиях (работа в трудноотапливаемых помещениях, например, цехах ремонтных и других предприятий, на доильных площадках) местный электрообогрев может оказаться необходим для обеспечения нормальной производственной деятельности людей.

Применение местного обогрева позволяет решать две важные задачи: экономить энергоресурсы, так как при приближении источников теплоты непосредственно к зонам обитания животных позволяет использовать энергию более рационально, повышать сохранность молодняка (в 3...4 раза) и продуктивность животных (на 10...15%) при неизменном уровне кормления.

В зависимости от способа передачи тепла от устройства местного электрообогрева к животным и птице различают установки лучистого (инфракрасного), контактного, конвекторного, комбинированного обогрева и радиационные электронагреватели.

Установки лучистого обогрева

В таких установках используют светлые и темные инфракрасные излучатели - электрические лампы и нагревательные элементы. Их рабочая температура - 300-500 °С, при этом большая часть теплоты от них отводится конвективно с потоком нагретого воздуха. Данные излучатели характеризуются высокой надежностью и механической прочностью. Они менее чувствительны к колебаниям напряжения. В качестве темных источников наиболее распространены тэны и керамические излучатели.

Устройства лучистого обогрева молодняка животных и птицы, имеющие зонтичную конструкцию корпуса, внутри которого размещены источники инфракрасного излучения, называют брудерами.

Брудеры БП-1 и БП-1А предназначены для местного обогрева молодняка птицы. Источниками тепла служат четыре тэна общей мощностью 1 кВт. Для поддержания требуемого температурного режима 22-35 °С в брудере БП-1 применяют двухпозиционное тепловое манометрическое реле, а в брудере БП-1 А - двухпозиционный тиристорный регулятор температуры.

Брудеры ОКБ-1376, используемые для обогрева молодняка животных и птицы, имеют три тэна общей мощностью 1,2 кВт. Ступенчатое управление мощностью осуществляется вручную при помощи выключателей.

Инфракрасный электрообогреватель ЭИС-0,25-И1 (рисунок 153) предназначен для локального обогрева животных.

Металлический корпус 1, снабженный теплоизоляцией 2, соединенной с цоколем 3 изолятором 4, позволяет использовать его совместно с облучателями ССП-01-250, «Астра» и др. Внутри корпуса 1 находится нагреватель 5, представляющий собой керамическую плиту, в которую замурована проволоочная спираль. Ее инфракрасное излучение концентрируется отражателем 6, а решетка 7 защищает животных и птицу от касания к раскаленной керамической плитке. Мощность нагревателя - 250 Вт при напряжении 220 В. Среднее превышение эффективной температуры над температурой окружающей среды на уровне пола в зоне обогрева площадью 0,7 м при высоте подвеса 0,6 м составляет не менее 8 °С.

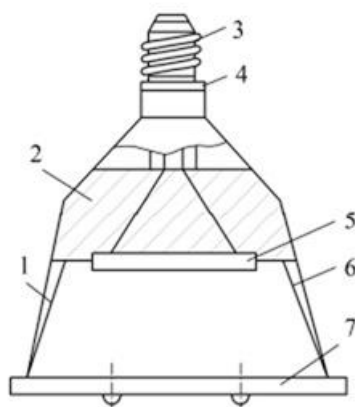


Рисунок 153 – Электрообогреватель ЭИС-0,25-И1: 1 - корпус; 2 - теплоизоляция; 3 - цоколь; 4 - изолятор; 5 - нагреватель; 6 - отражатель; 7 - решетка

Установки контактного электрообогрева

К таковым относятся электрообогревательные полы, коврики и панели. При устройстве электрообогреваемого пола уплотняют грунт 7 (рисунок 154, а), для выравнивания на него насыпают слой песка 4 толщиной 15-20 мм, а затем укладывают гидроизоляцию 6 в виде листов толя или полиэтиленовой пленки в один-два слоя. Поверх гидроизоляции насыпают слой песка, на котором размещают тепловую изоляцию 5 (котельный шлак или керамзит) толщиной 80-150 мм. Изоляцию 5 уплотняют и присыпают песком, после чего укладывают бетон 1. В слое бетона на глубине 4-6 см прокладывают нагревательные элементы 3 из проводов марки ПОСХВ, ПОСХП, ПНВСВ и др. При питании сетевым напряжением на глубине 2 см от поверхности над проводами закладывают стальную сетку 2, соединенную с нулевым проводом питающей сети. Сетка защищает нагревательный провод от повреждений в случае разрушения бетонного покрытия, а также служит для выравнивания потенциалов, защищая животных от шагового напряжения.

При использовании нагревательных элементов из стальной неизолированной проволоки диаметром 4-6 мм применяют пониженное (до 60 В) напряжение питания, что обеспечивает безопасность животных и людей без защитной сетки. Применение напряжения 60 В требует наличия понижающего трансформатора.

Конструктивное выполнение нагревательных элементов полов определяется назначением помещения. В свинарниках-маточниках обогреваемый пол выполняют в виде сплошной полосы шириной 1,2—1,7 м, проходящей под станками одного ряда со стороны противоположной кормушкам. Все станки делят на секции с самостоятельным управлением температурным режимом в зависимости от возраста поросят, и пол в этих секциях подогревают отдельными нагревательными элементами.

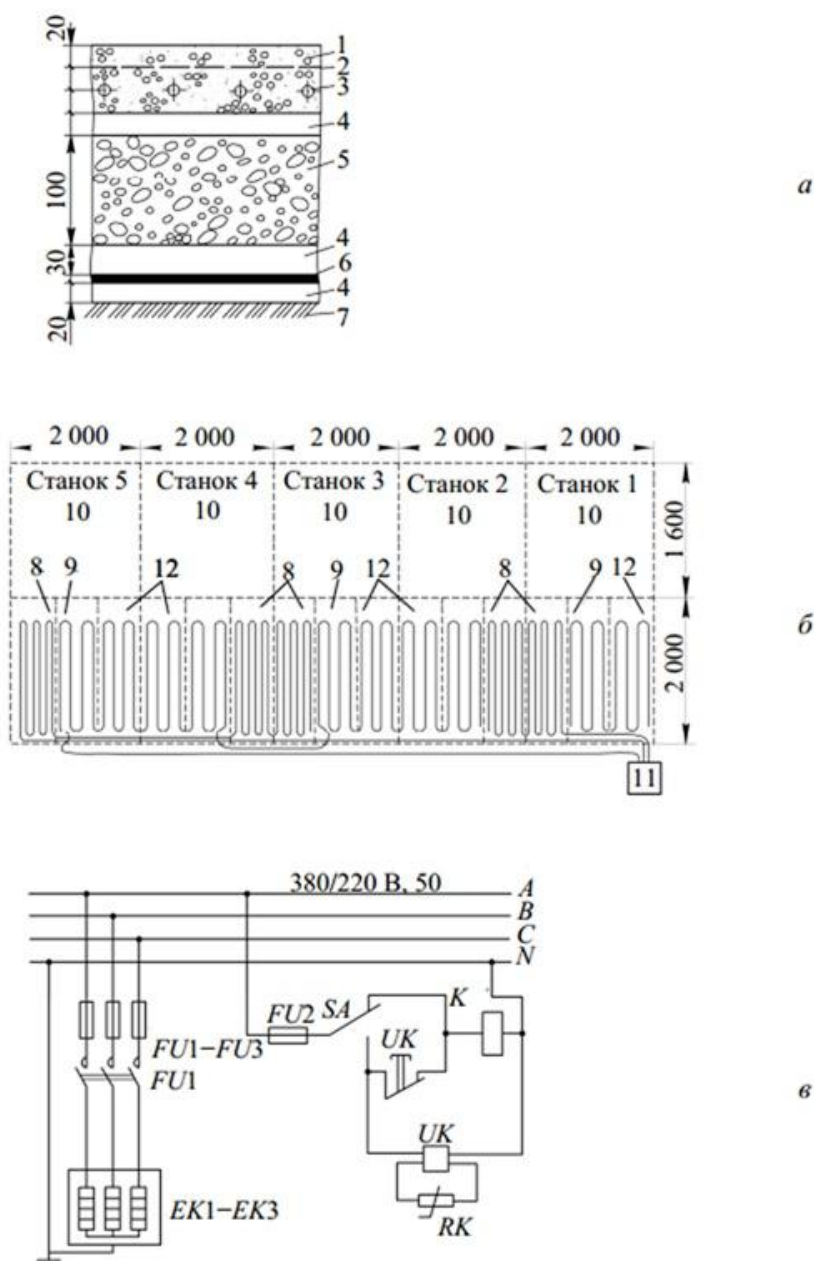


Рисунок 154 – Конструкция электрообогревательного пола (а), схема укладки нагревательного провода в свинарнике-маточнике (б) и схема управления температурным режимом (в): 1 - бетон; 2 - сетка-экран; 3 - нагревательный прибор; 4 - песок; 5 - теплоизоляция; 6 - гидроизоляция; 7 - грунт; 8-10,12 - площадки для отдыха поросят и кормления свиноматок; 11 - распределительная коробка

Нагревательный провод укладывают зигзагообразно по длине полос. Необходимая температура поверхности пола для поросят составляет 25-30 °С, для свиноматок - 18-20 °С, поэтому в местах расположения поросят шаг укладки проводов меньше, чем в зоне нахождения свиноматки (рисунок 154, б).

В коровниках электрообогреваемые полы занимают всю площадь стойл, шириной до 0,6 м в каждом ряду. При выращивании бройлеров электрообогреваемые полы монтируют по всей площади помещения или сооружают электрообогреваемую полосу вдоль помещения по его центру.

Для автоматического управления температурным режимом электрообогреваемого пола применяют двухпозиционные регуляторы, датчики которых встраивают в массив пола

между нагревательными проводами. Принципиальная электрическая схема управления температурным режимом секции обогреваемого пола представлена на рисунке 154, в.

Электрообогревательные полы характеризуются хорошей теплоаккумулирующей способностью, что делает возможным их работу по принудительному режиму в часы минимальной загрузки систем электроснабжения, а также бесподстилочное содержание животных.

Кроме электрообогреваемых полов, которые выполняют при строительстве новых и реконструкции существующих животноводческих помещений, широко применяют съемные электрообогреваемые коврики и плиты. Их укладывают на бетонный или деревянный пол. Коврики изготавливают из двух слоев листовой резины площадью 0,6-0,8 м, между которыми укладывают нагревательный провод. Плиты представляют собой плоскую конструкцию той же площадью, образованную металлическим каркасом, залитую бетоном с вмонтированным внутри каркаса проволочным нагревательным элементом. Мощность нагревательных элементов - 150-200 Вт. Чтобы обеспечить электробезопасность, используют пониженное напряжение питания.

Основное преимущество плит и ковриков - удобство монтажа и эксплуатации, позволяющее применять их не только во вновь строящихся, но и, без значительных затрат, в существующих животноводческих и птицеводческих помещениях.

Конвекторные средства местного электрообогрева

К таким средствам относятся электрообогревательные панели, электроконвекторы и электрические калориферы малой мощности.

Обогревательные панели, конструктивно незначительно отличающиеся от обогревательных плит и ковриков, используют для отопления производственных, вспомогательных и бытовых помещений животноводческих и птицеводческих объектов. Их устанавливают вертикально вблизи зоны нахождения молодняка на расстоянии 5-10 см от стен помещения.

Мощность электроконвекторов сельскохозяйственного назначения типа ЭОКС составляет 2 или 6 кВт. Они снабжены устройствами для автоматического и ручного управления температурным режимом в помещениях. Нагревательными элементами в конвекторах являются тэны, помещенные в общий оребренный корпус с развитой теплоотдающей поверхностью.

Небольшие вспомогательные и бытовые помещения можно обогреть электрорадиаторами. В них теплота от трубчатого нагревательного элемента передается корпусу промежуточным теплоносителем - минеральным маслом, которым заполнена нижняя часть полого корпуса. Нагрев и последующее охлаждение масла вызывают его циркуляцию и, следовательно, нагрев всей поверхности радиатора, через которую теплота передается в окружающую среду. Мощность электрорадиаторов составляет 0,5-1,25 кВт, напряжение их питания - 220 В. Они снабжены терморегулятором, изменяющим температуру нагрева теплоотдающей поверхности, максимальное значение которой $T_{\max} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$, а также лампочкой, сигнализирующей о включении нагревательного элемента, и устройством аварийного отключения при температуре корпуса $130\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Если для местного обогрева используют электрические калориферы небольшой мощности, то их устанавливают в производственном помещении таким образом, чтобы поток теплого воздуха направлялся в зону нахождения животных и птицы. Электрокалориферный местный обогрев применяют также для создания тепловых завес, препятствующих проникновению холодного наружного воздуха в помещение, где содержатся животные и птица, при открытии ворот.

Пленочный электронагреватель – это низкотемпературный нагреватель для потолочного и напольного обогрева. Он имеет пленочную основу толщиной до 1 мм, отличается гибкостью и удобством монтажа. Температура нагрева рабочей поверхности электронагревателя колеблется в рамках 40-65 °С. Основная сфера применения – системы отопления помещений любого типа: [теплый пол](#) и [греющий \(теплый\) потолок](#).

Устройство: нагревательный, передающий, излучающий элементы.

Нагревательный элемент. Служит для преобразования электрической энергии в тепловую. Главный принцип работы пленочных электронагревателей основан на [законе Джоуля-Ленца](#). При прохождении тока через нагревательный элемент (ленточный или проволочный резистив, карбон) на нём выделяется тепловая энергия. Важны характеристики: удельное сопротивление материала и величина тока, который через него проходит.

Передающий элемент. Служит для передачи тепловой энергии от нагревательного элемента по всей площади электронагревателя. Чаще всего в качестве передающего элемента производителями применяется алюминиевая фольга, обладающая высокой теплопроводностью. В некоторых видах (обычно это импортные пленочные материалы с карбоновыми нагревательными элементами) передающий элемент (фольгу) производители не используют.

Излучающий элемент. Это поверхность электронагревателя, состоящая из пленки ПЭТ (полиэтилентерефталат). Данный материал по своим физическим свойствам обладает большим коэффициентом излучения инфракрасных волн. Так как пленка ПЭТ является хорошим диэлектриком, в пленочных электронагревателях она служит для надежной изоляции токоведущих частей. Ламинирование токоведущих элементов нагревателя выполняется с двух сторон.

Принцип работы пленочного электронагревателя

При прохождении электрического тока через нагревательный элемент на нем выделяется тепло. Оно контактным методом распространяется по передающему элементу (алюминиевая фольга) к поверхности нагревателя (пленка ПЭТ). Поверхность нагревателя при нагреве начинает излучать инфракрасные волны в средневолновом диапазоне: 8,6–9,2 мкм.

Диапазоны инфракрасного излучения и соответствующие им температуры в °C:

область ближняя: $\lambda = 0,74\text{--}2,5$ мкм (от +3 650 до +877 °C);

область средняя: $\lambda = 2,5\text{--}50$ мкм (от +877 до -215 °C);

область далекая: $\lambda = 50\text{--}2000$ мкм (от -215 до -257 °C).

Сфера применения нагревателей

Использование конкретного вида нагревателей зависит от характеристик объекта обогрева и технических характеристик пленочных электронагревателей (напряжение, мощность, размерный ряд).

Пленочные электронагреватели применяются для создания систем обогрева различных объектов с высотой потолка до 5,0 м: частные дома, коттеджи, дачи, квартиры, офисы, магазины, социальные объекты, склады, производственные помещения и др.

На данных объектах инфракрасная пленочная система может использоваться как основной или дополнительный вид обогрева. В системах обогрева применяется потолочный (греющий потолок) либо напольный пленочный электронагреватель (пленочный теплый пол) мощностью 150-300 Вт/кв.м, в зависимости от высоты потолка.

Технические характеристики пленочного электронагревателя для систем отопления

Номинальное напряжение U_n – 220 В, 50 Гц.

Удельная мощность – от 150 до 300 Вт/кв.м.

Номинальный ток нагрузки I_n – от 0,68 до 1,36 А/кв.м.

Макс температура нагрева – 40-55 °C.

Степень защиты от внешних воздействий – IP54.

Длина полотна – от 0,25 до 7 м.

Ширина полотна – от 0,5 до 1 м.

Толщина полотна – 0,4 мм.

Вес нетто – 500 г/кв.м.

Размерный ряд пленочных электронагревателей

Основные ходовые размеры по ширине: 50 см; 80 см; 100 см.

Схема подключения пленочного электронагревателя

Пленочный электронагреватель работает от электросети 220 В, 50 Гц. Подключение – параллельное.

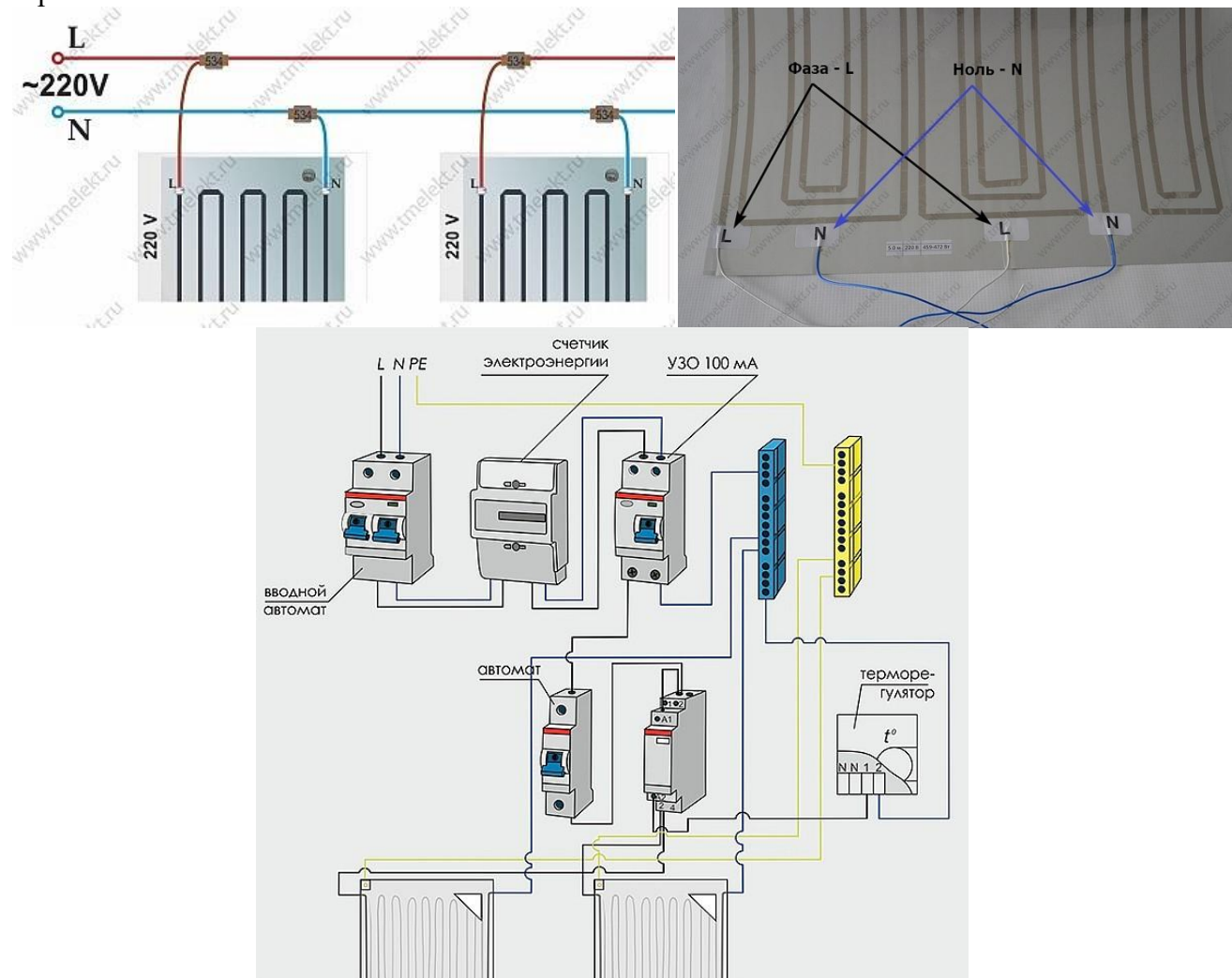


Рисунок 155 – Схемы подключения нагревателя ПЛЭН: а – с двумя выводами, б – с тремя и более выводами, в – с РЕ - проводником

Л51 Комбинированные системы создания микроклимата. Регулирование параметров. Схемы управления работой установок

При таком способе обогрева теплопередача животным и птице происходит одновременно излучением, контактно и конвекторно. В этом случае систему стремятся выполнить таким образом, чтобы животных обогревать и снизу (устройства контактного обогрева), и сверху (устройства лучистого и конвекторного обогрева). Это способствует снижению простудных заболеваний молодняка.

Установка ЭИС-11-И1 для местного комбинированного электрообогрева обеспечивает оптимальный температурный режим в зоне размещения поросят-сосунков в свинарниках-маточниках, отапливаемых системой общего обогрева, если температура воздуха в помещении не ниже 14 °С.

Установка состоит из 30 электрообогревательных устройств и общего для них пульта управления. Каждое обогревательное устройство (рисунок 156) включает в себя инфракрасный электрообогреватель 1 типа ЭИС-0,25-И1, нагревательную панель 4 размером 120*62 см, мощностью 120 Вт, конструктивно объединенные при помощи кронштейна 3 с клеммной коробкой 2. В зоне нахождения поросят установка создает среднее превышение эффективной температуры над температурой окружающей среды не менее 16 °С,

обеспечивая благоприятные температурные условия (около 30 °С) для животных разных возрастных групп. Общая мощность установки - 11-15 кВт, напряжение питания - 380/220 В.

Установка ЭИС-0,37-И1, предназначенная для местного обогрева 15 ягнят, содержит инфракрасный обогреватель ИЭИС-0,25-И1 и панель контактного обогрева размером 110*110 см, мощностью 120 Вт. При температуре в помещении 5 °С установка обеспечивает ягнятам комфортные условия с ощущаемой температурой 15 °С.

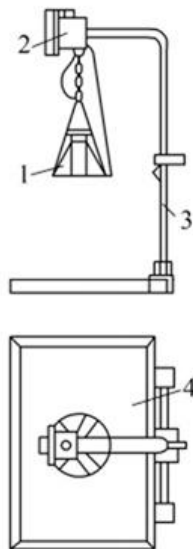


Рисунок 156 – Установка ЭИС-11-И1: 1 — электрообогреватель; 2 - клеммная коробка; 3 - кронштейн; 4 - нагревательная панель

Принципиальная электрическая схема управления установками местного комбинированного обогрева приведена на рисунок 157. Ручной или автоматический режим работы схемы устанавливается переключателями SA1 и SA2. В ручном режиме электрообогреватели включаются кнопками SB3 и SB5, а выключаются кнопками SB2 и SB4.

В автоматическом режиме обогреватели начинают работать от сигнала двухпозиционных регуляторов температуры ВК1 и ВК2 типа Т419, датчики которых воспринимают тепловой поток инфракрасного обогревателя (RK1) и температуру обогревательной панели (RK2). Обогреватели могут включаться независимо один от другого в любом режиме. Дифференциальное реле AF1 (РУД-0,5) отключает установку при появлении потенциала на ее элементах.

Благодаря использованию устройств местного обогрева, работающих в автоматическом режиме, можно значительно снизить энергетические затраты на обогрев помещений животноводческих и птицеводческих хозяйств.

Радиационные электронагреватели широко применяются в различных отраслях промышленного производства и сельского хозяйства. Их работа основана на передаче тепловой энергии в виде инфракрасного излучения. Инфракрасные лучи, достигнув поверхности нагреваемого тела, поглощаются им, а их доставленная энергия превращается в тепловую. Глубина проникновения излучения и степень нагрева зависят от длины волны λ и физических свойств тела.

Светлый ламповый излучатель состоит из лампы накаливания с вольфрамовой нитью и стеклянной колбой, нижняя часть которой имеет зеркальное покрытие для обеспечения направленного излучения. Температура вольфрамовой спирали составляет около 2 200 К. Максимум излучения наблюдается при $\lambda = 1,3$ мкм. Основная же часть излучения энергии находится в диапазоне длин волн от 0,8 до 3,5 мкм.

Светлый кварцевый излучатель состоит из трубки, изготовленной из кварцевого стекла, внутрь которой помещают спираль из нихрома или вольфрама. Он отличается от лампового излучателя более длительным сроком службы и меньшими габаритами при

одинаковой мощности, что позволяет увеличить плотность излучаемого потока до 50-60 кВт/м².

Темный излучатель представляет собой обыкновенный тэн, размещенный в фокусе полированного отражателя. Рабочая температура на поверхности излучателя достигает 1 000 К, а максимум излучателя находится в диапазоне длин волн от 2 до 5 мкм.

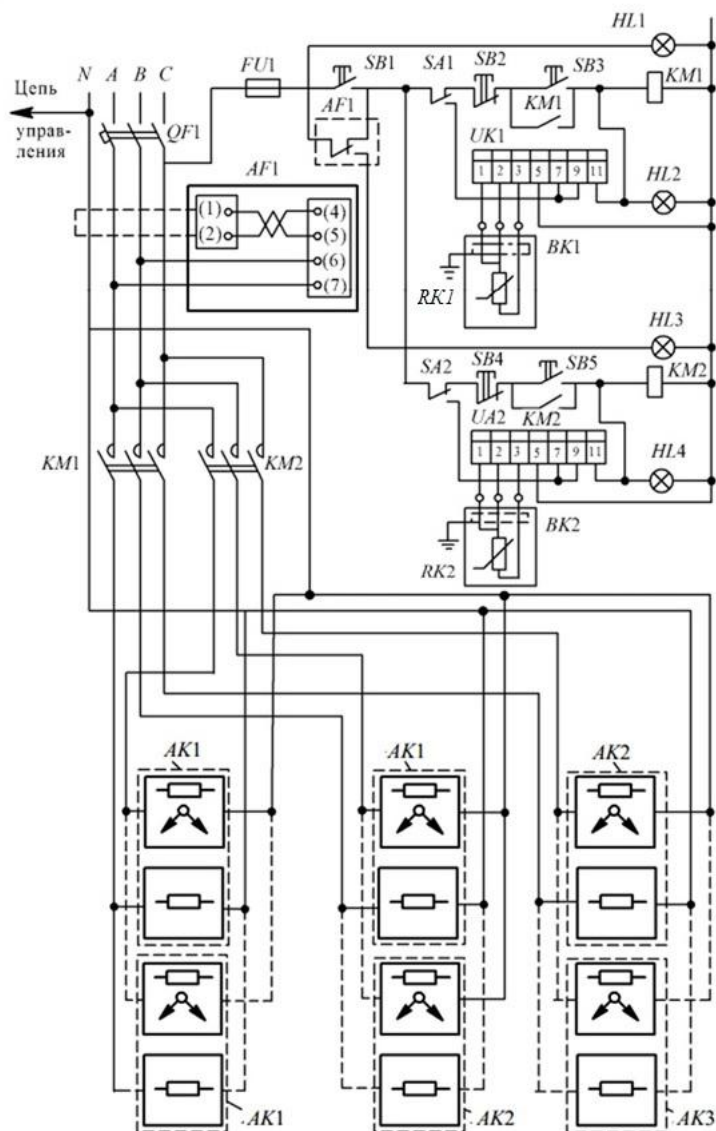


Рисунок 157 – Электрическая схема управления установками местного комбинированного обогрева

Л52 Электрические инкубаторы. Параметры микроклимата инкубатора. Устройство, электрооборудование и схемы управления

Инкубация яиц повсеместно осуществляется на промышленной основе и на сегодняшний день является одним из наиболее автоматизированных ТП птицеводства. Особенность инкубации заключается в том, что она требует достаточно точного поддержания микроклимата, характеризующегося тремя параметрами: температурой, влажностью и газовым составом. Кроме того, в процессе инкубации эти параметры должны изменяться.

По назначению инкубаторы делят на предварительные, выводные и комбинированные (сочетающие оба процесса).

Универсальный предварительный инкубатор ИУП-Ф-45 вмещает 48 тыс. яиц. Инкубатор состоит из трех одинаковых камер, в каждой из которых размещаются барабан с

лотками, вентилятор, системы обогрева, охлаждения, увлажнения, а также аварийного охлаждения и воздухообмена.

Лотки с яйцами поворачиваются за счет поворота барабана на угол $\pm 45^\circ\text{C}$ от вертикального положения, выполняемого автоматически каждый час. Циркуляция воздуха внутри каждой камеры обеспечивается работой тихоходного вентилятора, а увлажнение воздуха — за счет испарения воды, подаваемой на ступицу вентилятора и разбрызгиваемой его лопастями при вращении. Охлаждение воздуха в камере достигается циркуляцией воды через радиатор, укрепленный, как и вентилятор, на задней стенке камеры. Вода на увлажнение и охлаждение воздуха подается через соленоидные клапаны, управляемые автоматически. Воздухообмен в камере обеспечивается системой заслонок, объединенных общим приводом от электромагнита, начиная с 11-го дня инкубации начинают открывать заслонки, причем открытие заслонок, увеличивается до 60 мм на 18-й день инкубации.

Обогрев воздуха в каждой камере осуществляется четырьмя электронагревателями общей мощностью 4 кВт. Требуемая точность поддержания температуры в диапазоне $36...39^\circ\text{C}$ очень высокая: $\pm 0,2^\circ\text{C}$. При понижении температуры на $0,2...0,3^\circ\text{C}$ ниже заданной включаются электронагреватели. При повышении температуры открывается электромагнитный клапан, подающий холодную воду в радиатор охлаждения.

Для автоматической стабилизации влажности воздуха применен регулятор, а для измерения относительной влажности при неизменной температуре — электроконтактный термометр. При понижении относительной влажности регулятор открывает электромагнитный клапан подачи воды в систему увлажнения.

При температуре воздуха в камере ниже $36,5^\circ\text{C}$ термодатчик отключает регулятор влажности и включает аварийную сигнализацию. При температуре выше $38,3^\circ\text{C}$ термодатчик отключает нагреватели, включает электромагнит устройства дополнительного охлаждения, сигнальную лампу и звонок. В схеме управления оборудованием инкубатора предусмотрено отключение всех цепей управления при открывании двери и размыкании контактов микровыключателя, а также блокировка механизма поворота лотков при открытых замках барабанов и разомкнутых контактах микропереключателей.

Перед загрузкой каждая камера инкубатора должна быть предварительно прогрета до $37,8^\circ\text{C}$. Уставка регулятора температуры должна быть предварительно прогрета до $37,6^\circ\text{C}$, а регулятора влажности — до 29°C . Этот температурный режим не меняют до перекладки яиц на вывод. Температуру воздуха в камере инкубатора контролируют по шкале стрелочного индикатора.

В промышленном птицеводстве достаточно широко применяют инкубатор «Универсал-55, предназначенный для инкубации яиц сельскохозяйственных птиц всех видов. Он состоит из двух шкафов. Каждая выводная камера рассчитана на три или шесть инкубационных и не имеет механизма поворота лотков. В остальном устройство инкубационных и выводных камер аналогично.

На рисунке 158 изображена инкубационная камера с вентилятором 1, который обеспечивает выравнивание температуры по объему камеры и улучшает теплопередачу между воздухом и яйцами. Двумя электронагревателями 2 мощностью по 1 кВт управляют совместно в двух режимах: при полном напряжении сети и при половинном. Увлажнитель 7 имеет отдельный электромагнитный привод, а вода подается через управляемый клапан 6. Приточная 8 и вытяжная 5 заслонки воздухообмена имеют общий электромагнитный привод 4. Для поворота лотков предназначен механизм 3 с моторным электроприводом 9, имеющим два ограничительных концевых выключателя 10. Температура контролируется платиновым датчиком типа ТСП, влажность — мокрым контактным термометром.

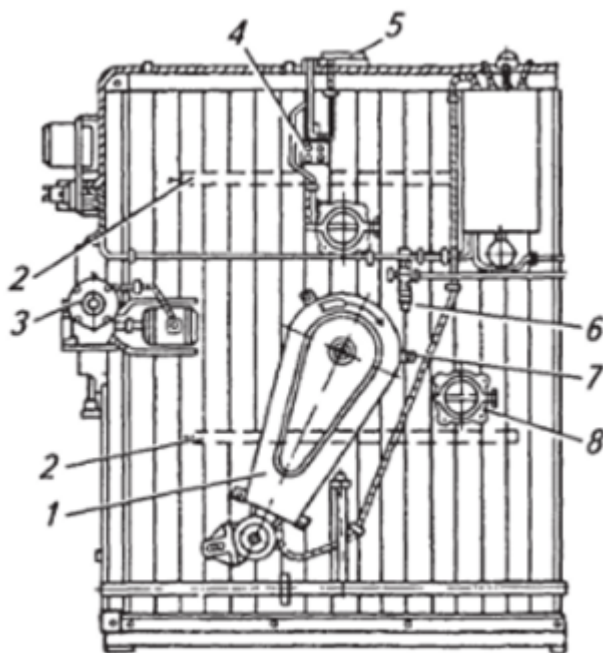


Рисунок 158 – Инкубационная камера:

1 — вентилятор; 2 — электронагреватели; 3 — механизм поворота лотков; 4 — электромагнитный привод; 5 — вытяжная заслонка; 6—управляемый клапан; 7—увлажнитель; 8— приточная заслонка

Температурным режимом управляют при помощи трехпозиционного терморегулятора типа РТИ-35, поворотом лотков — при помощи реле времени, влажность регулируют контактным термометром. Автоматическое управление дублируется ручным. Каждый режим работы устройств и механизмов контролируется световой сигнализацией *HL1...HL4*.

Принципиальная электрическая схема управления инкубационной камерой показана на рисунке 159. В автоматическом режиме при снижении температуры в камере терморегулятора *AL* (РТИ-3) посылает сигнал на открытие тиристора *VS*. Электрическое напряжение, равное половине номинального, поступает на обогревательные элементы *EK1* и *EK2*. При дальнейшем снижении температуры терморегулятор *AL* подает напряжение на катушку магнитного пускателя *KM2*, который своими контактами шунтирует тиристор и обеспечивает подачу на нагревательные элементы полного напряжения. При повышении температуры в шкафу сначала отключается *KM2*, а затем посылается сигнал, запирающий тиристор. Если температура превысит $38,3^{\circ}\text{C}$, замкнется контакт термореле *SK1* и включится реле *KV1*, которое отключит промежуточное реле *KV2*. Контакты реле *KV2* отключат терморегулятор *AL*, включат соленоид охлаждения *YA1* и сигнализацию.

При снижении влажности воздуха (на 3 %) влагорегулятор *A2* включает соленоид *YA2* и вода подается на диск механического распылителя *M2*. При этом зажигается сигнальная лампа *HL5*. Световая сигнализация *HL4* показывает «Разогрев», *HL1*— «Температура в норме», *HL2*— «Охлаждение».

Внутриобменный вентилятор *M1* включается магнитным пускателем *KM1* непосредственно при подаче напряжения на цепи управления и отключается только при открытии дверей конечным выключателем *SQ*.

Поворот лотков осуществляется общим механизмом на три шкафа, приводимым в движение реверсивным электроприводом. Поворотом лотков управляют при помощи реле времени, которое в сочетании с двумя конечными выключателями обеспечивает челночный поворот вала на угол $\pm 45^{\circ}$.

инкубатора включается на время не более 5 с. Ровно на 5 с увлажнитель включается, если в течение 32 мин зафиксировано снижение влажности более чем на 5 %.

Описанный алгоритм автоматически вводится в работу только спустя 5 ч с момента пуска инкубатора. В случае отключения вентилятора команды на включение нагревателей, охладителей и увлажнителей блокируются.

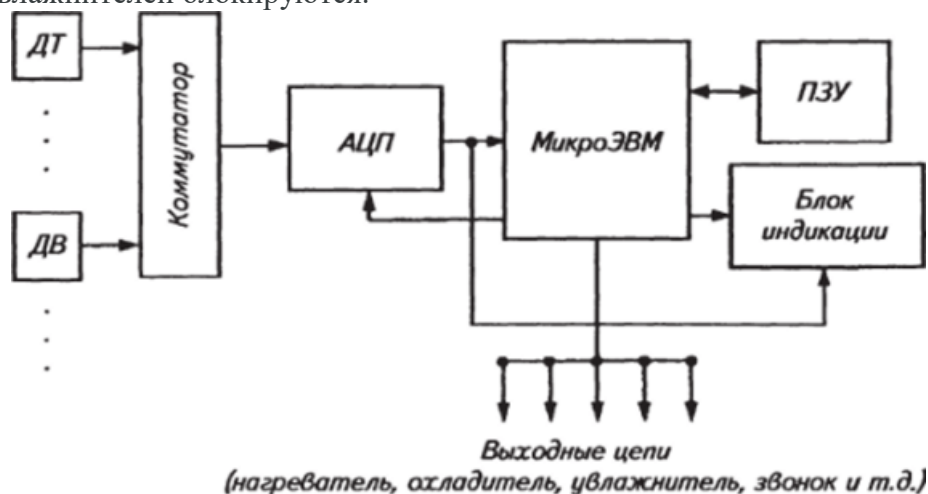


Рисунок 160 – Функциональная схема микропроцессорного устройства для инкубатора

Л53 Электротермическое оборудование для сооружений защищённого грунта.

Электрообогрев почвы в парниках и теплицах: его способы и виды. Электротермическая стерилизация грунта

К сооружениям защищенного грунта, т. е. к культивационным помещениям, относят теплицы, парники и малогабаритные укрытия. В зависимости от конструктивных особенностей, теплицы бывают зимние и весенние. Основным требованием к сооружениям защищенного грунта является микроклимат - температура воздуха и почвы, а также влажность того и другого.

Температура почвы имеет не менее важное значение, чем температура воздуха. Установлено, что перепад между температурами почвы и воздуха должен находиться в пределах от 3 до 5 °С, причем в дневное время суток температура воздуха должна быть больше, чем температура почвы, а ночью наоборот.

Электрический обогрев зимне-весенних сооружений применяют ограниченно из-за больших потерь тепла через каркас и существенных затрат на электроэнергию. Как правило, электрообогрев применяют в качестве аварийного обогрева при отключении теплосети или чрезвычайном снижении наружной температуры. На практике чаще применяют комбинированный обогрев весенних теплиц от котельных и электротермических устройств, которые позволяют относительно просто и точно поддерживать необходимую температуру как воздуха, так и почвы, обеспечивая при этом минимальные энергетические затраты.

В сооружениях защищенного грунта применяют как прямой, так и косвенный нагрев. Для нагрева воздуха используют только косвенный нагрев: это чаще всего электрокалориферы или электротепловентиляторы разных модификаций. Для обогрева почвы применяют как прямой (за счет электрического сопротивления), так и косвенный индукционный нагрев. Для прямого и для косвенного нагрева используют стальную неизолированную оцинкованную проволоку диаметром 2-6 мм, нагревательные провода ПОСП, ПОСХВ, ПОСХВТ, ПНВСВ, а также специальные кабели.

При нагреве почвы при помощи стальной изолированной проволоки ее размещают в асбоцементных или керамических трубах диаметром 100-150 мм, которые укладывают в песке под слоем почвы (рисунок 161).

При обогреве воздуха такие нагреватели монтируют вдоль парубней на крюках. Нагреватели нескольких парников, с целью подключения их к питающей сети напряжением 220-380 В, соединяют последовательно, исходя из расчета удельной мощности 80-100 Вт/м.

Иногда используют для нагрева и трубчатые электрические нагреватели (тэны), но их применение ограничено малым сроком службы (2-3 сезона) и дополнительной потерей полезной площади (до 20 %).

Нагревательные элементы из стальной изолированной проволоки могут выполняться и без труб. При таком способе берут проволоку диаметром 4-7 мм, укладывают параллельными нитями вдоль конструкции в слое песка толщиной 100-150 мм, находящегося под слоем почвы. Прослойка песка обеспечивает равномерный нагрев и хорошую теплоотдачу. Удельную мощность нагревательных элементов берут из расчета 15-25 Вт/м при питающем напряжении от 12 до 60 В. Температура проволоки при этом не должна превышать 40 °С, чтобы исключить перегрев или высушивание почвы. Данный способ отличается простотой конструкции, высокой надежностью, долговечностью и равномерным нагревом почвы.

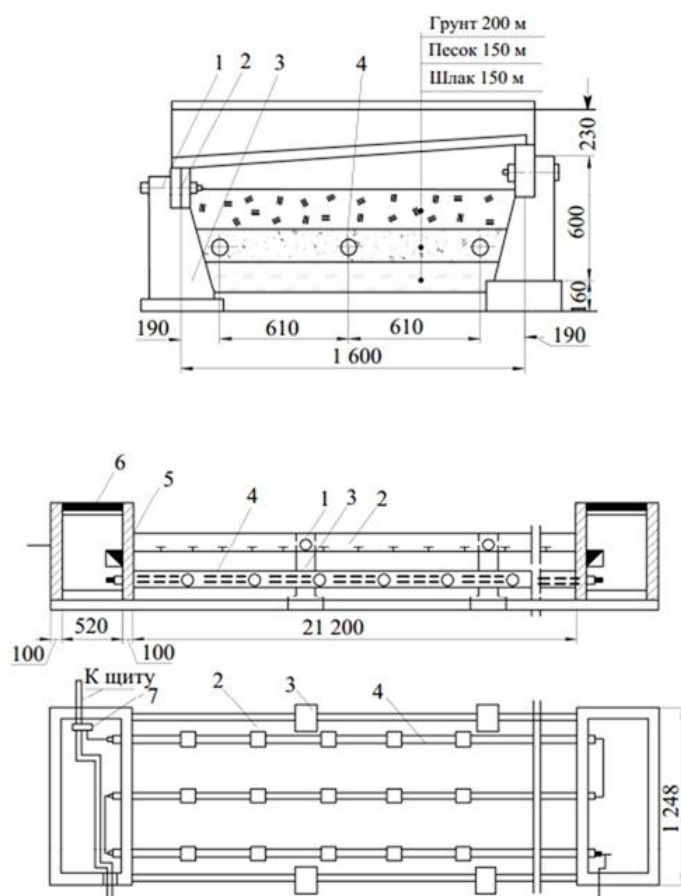


Рисунок 161 – Устройство электропарника с почвенным обогревом трубчатыми нагревательными элементами по типовому проекту № 810-28: 1 - болт стяжной; 2 - парубни; 3 - фундаментная тумбочка; 4 - трубы почвенного обогрева; 5 - крышка; 6 - монтажный прямок; 7 - коробка У-79

Применение нагревательных проводов и кабелей предусматривает аналогичные требования к монтажу и эксплуатации. Расстояние между проводами рассчитывают таким образом, чтобы неравномерность температуры поверхности почвы не превышала 3—5 °С. Для защиты уложенного провода от повреждений его заливают цементно-песочной смесью (1:10) слоем толщиной 4—5 см. Кроме этого возможно применение и другого варианта: над уложенным проводом на расстоянии 50 мм укладывают металлическую сетку с ячейками 50х50 мм. Сетку присоединяют к нулевому проводу, а проволоку — к фазе. Питание можно осуществлять на напряжение как 220, так и 380 В.

Применение нагревательного провода наиболее распространено при нагреве почвы в сооружениях защищенного грунта из-за его простоты, надежности и экономичности. В качестве недостатка следует отметить сложность замены нагревательного элемента.

В весенних теплицах, парниках и песочных укрытиях обогрев почвы и воздуха осуществляют при помощи калориферов. Подогрев почвы ведется по системе воздухопроводов, уложенных в землю ниже гумусного слоя на 50—100 мм. Воздуховоды изготавливаются из керамических или асбоцементных труб. По торцам трубы сообщаются с воздухопроводами, смонтированными по всему периметру сооружения, как показано на рисунке 162. Электрокалориферы для нагрева воздуха, как правило, размещают в отдельных помещениях. Данный способ обогрева прост и безопасен в эксплуатации и легко может быть автоматизирован.

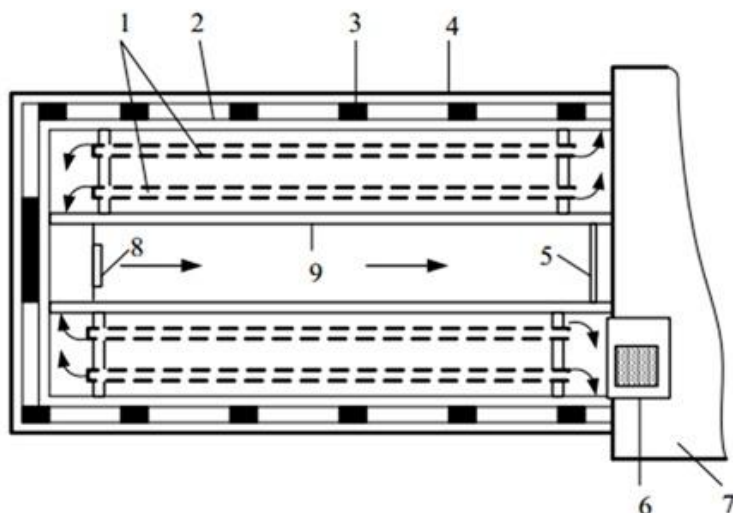


Рисунок 162 – Теплица индивидуального пользования с обогревом почвы и воздуха при помощи калориферов: 1 — асбоцементные трубы; 2 — деревянный каркас; 3 — опорные фундаментные столбики; 4 — цоколь; 5 — дверь; 6 — отопительная печь; 7 — жилое помещение; 8 — вентилятор; 9 — бортик

Для обеспечения оптимального температурного режима почвы, воздуха (в зависимости от выращиваемых растений) и экономии электроэнергии широко применяется комплектное устройство КЭПТ. Оно позволяет не только поддерживать температуру в заданных пределах, но и осуществлять полив и увлажнять воздух. Принципиальная схема устройства КЭПТ представлена на рисунке 163. Мощностью почвенных нагревательных элементов ЕК1-ЕК3 управляют тиристоры VS1-VS6, коммутацию которых осуществляют с помощью реле KV1-KV3. Реле KV1 включается контактами UK1 двухпозиционного регулятора температуры. Реле времени KT1 в зависимости от положения переключателя SA4, изменяя соотношение времени включенного и отключенного состояния, выполняет две программы работы, обеспечивающие 50 и 25 % мощности нагревательных элементов.

Реле времени KT1 работает по заданной программе. При токах утечки более 100 мА срабатывает защитное устройство AF, отключающее систему обогрева при помощи автоматического выключателя QF1.

Устройство КЭПТ имеет световую сигнализацию наличия напряжения на нагревательных элементах. Переключатель SA1 и вольтметр PV1 сигнализируют об исправности нагревательных элементов при закрытых тиристорах VS1-VS6. Кроме этого в устройстве предусмотрен как ручной, так и автоматизированный режим работы.

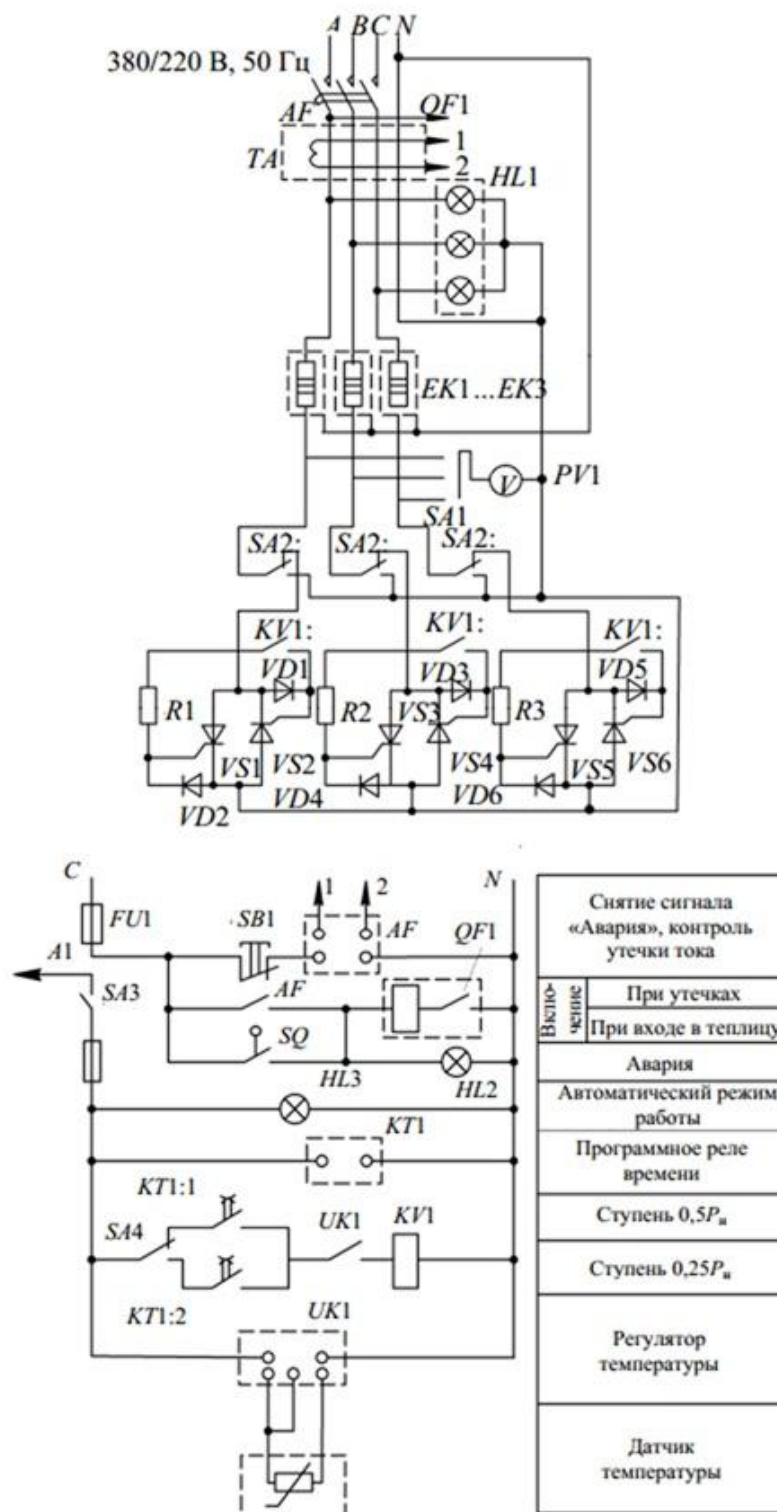


Рисунок 163 – Принципиальная схема управления почвенными нагревательными элементами устройства КЭПТ

Согласно Правилам технической эксплуатации техническое обслуживание электротермических устройств в тепличных сооружениях или парниках проводят раз в три месяца их непрерывной работы, а текущий осмотр и ремонт - один раз в год, как правило, осенью, до наступления устойчивых холодов и замерзания почвы. Ремонтные работы и техническое обслуживание электрооборудования и токопроводящих сетей должно выполняться при снятом напряжении обслуживающим персоналом, имеющим II группу допуска.

При техническом обслуживании необходимо проверить: равномерность прогрева почвы согласно агротехническим требованиям; надежность контактных соединений, обеспечивающих подключение нагревательных элементов к сети (величина переходного сопротивления контактных соединений не должна превышать 0,1 Ом); измерить сопротивление изоляции нагревательных элементов - проводов и кабелей (оно должно быть не менее 0,5 МОм); проверить на надежность присоединения к нулевому проводу все металлические кожухи, сетки и корпуса электрооборудования.

Во всех хозяйствах, использующих электротермические установки обогрева как воздуха, так и почвы в теплицах или парниках, должны быть разработаны и утверждены главным энергетиком инструкции по эксплуатации электрооборудования, определяющие права, обязанности и ответственность обслуживающего персонала, а также порядок и сроки технических осмотров и ремонтов оборудования.

Парники с электрообогревом бывают двух категорий - А и Б, в зависимости от типов нагревательных элементов, используемых для обогрева:

категория А: напряжение питания электронагревательных элементов - выше 65 В при обогреве с помощью электродов, заложённых в земле, или неизолированных сопротивлений, проложенных в земле или воздухе;

категория Б: напряжение питания нагревательных элементов - не более 65 В при обогреве с помощью электродов, заложённых в земле, или неизолированных сопротивлений, проложенных в земле или воздухе. При напряжении выше 65 В прокладка нагревательных элементов осуществляется в асбоцементных трубах, возможно также применение специальных кабелей.

В парниках используемые для нагрева тэны или провода марок ПОСХВ и ПОСХП, а также провода из стальной проволоки, которые могут быть заложены в бетон или защищены металлической сеткой, подсоединенной к нулевому контакту, запитывают, как правило, на пониженное напряжение 6, 12, 36 В. Их относят к категории Б.

Главным условием надежной и безопасной работы электронагревательной системы парниковых сооружений является строгое соблюдение ПТЭ и Правил техники безопасности (ПТБ) в электроустановках. Территория, отведенная под парники с электрообогревом, должна быть огорожена забором высотой не менее 2 м, а на въездные ворота должны быть прикреплены предупреждающие таблички: «Под напряжением», «Опасно для жизни» и «Вход на территорию запрещен». За все действия обслуживающего персонала парникового хозяйства с электрообогревом несет закрепленный за ним электромонтер.

Л54 Электротермическое оборудование сооружений для хранения с. х. продукции, режимы его работы в соответствии с требованиями технологий хранения

Хранение растениеводческой продукции (картофеля, овощей, корнеплодов, фруктов) в буртах, траншеях, непригодных помещениях приводит к потере до 30% и более урожая. Большие потери допускаются при транспортировке продукции на большие расстояния.

Современные тенденции состоят в том, чтобы хранить сельскохозяйственную продукцию на местах ее производства в механизированных хранилищах, оснащенных набором оборудования для создания и поддержания оптимальных параметров микроклимата, обеспечивающих высокую сохранность и качество продукции.

Условия хранения определяются главным образом температурой, а также влажностью воздушной среды, а при хранении плодов – и газовым составом среды. Для каждого вида овощей и плодов существует оптимальная температура хранения: для картофеля +2...5⁰С, для корнеплодов +0,5...1⁰С, для лука 0...3⁰С и т.д. Оптимальная влажность воздуха для картофеля, капусты, корнеплодов 80...95%, для лука не должна превышать 60...70% и т.д.

Оборудование для создания микроклимата хранилищ включает установки активного вентилирования продукции, подогрева, охлаждения и увлажнения воздуха. В

фруктохранилищах, кроме того, необходимы установки для генерирования газовых смесей. Оборудование включает центробежные вентиляторы, электрокалориферные установки, холодильные установки, рассольные насосы, испарительные устройства с электроподогревом и др. Крупные современные хранилища оборудуют кондиционерами, которые содержат все необходимые устройства для поддержания нужных параметров воздуха.

При выборе мощности подогревателей следует учитывать подогрев воздуха в вентиляторах на $1...1,5^{\circ}\text{C}$. По опытным данным, необходимая мощность подогревателей воздуха составляет около 2,5 кВт на 1000 т картофеля.

В качестве подогревателей воздуха наиболее целесообразно использовать электрические калориферы с трубчатыми нагревателями.

Для картофелехранилищ вместимостью до 1000 т выпускается комплект оборудования ОРТХ (оборудование регулирования температуры хранилищ) со шкафом управления ШАУ-АВ, обеспечивающего вентилирование картофеля без искусственного охлаждения. Принципиальная схема шкафа управления приведена на рисунке 164.

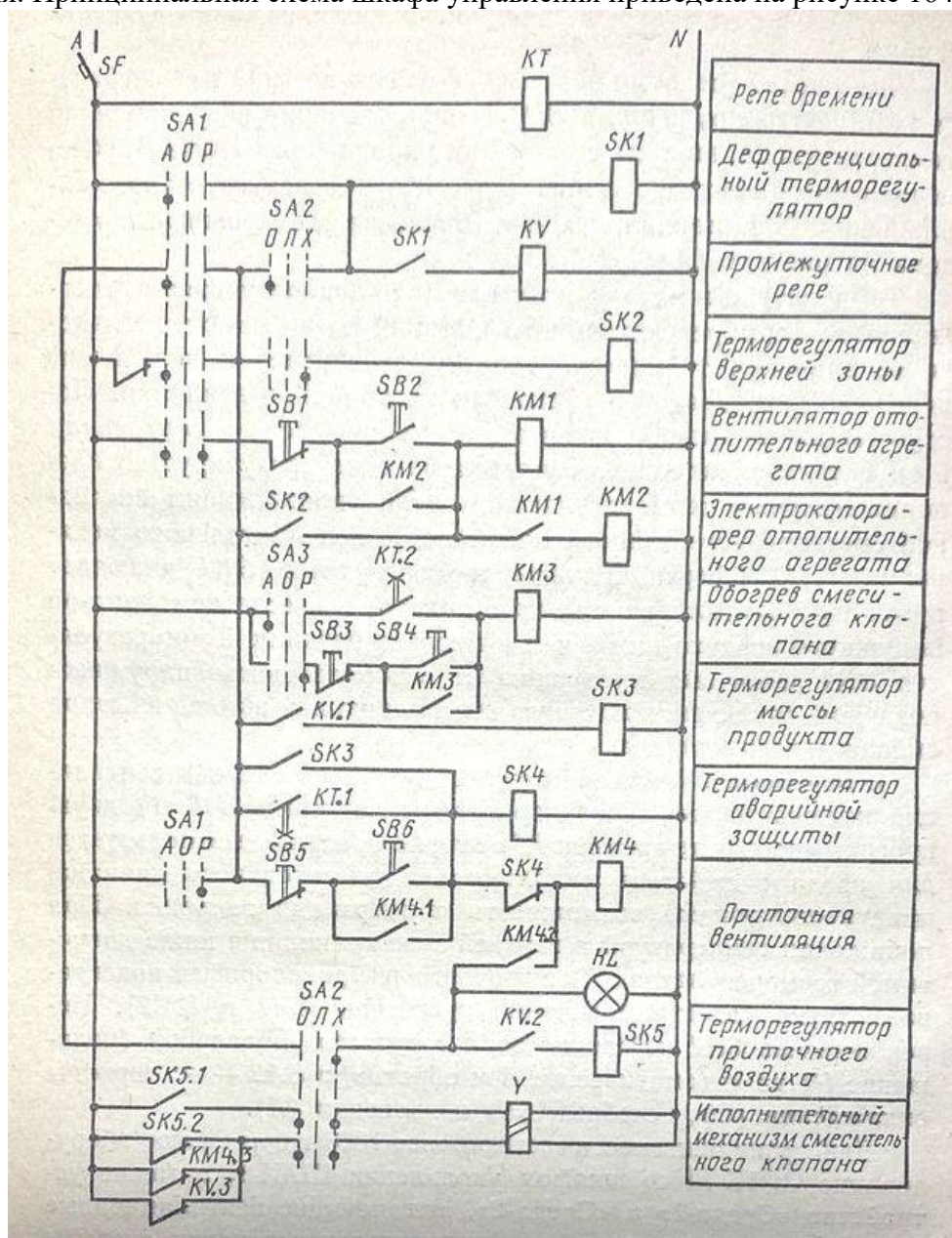


Рисунок 164 – Принципиальная электрическая схема автоматического управления температурным режимом в картофеле – и овощехранилищах

Температура в массе картофеля на заданном уровне поддерживается терморегулятором SK3. При превышении оптимального ее значения терморегулятор подготавливает к включению цепь электромагнитного пускателя приточной вентиляции. Поступающий в хранилище воздух смешивается с внутренним в смесительном клапане. Температура смеси регулируется пропорциональным терморегулятором SK5, управляющим заслонкой смесительного клапана при помощи исполнительного механизма Y. Дифференциальный терморегулятор SK1 включает приточную вентиляцию только в том случае, если температура наружного воздуха ниже, чем в массе продукции. Терморегулятор SK4 защищает продукцию от переохлаждения наружным воздухом, отключая приточную вентиляцию при выходе из строя смесительного клапана.

В лечебный и основной периоды хранения система вентиляции включается по первой программе (контакты КТ1) двухпрограммного реле времени КТ. Вторая программа используется для ввода в действие подогревателя смесительного клапана, предупреждающего возможность примерзания заслонки. При понижении температуры в верхней зоне хранилища ниже допустимой терморегулятор SK2 включает электрокалорифер подогрева воздуха (электромагнитные пускатели КМ1 и КМ2). Переключатель SA1 переводит цепи с ручного управления (положение Р) на автоматическое А и обратно, а SA2 – на периоды охлаждения (О), лечебный (Л) и хранение (Х).

Для хранилищ вместимостью более 1000 т применяют оборудование ОРТХ – М со шкафом управления ШАХ – 1, а также устройства «Среда – 1» и «Среда – 2», включающие вентиляционные установки, электрокалориферы, холодильные установки, системы управления и автоматизации.

Фрукты хранят в типовых фруктохранилищах вместимостью от 270 до 3000 т. Оборудование хранилищ установленной мощностью от 132 до 505 кВт включает вентиляционные установки, холодильные установки, увлажнители и др. Щиты управления типа ШАП – 59 обеспечивают комплексную автоматизацию оборудования, защиту компрессоров холодильных машин от аварийных режимов, сигнализацию, регулирование температуры и влажности воздуха в камерах, его циклическое перемешивание.

Л55 Электротермические установки и оборудование в растениеводстве. Особенности их работы. Активное вентилирование зерна: вентилируемые закрома, бункера активного вентилирования зерна

Активное вентилирование — продувание массы зерна холодным или подогретым воздухом — наиболее эффективный прием временного хранения (консервирования) влажного зерна. Активное вентилирование, кроме консервации, предупреждает самосогревание, охлаждает и подсушивает зерновые насыпи. Круглосуточное вентилирование необходимо, если влажность зерна выше 20 %, а относительная влажность воздуха не превышает 90 %. В дождливую погоду проводят периодическое вентилирование зерна подогретым воздухом в течение 1,5 ч через 4-5 ч.

В основе сушки вентилированием лежит зависимость так называемой равновесной влажности зерна от относительной влажности воздуха. Из-за гигроскопических свойств зерно увлажняется при относительной влажности воздуха выше равновесной и подсушивается при влажности воздуха ниже равновесной. Для уменьшения относительной влажности воздуха его подогревают, на каждый 1 °С нагрева воздуха его относительная влажность снижается примерно на 5 %. Обычно воздух при сушке подогревают на 10...12 °С.

Для активного вентилирования используют бункеры БВ-12,5, БВ-25, БВ-50 вместимостью соответственно 12,5, 25 и 50 т. Вентилируемый бункер имеет цилиндрическую форму и выполняется из штампованных перфорированных секций. Внутри бункера находится воздухораспределительная труба. Несколько бункеров объединяют в группы. Зерно с помощью нории засыпают между внутренним и внешним цилиндрами.

Чтобы обеспечивалось радиальное и вертикальное воздухораспределение, используется поршень-заглушка, устанавливаемый лебедкой на уровне зерна. Вентилятор прогоняет воздух через калорифер и подает его в массу зерна. Разгружается бункер самотеком через люк.

Автоматизация бункеров активного вентилирования зерна предусматривает автоматическое управление загрузкой бункеров, воздухораспределением в бункере, температурой и влажностью зерна и продуваемого воздуха (рисунок 165).

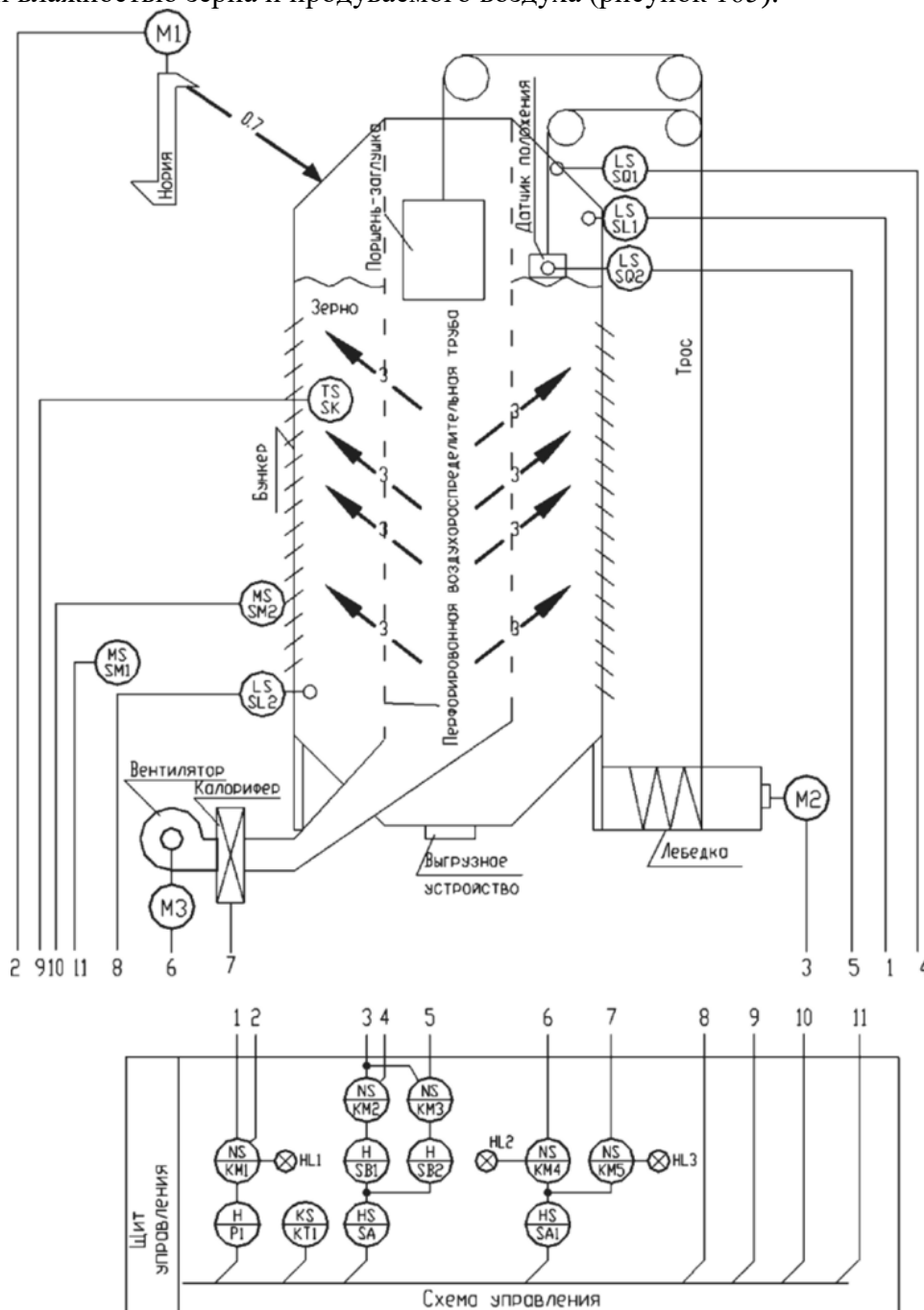


Рисунок 165 – Схема автоматизации активного вентилирования зерна

В автоматическом режиме система воздухораспределения работает следующим образом. При включении привода M1 норрии подается питание на привод M2 лебедки на подъем заглушки. Заглушка передвигается вверх, пока не разомкнутся контакты конечного выключателя LS (SQ1).

При загрузке бункера до уровня LS (SL1) норрия M1 отключается и подается сигнал па включение привода лебедки M2, который опускает заглушку вниз, пока датчик положения

LS (SQ2) не коснется зерна и, разомкнув свои контакты SQ2, не отключит привод лебедки. Влагомер MS (SM2) контролирует влажность выносимого из бункера воздуха (она связана зависимостью с влажностью зерна) и управляет переключением с режима сушки на режим консервации. Влагомер MS (SM1) контролирует влажность наружного воздуха и управляет работой калорифера, подогревающего воздух с целью его осушения. Датчик минимального уровня LS (SL2) обеспечивает включение вентилятора М3 при условии, что заглушка установлена на уровень зерна и влажность зерна выше допустимой (в режиме сушки). Датчик температуры TS (SK) включает вентилятор М3 при превышении температуры (самосогревании) зерна в режиме консервации.

Схема управления температурой и влажностью зерна в бункере активного вентилирования показана на рисунке 166. Переключатели SA1 и SA2 могут быть установлены в два положения: С — сушка и К — консервация (для SA1); Р — ручное и А — автоматическое управление (для SA1). Сигнал на загрузку бункера подают вручную, кнопкой поста Р1 запитывая пускатель KM1 нории М1. При этом контакт KM 1.2 подает питание на пускатель KM2, который включает привод лебедки М2 на подъем заглушки до тех пор, пока не разомкнется контакт SQ1 датчика верхнего положения заглушки.

Датчики уровня SL1 и SL2 своими контактами контролируют верхний и минимальный уровень зерна в бункере. Когда зерно загружается до уровня SL2, контакты SL2 подготавливают к включению цепь питания вентилятора (пускатель KM4). Когда уровень зерна в бункере достигает максимального значения, размыкается контакт SL1, из цепи тока выводится пускатель KM1, который своими блок-контактами KM 1.4 включает реле времени KT1 и через замкнутый контакт KT1 — магнитный пускатель KM4 электропривода вентилятора (переключатели SA1 и SA2 находятся в положениях соответственно С и А). Одновременно контакт KM 1.3 включает пускатель KM3, запитывая привод лебедки на опускание заглушки, пока датчик положения не коснется зерна и контактом SQ2 не отключит пускатель KM3.

Влажность воздуха на входе в слой зерна и на выходе из него контролируют влагомерами с контактными датчиками SM1 и SM2, которые замыкаются при повышенной относительной влажности воздуха соответственно на входе и выходе бункера. Если влажность зерна повышенная, то выносимая воздухом влага замыкает контакты SM1, в результате чего срабатывает реле KV1 и замыкается контакт KV1 в цепи питания пускателя KM4, включающего вентилятор М3. На вынос влаги требуется некоторое время. Поэтому контакт KT1 заданное время блокирует контакт KV1. Через некоторое время, необходимое для продувания слоя зерна, контакт реле времени KT1 размыкается.

Процесс сушки продолжается до тех пор, пока до установленного значения не снизится вынос влаги из зерна. Тогда размыкаются контакты SM1, отключается реле KV1 и лишается питания пускатель KM4 электропривода вентилятора. Одновременно размыкающиеся контакты KM4.2 включают звонок НА, сигнализирующий об окончании процесса сушки. Если при включении вентилятора влажность воздуха на выходе ниже равновесной, то выноса влаги не будет. В этом случае вентилятор отключается контактами реле времени KT1. Электронагревательные элементы калорифера включаются только при работающем вентиляторе М3, когда высока влажность воздуха на входе в зерно. В этом случае замыкаются контакты SM2 влагомера и реле KV2 включает магнитный пускатель KM5 калорифера. Отключается калорифер автоматически в результате размыкания контактов SM2 при снижении влажности окружающего воздуха.

Чтобы задать режим консервации (хранения) зерна, переключатель SA1 ставят в положение К. В этом случае управление ведется по температуре зерна, которая контролируется датчиком температуры SK. Если температура зерна достигнет максимально допустимого значения, контакт SK замкнется и включит магнитный пускатель KM4, включая вентилятор М3. При этом, чтобы снизить (до 65 %) относительную влажность воздуха, его пропускают через электрокалорифер.

~ 220 В

Примечание.
В схеме принято условное обозначение кнопочного поста:

$P_n = \begin{matrix} & SB_n \\ | & \\ \text{---} & KM_m \end{matrix}$

Нория		
Лесенка	Подъем заглазки	Р
	Опускание заглазки	А
Контроль влажности	Выносимого из слоя зерна воздуха	П
	Наружного воздуха	Р
Автоматическое управление процессом вентилирования		
Вентилятор		
Электрокалориер		

Специальные виды электротехнологии

Л57 Электрические аэризаторы, фильтры, аэрозольные установки: устройство, принцип работы, характеристики, назначение. Электронно-ионные технологии в растениеводстве:

сепараторы зерна, предпосевная обработка семян, очистка от пыли. Устройство, принцип работы, характеристики.

Л58 Источники высокого напряжения для установок ЭИТ. Электроплазмолиз растительной ткани. Установки для электрической обработки жидкостей, влажных кормов, почвы, навоза: устройство, принцип работы, схемы управления, источники питания.

Электроимпульсные технологии, их параметры и характеристики. Электроизгороди: устройство, принцип работы, характеристики, управление работой, область применения.

Л59 Электроэрозионные установки для обработки металла: устройство, принцип работы, характеристики, область применения. Свойства и проявление ультразвука. Ультразвуковые технологические установки и их применение в с.х.производстве. Магнитная обработка материалов. Применение магнитного поля для воздействия на семена, растения, животных.

Электромагнитные установки для очистки семян и кормов, обработки воды: устройство, принцип работы, характеристики, схемы управления.