

Разделы второй, третий, четвертый и пятый предназначены для специальности «Электрификация сельского хозяйства», первый, второй, третий (кроме глав 15 и 16), четвертый (кроме глав 20, 22), пятый (кроме главы 27), шестой — для специальности «Механизация и электрификация животноводства».

Книга наряду с прямым назначением может быть использована в качестве учебного пособия при изучении дисциплины «Электропривод и применение электроэнергии» студентами факультетов механизации сельскохозяйственных вузов.

Раздел первый

Глава 1.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

1.1. Особенности, качество электроэнергии и надежность электроснабжения сельского хозяйства

Потребители электрической энергии в сельской местности разбросаны по значительной территории. В связи с этим плотность электрической нагрузки сельских электрических сетей небольшая. Она составляет порядка $5...10 \text{ кВт/км}^2$, а иногда может достигать $15...20 \text{ кВт/км}^2$. Поэтому сельские электрические сети имеют большую протяженность. По своей конфигурации они бывают в основном радиальными. Это не позволяет обеспечить высокую надежность электроснабжения.

С целью уменьшения потерь электроэнергии в сетях электроснабжения сельских потребителей осуществляется повышенным по сравнению с городом напряжением: 10 и 35 кВ. Для питания районных подстанций начинает широко применяться напряжение 110 кВ.

Удаленность сельских потребителей от источника электроэнергии, наличие большого числа ступеней трансформации, отсутствие автоматических устройств регулирования напряжения приводит к понижению качества напряжения у потребителей.

Показателями качества электроэнергии являются отклонение и колебание частоты, отклонение и колебание напряжения, несимметрия трехфазной системы и несинусоидальность формы кривой напряжения.

Нормы качества электроэнергии регламентированы ГОСТ 13109—67.

В нормальных режимах работы электроприемников отклонение частоты не должно превышать $\pm 0,1 \text{ Гц}$. Допускается временная работа при отклонениях частоты в пределах $\pm 0,2 \text{ Гц}$. Колебания частоты в электрических сетях не должны превышать $0,2 \text{ Гц}$ сверх допустимых отклонений частоты. Колебания частоты в широких пределах влияют на работу электродвигателей, осветительных приемников, вызывая пульсацию светового потока.

Важным показателем качества электроэнергии является отклонение напряжения от номинального значения. Для животноводческих комплексов допускается отклонение напряжения в пределах $\pm 5\%$, для остальных сельскохозяйственных потребителей — $\pm 7,5\%$.

Наличие в сельских электрических сетях однофазных нагрузок, которые могут включаться в разные фазы в разное время, вызывает несимметрию напряжений. Несимметрия трехфазной системы напряжений характеризуется значениями отношений напряжений обратной и нулевой последовательности к номинальному. Эти величины соответственно называют коэффициентом несимметрии и коэффициентом неуравновешенности. Согласно ГОСТ 13109—67, значение коэффициента несимметрии не должно превышать 2% . Коэффициент неуравновешенности должен быть таким, чтобы действующее значение напряжения не выходило за допустимые пределы.

Несимметрия трехфазной системы напряжений приводит к дополнительному перегреву двигателей, отрицательно сказывается на работе других приемников электроэнергии.

Наличие приемников электрической энергии с нелинейными вольт-амперными характеристиками (например, сварочных трансформаторов, газоразрядных ламп, тиристорных устройств) приводит к тому, что синусоидальная форма кривой напряжения искажается. Искажение формы кривой напряжения характеризует показатель несинусоидальности формы кривой напряжения, который представляет собой отношение действующего значения напряжения всех высших гармоник к действующему значению напряжения основной частоты. Согласно ГОСТ 13109—67, значение показателя несинусоидальности формы кривой напряжения не должно превышать 5% .

Несинусоидальность формы кривой напряжения вызывает дополнительные потери энергии в электрических сетях и нагрев электрических двигателей.

Надежность электроснабжения — это способность электрической системы в любой момент времени снабжать электроприемники электрической энергией. При нарушении надежности нарушается технология производства продукции, происходит ее недоотпуск и снижается качество.

Степень надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей оценивают по допустимому числу часов отключений за год. Она определяется совершенством схемы электроснабжения.

Все сельскохозяйственные потребители по требованиям к надежности электроснабжения делят на три категории.

К первой категории относятся потребители, нарушение электроснабжения которых наносит значительный материальный ущерб или вызывает опасность для жизни людей.

Потребители первой категории должны получать электроэнергию по двум линиям электропередачи от двух независимых взаиморезервируемых источников питания с устройством автоматического включения резерва на вводах к потребителям. С целью обеспечения бесперебойного электроснабжения необходимо предусматривать также установку дизельной электростанции.

Перерыв в электроснабжении потребителей первой категории допускается лишь на время автоматического восстановления питания.

Ко второй категории относятся потребители электроэнергии, перерыв в электроснабжении которых продолжительностью более $3,5$ ч приводит к нарушению производственного процесса, снижению выхода сельскохозяйственной продукции или ее частичной порче.

Потребители второй категории рекомендуется снабжать электроэнергией от двух независимых источников. Если протяженность линий электропередачи менее 10 км, а расчетная длительность перерывов их электроснабжения не более 15 ч в год при одновременных перерывах не более $3,5$ ч, такие потребители допускается снабжать электроэнергией по одной линии электропередачи.

К третьей категории надежности относятся все остальные потребители, не относящиеся к потребителям первой и второй категорий.

Потребители третьей категории рекомендуется снабжать электроэнергией от одного источника и по одной линии. Длительность одновременного перерыва электроснабжения не должна превышать одних суток.

«Нормы технологического проектирования электрических сетей сельскохозяйственного назначения и дизельных электростанций» предусматривают для обеспечения надежности сельскохозяйственных потребителей следующие мероприятия: секционирование сети при помощи выключателей с АПВ, автоматических отделителей и разъединителей; разукрупнение подстанций с целью уменьшения радиусов воздушных линий; резервирование по сетям 10 , 35 и 110 кВ; применение резервных электростанций; обеспечение раздельного питания производственных и коммунально-бытовых потребителей.

1.2. Схемы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей

Сельскохозяйственные потребители питаются в основном от мощных энергетических систем. Питание осуществляется по линиям электропередач напряжением 35 и 10 кВ. Иногда для этих целей применяется часть энергосистемы,

состоящая из генераторов, распределительных подстанций, линий электропередачи и приемников электроэнергии.

Электрической системой называются линии электропередачи различных напряжений и трансформаторные подстанции, входящие в состав электрической системы.

Сети бывают *распределительные* и *питающие*. Распределительные сети подводят электроэнергию непосредственно к потребителям. Обычно в сельской местности распределительными сетями являются линии напряжением 10 кВ, которые через понизительные трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ подают электроэнергию потребителям на напряжении 380/220 В. Питающие сети передают электроэнергию на распределительные подстанции, к которым подключены распределительные сети.

Схемой сети называется условное изображение всех элементов сети и их соединений, точно соответствующее действительному выполнению этих соединений. Наиболее распространенной схемой электроснабжения сельскохозяйственных потребителей являются разомкнутые, радиальные сети, то есть сети с одним источником питания (рис. 1.1, а).

С целью повышения надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей используют замкнутые сети. Потребители, присоединенные к такой сети, получают электроэнергию минимум с двух сторон (рис. 1.1, б).

При выборе схемы электроснабжения исходят из условий обеспечения нормированной надежности электроснабжения с минимальными капиталовложениями. Наи-

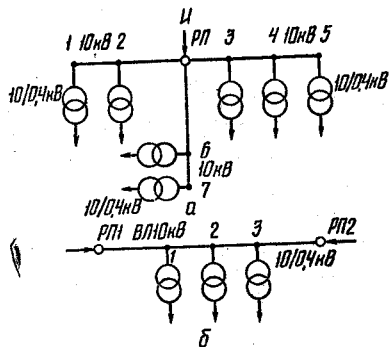


Рис. 1.1 Распределительная сеть:
а — разомкнутая сеть; б — замкнутая сеть; И — источник питания; РП, РП1, РП2 — распределительные пункты; 1, 2, ..., 7 — точки присоединения потребителей к подстанциям.

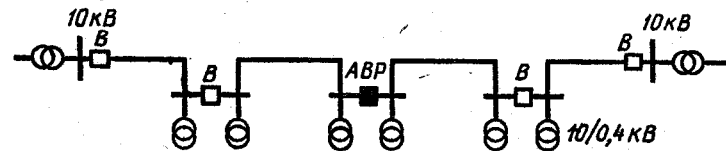


Рис. 1.2 Схема электроснабжения животноводческих комплексов:
В — выключатель; АВР — секционирующее устройство с автоматическим вводом резерва.

более полно отвечает этому условию схема распределительной сети, представляющая собой магистраль с двумя источниками питания с минимальным числом коротких ответвлений (рис. 1.2). Такая схема обеспечивает ряд преимуществ: снижение трудовых затрат на выполнение требований техники безопасности при подготовке схемы к ремонтным работам, высокая эффективность устанавливаемых на подстанции средств определения расстояния до места повреждения на линии, возможность оснащения противоаварийной автоматикой (установка АВР на связи между концами магистралей двух распределительных линий и секционирование этих магистралей автоматическими устройствами).

В этой схеме питание потребителей первой категории осуществляется от закрытой трансформаторной подстанции с двумя трансформаторами. Секционный выключатель устанавливают в распределительном устройстве 10 кВ.

1.3. Воздушные и кабельные линии

Воздушная линия — это сооруженное на открытом воздухе устройство, состоящее из проводов, опор и изоляторов и предназначенное для передачи электрической энергии на расстояние. Расстояние между опорами, на которых закреплены провода, называют *длиной пролета*.

Расстояние по вертикали между горизонтальной прямой, соединяющей точки крепления провода на опорах, и нижней точкой провода в пролете называют *стрелой провеса*.

Расстояние по вертикали от нижней точки провода в пролете до земли называют *габаритом линии*.

В сельских электрических сетях для изготовления проводов используют медь, алюминий, сталь. Медь для воздушных линий применяется редко (на побережьях морей, в химически загрязненных районах и др.). Медные изолированные провода применяют для прокладки внутри помещений. Алюминиевые провода используют как внутри помещений, так и на открытом воздухе.

Широкое распространение получили стале-алюминиевые провода, в которых внутренние проводники выполнены из стали, наружные — из алюминия. Назначение стальных проволок — нести механическую нагрузку, алюминиевые проволоки несут в основном электрическую нагрузку.

Провода воздушных линий выполняют неизолированными. Они бывают однопроволочными и многопроволочными. Однопроволочные провода из меди изготавливают площадью поперечного сечения до 10 мм², из стали — диаметром до 5 мм. Алюминиевые однопроволочные провода для воздушных линий не применяют. Многопроволочные провода выполняют из меди, алюминия и стали. Все проволоки имеют одинаковую площадь сечения.

При маркировке медные провода обозначают буквой М, алюминиевые — А, стале-алюминиевые — АС, стальные — ПС. Последующие цифры для многопроволочных проводов означают площадь поперечного сечения, а для однопроволочных — диаметр провода. Например, А25 означает алюминиевый провод площадью сечения 25 мм², ПС35 — провод стальной площадью сечения 35 мм².

ГОСТ 839—80 Е рекомендует использовать в распределительных сетях 10 и 0,38 кВ провода марок: Ап — провод, скрученный из алюминиевых проволок АТп; АпС — провод, скрученный из стального сердечника и алюминиевых проволок АТп; АН — провод, скрученный из проволок нетермообработанного алюминиевого сплава АВ-Е; АЖ — провод, скрученный из проволок термообработанного алюминиевого сплава АВ-Е.

Для надежной изоляции проводов друг от друга и от земли на опорах устанавливают изоляторы, которые, кроме того, должны выдерживать значительные механические нагрузки. Изготавливают изоляторы из фарфора или специального стекла. По конструктивным особенностям они бывают штыревые и подвесные. Штыревые изоляторы крепят на штырях, укрепляемых на траверсах, или крюках.

В сетях напряжением 380 В применяют штыревые изоляторы типов ТФ и ТФО, в сетях 10 кВ — ШФ10 и ШС10-А. Для линий напряжением 20 и 35 кВ применяют штыревые изоляторы ШФ20-В и ШФ35-Б.

На линиях напряжением 35 кВ и выше используют также подвесные изоляторы типа ПС и ПФ.

Опоры предназначены для поддержания проводов на необходимом расстоянии от земли. Они должны быть устойчивыми к различным внешним воздействиям — гололеду и ветру. Изготавливают их из дерева, железобетона, а в сетях напряжением 35 кВ и выше, кроме того, из стали.

По своему назначению опоры бывают промежуточные, анкерные, угловые, концевые и специальные.

Кабель представляет собой изолированный провод, заключенный в герметическую оболочку. Его можно прокладывать на воздухе, в земле или в воде.

Кабельные линии более надежны в эксплуатации, чем воздушные, имеют более длительный срок службы и представляют меньшую опасность для людей и животных при авариях. Вместе с тем они дороже, в них труднее обнаружить и исправить повреждения.

В зависимости от назначения и напряжения кабеля выполняют с бумажной, резиновой и полиэтиленовой изоляцией.

В зависимости от материала жил кабеля и его конструкции, кабели имеют различную маркировку. Например, СБЗ×70 — кабель с медными жилами, трехжильный, площадью сечения 70 мм², с бумажной изоляцией, в свинцовой оболочке, бронированный, с джутовым асфальтированным покрытием.

Если оболочка кабеля из винилита, то букву С заменяют буквой В, если из полиэтилена, — буквой П, если из алюминия, — буквой А.

Кабельные линии напряжением до 1000 В применяют на животноводческих комплексах и птицефабриках для передачи электроэнергии от подстанций 10/0,4 кВ к производственным помещениям, а также к жилым застройкам.

Наиболее часто применяют кабели с алюминиевыми жилами: АНРГ — с маслостойкой негорючей изоляцией; АВРГ — такой же кабель, но с общей поливинилхлоридной оболочкой; АВВ и АПВ — кабели соответственно с поливинилхлоридной и полиэтиленовой оболочками.

В сельской местности используют наиболее простой и недорогой способ сооружения кабельных линий — прокладку кабелей в земле. Глубина заделки кабеля 0,7 м. При этом кабель укладывают на песчаную подушку, а от механических повреждений сверху защищают кирпичом или бетонными плитами.

1.4. Потребительские трансформаторные подстанции

Устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии одного напряжения в электрическую энергию другого напряжения, называется трансформаторной подстанцией (ТП). Основным элементом каждой подстанции — трансформатор. Кроме него, на подстанции смонтированы необходимые оборудование, приборы контроля и учета.

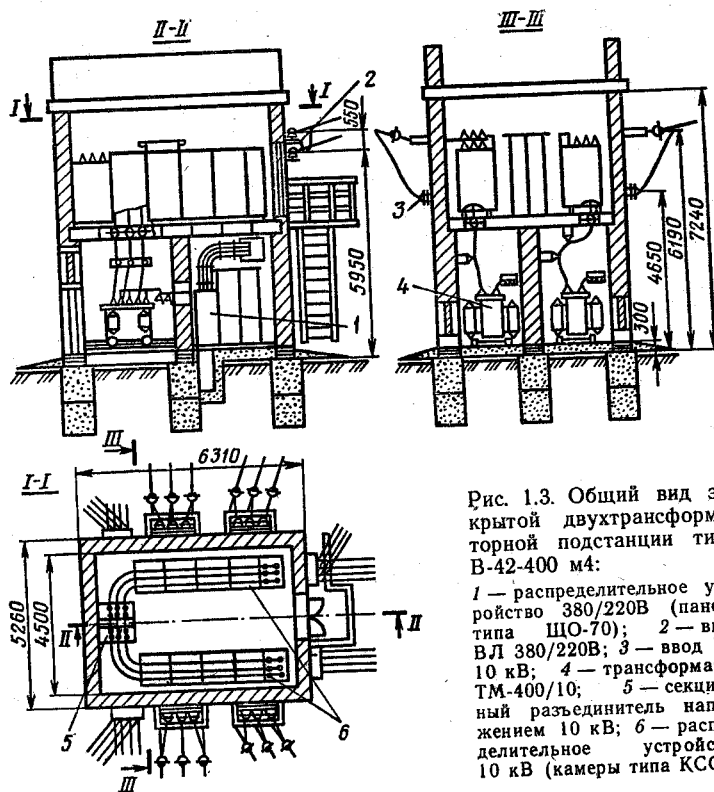


Рис. 1.3. Общий вид закрытой двухтрансформаторной подстанции типа В-42-400 м4:

1 — распределительное устройство 380/220В (панели типа ЩО-70); 2 — ввод ВЛ 380/220В; 3 — ввод ВЛ 10 кВ; 4 — трансформатор ТМ-400/10; 5 — секционный разъединитель напряжением 10 кВ; 6 — распределительное устройство 10 кВ (камеры типа КСО).

Трансформаторные подстанции бывают районные и потребительские. На районных подстанциях электроэнергия трансформируется с напряжения 500...35 кВ на напряжение 110...10 кВ, на потребительских — обычно с 10 кВ на 380 В. Существуют также потребительские трансформаторные подстанции напряжением 35/0,4 и 20/0,4 кВ.

Потребительские ТП бывают тупиковые и проходные.

По конструктивному исполнению потребительские ТП бывают открытые (наружной установки) и закрытые. Конструкция ТП зависит от мощности трансформатора. При небольшой мощности предпочтительно строить мачтовые подстанции. При мощности трансформатора более 100 кВ·А устанавливают комплектную трансформаторную подстанцию типа КТП. Закрытые трансформаторные подстанции (ЗТП) целесообразно применять при значительных мощностях трансформаторов, например, для пита-

ния производственных комплексов, а также в качестве проходных с использованием высоковольтного отсека, чтобы смонтировать секционные аппараты распределительных сетей, для подключения резервной линии и т. п.

Комплектные трансформаторные подстанции типа КТП полностью монтируют на заводе и поставляют на строительную площадку в собранном виде. Основные ее элементы — силовой трансформатор и высоковольтное и низковольтное распределительные устройства.

ЗТП обычно сооружают в отдельно стоящих кирпичных зданиях. Они бывают с кабельными или воздушными вводами. Распределительное 10 кВ размещают на втором этаже. Его выполняют из комплектных камер типа КСО-266 и КСО-366 (рис. 1.3).

1.5. Резервные электростанции

Наряду с изложенными ранее способами повышения надежности электроснабжения потребителей эффективным средством является также использование резервных электростанций. Резервные электростанции необходимы для питания потребителей первой категории, которые по характеру технологического процесса не терпят длительных перерывов в электроснабжении.

Промышленность выпускает передвижные (ПЭС) и стационарные электростанции. Они бывают с бензиновыми или дизельными двигателями.

По способу транспортировки ПЭС бывают прицепные, перевозимые в автомобилях, буксируемые автомобилем или трактором. Они бывают с ручным, автоматическим и комбинированным регулированием напряжения.

Основной элемент ПЭС — агрегат, состоящий из первичного двигателя, электрического генератора и распределительного устройства, в которое входят приборы управления, регулирования, контроля и защиты.

Широкое применение в качестве резервных источников питания на животноводческих предприятиях получили стационарные электростанции.

Промышленность выпускает агрегаты электростанций мощностью от 0,5 до 1000 кВт. При мощности электростанций до 16 кВт первичными двигателями служат бензиновые, карбюраторные. Дизельные агрегаты выпускают мощностью от 5 до 1000 кВт. Стационарные электростанции по мощности бывают такие же, как и передвижные. Большое распространение в сель-

ском хозяйстве получили стационарные дизельные электростанции (ДЭС) как наиболее экономичные. Промышленность выпускает ДЭС мощностью 5, 8, 10, 12, 16, 20, 30, 50, 75, 100, 200, 320, 500, 630 и 1000 кВт.

Различают ДЭС по мощности: малой — до 50 кВт, средней — до 200 и большой — выше 200 кВт. ДЭС бывают неавтоматизированные и автоматизированные; неавтоматизированные предназначены для одиночной работы, автоматизированные в зависимости от степени автоматизации могут обеспечивать непрерывную работу без обслуживающего персонала в течение 4...240 ч.

Передвижные автоматизированные дизельные электроагрегаты и ДЭС бывают следующих типов: АД, ЭСД, ДЭА, ЭСДА, УМПЭ, ДЭС; стационарные автоматизированные — АСДА, ТМЗ-ДЭ, ДГА, ДГМА, АС, КАС.

Главные схемы электрических соединений ДЭС просты и однотипны. Отличия имеются лишь в системах возбуждения генераторов.

Существуют генераторы с машинной системой возбуждения и статической.

На рисунке 1.4 приведена главная схема генератора дизельной электростанции со статической системой возбуждения. Схема генератора состоит из статора 3, обмотки ротора 4 и статической системы возбуждения, основными элементами которой являются обмотка напряжения 2, силовой трансформатор T , селеновый выпрямитель VS .

Ток в обмотке возбуждения регулируют реостатом RR . Сопротивление R предназначено для гашения магнитного поля генератора. К выводам 5 подключают цепь управления блока возбуждения. Включение и отключение генератора осуществляется при помощи автомата $SF3$. Для питания измерительных приборов 1 уста-

новлены трансформаторы тока TA . Для синхронизации предусмотрены лампы HL .

1.6. Молниезащита электроустановок

Кратковременное повышение напряжения в электроустановках называется перенапряжением. По своему происхождению перенапряжения делятся на атмосферные и коммутационные. Коммутационные перенапряжения особой опасности для электроустановок не представляют. Атмосферные перенапряжения возникают вследствие прямого удара молнии в элементы электроустановки либо при разряде грозовых облаков между собой или на землю вблизи элементов электроустановки. Эти перенапряжения чрезвычайно опасны, так как их значение может достигать миллионов вольт, а продолжительность их действия — микросекунды. Только выполнив определенные мероприятия по защите электроустановок от атмосферных перенапряжений, можно добиться надежной и бесперебойной работы потребителей электроэнергии.

От прямых ударов молнии электроустановки защищают при помощи молниеотводов. Молниеотвод представляет собой хорошо заземленный проводник, расположенный выше, чем защищаемые элементы электроустановки.

Молниеотводы бывают стержневые и тросовые. Для защиты объектов, занимающих небольшие пространства (открытые подстанции, сооружения, здания и т. п.) применяют стержневые молниеотводы. Протяженные объекты (линии электропередачи, подходы к подстанциям) целесообразно защищать тросовыми молниеотводами.

Стержневой молниеотвод представляет собой вертикально установленный стержень, трубу или решетчатую ферму, которые надежно присоединены кратчайшим путем к заземляющему устройству.

Для защиты электроустановок от волн, набегающих с линий, используют разрядники. Разрядники бывают трубчатые (РТФ, РТВ) и вентильные (РС, РВП, РВО). Оборудование трансформаторных подстанций со стороны линий 380 В защищают вентильными разрядниками типа РВН-0,5 или польского производства типа ГЗа-0,66/2,5.

Сельские электрические сети напряжением 380 В имеют большую разветвленность и поэтому в большой мере подвергаются как прямым ударам молнии, так и индуктированным перенапряжениям. Вызванные этим повышения напряжения могут вораживать людей, животных, изоляцию оборудования, приводить

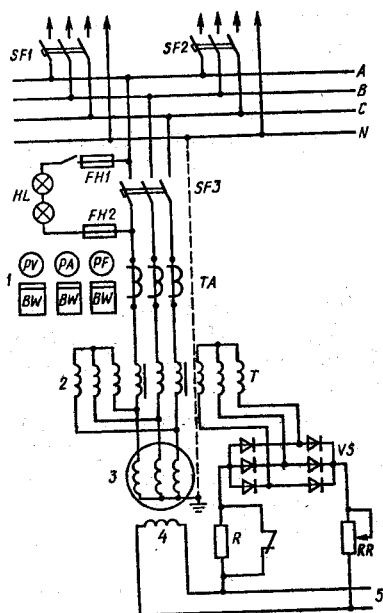


Рис. 1.4. Схема соединений автоматизированной ДЭС типа АДЭС-60.

к пожарам. Для снижения этих перенапряжений устраивают защитные промежутки, которые надежно заземляют. Защитные промежутки выполняют путем наложения бандажа из проволоки на крюки фазных проводов и присоединения к нулевому проводу, который при помощи спуска соединяют с заземляющим устройством. Такие заземления устанавливают через 100 м при числе грозových часов в году 40 и более и через 200 м при числе грозových часов в году менее 40. Значение импульсного сопротивления должно быть не более 30 Ом.

Кроме того, заземляющие устройства должны быть выполнены на опорах с ответвлениями к вводам в помещения, которые представляют большую народнохозяйственную ценность (животноводческие помещения, склады и др.) или где сосредоточено большое число людей (магазины, клубы, конторы). На этих вводах рекомендуется также устанавливать вентильные разрядники типа РВН-0,5 или ГЗа-0,66/2,5.

1.7. Заземление и заземляющие устройства

Заземлением называется электрическое соединение каких-либо частей электроустановки с заземляющим устройством.

Заземляющее устройство — это совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлителем называют металлический проводник или группу проводников, находящихся в непосредственном контакте с землей. Заземлители между собой, а также с заземляющими частями электроустановки соединяются при помощи металлических заземляющих проводников.

Заземления предназначены для обеспечения работы электроустановок как в нормальных, так и в аварийных режимах. Они защищают людей от поражения электрическим током при замыкании токоведущих частей на корпус электрических аппаратов, на металлические конструкции или землю. Заземления отводят также токи, возникающие при атмосферных перенапряжениях.

Различают рабочие и защитные заземления. Рабочие — это заземления нейтральных точек генераторов и трансформаторов. Они предназначены для нормальной работы электроустановки. К защитным относятся заземления корпусов электрических аппаратов, машин, оборудования, которые в нормальном режиме работы электроустановки находятся не под напряжением, но оно может на них попасть случайно. Защитные заземления, предназначенные для обеспечения безопасности людей, снижают напряжение относительно земли, которое может появиться на

металлических частях электрооборудования в результате нарушения целостности изоляции токоведущих частей.

Сельские электрические сети напряжением 380 В выполняют четырехпроводными. Поэтому все металлические части электроустановки, подлежащие заземлению, присоединяют к нулевому проводу, то есть зануляют. При замыкании фазы на зануленный корпус электроустановки происходит короткое замыкание, которое должно быстро отключиться защитой.

Для снижения напряжения на заземленном оборудовании в случае повреждения изоляции и обрыва нулевой провод воздушной линии повторно заземляют. Повторные заземления нулевого провода выполняют на концах линий и ответвлений длиной более 200 м, а также на вводах от воздушных линий к электроустановкам, которые подлежат занулению. Сопротивление каждого единичного повторного заземления не должно превышать 30 Ом. Общее сопротивление всех повторных и защитных заземлений на каждой отходящей от ТП линии должно быть не более 10 Ом. Значение сопротивления заземляющего устройства, к которому подключают нейтраль трансформатора, должно быть не более 4 Ом с учетом всех повторных и защитных заземлений линий.

Заземлители бывают искусственные и естественные.

В качестве искусственных заземлителей используют угловую сталь, трубы, круглые стальные стержни.

Естественные заземлители — это проложенные в земле металлические конструкции, водопроводные трубы, арматура железобетонных конструкций.

В электроустановках напряжением до 1000 В в качестве заземляющих проводников могут быть нулевые провода осветительной сети, различные металлические конструкции производственного назначения, стальные трубы электропроводок, оболочки кабелей, проложенные открыто трубопроводы. Заземляющие проводники должны иметь диаметр не менее 6 мм.

Важной характеристикой заземляющего устройства является его сопротивление. Оно состоит из сопротивлений заземлителя и заземляющих проводников. Сопротивление заземлителя есть сопротивление грунта, который окружает заземлитель, находящийся в нем.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими показателями характеризуется качество электроэнергии и какие требования к нему предъявляются? 2. Что понимают под надежностью электроснабжения? 3. Какие потребители относятся к первой,

второй и третьей категориям надежности? 4. Назовите основные элементы воздушной линии. 5. Как выполняют защиту электроустановок от прямых ударов молнии и волн, набегающих с линии? 6. Каково назначение заземляющих устройств и в каких местах их устанавливают?

Лабораторная работа № 1. ОЗНАКОМЛЕНИЕ СО СХЕМОЙ СОЕДИНЕНИЙ И УСТРОЙСТВОМ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ ПОДСТАНЦИИ

Цель работы. Ознакомиться со схемой соединений и устройством комплектной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ.

Программа работы. 1. Изучить схему электрических соединений КТП 10/0,4 кВ сельскохозяйственного назначения.

2. Ознакомиться с конструктивным выполнением КТП 10/0,4 кВ и ее комплектацией.

3. Ознакомиться с конструкцией шкафа высшего и низшего напряжения, автоматов, измерительных приборов, трансформаторов тока, фотореле и др.

4. Подготовить и включить в сеть КТП 10/0,4 кВ.

5. Составить отчет.

Содержание отчета. В отчете изложить цель и программу работы. Вычертить схему главных электрических соединений. Привести перечень основного электрооборудования и его номинальные данные.

Глава 2. ВНУТРЕННИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

2.1. Силовые и осветительные электрические сети

Электрическая энергия от распределительной трансформаторной подстанции по кабелю или воздушной линии подается к зданиям, животноводческим помещениям, где она используется. Вводы в здания выполняют через стены или крыши.

Электрические сети от ввода в здание до потребителя называются внутренними. Они включают в себя силовые и осветительные проводки, распределительные устройства, крепления проводов и кабелей.

Распределение электроэнергии внутри производственных помещений осуществляется при помощи силовых шкафов, пунктов или распределительных устройств. В зависимости от конструкции устройства могут быть с аппаратами включения и без них, с предохранителями или автоматами.

Размещать распределительные пункты необходимо так, чтобы их было удобно обслуживать, они не мешали при работе и протяженность отходящих от них линий была минимальной, а трасса их была удобной и доступной.

Для внутренних проводок используют электрические провода

и кабели с алюминиевыми жилами. В животноводческих и птицеводческих помещениях, обладающих химически активной средой, применяют изолированные провода и кабели с пластмассовой изоляцией и в пластмассовой оболочке. В бытовых и подсобных помещениях можно использовать провода и с резиновой изоляцией.

Внутренние электропроводки могут быть проложены открыто на поверхности стен и потолков, по фермам, опорам и другим строительным элементам зданий и сооружений, а также скрыто внутри конструктивных элементов зданий и сооружений (в стенах, полах, перекрытиях, фундаментах).

Скрытая проводка по сравнению с открытой более безопасна и долговечна. Она защищена от механических повреждений, не загромождает стен и потолков и не портит их внешний вид. Вместе с тем она более дорогая и трудоемкая при ремонте.

Внутренние электропроводки на сельскохозяйственных производственных объектах могут быть выполнены на тросе, на лотках и в коробах, в пластмассовых и стальных трубах, металлических и резино-тканевых рукавах, в каналах строительных конструкций, проводом и кабелем по строительным основаниям и конструкциям.

Для осветительных сетей животноводческих помещений используют главным образом тросовые проводки. К несущему тросу диаметром 5...8 мм при помощи изолирующих прокладок крепят электрический провод. Может быть использована электропроводка с самонесущим проводом марки АВТС.

Электропроводка в стальных трубах должна быть технически и экономически обоснована. Учитывая это требование, стальные трубы используют только в том случае, когда другие виды проводок не допускаются из-за возможности их повреждений, недостаточной высоты помещений или необходимости выполнения проводки в пожаро- и взрывоопасных помещениях. Электропроводки в трубах, в земле, вне зданий не выполняют.

2.2. Нагрузки сельских электрических сетей

Для проектирования сельских электрических сетей необходимо знать электрические нагрузки электроприемников. По электрическим нагрузкам определяют площади поперечного сечения проводов внутренних электропроводок и воздушных и кабельных линий, выбирают число и мощность трансформаторов, рассчитывают отклонения и колебания напряжения.

При определении электрических нагрузок необходимо учиты-

вать, что не все потребители работают одновременно, так как технологические процессы их не совпадают. Ряд механизмов работает с переменной нагрузкой и электродвигатели, выбранные по наиболее тяжелым режимам, бывают недогруженными.

Разработаны рекомендации по определению расчетных электрических нагрузок на вводах в здания и сооружения животноводческих комплексов и других сельскохозяйственных объектов.

Расчетной нагрузкой считается наибольшее значение полной мощности за промежуток 30 мин, которое может возникнуть на вводе к потребителю или в питающей сети в расчетном году.

Расчетную нагрузку на вводе в здание можно определить одним из следующих способов.

Если известен суточный технологический график работы электрооборудования, находящегося в здании, строят график электрических нагрузок, из которого определяют полчасовой максимум нагрузки.

Порядок построения графика нагрузки следующий.

Сначала составляют сменный технологический график работы предприятия, в котором указывают все технологические операции, перечень используемых машин, мощность электродвигателей и других электроприемников, значения потребляемых мощностей.

Потребляемую мощность электродвигателей определяют по формуле

$$P_n = P_n k_s / \eta, \quad (2.1)$$

где P_n — номинальная мощность электродвигателя; η — коэффициент полезного действия электродвигателя; k_s — коэффициент загрузки электродвигателя (РУМ № 11, 1981 г.).

На основании данных сменного технологического графика строят график электрических нагрузок. По оси ординат откладывают значения потребляемых мощностей P_n , по оси абсцисс — длительность работы электроприемников.

Получасовой максимум нагрузки определяют на участке графика, где в течение получаса потребляемая мощность будет наибольшей. То есть, если максимум нагрузки длится $t \geq 0,5$ ч, расчетная нагрузка равна максимальной ($P_{расч} = P_{max}$).

Если максимум нагрузки длится менее получаса ($t < 0,5$ ч), то определяют расчетную эквивалентную мощность по формуле

$$P_{расч} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (2.2)$$

где P_1, P_2, \dots, P_n — мощности ступеней графика нагрузок, входящих в полчасовой интервал; t_1, t_2, \dots, t_n — продолжительность действия соответствующих мощностей ($t_1 + t_2 + \dots + t_n = 0,5$ ч).

Полная расчетная нагрузка с учетом коэффициента мощности

$$S_{расч} = P_{расч} / \cos \varphi, \quad (2.3)$$

где $\cos \varphi$ — коэффициент мощности потребителей.

При отсутствии технологического графика работы оборудования расчетную нагрузку можно определить по формуле

$$P_{расч} = \sum_1^n \frac{P_y k_s}{\eta} + \sum_1^m \frac{P_y k_s t}{0,5 \eta}, \quad (2.4)$$

где P_y — установленная (паспортная) мощность каждого из электроприемников, участвующих в формировании максимальной нагрузки и работающих во время ожидаемого максимума нагрузки при $t > 0,5$ ч, кВт; η — коэффициент полезного действия электроприемника; k_s — коэффициент загрузки; P_y — установленная мощность каждого из m приемников, участвующих в формировании максимальной нагрузки и работающих во время максимума менее 0,5 ч, кВт; t — длительность непрерывной работы каждого из электроприемников с мощностью P_y ($t < 0,5$ ч).

Если есть данные замеров, выполненных на полностью введенных в строй точно таких же объектах, расчетную нагрузку принимают по данным замеров, а не по расчетам.

Если расчетные нагрузки отдельных зданий отличаются одна от другой не более чем в 4 раза, эти нагрузки суммируют с учетом коэффициента одновременности отдельно для дневного и отдельно для вечернего максимума. Если нагрузки потребителей отличаются более чем в 4 раза, суммирование выполняют по специальным таблицам.

2.3. Расчет внутренних электрических сетей и выбор коммутационной и защитной аппаратуры

Площадь сечения токопроводящих жил проводов и кабелей внутренних электропроводок определяют по допустимому нагреву током нагрузки и допустимой потере напряжения в сети.

При протекании по проводникам электрического тока они нагреваются. Поэтому площадь их сечения должна быть выбрана такой, чтобы при длительном протекании рабочего тока температура провода не превышала предельно допустимой. В со-

ответствии с ПУЭ для проводов и кабелей с резиновой, полихлорвиниловой и пластмассовой изоляцией предельно допустимая температура принимается $+65^{\circ}\text{C}$, для кабелей с бумажной изоляцией напряжением до 3 кВ — $+80^{\circ}\text{C}$.

При коротких замыканиях и перегрузке температура провода может быть выше допустимой. Чтобы изоляция проводов не сгорела, а также с целью защиты электроприемников предусматриваются защитно-отключающие аппараты (предохранители, автоматические выключатели и др.). Площадь сечения проводников должна быть согласована с защитой этих отключающих аппаратов. В связи с этим расчет проводов и кабелей по допустимому нагреву начинают с выбора защиты.

Плавкие предохранители предназначены для защиты электрических установок от перегрузки и токов короткого замыкания. Предохранитель состоит из плавкой вставки (металлической проволоочки или пластинки), помещенной внутри патрона, выполненного из фарфора, фибры или стекла.

При определенной силе тока плавкая вставка перегорает и таким образом отключает защищаемый участок. Для производственных сельскохозяйственных помещений применяют предохранители типов ПР, ПН, НПН, НПР, ПРС.

Предохранители выбирают по номинальному направлению, предельно отключающему току, номинальному току плавкой вставки и селективности защиты. Номинальное напряжение предохранителей $U_{н.пр}$ должно быть больше номинального напряжения установки $U_{н.уст.}$, которую они защищают, или равняться ему:

$$U_{н.пр} \geq U_{н.уст} \quad (2.5)$$

Предельно отключающий ток предохранителя $I_{пр.откл}$ должен быть больше трехфазного тока короткого замыкания $I_k^{(3)}$ в месте его установки или равняться ему:

$$I_{пр.откл} \geq I_k^{(3)} \quad (2.6)$$

Номинальный ток плавкой вставки одиночных ответвлений или приемников электроэнергии с осветительной и электротепловой нагрузкой определяют по формуле

$$I_n \geq k_n I_{р.мах} \quad (2.7)$$

где $I_{р.мах}$ — рабочий максимальный ток; k_n — коэффициент надежности, для ламп накаливания и тепловой нагрузки, принимаемый равным 1, для ламп типа ДРЛ — 1,1, для люминесцентных ламп — 1,2.

Для одиночных электродвигателей

$$I_n \geq I_{мах}/\alpha = I_n/\alpha = (5...7) I_n/\alpha, \quad (2.8)$$

где $I_{мах}$ — максимальный ток защищаемой проводки, обусловленный пусковым током (I_n) электродвигателя; I_n — номинальный ток электродвигателя; α — коэффициент, зависящий от пускового режима электродвигателя ($\alpha=2,5$ при длительности пуска 2...5 с и $\alpha=1,6...2$ при длительности пуска до 40 с).

Если предохранитель защищает группу, состоящую из n электродвигателей, то

$$I_n \geq I_{мах}/\alpha = (k_o \sum_{i=1}^{n-1} I_n + I_{н.мах})/\alpha, \quad (2.9)$$

где k_o — коэффициент одновременности; $\sum_{i=1}^{n-1} I_n$ — сумма номинальных токов электродвигателей без учета двигателя, имеющего наибольший пусковой ток; $I_{н.мах}$ — наибольший пусковой ток двигателя в данной группе.

Коэффициенты одновременности k_o для соизмеримых нагрузок, мощности которых не отличаются более чем в 4 раза в сети напряжением 380 В, приведены ниже:

Число соизмеримых нагрузок	k_o	Число соизмеримых нагрузок	k_o
2	0,85	8...10	0,65
3	0,80	11...15	0,60
4...5	0,75	16...20	0,55
6...7	0,70	21...30	0,50

Полученное из формул наибольшее значение тока плавкой вставки округляют до ближайшего большего значения номинального тока плавкой вставки предохранителей, приведенного в справочной литературе.

Для обеспечения селективности защиты необходимо, чтобы номинальный ток плавкой вставки каждого последующего предохранителя от конца схемы к источнику был на одну или две ступени больше номинального тока плавкой вставки предыдущего предохранителя.

Выбрав предохранители и токи их плавких вставок, определяют допустимые токи по нагреву $I_{доп}$ для выбора площади сечения проводов.

Если внутренние сети нужно защитить от коротких замыканий и перегрузок, то

$$I_{доп} \geq 1,25 I_n \quad (2.10)$$

При этом необходимо помнить, что в соответствии с ПУЭ от коротких замыканий и перегрузок нужно защищать: осветительные сети в жилых, общественных, торговых, служебно-бытовых, промышленных и пожароопасных помещениях, сети с проводами с горючей изоляцией (ПР, АПР), незащищенными и проложенными открыто в помещениях всех типов, и любые сети во взрывоопасных помещениях. Во всех остальных случаях требуется защита только от коротких замыканий.

При защите только от коротких замыканий

$$I_{\text{доп}} \geq 0,33 I_{\text{р}} \quad (2.11)$$

однако всегда

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р}} \quad (2.12)$$

Внутренние электрические сети могут быть защищены от коротких замыканий и перегрузок автоматическими выключателями (автоматами). Для этих целей нужно применять автоматы новейших серий АП50Б, АК50, АК63, АЕ2000, АЗ700.

Порядок расчета внутренних сетей, защищенных автоматами, такой же, как и предохранителями. Автоматы выбирают по следующим условиям:

1) по номинальному напряжению; номинальное напряжение автомата должно быть больше номинального напряжения установки или равняться ему:

$$U_{\text{н.авт}} \geq U_{\text{н.уст}} \quad (2.13)$$

2) по номинальному току автомата:

$$I_{\text{н.авт}} \geq I_{\text{р.мах}} \quad (2.14)$$

3). по предельно отключающему току автомата:

$$I_{\text{пр.откл}} \geq I_{\text{к}}^{(3)} \quad (2.15)$$

4) по номинальному току теплового расцепителя:

$$I_{\text{н.т.расц}} \geq k_3 I_{\text{р.мах}} \quad (2.16)$$

где k_3 — коэффициент запаса, равный 1,25;

5) по току срабатывания электромагнитного расцепителя:

$$I_{\text{н.э.расц}} \geq 1,25 I_{\text{мах}} \quad (2.17)$$

Выбрав автоматы, определяют допустимый ток $I_{\text{доп}}$.

Если автомат защищает группу электродвигателей, то нужно пользоваться выражениями (2.14)...(2.16).

При этом

$$I_{\text{р.мах}} = k_0 \sum_{i=1}^n I_{\text{р.мах}i} \quad (2.18)$$

$$I_{\text{мах}} = k_0 \sum_{i=1}^{n-1} I_{\text{н}i} + I_{\text{н.мах}} \quad (2.19)$$

Если проводка открытая, без защитной оболочки или помещение взрывоопасное, то необходима защита от коротких замыканий и перегрузок. Тогда для автоматических выключателей, имеющих только электромагнитные расцепители,

$$I_{\text{доп}} \geq 1,25 I_{\text{н.э.расц}}$$

с тепловыми расцепителями $I_{\text{доп}} \geq I_{\text{н.т.расц}}$.

Если проводка с защитной оболочкой и помещение нормального типа, то необходима защита только от коротких замыканий. В этом случае для автоматов с тепловыми расцепителями

$$I_{\text{доп}} \geq 0,66 I_{\text{н.т.расц}} \quad (2.20)$$

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.мах}} \quad (2.21)$$

а для автоматов с электромагнитными расцепителями

$$I_{\text{доп}} \geq 0,22 I_{\text{н.э.расц}} \quad (2.22)$$

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.мах}} \quad (2.23)$$

По значениям допустимого тока $I_{\text{доп}}$, полученным при выборе предохранителей или автоматов из таблиц в ПУЭ, определяют для принятой марки провода или кабеля ближайшее значение допустимого табличного тока $I_{\text{доп.т}}$ и соответствующую площадь поперечного сечения проводника.

Значения $I_{\text{доп.т}}$, приведенные в ПУЭ, соответствуют температуре окружающей среды $t_0 = 25^\circ\text{C}$ (для воздуха) и $t_0 = 15^\circ\text{C}$ при прокладке кабелей в земле и воде. В реальных условиях температура окружающей среды может отличаться от табличных и поэтому выбранный проводник проверяют по рабочему току нагрузки по условию

$$k_1 I_{\text{доп.т}} \geq I_{\text{р.мах}} \quad (2.24)$$

где k_1 — поправочный температурный коэффициент, учитывающий несоответствие действительных условий с условиями, принятыми при составлении таблиц; приводится в ПУЭ.

Если условие (2.24) не выполняется, то принимают ближайшее большее значение проводника, при котором это условие будет выполнено.

Выбранный провод по допустимому нагреву должен быть проведен по допустимой потере напряжения. При этом должно быть соблюдено условие

$$\Delta U_{\text{расч}} \leq \Delta U_{\text{доп}} \quad (2.25)$$

где $\Delta U_{\text{расч}}$ — расчетная потеря напряжения; $\Delta U_{\text{доп}}$ — допустимая потеря напряжения.

Расчетные потери напряжения определяют по формуле

$$\Delta U_{\text{расч}} \% = Pl / (cF), \quad (2.26)$$

где P — мощность на участке, кВт; l — длина участка электропроводки, м; F — площадь сечения токопроводящих жил, полученных из расчета по нагреву, мм²; c — коэффициент, зависящий от материала жилы, рода тока, значения напряжения и системы распределения электроэнергии.

Для переменного тока значение коэффициента c приведено в таблице 2.1

2.1. Коэффициент c

Система распределения энергии	Значение напряжения, В	Значение коэффициента c для жил	
		медных	алюминиевых
Три фазы с нулевым проводом	380/220	77	46
Две фазы с нулевым проводом	380/220	34	20
Одна фаза с нулевым проводом	220	12,8	7,7

Допустимые потери напряжения от сетей 380 В трансформаторной подстанции до потребителя должны составлять не более 10 %, в том числе не более 2,5 % во внутренних сетях. Точное значение $\Delta U_{\text{доп}}$ определяют по таблицам отклонений напряжения при выборе оптимальных надбавок трансформаторов.

Если площадь сечения проводов выбирают по допустимой потере напряжения, как это делают для осветительных проводов, то пользуются этой же формулой:

$$F = Pl / (c \Delta U_{\text{доп}} \%). \quad (2.27)$$

По условиям механической прочности для алюминиевых проводов внутренних электропроводок приняты следующие минимальные площади сечения: неизолированные изолированные провода, проложенные стационарно на изоляторах — 4 мм², во

в всех остальных случаях — 2,5 мм². Минимальная площадь сечения жил медных проводов, проложенных стационарно внутри помещения на роликах, — 1 мм², на изоляторах — 1,5 мм².

2.4. Составление расчетной схемы

Расчетная схема представляет собой однолинейное изображение всех включенных последовательно элементов внутренней электрической сети.

Расчетную схему составляют для электросиловой и осветительной сети всех помещений производственных предприятий. Она нужна для проведения электромонтажных работ и составления ее в период подготовки проекта.

Перед составлением расчетной схемы выбирают распределительные пункты, силовые и осветительные щитки, определяют их число, место расположения и тип. В зависимости от мощности токоприемников и условий окружающей среды определяют марку провода или кабеля, способ прокладки, площадь сечения и число жил, длину проводника. Выбирают виды защиты от токов короткого замыкания и перегрузок (предохранители и автоматы). Для каждого потребителя рассчитывают токи плавких вставок предохранителей или номинальные токи расцепителей автоматов.

Когда все расчетные данные получены, приступают к составлению расчетной схемы. Вначале на схеме показывают распределительные пункты (РП), силовые (ШС) и осветительные (ШО) щитки, обозначают механизмы с указанием типа и мощности токоприемника. Затем силовой щиток соединяют с потребителями электроэнергии и в этой цепи указывают все необходимые данные проводов, кабелей и пуско-защитной аппаратуры.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что включают в себя внутренние электрические сети? 2. Какие есть способы прокладки внутренних электропроводок? 3. Что называется расчетной нагрузкой? 4. Каков порядок расчета внутренних сетей по нагреву, защищенных предохранителями? 5. Каков порядок расчета внутренних сетей по нагреву, защищенных автоматами? 6. Как проверяют выбранные провода по допустимой потере напряжения?

Практическое занятие № 1. РАСЧЕТ НАГРУЗОК СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА

Составить сменный технологический график работы электрооборудования для конкретного предприятия, цеха. На основании технологического графика построить график электрических нагрузок (см. п. 2.2).

3.1. Определение понятия «электропривод». Классификация электроприводов

В сельском хозяйстве электропривод — основное средство приведения в движение практически всех стационарных и части мобильных машин.

Электроприводом называется электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением. Электропривод преобразует электрическую энергию в механическую и обеспечивает электрическое управление преобразованной энергией.

В регулируемых электроприводах, параметры которого изменяются под воздействием управляющего устройства, преобразовательное устройство, преобразует переменный ток в постоянный или в переменный же, но другой частоты.

В зависимости от способа передачи механической энергии от электродвигателя к исполнительным органам рабочих машин электропривод подразделяется на групповой, индивидуальный, взаимосвязанный, многодвигательный и систему электрического вала.

Групповым называется электропривод, обеспечивающий движение исполнительных органов нескольких рабочих машин или нескольких исполнительных органов одной машины. Передаточные устройства в таком приводе сложны и громоздки, а сам электропривод, как правило, неэкономичен.

Индивидуальным называется электропривод, обеспечивающий движение одного исполнительного органа рабочей машины. По сравнению с групповым, индивидуальный привод позволяет существенно упростить передаточное устройство, более полно использовать достоинства электродвигателя.

Взаимосвязанный электропривод представляет собой два или несколько электрически или механически связанных электроприводов, при работе которых поддерживается заданное соотношение их скоростей и нагрузок.

Многодвигательным называется взаимосвязанный электропривод, электродвигатели которого совместно работают на общий вал.

Электрическим валом называется взаимосвязанный электропривод, обеспечивающий синхронное вращение двух и более электродвигателей, валы которых не имеют механической связи.

По характеру движения электроприводы бывают непрерывного и прерывного (дискретного) действия, вращательные и линейные, реверсивные и неререверсивные.

По характеру управления различают электроприводы нерегулируемые, регулируемые, многоскоростные, программно-управляемые и автоматизированные.

3.2. Механические характеристики производственных механизмов и электрических двигателей

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

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

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

Угловая скорость выражается в радианах в секунду (рад/с) и в последующем именуется просто скоростью. Скорость вращательного движения на практике часто оценивается частотой вращения, то есть числом оборотов вала двигателя в минуту (мин^{-1}). 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 проведе-

нии расчетов, частотой вращения — при практической оценке скоростных свойств двигателя.

Механические характеристики большинства исполнительных органов можно приблизительно выразить общей формулой

$$M_c = M_0 + (M_{с.н} - M_0) (\omega/\omega_n)^x, \quad (3.1)$$

где M_c — момент механизма при скорости ω ; M_0 — начальный момент механизма; $M_{с.н}$ — момент сопротивления механизма при номинальной скорости ω_n ; $\omega/\omega_n = v$ — относительная угловая скорость, где ω и ω_n фактическая и номинальная угловые скорости; x — показатель степени, характеризующий изменение момента сопротивления за счет изменения скорости.

Различают четыре основные категории механических характеристик (рис. 3.1, а).

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 тран-

спортеры, молотилки, дробилки кормов, измельчители кормов, термоочистительные 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 аэродинамики.

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.

Формулы механических характеристик вентиляторов, насосов и других простых механизмов получают теоретически, пользуясь равенством $M_c = P_n/\omega$.

Формулы для определения мощности P_n различных приводов механизмов приводятся в соответствующей литературе. Там же приводятся сведения о моменте сопротивления в начале движения. Момент трогания для многих механизмов значительно больше, чем при движении из-за наличия сухого трения.

Для сложных машин, характеристики которых получают экспериментально, в выражении (3.1) показатель степени может быть и не целым числом.

На рисунке 3.1, б приведены механические характеристики нескольких рабочих машин. Из рисунка видно, что в самом начале движения момент сопротивления существенно отличается от начального момента M_0 , который фигурирует в обобщенной формуле. Это обстоятельство следует учитывать при расчете пускового режима.

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

Формулы механических характеристик электродвигателей выводят аналитически. Для асинхронного электродвигателя можно получить только зависимость электромагнитного момента от угловой скорости вала электродвигателя или скольжения, так как эта зависимость более точно отвечает физическому смыслу явлений, протекающих в электродвигателе.

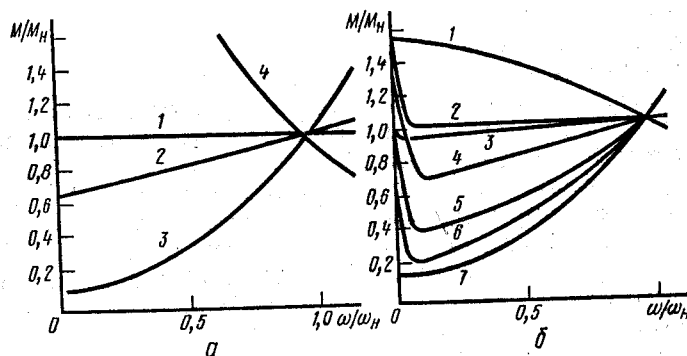


Рис. 3.1. Механические характеристики групп механизмов, построенные на основании расчета (а), и характеристики некоторых сельскохозяйственных машин, построенные по экспериментальным данным (б): 1 — зерновой нории; 2 — скребкового транспортера; 3 — ротационного вакуумного насоса; 4 — глиномылки; 5 — льномылки; 6 — молотковой дробилки; 7 — вентилятора и центробежного насоса.

Наряду с механической характеристикой используют зависимость тока от скорости $I(\omega)$, называемую *электрохимической 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.

Механические характеристики электродвигателей выражают в виде формул или графиков в абсолютных или в относительных единицах.

Применение относительных единиц упрощает формулы, позволяет строить обобщенные графики характеристик для однотипных двигателей разной мощности.

Понятие жесткости может быть применено и к механическим характеристикам производственных механизмов, для них жесткость $\beta_c = dM_c/d\omega$.

При помощи коэффициентов жесткости можно определять 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 коэффициентов жесткости это условие записывается так:

$$dM/d\omega - dM_c/d\omega < 0$$

3.3. Механические и электрохимические характеристики двигателей постоянного тока

Работа электрических двигателей постоянного тока основана на принципе взаимодействия токов, протекающих по проводникам якоря, с неподвижным магнитным потоком, создаваемым обмоткой возбуждения полюсов.

Электромагнитный момент таких двигателей

$$M = c_m \Phi I, \quad (3.2)$$

где c_m — конструктивный коэффициент; Φ — магнитный поток; I — сила тока якоря.

По закону Ома

$$I = (U - E)/R, \quad (3.3)$$

где U — напряжение на зажимах якоря; E — индуцируемая при вращении якоря электродвижущая сила (ЭДС); R — сопротивление цепи якоря.

В соответствии с законом электромагнитной индукции

$$E = c_e \Phi \omega, \quad (3.4)$$

где c_e — конструктивный коэффициент; ω — угловая скорость якоря.

Решая совместно уравнения (3.4) и (3.3), получим формулы электрохимической характеристики двигателя с независимым (параллельным) возбуждением (рис. 3.2, а), у которого магнитный поток постоянен:

$$I = (U - c_e \Phi \omega)/R, \quad (3.5)$$

$$\omega = (U - IR)/c_e \Phi. \quad (3.6)$$

ЭДС является регулятором тока. Возрастая с увеличением скорости, она может стать равной напряжению источника. Тогда ток в якоре прекратится и наступит режим идеального холостого хода. Угловая скорость при этом

$$\omega_0 = U/c_e \Phi. \quad (3.7)$$

Подставив в выражение (3.2) значение тока из равенства (3.5), получим формулы механической характеристики

$$M = c_m \Phi \frac{U - c_e \Phi \omega}{R}, \quad (3.8)$$

$$\omega = \frac{c_m \Phi U - IR}{c_m \Phi c_e \Phi}. \quad (3.9)$$

Значения $c_m \Phi$ и $c_e \Phi$ определяют из равенства (3.2) и (3.7) при номинальных условиях работы электродвигателя, при этом $c_m \Phi = M_n/I_n$, $c_e \Phi = U_n/\omega_0$, $\omega_0 = \omega_n U_n/(U_n - I_n R_n)$.

Сопротивление якоря электродвигателя можно взять из справочника или определить по приближенной зависимости $R_n = 0,5 (1 - \eta_n)/I_n$.

Якорь двигателя постоянного тока имеет малое сопротивление, поэтому двигатель надо включать через пусковой реостат. Максимальное сопротивление реостата должно быть равным $R_n = U_n/I_n - R_n$, где I_n — допускаемый пусковой ток.

На рисунке 3.2, б приведены графики механических характеристик при разных значениях дополнительного сопротивления в цепи якоря, на рисунке 3.2, в — при разных напряжениях на зажимах якоря электродвигателя, а также при уменьшенном магнитном потоке.

На рисунке показана также механическая характеристика исполнительного механизма M_c .

Анализируя формулы и графики механических характеристик, можно отметить основные свойства двигателей независимого возбуждения.

При помощи резисторов, включаемых в цепь якоря, можно получать требуемый пусковой ток и пусковой момент, регулировать (уменьшать) скорость якоря при наличии нагрузки на валу.

Снижая напряжение на якоре при помощи регулятора, также можно получать требуемый пусковой момент, регулировать скорость вниз от основной, то есть уменьшать ее. При этом в отличие от предыдущего случая жесткость характеристик не уменьшается, следовательно, стабильность скорости выше. Кроме того, потери при регулировании во втором случае значительно меньше, чем в первом, когда они равны $I^2 R$ или M_c ($\omega_0 - \omega_2$).

При помощи резистора R_n , включенного в цепь обмотки возбуждения, можно уменьшать магнитный поток Φ и увеличивать скорость, то есть регулировать скорость вверх от основной. Такое регулирование достигается простыми средствами, так как мощность обмотки возбуждения не превышает 5 % номинальной.

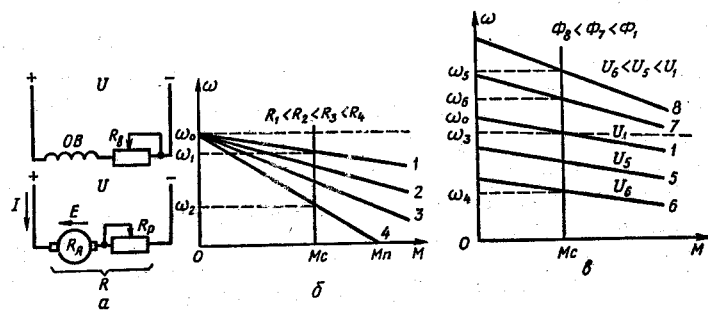


Рис. 3.2. Схема включения (а) и механические характеристики (б и в) электродвигателя с независимым возбуждением:

1 — естественная; 2, 3, 4 — искусственные при включении резистора в цепь якоря; 5 и 6 — искусственные при уменьшении напряжения; 7 и 8 — искусственные при уменьшении магнитного потока; M_c — момент сопротивления исполнительного механизма.

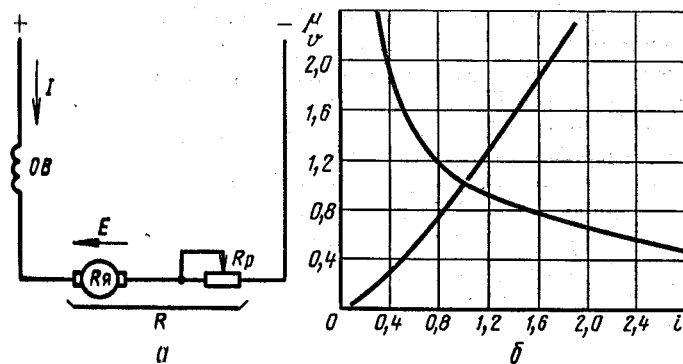


Рис. 3.3. Схема включения электродвигателя с последовательным возбуждением (а), зависимость момента и скорости от тока (б).

Благодаря перечисленным свойствам двигателя постоянного тока с независимым возбуждением находят применение там, где есть необходимость в плавном регулировании скорости в широком диапазоне, например, в металлорежущих станках, испытательных установках, загрузочных устройствах агрегатов витаминной муки и т. п.

В электродвигателях с последовательным возбуждением (рис. 3.3, а) в отличие от двигателей с параллельным возбуждением магнитный поток зависит от тока якоря. Из-за насыщения магнитной системы поток не пропорционален току якоря и получить аналитически простые формулы электромеханической и механических характеристик не удается. Эти характеристики приведены в справочной литературе в виде графиков, на которых в относительных единицах изображены зависимости скорости и момента от тока (рис. 3.3, б). За базовые величины приняты номинальные значения тока, момента, частоты вращения.

Зная из каталожных данных номинальные величины P_n , n_n , I_n , можно построить характеристики в абсолютных единицах.

При малых нагрузках характеристику можно назвать весьма мягкой: с увеличением нагрузки жесткость ее увеличивается. Эти двигатели используют в электрокарах, электровозах, электротрансмиссиях тракторов и автомобилей большой мощности. В таких установках при увеличении нагрузки скорость должна быть снижена, а при уменьшении нагрузки допускается увеличение скорости.

Двигатели с последовательным возбуждением обеспечивают постоянство мощности на валу, имеют большой пусковой мо-

мент, позволяют регулировать скорость путем изменения напряжения и включения резисторов.

Электродвигатель с последовательным возбуждением при отсутствии нагрузки на валу может развить недопустимо большую скорость.

Электродвигатели со смешанным возбуждением имеют две обмотки возбуждения: параллельную и последовательную.

Механические характеристики таких электродвигателей занимают промежуточное положение между характеристиками двигателей с последовательным и параллельным возбуждением. Они приводятся в справочной литературе в виде графиков, на которых в относительных единицах изображены зависимости скорости и момента от тока.

3.4. Механические характеристики электродвигателей переменного тока

Трехфазные асинхронные электродвигатели переменного тока благодаря простоте в обслуживании, надежности и низкой стоимости наиболее распространены в промышленности и в сельском хозяйстве. Их изготавливают с короткозамкнутыми и фазными роторами (рис. 3.4, а)

В отличие от двигателей постоянного тока магнитный поток в трехфазном двигателе вращается. Угловая скорость магнитного потока ω_0 определяется частотой питающей сети f_1 и числом пар полюсов p :

$$\omega_0 = 2\pi f_1 / p. \quad (3.10)$$

Вращающееся магнитное поле, пересекая проводники обмотки ротора, создает в них ЭДС, и, если они замкнуты, в проводниках появляется ток. Взаимодействие этого тока с магнитным потоком обеспечивает вращающий момент.

Появление в обмотке ротора ЭДС и вращающего момента возможно только при наличии разности между скоростями магнитного поля и ротора. Это различие называют *скольжением*. Его обычно выражают в относительных единицах:

$$s = (\omega_0 - \omega) / \omega_0 = 1 - v, \quad (3.11)$$

где s — скольжение; ω — угловая скорость ротора; $v = \omega / \omega_0$ — скорость или частота вращения двигателя в относительных единицах.

Для вывода уравнения механической характеристики применяют схему замещения. На рисунке 3.4, а приведена упрощенная схема замещения одной фазы двигателя, в которой приняты следующие обозначения: U — напряжение питающей сети; I_1 —

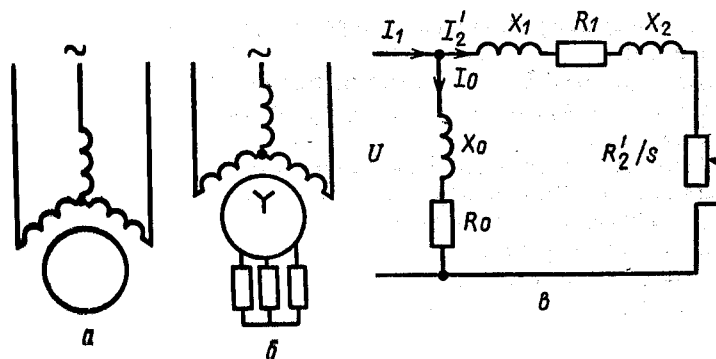


Рис. 3.4. Схемы включения в сеть электродвигателей с короткозамкнутым (а) и с фазным (б) ротором, упрощенная схема замещения одной фазы (в).

ток статора; I_2' — приведенный ток ротора; R_1, X_1 — активное и реактивное сопротивления цепи статора; R_2', X_2' — приведенные активное и реактивное сопротивления цепи ротора; R_0 и X_0 — активное и реактивное сопротивления намагничивающей цепи; s — скольжение.

Из схемы замещения по закону Ома приведенный ток ротора

$$I_2' = U_s / \sqrt{(R_1 s + R_2')^2 + X_k^2 s^2}. \quad (3.12)$$

Вращающий момент определяют, используя равенство

$$M \omega_0 s = 3 I_2'^2 R_2' s. \quad (3.13)$$

Откуда

$$M = \frac{3 U^2 R_2' s}{\omega_0 [(R_1 s + R_2')^2 + X_k^2 s^2]}. \quad (3.14)$$

где $X_k = X_1 + X_2'$ — индуктивное сопротивление двигателя при неподвижном роторе.

Значения X_k, R_1 и R_2' приводятся в справочниках по электрическим двигателям. Для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором приближенно их можно вычислить по следующим формулам:

$$X_k = 0,9 Z_k; R_2' = R_1 = 0,225 Z_k; Z_k = U_n / \sqrt{3} I_{\text{пуск}}$$

где Z_k — полное сопротивление неподвижного двигателя; U_n — номинальное линейное напряжение; $I_{\text{пуск}}$ — пусковой ток.

Из уравнения (3.14) видно, что момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату напряжения, зависит от скольжения, активного и индуктивного сопротивлений статорной и роторной цепей.

Двигатель с короткозамкнутым ротором при пуске включают непосредственно в сеть. В момент включения $s=1$ и двигатель развивает начальный пусковой момент

$$M_n = \frac{3U^2 R'_2}{\omega_0 [(R_1 + R'_2)^2 + X_k^2]} \quad (3.15)$$

В процессе разгона момент электродвигателя возрастает до максимального значения, которое называют критическим и обозначают M_k .

Скольжение и скорость, при которых наблюдается наибольший момент, называют критическими и обозначают s_k , ω_k , v_k . Значение критического скольжения можно найти, приравняв к нулю производную dM/ds . Решение этого уравнения дает

$$s_k = \pm R'_2 / \sqrt{R_1^2 + X_k^2} \quad (3.16)$$

Из равенства следует, что критическое скольжение прямо пропорционально активному сопротивлению ротора.

Подставив значение s_k в (3.14) вместо s , получим следующее уравнение для максимального момента:

$$M_k = \frac{3U^2}{2\omega_0 (R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_k^2})} \quad (3.17)$$

Знак «+» в приведенных равенствах относится к двигательному режиму, знак «-» — к генераторному.

Разделив равенство (3.14) на (3.17) и выполнив преобразования с учетом уравнения (3.16), получим формулу следующего вида:

$$M = \frac{2M_k (1 + s_k R_1 / R'_2)}{s/s_k + s_k/s + 2s_k R_1 / R'_2} \quad (3.18)$$

Пренебрегая активным сопротивлением обмотки статора, получим упрощенное уравнение

$$M = \frac{2M_k}{s/s_k + s_k/s}, \quad (3.19)$$

удобное для практических расчетов.

Если в это уравнение вместо текущих значений M и s подставить номинальные и обозначить M_k/M_n через μ_k , получим

$$s_k = s_n (\mu_k + \sqrt{\mu_k^2 - 1}) \approx 2\mu_k s_n \quad (3.20)$$

Поскольку скорость и скольжение однозначно связаны между собой, $v=1-s$, то равенства (3.14) и (3.19) являются формулами механических характеристик. Выражения (3.18), (3.19) и (3.20) дают возможность выполнять расчеты и строить графики механических характеристик (рис. 3.5, а, кривая 1) по паспортным данным двигателя: P_n , n_n , μ_k .

Кроме этих величин, в справочниках приводятся значения начального μ_n и минимального μ_{min} пускового момента в относительных единицах. Минимальный пусковой момент наблюдается при скорости ротора 0,15...0,2.

Пользуясь этими данными, можно построить график естественной механической характеристики (рис. 3.5, б).

Графические изображения механических характеристик, построенные на основании расчетов по формулам и по каталожным данным, показывают, что в зоне малых скоростей теоретические уравнения дают большую ошибку.

Искусственные механические характеристики электродвигателя с короткозамкнутым ротором получают уменьшением напряжения на зажимах двигателя (рис. 3.5, а, кривые 2 и 3). При этом пропорционально квадрату напряжения снижаются пуско-

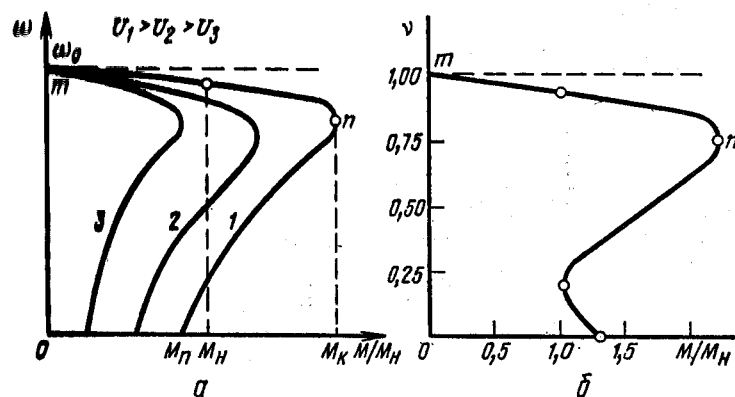


Рис. 3.5. Механические характеристики асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, построенные на основании расчета по формулам (а) и по каталожным данным (б).

вой и максимальный моменты. Критическое скольжение практически не меняется.

Часть механической характеристики, находящаяся между точками холостого хода m и критической n , называется *рабочей* и является зоной *устойчивой работы электродвигателя*. При скоростях ниже критической двигатель работает только во время разгона или остановки, а устойчивое вращение в этой зоне, как правило, невозможно. Коэффициент жесткости на этой части характеристики положителен.

Изменять пусковой момент от нуля до максимального и уменьшать пусковой ток у двигателей с фазным ротором можно, включая резисторы в цепь ротора.

Электродвигатель с фазным ротором. С увеличением активного сопротивления роторной цепи возрастает критическое скольжение, а значение критического момента не изменяется (рис. 3.6, кривые 2 и 3).

Искусственные механические характеристики электродвигателя с фазным ротором на участке от холостого хода до номинальной нагрузки аналогичны характеристикам двигателя с независимым возбуждением.

В приближенных вычислениях механическую характеристику асинхронного электродвигателя на участке от холостого хода до номинальной или даже до критической нагрузки можно спрямить.

Если прямую проводить через точку номинального момента и скольжения, то ее уравнение получит вид

$$M = M_n s / s_k \quad (3.21)$$

Если характеристику линеаризировать, проводя прямую через критическую точку, то

$$M = M_c s / s_k \quad (3.22)$$

Для двигателя с фазным ротором критическое сколь-

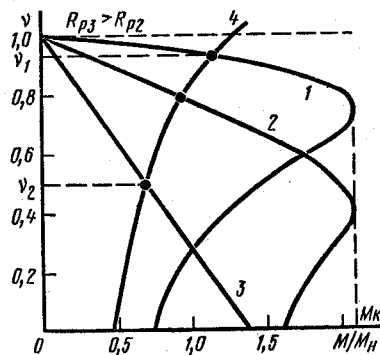


Рис. 3.6. Механические характеристики электродвигателя с фазным ротором при разных сопротивлениях резисторов, включенных в цепь ротора:

1 — естественная; 2 и 3 — искусственные; 4 — механическая характеристика производственного механизма.

жение при наличии резисторов в цепи ротора

$$s_k = s_{ke} \frac{R_{2n} + R_p}{R_{2n}}, \quad (3.23)$$

где s_{ke} — критическое скольжение при отсутствии резисторов; R_{2n} — сопротивление обмотки ротора; R_p — сопротивление резистора.

С учетом этого равенства формула (3.22) преобразуется и виду

$$M = \frac{M_k}{s_{ke}} \cdot \frac{R_{2n}}{R_{2n} + R_p} s. \quad (3.24)$$

Из равенств (3.21) и (3.22) видно, что $M_n / s_k = M_n / s_{kp}$, поэтому момент электродвигателя можно вычислять также по равенству

$$M = \frac{M_n}{s_n} \cdot \frac{R_{2n}}{R_{2n} + R_p} s. \quad (3.25)$$

Из уравнения (3.25) можно получить выражение

$$s = \frac{s_n}{M_n} \cdot \frac{R_{2n} + R_p}{R_{2n}} M, \quad (3.26)$$

из которого видно, что скольжение асинхронного двигателя с фазным ротором прямо пропорционально моменту и полному активному сопротивлению ротора.

Регулирование частоты вращения. Введение сопротивления в цепь ротора приводит к увеличению потерь мощности и снижению скорости за счет увеличения скольжения, поскольку $\omega = \omega_0(1 - s)$; $v = 1 - s$. Например, при наличии нагрузки M_c (рис. 3.6, кривая 4) скорость уменьшается от v_1 до v_2 .

Этим способом обычно регулируют скорость только при вентиляторном характере нагрузки, так как потери в роторной цепи пропорциональны моменту и скольжению, а именно $\Delta P = M \omega_0 s$. При вентиляторном характере нагрузки, когда момент сопротивления значительно снижается по мере уменьшения скорости, потери не так велики, как при постоянном статическом моменте. Резисторы включают в каждую фазу ротора через шетки и кольца двигателя.

Формулу для определения сопротивления регулировочного резистора можно получить из равенства (3.26):

$$R_p = R_{2n} \left(\frac{M_n}{M_c} \cdot \frac{s_c}{s_n} - 1 \right), \quad (3.27)$$

где s_c — скольжение, которое надо получить при заданном моменте сопротивления M_c .

Сопротивление обмотки ротора определяют по выражению

$$R_{2н} = \frac{U_{2н} S_n}{\sqrt{3} I_{2н}}, \quad (3.28)$$

где $U_{2н}$, $I_{2н}$ — номинальное напряжение и ток роторной цепи.

Частоту вращения можно регулировать изменением напряжения на зажимах статора в том случае, если применять специальные с большим активным сопротивлением ротора короткозамкнутые электродвигатели или двигатели с контактными кольцами, в цепь ротора которых включено дополнительное сопротивление. В обоих случаях добиваются того, чтобы критическое скольжение было большим. Тогда, если на валу есть нагрузка, можно добиться заметного снижения скорости (рис. 3.7, а).

Если механические характеристики линейные, то при пониженном напряжении скольжение

$$s = s_{кв} M / M_{кв} \quad (3.29)$$

где $M_{кв}$ — критический момент электродвигателя при пониженном напряжении.

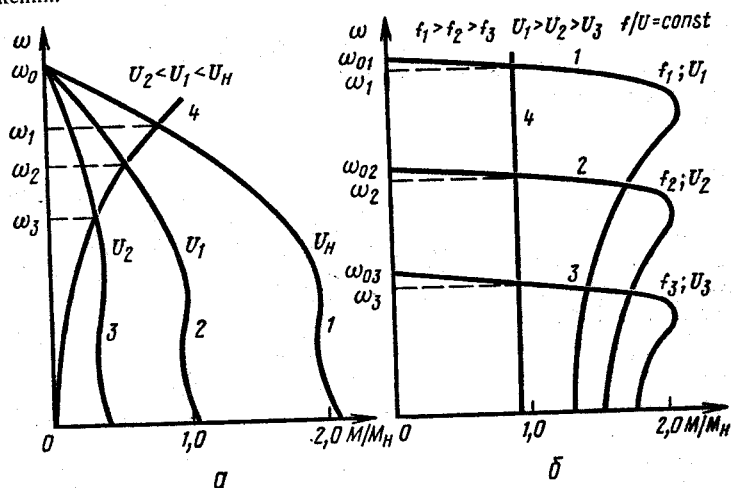


Рис. 3.7. Механические характеристики асинхронного двигателя повышенного скольжения типа D100L6П при изменении напряжения (а) и характеристики обычного электродвигателя при одновременном регулировании частоты и напряжения (б):

1 — естественная; 2 и 3 — искусственные; 4 — механическая характеристика рабочей машины.

Так как момент асинхронного электродвигателя пропорционален квадрату напряжения, то

$$M_{кв} = M_{кв} u^2, \quad (3.30)$$

где $M_{кв}$ — критический момент при номинальном напряжении; u — напряжение, выраженное в относительных единицах.

Из уравнений (3.29), (3.30) можно определить напряжение, которое надо подать на зажимы электродвигателя, чтобы получить при известном моменте нагрузки M заданное скольжение:

$$u = \sqrt{\frac{M s_{кв}}{M_{кв} s}}. \quad (3.31)$$

Но потерим энергии этот способ регулирования аналогичен предыдущему, так как уменьшение скорости достигается за счет увеличения скольжения.

Регулировать частоту вращения короткозамкнутых асинхронных электродвигателей данным способом можно только при вентиляторном характере нагрузки. Так как все потери выделяются в виде теплоты внутри двигателя, то при постоянном моменте сопротивления двигатель быстро перегревается.

В качестве регуляторов напряжения применяют трехфазные автотрансформаторы с плавным или ступенчатым регулированием, тиристорные регуляторы.

Поскольку $\omega = 2\pi f / p$, то изменением числа пар полюсов можно ступенчато регулировать частоту вращения двигателя. Изготавливают асинхронные короткозамкнутые двигатели двух-, трех- и четырехскоростными. У двухскоростных двигателей обмотка каждой фазы состоит обычно из двух одинаковых частей, в одной из которых направление тока изменяется путем переключения этих частей с последовательного на параллельное соединение. Такое переключение приводит к уменьшению числа полюсов вдвое и, следовательно, к увеличению вдвое синхронной скорости машины. Рассматриваемый способ регулирования весьма экономичен, механические характеристики обладают большой жесткостью, но регулирование скорости ступенчатое.

Благодаря этому двигатели с переключением полюсов перспективны для сельскохозяйственного производства. Их применяют для привода приточных вентиляторов в животноводческих помещениях.

Угловую скорость магнитного поля, а следовательно, и скорость ротора можно регулировать путем изменения частоты питающего тока.

Для получения регулируемой частоты тока применяют спе-

циальные генераторы или преобразователи переменной частоты, питающие один или группу асинхронных двигателей, находящихся в одинаковых условиях работы. Чтобы обеспечить одну и ту же перегрузочную способность при регулировании частоты вращения, необходимо стремиться к тому, чтобы во всем диапазоне двигателя работал с постоянным магнитным потоком. Для этого при уменьшении частоты тока надо пропорционально снижать напряжение, чтобы не увеличивался намагничивающий ток. На рисунке 3.7, б показаны примерные механические характеристики асинхронного двигателя при регулировании частоты вращения изменением напряжения и частоты тока, когда намагничивающий ток не меняется.

Для получения переменной частоты и напряжения применяют электромашинные и тиристорные преобразователи. Последние наиболее перспективны. К достоинствам такого регулирования скорости следует отнести большой диапазон и плавность. Отсутствие дополнительных потерь в электродвигателях позволяет применять обычные двигатели без завышения их мощности.

Однофазные асинхронные электродвигатели имеют короткозамкнутый ротор и две обмотки в статоре, смещенные одна относительно другой на 90° . Одна обмотка рабочая. При работе электродвигателя эта обмотка постоянно получает питание от сети однофазного переменного тока.

Вторая обмотка пусковая и подключается на период пуска для создания пускового момента. Она выполнена проводом меньшей площади сечения, и ее активное сопротивление больше, чем у рабочей обмотки.

Когда ротор двигателя развивает достаточную частоту вращения, пусковая обмотка отключается. Это происходит автоматически под действием токового реле или специального пускателя.

Лучшие пусковые свойства имеет электродвигатель, в цепь пусковой обмотки которого включен конденсатор. В этом случае ток в пусковой обмотке сдвигается по фазе на угол, близкий к 90° , чем обеспечивается достаточный пусковой момент.

В рабочей части механические характеристики однофазного асинхронного электродвигателя идентичны характеристикам трехфазного асинхронного электродвигателя. КПД однофазных электродвигателей меньше, чем трехфазных, поэтому однофазные двигатели изготавливают с номинальной мощностью не более 0,6 кВт.

На такую же мощность изготавливают коллекторные двигатели однофазного тока, которые могут работать как от сети переменного тока, так и от источника постоянного напряжения, поэтому

их называют универсальными. По существу, это двигатели с последовательным возбуждением, отличающиеся тем, что магнитопровод их делается шихтованным и они приспособлены к работе с пульсирующим магнитным потоком.

В случае питания от источника переменного напряжения в 50 Гц ток и магнитный поток одновременно меняют направление, и поэтому момент получается пульсирующим с частотой 100 Гц. Эти электродвигатели обладают характеристиками двигателей с последовательным возбуждением. Их применяют как и асинхронные однофазные электродвигатели в электроинструментах, бытовых механизмах и других машинах небольшой мощности.

Синхронные трехфазные электродвигатели отличаются от асинхронных тем, что ротор их представляет собой электромагнит, через обмотки которого пропускается постоянный ток. Такой электродвигатель обладает свойством поддерживать строго постоянную частоту вращения, равную частоте вращения магнитного поля, создаваемого трехфазной обмоткой статора. Кроме того, синхронный электродвигатель имеет высокий коэффициент мощности. Регулируя ток возбуждения, можно поддерживать коэффициент мощности равным единице. В синхронном электродвигателе отсутствуют потери, связанные со скольжением, поэтому КПД их также больше, чем в асинхронных.

Механическая характеристика $\omega(M)$ синхронного электродвигателя в диапазоне от холостого хода до предельной нагрузки, при которой он выпадает из синхронизма, представляет собой горизонтальную прямую линию, параллельную оси моментов. Эта характеристика является абсолютно жесткой.

Синхронный электродвигатель пускают в ход, как и асинхронный. Для того чтобы обеспечить такой пуск, в роторе, кроме обмотки возбуждения, предусмотрена дополнительная обмотка в виде «беличьей клетки».

При достижении угловой скорости, составляющей (0,95...0,98) ω_0 , электродвигатель втягивается в синхронизм. В момент пуска обмотка возбуждения замыкается на резистор или возбудитель.

Для определения области устойчивой работы и перегрузочной способности синхронного электродвигателя служит угловая характеристика, отражающая зависимость развиваемого электродвигателя момента M от угла сдвига фаз θ между напряжением сети и ЭДС двигателя. Угол θ практически равен углу между осями магнитного поля, создаваемого обмотками статора и электромагнитов ротора.

Эта зависимость имеет вид

$$M = M_k \sin \theta.$$

При синхронном вращении с увеличением угла θ в диапазоне от 0 до 90° момент растёт и достигает максимального значения M_k при $\theta = 90^\circ$. Дальнейшее увеличение угла θ сопровождается падением момента и выпадением двигателя из синхронизма.

Номинальный момент электродвигателя, равный (0,4...0,5) M_k , соответствует углу $\theta = 20...25^\circ$.

Синхронные двигатели из-за сложности конструкции и эксплуатации применяют только для привода крупных насосов оросительных установок, мощных компрессоров на ремонтных заводах и в других случаях, когда мощность рабочей машины превышает 100 кВт.

3.5. Тормозные режимы электродвигателей

Электродвигатели в электроприводе могут быстро остановить производственный механизм или удержать определённую скорость при положительном моменте рабочей машины. В этом случае двигатель обращается в генератор и работает в одном из тормозных режимов: противовключения, динамическом, рекуперативном (рис. 3.8) в зависимости от способа возбуждения.

Торможение электропривода посредством переключения обмоток фаз электродвигателя для получения вращения поля в противоположном направлении применяют, когда необходимо быстро остановить машинное устройство. При этом по инерции ротор вращается навстречу магнитному потоку, скольжение становится больше единицы, а момент — отрицательным.

В двигателе постоянного тока для осуществления торможения противовключением меняют подключение концов обмоток якоря. При этом ток в якоре и момент меняют направление. В обоих случаях действующее напряжение становится большим, поэтому для ограничения тока и момента переключение осуществляется с одновременным включением резисторов в цепь якоря или ротора.

Энергия торможения и поступающая из сети рассеивается в обмотках якоря и в резисторах.

Динамическое торможение характеризуется тем, что электрическая машина работает генератором (динамо) с рассеиванием энергии торможения в тормозных резисторах и обмотках электродвигателя.

Для динамического торможения якорь двигателя постоянного тока отключают от источника питания и включают на сопротивление, а обмотка возбуждения остаётся под напряжением. В асинхронных двигателях динамическое торможение достигается подачей постоянного тока в обмотку статора двигателя. Постоянный ток создаёт неподвижное магнитное поле. При вращении ротора в его обмотках наводится ЭДС и появляется ток. Взаимодействие тока ротора с неподвижным магнитным полем создаёт тормозной момент. Значение тормозного момента зависит от тока возбуждения, частоты вращения и сопротивления цепи ротора (якоря).

В режиме рекуперативного торможения ротор (якорь) подключенного к сети электродвигателя вращается со скоростью, большей ω_0 . В этом случае ток изменяет направление, электрическая машина становится генератором, работающим параллельно с сетью, энергия торможения за вычетом потерь отдаётся в электрическую сеть.

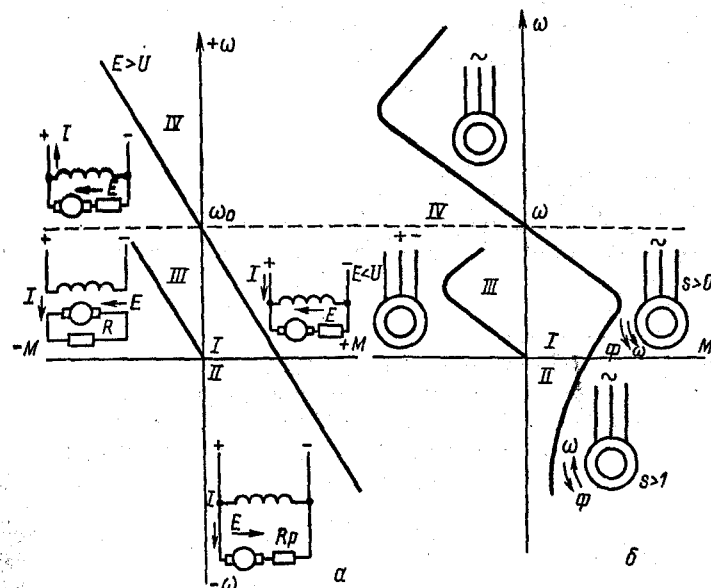


Рис. 3.8. Включение и механические характеристики электродвигателей с независимым возбуждением (а) и асинхронного (б) в режимах: I — двигательном; II — противовключения; III — динамического торможения; IV — генераторном с отдачей энергии в сеть.

Рекуперативное торможение используется в подъемных кранах, для удержания скорости при опускании грузов, для испытания и обкатки под нагрузкой автомобильных и тракторных двигателей, редукторов, коробок перемены передач под нагрузкой, а также во время перехода с большей скорости на меньшую в многоскоростных электродвигателях.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких основных частей состоит электропривод? 2. Какую зависимость выражает механическая характеристика производственной машины или электродвигателя? 3. В чем состоит основное различие между механическими характеристиками двигателей с параллельным и последовательным возбуждением? 4. От каких величин зависит угловая скорость и частота вращения магнитного поля в асинхронном электродвигателе? 5. Как зависит вращающий момент асинхронного электродвигателя от напряжения? 6. Какое торможение называют рекуперативным, динамическим, противовключением?

Глава 4. ПЕРЕХОДНЫЕ РЕЖИМЫ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

4.1. Общие положения

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, как говорят, возмущающим воздействием, вызывающим переходный процесс в электроприводе, является резкое изменение питающего напряжения, механической нагрузки на валу, сопротивления в цепях 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.

Изучение переходных режимов необходимо для правильного выбора электродвигателей, аппаратов управления и защиты, изыскания путей уменьшения расхода энергии при пуске и торможении. При расчете переходных режимов определяют время пуска, строят зависимости $\omega = f_1(t)$, $M = f_2(t)$.

4.2. Уравнение движения электропривода. Методы расчета продолжительности пуска и торможения

Уравнение движения электропривода. Классической механикой установлено, что момент сил M_n , 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

$$M_n = J d\omega/dt, \quad (4.1)$$

которое называют уравнением движения.

Произведение $J d\omega/dt$, 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:

$$M - M_c = J d\omega/dt, \quad (4.2)$$

где J — приведенный момент инерции, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Если $M > M_c$, то скорость возрастает, электродвигатель, кроме статического, преодолевает динамический момент

$$M = M_c + J d\omega/dt.$$

Когда во вращающейся системе M_c становится больше M , скорость уменьшается. При этом инерция поддерживает движение, а электродвигатель развивает момент $M = M_c - J d\omega/dt$.

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

$$\pm M \mp M_c = J d\omega/dt. \quad (4.3)$$

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

$$M_c \omega_1 \eta = P_m \quad (4.4)$$

где M_c — момент на валу электродвигателя; ω_1 — угловая скорость электродвигателя; η — общий КПД передаточного устройства; P_m — мощность, необходимая для исполнительного органа машины, Вт.

Отсюда $M_c = P_m / \omega_1 \eta$.

Если известны момент сопротивления механизма $M_{c.m}$ и угловая скорость приводного вала машины ω_2 , то $P_m = M_{c.m} \omega_2$ и

$$M_c = M_{c.m} \omega_2 / \omega_1 \eta = M_{c.m} / i \eta, \quad (4.5)$$

где $i = \omega_1 / \omega_2 = n_1 / n_2$ — передаточное число между валами двигателя и рабочей машины.

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

$$J \omega_1^2 / 2 = J_1 \omega_1^2 / 2 + J_2 \omega_2^2 / 2 + m v^2 / 2, \quad (4.6)$$

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 все члены выражения (4.6) на $\omega_1^2 / 2$, определим приведенный момент инерции

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

или

$$J = J_1 + J_2 / i^2 + m v^2 / \omega_1^2. \quad (4.7)$$

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

Момент инерции ротора электродвигателя всегда приводится в справочной литературе. Моменты инерции рабочих машин и передаточных устройств в справочниках не приводятся и их приходится определять расчетом.

Момент инерции передачи обычно принимают равным 0,1...0,2 момента инерции ротора.

Моменты инерции рабочих органов производственных механизмов можно вычислить, пользуясь известными формулами для определения моментов инерции простых по форме тел. Например, сплошной цилиндр или диск массой m имеет момент инерции $J_d = m r^2 / 2$, полый цилиндр с внешним радиусом r_1 и внутренним r_2 — $J_k = m (r_1^2 + r_2^2) / 2$, кольцо с радиусом r — $J_k = m r^2$. Суммарный момент инерции большинства рабочих машин величина постоянная.

Расчет продолжительности переходных процессов. Из основного уравнения движения электропривода (4.3) получают расчетные формулы.

Чтобы определить время переходного режима, разделим переменные

$$dt = \frac{J}{M - M_c} d\omega. \quad (4.8)$$

Проинтегрировав обе части равенства (4.8), получим:

$$t = \int_{\omega_{\text{нач}}}^{\omega_{\text{кон}}} \frac{J}{M - M_c} d\omega, \quad (4.9)$$

где $\omega_{\text{нач}}$ $\omega_{\text{кон}}$ — начальное и конечное значения угловой скорости.

Момент электродвигателя M и приведенный статический момент M_c зависят от ω , но в приближенных расчетах момент двигателя и статический момент (M , M_c) считают постоянными величинами, равными их средним значениям, тогда

$$t = \frac{J (\omega_{\text{нач}} - \omega_{\text{кон}})}{M - M_c}. \quad (4.10)$$

При разгоне с неподвижного состояния, когда $\omega_{\text{нач}} = 0$, $\omega_{\text{кон}} = \omega_n$, продолжительность пуска

$$t_n = \frac{J \omega_n}{M_n - M_c}, \quad (4.11)$$

где M_n — средний момент электродвигателя во время разгона.

Если осуществляется полная остановка от номинальной скорости, то продолжительность торможения

$$t_r = J \omega_n / M_c \quad (4.12)$$

При искусственном торможении

$$t_r = \frac{J \omega_n}{M_c + M_r}, \quad (4.13)$$

где M_r — 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 (рис. 4.1) и рабочей машины 2, строят кривую изменения избыточного момента 3. Кривую избыточного момента заменяют ломаной ступенчатой линией 4. В пределах каждой ступени избыточный момент принимают постоянным, равным среднему значению его на этом участке.

Для каждого участка продолжительность разгона

$$\Delta t_i = J \Delta \omega / M_{\text{из}}$$

где $M_{\text{из}}$ — 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, формулы для расчетов можно получить из следующей системы уравнений:

$$M - M_c = J d\omega / dt; \quad (4.14)$$

$$M = M_k s / s_k; \quad (4.15)$$

$$M_c = M_{ks} / s_k; \quad (4.16)$$

$$d\omega / dt = -\omega ds / dt. \quad (4.17)$$

Подставляя в уравнение (4.14) значения из формул (4.15), (4.16) и (4.17) и разделив на M_k / s_k все члены последнего уравнения, будем иметь дифференциальное уравнение

$$s - s_c = -T_m ds / dt, \quad (4.18)$$

где $T_m = J \omega_0 s_k / M_k$ — электромеханическая постоянная времени переходных процессов.

Разделив переменные, получим равенство

$$dt = -T_m \frac{ds}{s - s_c}.$$

Проинтегрировав обе части последнего равенства в пределах изменения скольжения от $s_{\text{нач}}$ до $s_{\text{кон}}$, получим формулу для определения времени переходного процесса:

$$t = T_m \ln \frac{s_{\text{нач}} - s_c}{s_{\text{кон}} - s_c}.$$

Поскольку моменты прямо пропорциональны скольжению, то можно записать также

$$t = T_m \ln \frac{M_{\text{нач}} - M_c}{M_{\text{кон}} - M_c}. \quad (4.19)$$

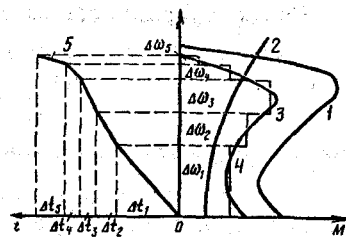


Рис. 4.1. Построение графика изменения скорости при пуске.

Переходный процесс считают закончившимся, если конечное скольжение или момент отличается от установившегося значения на 2...5 %.

Расчеты по формуле (4.19) показывают, что переходный процесс при таком условии заканчивается за время равное (3...4) T_m .

4.3. Переходные процессы при резкопеременной нагрузке

Нагрузка некоторых машин, например дробилок, прессов, молотилок, представляет собой чередующиеся периоды кратковременного резкого повышения и снижения нагрузки. Эти машины конструируют таким образом, чтобы большие, в течение долей секунды действующие сопротивления преодолевались в основном за счет инерции. При этом нагрузочная диаграмма двигателя существенно отличается от нагрузочной диаграммы рабочей машины (рис. 4.2). При большой нагрузке момент двигателя меньше, а при малой — больше статического, среднее значение момента двигателя равно среднему значению статического момента. Выравнивание момента двигателя тем больше, чем больше приведенный момент инерции машинного устройства, поэтому при наличии резкопеременной, иначе ее называют ударной, нагрузки привод снабжают маховиком или делают массивными движущие рабочие органы.

Необходимый приведенный момент инерции можно определить, вычислив предварительно необходимую электромеханическую постоянную времени переходных процессов из выражения (4.19):

$$T_m = \frac{t_1}{\ln \frac{M_{нач} - M_{cl}}{M_{кон} - M_{cl}}}, \quad (4.20)$$

где t_1 — продолжительность действия большой нагрузки M_{cl} .

С другой стороны,

$$T_m = J \omega_{\phi} s_n / M_k \quad (4.21)$$

Из уравнений (4.20), (4.21) определяют необходимый момент инерции

$$J_1 = \frac{M_k t_1}{\omega_{\phi} s_n \ln \frac{M_{нач} - M_{cl}}{M_{кон} - M_{cl}}}. \quad (4.22)$$

Если собственный приведенный момент инерции машинного устройства J оказывается меньше вычисленного, то устанавливают маховик с моментом инерции J_m , принимая $J_m = J_1 - J$.

В приводах машин с резкопеременной нагрузкой применяют двигатели, у которых большое s_k , так как это позволяет уменьшить J_m .

Поскольку $M_{cl} > M_{кон} > M_{нач}$, $M_k/s_k \approx M_n/s_n$, то уравнение для определения необходимого приведенного момента инерции можно записать и в таком виде:

$$J_1 = \frac{M_k f_1}{\omega_{\phi} s_n \ln \frac{M_{cl} - M_{нач}}{M_{cl} - M_{кон}}}. \quad (4.23)$$

Значения $M_{нач}$ и M_{cl} берут из графика нагрузки (рис. 4.2). Значение момента электродвигателя к концу действия большой нагрузки принимают равным $0,75 M_k$. При этом двигатель будет работать на рабочей части характеристики. Устойчивая работа электропривода обеспечивается за счет механической инерции системы. Такую устойчивость называют динамической.

Уравнение для вычисления момента двигателя в переходном режиме при ударной нагрузке можно получить из выражения (4.19), определяя из него $M_{кон}$.

Алгебраическими преобразованиями и потенцированием логарифмической функции получают выражение

$$M = M_{cl}(1 - e^{-t/T_m}) + M_{нач}e^{-t/T_m}. \quad (4.24)$$

Пользуясь уравнением, строят графики $M = f(t)$.

Момент электродвигателя изменяется по экспоненциальным кривым, как показано на рисунке (4.2).

Для вычисления момента двигателя на втором участке формулу подставляют соответствующие значения M_c и $M_{нач}$, а именно M_{c2} , $M_{нач2} = M_{кон1}$, а время t отсчитывают от начала второго участка.

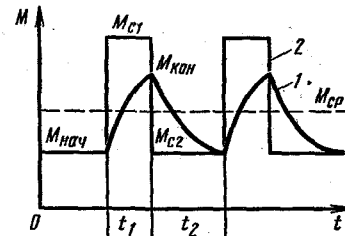


Рис. 4.2. Изменение момента электродвигателя (1) при резкопеременной нагрузке (2).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды переходных процессов в электроприводе вы знаете? 2. Какие параметры входят в уравнение движения электропривода? 3. Как определяют знаки моментов, входящих в уравнение движения электропривода? 4. Что такое приведенный момент инерции, приведенный момент сопротивления? 5. Что определяют при расчете переходных режимов?

Практическое занятие № 2. ПРИМЕР РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНОГО РЕЖИМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА

Рассчитать переходный режим электропривода производственного механизма, например, молочного сепаратора. Исходные данные: потребляемая мощность $P_n = 2$ кВт, частота вращения барабана 8000 мин^{-1} . Механическая характеристика сепаратора носит вентиляторный характер с начальным моментом $M_0 = 0,1 M_{c.n}$.

Масса барабана $m_6 = 20$ кг, его радиус $r_6 = 0,25$ м. Передаточное устройство состоит из клиноременной и червячной передач с КПД, равным $\eta_1 = 0,94$; $\eta_2 = 0,96$.

1. Определить мощность на валу электродвигателя:

$$P_c = P_n / \eta_1 \eta_2 = 2 / 0,94 \cdot 0,96 = 2,21 \text{ кВт.}$$

2. Выбрать электродвигатель 4А80В2УЗ. Его номинальные данные: $P_n = 2,2$ кВт; $n_n = 1428 \text{ мин}^{-1}$; $\mu_n = M_{\text{пуск}} / M_n = 2,1$; $\mu_{\min} = M_{\min} / M_n = 1,6$; $\mu_k = M_{\max} / M_n = 2,4$; $J_{\text{рот}} = 0,006 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

3. Момент инерции передачи $J_{\text{пер}}$ можно принять равным $0,2 J_{\text{рот}}$.

4. Вычислить момент инерции барабана, принимая его за сплошное цилиндрическое тело:

$$J_2 = m_6 r_6^2 / 2 = 20 \cdot 0,25^2 / 2 = 0,63 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

5. Приведенный момент инерции

$$J = J_{\text{рот}} + J_{\text{пер}} + J_2 / i^2 = 0,006 + 0,2 \cdot 0,006 + 0,63 / 0,18^2 = 19,76 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где $i = n_n / n_6 = 1428 / 8000 = 0,18$.

6. Приведенный статический момент сопротивления при номинальном режиме

$$M_{c.n} = \frac{P_n}{\omega_n \eta} = \frac{2000}{0,94 \cdot 0,97 \cdot 150} = 14,73 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $\omega_n = 0,105 n_n = 150 \text{ рад/с}$.

7. Начальный момент $M_{c.0} = 0,1 M_{c.n} = 1,47 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

8. Средний момент двигателя в относительных единицах

$$\mu_{1n} = \frac{\mu_n + \mu_{\min} + \mu_k}{3} = \frac{2,1 + 1,6 + 2,4}{3} = 2.$$

9. Номинальный момент электродвигателя

$$M_n = P_n / \omega_n = 2200 / 160 = 14,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

10. Средний момент электродвигателя при пуске

$$M_{1n} = M_n \mu_{1n} = 14,7 \cdot 2 = 29,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

11. Средний статический момент при пуске, учитывая вентиляторный характер нагрузки, $M_c \approx 0,5 \cdot 14,3 = 7,35 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

12. Продолжительность пуска

$$t_n = \frac{J \omega_n}{M_{1n} - M_c} = \frac{19,76 \cdot 150}{29,4 - 7,35} = 135 \text{ с}.$$

13. Определить продолжительность пуска графоаналитическим методом и построить график $\omega(t)$. При этом механическую характеристику двигателя можно построить по точкам начального пускового, минимального, критического и номинального момента и холостого хода.

Построить механическую характеристику рабочей машины, пользуясь выражением $M_c = 1,47 + (14,7 - 1,47)v^2$ и задаваясь несколькими значениями скорости v , например $v = 0; 0,3; 0,6; 0,8; 1$.

14. Сравнить результаты, полученные по формуле и графоаналитически.

15. Сделать анализ полученных результатов, объяснить причину большой продолжительности разбега.

16. Отметить, что такое время пуска неприемлемо для электродвигателя, предложить варианты работоспособного электропривода молочного сепаратора.

17. Вычислить продолжительность пуска двигателя и разгона барабана с центробежной фрикционной муфтой и электродвигателем 4А100Л4УЗ, у которого $P_n = 4$ кВт, $n_n = 1430 \text{ мин}^{-1}$; $U_n = 380 / 220 \text{ В}$; $I_n = 8,6 \text{ А} / 14,9 \text{ А}$; $M_n = 26,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $\mu_k = 2,4$; $\mu_n = 2$; $\mu_{\min} = 1,6$; $J_{\text{рот}} = 0,011 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Момент, передаваемый муфтой, принять равным $0,75 M_k$.

Продолжительность пуска двигателя $t_{n1} = J_{\text{рот}} \omega_n / M_n = 0,011 \cdot 150 / (26,7 \cdot 2) = 0,03 \text{ с}$.

Продолжительность разгона барабана $t_{n2} = \frac{J_{п.б} \omega_n}{0,75 M_k} =$

$$\frac{19,75 \cdot 150}{0,75 \cdot 26,7 \cdot 2,4} = 61,6 \text{ с}.$$

Такое время разгона приемлемо.

5.1. Нагрев и охлаждение электродвигателей

Правильный выбор номинальной мощности электродвигателя определяет экономическую эффективность привода. Применение двигателя недостаточной мощности приводит к преждевременному выходу его из строя. Использование двигателей завышенной мощности ведет к увеличению первоначальной стоимости электропривода, увеличению расхода электроэнергии.

Мощность электродвигателя 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

$$\theta_y = \Delta P / A, \quad (5.1)$$

где ΔP — потери мощности, Вт; A — удельная теплоотдача двигателя, Вт/°С.

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

$$A = \Delta P_n / \theta_{y,n} \quad (5.2)$$

где ΔP_n — номинальные потери мощности, Вт; $\theta_{y,n}$ — номинальная установившаяся температура перегрева, °С.

При включении двигателя в работу или при изменении нагрузки наблюдается тепловой переходный процесс.

Для того чтобы получить формулу для определения температуры θ перегрева двигателя в переходном процессе, составим уравнение теплового баланса электродвигателя как однородно-

го твердого тела, все точки которого имеют одинаковую температуру:

$$\Delta P dt = A \theta dt + C d\theta. \quad (5.3)$$

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 .

Разделив все члены уравнения (5.3) на $A dt$, получим равенство

$$\frac{\Delta P}{A} = \theta + \frac{C}{A} \cdot \frac{d\theta}{dt}. \quad (5.4)$$

Имея в виду, что $\Delta P/A = \theta_y$, и обозначив буквой T отношение C/A , запишем выражение (5.4) в другом виде:

$$\theta - \theta_y = -T \frac{d\theta}{dt}. \quad (5.5)$$

Это дифференциальное уравнение, описывающее переходный тепловой процесс, такое же, как и уравнение механического переходного процесса в электроприводе с линейной механической характеристикой двигателя. Поэтому и формулы для расчета будут аналогичны. В частности, температуру перегрева двигателя в переходных режимах вычисляют по выражению

$$\theta = \theta_y (1 - e^{-t/T}) + \theta_{нач} e^{-t/T}, \quad (5.6)$$

идентичному уравнению (4.20), а время нагрева до заданной температуры

$$t = T_m \ln \frac{\theta_{нач} - \theta_y}{\theta_{кон} - \theta_y}. \quad (5.7)$$

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 $T = 10 \dots 20$ мин. Значение T больше у двигателей тихоходных, закрытого исполнения и возрастает с увеличением номинальной мощности.

Из графиков (рис. 5.1, а), построенных по уравнению (5.6), 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 увеличиваются постоянная времени переходного процесса T_0 и само время (рис. 5.1, 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 (5.3) получим

$$T = 420 m \vartheta_{y.w} / \Delta P_{\text{н}}$$

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 температу-

ра, 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° по сравнению с предельно допустимой сокращает срок службы изоляции вдвое. При температуре более 200°C двигатель выходит из строя в течение нескольких минут. Вследствие этого нагрев электродвигателей, как и другого электрооборудования, является основным критерием допустимой нагрузки.

Кроме предельно допустимой температуры нагрева, указывают 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 .

5.2. Нагрузочные диаграммы электроприводов

Нагрузочная диаграмма электропривода представляет собой зависимость нагрузки электропривода от времени. Различные условия работы производственных механизмов обуславливают большое разнообразие нагрузочных диаграмм. Соответственно ГОСТ 183 — 74 на электрические вращающиеся машины предусматривается восемь номинальных режимов работы электродвигателей.

Номинальный режим указывают на заводском щитке условными обозначениями S1, S2, S3 и т. д. Основные номинальные режимы работы электродвигателей: продолжительный S1, кратковременный S2, повторно-кратковременный S3, перемежающийся S6 (рис. 5.2). Дополнительные номинальные режимы: повторно-кратковременный с частым пуском S4, повторно-кратковременный с частыми пусками и электрическим торможением S5, перемежающийся с частыми реверсами S7, перемежающийся с изменением частоты вращения S8.

Продолжительный режим (S1) характеризуется тем, что температура всех частей электродвигателя при работе с постоянной нагрузкой достигает установившегося значения. Температу-

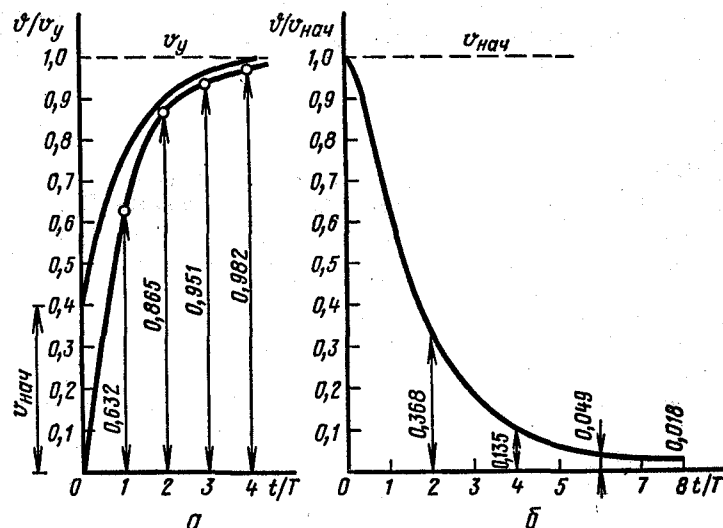


Рис. 5.1. Изменение температуры электродвигателя при нагреве (а) и охлаждении (б).

ру считают установившейся, если в течение часа работы она увеличивается не более чем на 1° . Такое состояние в электродвигателе наступает при работе с постоянной нагрузкой в течение времени, равного $4T$. Следовательно, при длительности работы, равной $4T$ и больше, режим работы продолжительный.

Кратковременный режим (S2) характеризуется тем, что в рабочий период температура двигателя не успевает достигнуть установившегося значения, а пауза столь продолжительна, что температура двигателя снижается до температуры охлаждающей среды. В этом случае продолжительность работы $t_p < 4T$, а продолжительность паузы $t_n > 4T_0$.

При повторно-кратковременном режиме (S3) кратковременные периоды нагрузки чередуются с непродолжительными периодами отключения двигателя. При этом $t_p < 4T$; $t_n < 4T_0$, то есть ни в одном из периодов температура не достигает установивше-

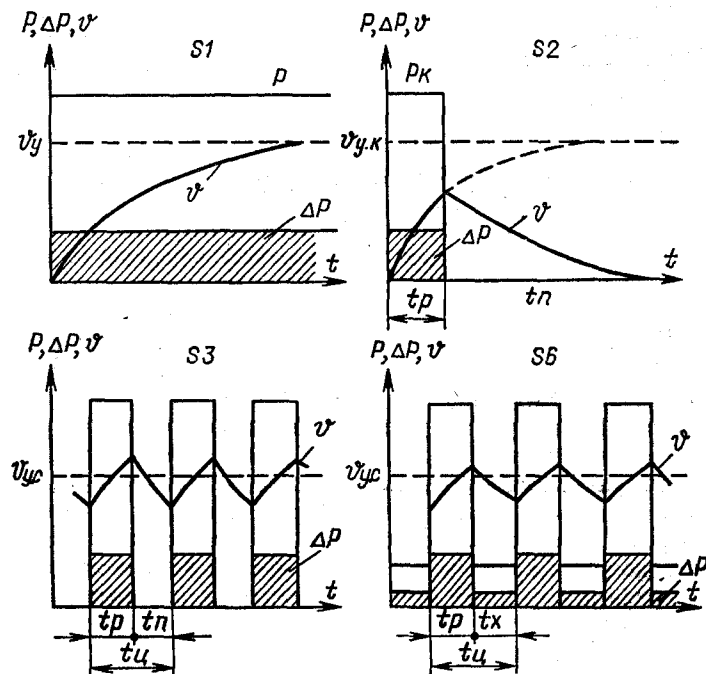


Рис. 5.2. Графики, характеризующие основные номинальные режимы работы электродвигателей.

ся значения, но среднее ее значение $\Phi_{у.с}$ устанавливается неизменным.

Повторно-кратковременный режим характеризуется относительной продолжительностью рабочего периода ε и длительностью цикла t_u : $t_u = t_p + t_n$; $\varepsilon = t_p / t_u$.

Относительная продолжительность рабочего периода, выраженная в процентах, называется относительной продолжительностью включения и обозначается ПВ %. Номинальной длительностью цикла считают 10 мин.

Переключающимся номинальным (S6) называют 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 переключающемся режиме характеризуется тем, что значение средней температуры достигает установившегося $\Phi_{у.с}$. В рассматриваемом случае длительность цикла и относительную продолжительность нагрузки определяют 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.

5.3. Расчет мощности двигателя при различных режимах работы

Выбор мощности двигателя при продолжительном режиме работы. Если момент и мощность производственного механизма не изменяются, то должен быть выбран двигатель с номинальной мощностью $P_{дв}$ равной мощности нагрузки с учетом потерь в трансмиссии:

$$P_{дв} = P_{м} / \eta_{т}$$

где $\eta_{т}$ — 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 среднего значения, которое называется средней установившейся температурой

$$\theta_{y.c} = \Delta P_{\Sigma} / A,$$

где ΔP_{Σ} — среднеарифметическая мощность потерь.

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

$$\Delta P_{\Sigma} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \dots + \Delta P_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}. \quad (5.8)$$

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

$$\Delta P = P (1 - \eta) / \eta.$$

Значение коэффициента полезного действия η двигателя берут из справочников.

Метод средних потерь трудоемок, поэтому применяют другой, более удобный *метод среднеквадратичных или эквивалентных величин*.

Если считать потери, состоящими из постоянных и переменных, которые пропорциональны 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 действительный изменяющийся ток в рассматриваемый промежуток времени.

Для ступенчато-прямоугольного графика

$$I_{\Sigma} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (5.9)$$

В двигателях с неизменным магнитным потоком момент электродвигателя прямо пропорционален току, и для них эквивалентный момент вычисляют по формуле

$$M_{\Sigma} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (5.10)$$

В асинхронных, синхронных, с независимым возбуждением двигателях мощность практически прямо пропорциональна моменту, поэтому

$$P_{\Sigma} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (5.11)$$

Номинальный момент электродвигателя, требуемый по условиям нагрева, $M_n \geq M_{\Sigma}$. Номинальная мощность по условиям нагрева $P_n \geq P_{\Sigma}$.

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_n (пуск) или необходимый номинальный момент M_n (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, то есть M_n (пуск) $\mu_{\min} u^2 = 1,25 M_c$.

Следовательно

$$M_n$$
 (пуск) $= \frac{1,25 M_c}{\mu_{\min} u^2}, \quad (5.12)$

где μ_{\min} — критичность минимального пускового момента; u — напряжение во время пуска, выраженное в относительных единицах.

Умножив обе части равенства (5.12) на ω_n , получают

$$P_n$$
 (пуск) $= \frac{1,25 M_c \omega_n}{\mu_{\min} u^2} = \frac{1,25 P_c}{\mu_{\min} u^2}. \quad (5.13)$

Для агрегатов с большим приведенным моментом инерции можно определить продолжительность пуска, даже если их запускают без нагрузки. Допустимая продолжительность пуска при номинальном напряжении для короткозамкнутых двигателей равна 10...15 с.

При переменной нагрузке следует определить также требуемую мощность двигателя по условиям допустимой перегрузки P_n (пер), предполагая, что критический момент двигателя в 1,25 раза больше максимального момента нагрузки:

$$M_n$$
 (пер) $= \frac{1,25 M_{\max}}{\mu_k}, \quad (5.14)$

$$P_{н(пер)} = \frac{1,25 P_{\max}}{\mu_k},$$

где $M_{н(пер)}$ — номинальный момент электродвигателя по условию допустимой перегрузки; M_{\max} , P_{\max} — наибольшие момент и мощность нагрузки; μ_k — кратность критического момента электродвигателя.

Окончательно двигатель выбирают по большему значению из $P_{нр}$, $P_{н(пуск)}$, $P_{н(пер)}$. Если период изменения нагрузки больше 10 мин, то необходимо дополнительно определить температуру нагрева выбранного электродвигателя.

Определение мощности двигателя при кратковременном режиме работы. Двигатели, специально предназначенные для такого режима, 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 $\Phi_{у.к} (1 - e^{-t_p/T})$ к номинальной установившейся температуре $\Phi_{у.н}$.

Считая эти температуры пропорциональными квадрату соответствующих токов и моментов, получают

$$M_{н} \geq M_{кр} \sqrt{1 - e^{-t_p/T}},$$

или

$$P_{н} \geq P_{кр} \sqrt{1 - e^{-t_p/T}}, \quad (5.15)$$

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 (5.13).

Определение мощности двигателя при повторно-кратковременном и перемежающемся режимах работы. 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 мин. В справочниках приводится номинальная мощность двигателей для указанных ϵ_n .

При выборе двигателей мощность их принимают равной мощности нагрузки при соответствующей относительной продолжительности работы рабочей машины. Если относительная продолжительность работы отличается от стандартной, делают перерасчет по выражению

$$P_{н} = P \sqrt{\epsilon / \epsilon_n} \quad (5.16)$$

где P , ϵ — мощность и относительная продолжительность работы машины; ϵ_n — стандартная продолжительность работы.

Для механизмов с повторно-кратковременным режимом работы можно также использовать электродвигатели, рассчитанные по условиям нагрева для продолжительной работы. В этом случае потребную мощность электродвигателей определяют по формуле (5.16) при условии, что $\epsilon_n = 1$, то есть

$$P_{н} = P \sqrt{\epsilon}. \quad (5.17)$$

Однако, чтобы учесть ухудшение охлаждения двигателя во время остановок, паузы сокращают вдвое. При этом обязательно делают проверку по условиям пуска и допустимой перегрузке.

Для выбранного двигателя определяется допустимое число включений в час:

$$z = 3600 \frac{(\Delta P_n - \Delta P) \epsilon + 0,5 (1 - \epsilon) \Delta P_n}{\Delta W}, \quad (5.18)$$

где ΔP_n и ΔP — мощность потерь при номинальной и фактической нагрузке; ΔW — потери энергии в переходных процессах пуска и торможения.

Для производственных механизмов с перемежающимся режимом двигателя выбирают методами, применяемыми для длительной переменной нагрузки.

5.4. Выбор электродвигателей по номинальной частоте вращения, типу и исполнению

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 ха-

рактера 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.

На предприятиях агропрома эксплуатируются двигатели единой общесоюзной серии 4А, массовое производство которых начато в 1975 г.

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 15150—69, ГОСТ 15543—70 электро-технические изделия изготавливают в пяти климатических исполнениях и маркируют следующим образом: У — для районов с умеренным климатом, УХЛ — для районов с умеренным и холодным климатом, Т — для районов как с сухим, так и влажным тропическим климатом, М — для районов с умеренно-холодным морским климатом, ОМ — для районов как с умеренно-холодным, так и жарким морским климатом.

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 под навесом и в открытых помещениях; 3 — для работы в закрытых помещениях без искусственного микроклимата; 4 — для работы в помещениях с искусственным микроклиматом; 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—80 (СТ СЭВ 778—77).

Для обозначения степени защиты применяются буквы IP 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, например: 0 — специальная защита отсутствует; 2 — защита от проникновения внутрь оболочки пальцев или предметов длиной не более 80 мм и от проникновения твердых тел размером свыше 12 мм; 4 — защита от твердых тел размером более 1,0 мм; 5 — защита от проникновения большого количества пыли, достаточного для нарушения работы и т. д.

Степень защиты от воды определяется второй цифрой (0...8), например: 0 — защита от воды отсутствует; 3 — защита от дождя; 4 — защита от брызг; 5 — защита от водяных струй; 7 — защита при погружении в воду при определенном времени и давлении; 8 — изделия пригодны для длительного погружения в воду при условиях, установленных изготовителем.

Формы исполнения электродвигателей по способу монтажа и их условные обозначения установлены ГОСТ 2479—79. По наличию крепежных приспособлений электродвигатели подразделяются на три группы: имеющие станину с лапами для крепления, лапы и фланец на подшипниковом щите, а также двигатели без лап с фланцем на подшипниковом щите. Имеются также различия по исполнению выступающего конца вала, способу монтажа. Все эти различия шифруются в условных обозначениях конструктивных исполнений по способу монтажа, состоящих из букв IM и четырех цифр. Первая цифра указывает группу конструктивного исполнения: 1 — на лапах, 2 — на лапах с фланцем; 3 — без лап с фланцем. Последняя цифра характе-

ризует исполнение выступающего конца вала, средние — способ монтажа.

При заказе электродвигателей необходимо указывать наименование, тип, номинальные данные, форму исполнения по монтажу и способ установки.

В 1984 г. в СССР и странах Совета экономической взаимопомощи (СЭВ) начался выпуск асинхронных двигателей единой для социалистических стран серии АИ, разработанных в рамках международной организации по экономическому и научно-техническому сотрудничеству в области электротехнической промышленности «Интерэлектро», которые предполагается выпускать до 2000 года. В течение двенадцатой пятилетки двигатели 4А будут полностью сняты с производства.

Асинхронные двигатели серии АИ общепромышленного применения имеют высоту оси вращения от 45 до 355 мм, мощность от 0,025 до 315 кВт, изготавливаются на напряжение 220/380, 380/660 В, частоту 50 Гц, а также на другие напряжения и частоту 60 Гц по требованию заказчика. Шкала мощностей практически такая же, как в двигателях 4А (прил. 2).

По степени защиты предусмотрены два исполнения: закрытое обдуваемое IP54 для высот оси вращения от 45 до 132 мм и IP44 для высот оси вращения от 160 до 355 мм, защищенное для высот оси вращения от 200 до 355 мм.

Увязка мощностей с установочными размерами принята в двух вариантах и кодируется в условном обозначении двигателя буквами Р или С.

Двигатели имеют монтажные формы исполнения IM10, IM20, IM30 по ГОСТ 2479—79, изготавливают их как с чугунной станиной и щитами, так и со станиной из алюминиевого сплава и чугунными или алюминиевыми щитами. Двигатели серии АИ изготавливают для тех же климатических районов и категорий размещения, что и серии 4А. Двигатели АИ отличаются от двигателей 4А пониженным на 10...15 дБ уровнем шума, повышенной надежностью, улучшенными пусковыми свойствами, меньшей на 10...15 % массой.

В серии АИ, помимо общепромышленного назначения, предусматриваются специализированные исполнения: многоскоростные, с повышенным скольжением, однофазные, со встроенным электромагнитным тормозом, малощумные, со встроенной температурной защитой, с повышенной точностью по установочным размерам, с фазным ротором, высокоточные.

Структура условного обозначения асинхронных двигателей серии АИ, их технические данные и значения мощностей в зависимости от частоты вращения приведены в приложениях 1 и 2.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем ограничивается допустимая нагрузка электродвигателей? 2. Как классифицируют режимы работы электродвигателей? 3. Что такое эквивалентный ток и как его вычислить? 4. Какими преимуществами обладают быстроходные двигатели? 5. Как различаются двигатели по способу установки?

Практическое занятие № 3. ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО ЗАДАННОЙ НАГРУЗОЧНОЙ ДИАГРАММЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА

На рисунке 5.3 приведены нагрузочные диаграммы механизма, работающего в разных режимах. Определить режим работы электропривода этой машины и выбрать двигатель, если $t_1=5$ мин, $t_2=5$ мин, $t_3=10$ мин (рис. 5.3), $t_3=60$ мин (рис. 2.13), $M_1=100$ Н·м, $M_2=20$ Н·м, угловая скорость приводного вала $\omega=50$ рад/с. Расчеты привести для пуска с малой нагрузкой (M_2) и с большой (M_1).

1. Эквивалентный момент рабочей машины

$$M_{эв} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2}{t_1 + t_2}} = \sqrt{\frac{100^2 \cdot 5 + 20^2 \cdot 5}{5 + 5}} = 72 \text{ Н·м.}$$

2. Эквивалентная мощность за рабочий период

$$P_{эв} = M_{эв} \omega = 72 \cdot 50 = 3600 \text{ Вт.}$$

3. Эквивалентная мощность на валу электродвигателя

$$P_э = P_{эв} / \eta_t = 3600 / 0,95 = 3790 \text{ Вт} = 3,79 \text{ кВт.}$$

Для двигателей данной мощности постоянную времени нагрева можно принять ориентировочно равной 15 мин и сделать вывод, что график на рисунке 2.13, а соответствует продолжительной переменной нагрузке, график на рисунке 2.13, б — повторно-кратковременному режиму, а график на рисунке 2.13, в — кратковременному, так как $t_1 < 4T$, $t_2 < 4T$, $t_3 < 4T$ во втором случае, а на третьем графике $t_3 > 4T$.

Выбираем двигатель по нагреву. Для первого случая $P_n \geq P_э$; $P_n \geq 3,79$ кВт.

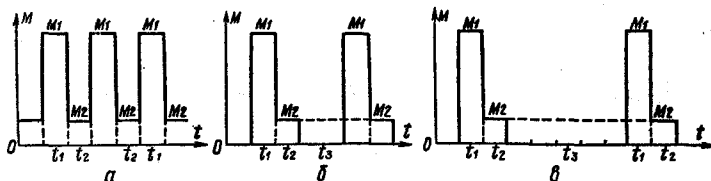


Рис. 5.3. Нагрузочные диаграммы рабочей машины.

Выбираем двигатель 4A 100L 4 УЗ; $P_n=4$ кВт; $n_n=1430$ мин⁻¹; $\omega_n=150$ рад/с; $\mu_n=2,0$; $\mu_{min}=1,6$; $\mu_k=2,2$.

Номинальный момент этого электродвигателя

$$M_n = P_n / \omega_n = \frac{4000}{150} = 26,7 \text{ Н·м.}$$

Для второго случая

$$P_n = P_э \sqrt{\epsilon} = 3,79 \sqrt{0,66} = 3,1 \text{ кВт,}$$

$$\text{где } \epsilon = \frac{t_1 + t_2}{t_1 + t_2 + 0,5 t_3} = \frac{10}{5 + 5 + 0,5 \cdot 5} = 0,66.$$

Коэффициент 0,5 при t_3 учитывает ухудшение охлаждения остановленного самовентилируемого двигателя.

Следовательно, в этом случае тоже следует выбрать двигатель с $P_n=4$ кВт.

Для кратковременного режима

$$P_n = P_э \sqrt{1 + e^{-(t_1 + t_2)/T}} = 3,79 \sqrt{1 - 2,72^{-10/15}} = 1,86 \text{ кВт.}$$

По условиям нагрева можно взять двигатель 4A90L4УЗ, $P_n=2,2$ кВт; $M_n=14,6$ Н·м.

Определим требуемый номинальный момент электродвигателя и его мощность по перегрузочной способности

$$M_{n(\text{пер})} = \frac{1,25 M_{c1}}{\mu_k}.$$

Приведенный максимальный момент сопротивления

$$M_{c1} = M_1 \omega_m / \omega_n = 100 \cdot 50 / 150 = 33,3 \text{ Н·м.}$$

Тогда

$$M_{n(\text{пер})} = 1,25 \cdot 33,3 / 2,2 = 18,9 \text{ Н·м;}$$

$$P_{n(\text{пер})} = M_{n(\text{пер})} \omega_n = 18,9 \cdot 150 = 2835 \text{ Вт.}$$

Двигатель 4A90 не подходит, ибо его номинальный момент меньше ($14,6 < 18,9$).

При кратковременном режиме выбираем двигатель по перегрузочной способности, то есть 4A100S4УЗ, $P_n=3$ кВт.

Определим номинальную мощность электродвигателя по условиям пуска. С малой нагрузкой

$$M_{n(\text{пуск})} = 1,25 M_{c2} / (\mu_{min} \mu^2) = 1,25 \cdot 6,7 / (1,6 \cdot 0,975^2) = 6,08 \text{ Н·м,}$$

где

$$M_{c2} = M_2 \omega_m / \omega_n = 20 \cdot 50 / 150 = 6,7 \text{ Н·м.}$$

Для всех двигателей $M_{n(\text{пуск})} < M_n$. Следовательно, по пусковым требованиям они подходят.

С большой нагрузкой

$$M_{\text{н (пуск)}} = 1,25 M_{\text{с1}} / (\mu_{\text{min}} u^2) = 1,25 \cdot 33,5 / (1,6 \cdot 0,925^2) = 30 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

где u — принимаем равным минимально допустимому напряжению;

$$M_{\text{н (пуск)}} > M_{\text{н}}; 30 > 26,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При пуске с полной нагрузкой для всех случаев следует выбрать двигатель 4A112M4УЗ мощностью 5,5 кВт, $\omega_{\text{н}} = 150 \text{ рад/с}$, у которого $M_{\text{н}} = 37 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Глава 6. ЭНЕРГЕТИКА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

6.1. Определение потерь энергии в установившемся режиме

Потери мощности происходят в электродвигателе, передаточном механизме, преобразовательном устройстве, регулировочных резисторах. Потери мощности в электродвигателе при номинальном режиме определяют по формуле

$$\Delta P_{\text{н}} = P_{\text{н}} (1 - \eta_{\text{н}}) / \eta_{\text{н}}$$

где $P_{\text{н}}$, $\eta_{\text{н}}$ — номинальные мощность и КПД двигателя.

В справочниках приводятся также графики или таблицы, пользуясь которыми можно узнать КПД при любой нагрузке и определить соответствующие потери мощности

$$\Delta P_1 = P_1 (1 - \eta_1) / \eta_1$$

где P_1 , η_1 — фактическая мощность нагрузки и КПД при этой нагрузке.

Если сведений о КПД при различных нагрузках нет, то потери мощности в двигателе определяют по равенству

$$\Delta P_1 = \Delta P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{в}}$$

где $\Delta P_{\text{с}}$ — постоянные потери, к которым относят потери в стали, механические, вентиляционные; $\Delta P_{\text{в}}$ — переменные потери, которые определяются потерями в обмотках двигателя при протекании по ним тока.

Постоянные потери мощности

$$\Delta P_{\text{с}} = \Delta P_{\text{н}} - \Delta P_{\text{вн}}$$

где $\Delta P_{\text{вн}}$ — потери в обмотках при номинальном токе.

Для двигателей постоянного тока $\Delta P_{\text{вн}} = I_{\text{н}}^2 R_{\text{я}}$.

Для асинхронных двигателей, если принять $R_1 = R_2^1$,

$$\Delta P_{\text{вн}} = 2 M_{\text{н}} \omega_{\text{с}} s_{\text{н}} \quad (6.1)$$

Потери в обмотках при ненормальном токе

$$\Delta P_{\text{в}} = p^2 \Delta P_{\text{вн}}$$

где p — кратность (коэффициент) нагрузки.

Для двигателей независимого возбуждения, асинхронных, синхронных $p \approx P / P_{\text{н}}$.

В регулируемом электроприводе мощность дополнительно теряется в преобразовательных устройствах и регулировочных резисторах. Потери в преобразователях вычисляют при помощи их КПД так же, как в двигателях.

При регулировании скорости асинхронного двигателя изменением напряжения или введением резисторов в цепь ротора переменные потери в двигателе и резисторах вычисляют по уравнению

$$\Delta P_{\text{в}} = M (\omega_{\text{с}} - \omega) (1 + R_1 / R_2'),$$

где M — момент нагрузки; $\omega_{\text{с}}$ — угловая скорость поля; ω — угловая скорость ротора; R_1 — сопротивление статорной обмотки; R_2' — приведенное суммарное сопротивление обмотки ротора и резистора.

Потери механические, в стали, вентиляционные, относящиеся к постоянным, уменьшаются со снижением скорости примерно пропорционально ее значению.

Потери в передаточных устройствах в номинальном режиме

$$\Delta P_{\text{тн}} = P_{\text{н}} (1 - \eta_{\text{тн}}),$$

где $P_{\text{н}}$, $\eta_{\text{тн}}$ — номинальные мощности и КПД передаточного устройства.

Когда передаточное устройство состоит из нескольких звеньев с номинальными КПД соответственно η_1 , η_2 , η_3 , η_n , то общий КПД передачи $\eta_{\text{тн}} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \dots \eta_n$.

КПД передаточного устройства зависит от нагрузки, поэтому потери при любой нагрузке

$$\Delta P_{\text{т}} = P (1 - \eta_{\text{т}}),$$

где P , $\eta_{\text{т}}$ — мощность, подводимая к передаточному устройству, и его КПД при этой нагрузке.

Потери холостого хода передач составляют (0,3...0,5) $\Delta P_{\text{тн}}$.

В приближенных расчетах при коэффициенте загрузки более 0,25 КПД двигателей и передач принимают равным номинальному.

Общие потери мощности в электроприводе равны сумме потерь в электродвигателе, передачах, преобразовательном устройстве, резисторах.

Зная потери мощности, можно вычислить потери энергии.

Потери энергии на участке нагрузочной диаграммы при постоянной нагрузке и скорости

$$\Delta W_i = \Delta P_{ni} t_i,$$

где ΔP_{ni} — общие потери мощности в электроприводе на заданном участке; t_i — продолжительность работы на этом участке.

Потери энергии за цикл работы с переменной нагрузкой

$$\Delta W_{\Sigma} = \sum_1^m \Delta P_{ni} t_i.$$

Средневзвешенный КПД электропривода за цикл работы с переменной нагрузкой

$$\eta_{\Sigma} = \frac{\sum_1^m P_i t_i}{\sum_1^m (P_i + \Delta P_{ni}) t_i},$$

где P_i — мощность рабочего органа.

Потребление электроэнергии из сети за цикл работы

$$W_{\Sigma} = \sum_1^m (P_i + \Delta P_{ni}) t_i = \frac{\sum_1^m P_i t_i}{\eta_{\Sigma}}. \quad (6.2)$$

6.2. Определение потерь энергии в переходных режимах

Во время пуска и торможения противовключением по обмоткам асинхронного короткозамкнутого электродвигателя протекает ток, в 5...7 раз превышающий номинальный, поэтому потери энергии ΔW при этих режимах практически определяются потерями в обмотках и в общем случае

$$\Delta W = \int_0^{t_n} 3I_1^2 R_1 dt + \int_0^{t_n} 3I_2^2 R_2 dt, \quad (6.3)$$

где t_n — время пуска, торможения.

В приближенных вычислениях можно считать, что средний эквивалентный ток составляет $0,9I_n$. Тогда потери энергии при

пуске под нагрузкой

$$\Delta W_n \approx 0,8k_i^2 \Delta P_{\Sigma n} t_n$$

где $k_i = I_n/I_n$ — кратность пускового тока.

С учетом равенств (6.1) и (4.11), считая $\omega_n \approx \omega_0$, получим

$$\Delta W_n = 1,6k_i^2 s_n \frac{M_n}{M_n - M_c} J \omega_0^2 \quad (6.4)$$

Если пуск осуществляется вхолостую при $M_c = 0$ и $M_n = \mu_n M_n$, то

$$\Delta W_{n0} = 1,6k_i^2 s_n J \omega_0^2 / \mu_n \quad (6.5)$$

Расчетные формулы для определения потерь энергии при пуске вхолостую или торможении противовключением получают путем интегрирования уравнения (6.3), приняв $I_1 = I_2$, $R_1 = R_2$, $3I_2^2 R_2 = M \omega s$, $M = J d\omega/dt$. Тогда потери при пуске

$$\Delta W_{n0} = J \omega_0^2 \quad (6.6)$$

при торможении противовключением

$$\Delta W_{т0} = 3J \omega_0^2 \quad (6.7)$$

6.3. Коэффициент мощности и способы его повышения

Для создания магнитного поля асинхронных двигателей, трансформаторов, других электромагнитных аппаратов и устройств переменного тока необходим реактивный ток I_p , который отличается от активного I_a тем, что его изменение происходит с некоторым отставанием от напряжения (на 90° при векторном изображении). После векторного сложения активного и реактивного токов получается вектор полного тока I , образующий некоторый угол с вектором напряжения. Этот угол обычно обозначают буквой φ , при этом $\cos \varphi = I_a/I$. Коэффициент мощности $\cos \varphi$ указывает долю активного тока в общем токе и, следовательно, долю активной мощности в кажущейся мощности токоприемника.

Коэффициент мощности на практике определяют измеряя активную и реактивную мощность, а чаще — измеряя активную и реактивную энергию при помощи соответствующих счетчиков.

При этом

$$\cos \varphi = P / \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (6.8)$$

где P — активная мощность, Вт; Q — реактивная мощность, вар.

Активная мощность трехфазного двигателя

$$P = \sqrt{3} UI_a = \sqrt{3} UI \cos \varphi.$$

Следовательно, полный ток

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi}. \quad (6.9)$$

Из уравнения (6.8) видно, что увеличение реактивной мощности Q или уменьшение активной P при неизменной реактивной приводит к уменьшению $\cos \varphi$. Равенство (6.9) показывает, что при одной и той же передаваемой активной мощности полный ток увеличивается при снижении коэффициента мощности.

Увеличение полного тока приводит к необходимости увеличения площади сечения электрических проводов, мощности трансформаторов, повышению потерь энергии в них.

Повышение коэффициента мощности электрических установок предприятий — это часть общей проблемы экономии электрической энергии и материалов. Асинхронные двигатели потребляют 65...75% реактивной мощности сети. Их $\cos \varphi$ при номинальной нагрузке находится в пределах 0,7...0,9, снижаясь с уменьшением нагрузки до 0,3...0,4 при их холостом ходе. Это объясняется тем, что реактивная мощность, потребляемая асинхронным двигателем, примерно одна и та же как при нагрузке, так и без нее.

Реактивная мощность больше у тихоходных двигателей, так как они имеют большие размеры, и у двигателей с фазным ротором из-за большего воздушного зазора и больших размеров. Следует помнить, что значение воздушного зазора сильно влияет на $\cos \varphi$, поэтому обтачивать ротор при ремонте недопустимо. При увеличении напряжения реактивная мощность растёт.

Для повышения коэффициента мощности целесообразно проводить следующие мероприятия: правильно выбирать электродвигатели по мощности; в приводах большой мощности применять синхронные двигатели или асинхронные с большой номинальной частотой вращения; полностью использовать технологическое оборудование, обеспечивая номинальную загрузку электродвигателей; двигатели, постоянно загруженные менее чем на 40 %, заменять двигателями меньшей мощности; устранять работу асинхронных двигателей на холостом ходу при помощи автоматических ограничителей; переключать в звезду незагруженные двигатели, обмотки которых соединены треугольником (такое возможно у двигателей с номинальным напряжением 660/380 В); следить за уровнем напряжения, не допускать длительного его увеличения выше номинального.

В тех случаях, когда этими средствами не удастся повысить $\cos \varphi$ до требуемого, на предприятиях предусматривают специальные установки для искусственного повышения среднего взвешенного $\cos \varphi$, 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 ток компенсируется емкостным.

Применение компенсирующих установок связано с дополнительными затратами и обосновывается технико-экономическими расчетами.

✓ 6.4. Пути экономии электроэнергии

Экономия электрической энергии — важнейшая народнохозяйственная задача. Электроприводы потребляют более половины всей вырабатываемой в стране электроэнергии, поэтому каждый процент экономии в этих установках составляет миллиарды киловатт-часов по стране.

Из анализа причин потерь мощности в электроприводах определены следующие пути экономии электрической энергии.

1. Правильно эксплуатировать производственные механизмы, обеспечивать своевременную смазку, регулировки, заточку режущих органов и т. д.

2. Полностью загружать машины, транспортеры, станки. Для контроля загрузки в энергоемких приводах устанавливать амперметры, ваттметры.

3. Исключать 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 $\cos \varphi$.

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 номинальным или пониженным в пределах допустимых норм. Правильным распределением нагрузок по фазам, применением специальных трансформаторов на подстанции, биваться, чтобы напряжение было симметричным, так как

тивном случае резко увеличиваются потери в трехфазных асинхронных электродвигателях.

8. Всеми мерами бороться за повышение коэффициента мощности, в установках большой мощности применять синхронные электродвигатели.

9. При выборе производственного оборудования учитывать то обстоятельство, что чем больше производительность агрегата, тем меньше электроэнергии расходуется на единицу продукции. Всегда экономичнее один большой агрегат, чем несколько маленьких.

10. Совершенствовать электроприводы энергоемких производственных агрегатов путем установки автоматических регуляторов загрузки, ограничителей холостого хода и т. д.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких составляющих складываются общие потери в электроприводе?
2. Как определяют расход энергии электропривода?
3. Какими путями можно уменьшить потери энергии в переходных режимах?
4. Почему необходимо стремиться поддерживать соэф на высоком уровне?
5. Какие основные мероприятия способствуют экономии электрической энергии?

Глава 7. АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

7.1. Назначение и классификация электрических аппаратов

Электрические аппараты управления и защиты служат для ручного или автоматического включения и отключения электрических цепей и их автоматической защиты при различных аномальных режимах.

По назначению электрические аппараты подразделяются на коммутационные, обеспечивающие включение и отключение электрических цепей, защитные, предохраняющие электрические цепи и электродвигатели от длительного воздействия токов короткого замыкания и перегрузок, управления, контролирующей и регулирующие, применяемые для автоматической стабилизации или регулирования заданных параметров электрической цепи, и т. п.

В пределах каждой из этих групп аппараты различаются по напряжению, роду тока (постоянный, переменный), роду защиты от окружающей среды, способу действия (электромагнитные,

индукционные, тепловые, магнитоэлектрические) и ряду других факторов — быстродействию, способу гашения дуги и т. п.

По способу воздействия на электрическую цепь различают аппараты контактные, которые замыкают или размыкают электрическую цепь при помощи контактов, и бесконтактные, воздействующие на электрическую цепь путем резкого изменения своей проводимости.

Аппаратуру различают по климатическому исполнению, категории размещения и степени защиты так же, как электродвигатели, согласно ГОСТ 15150—69, ГОСТ 15543—70, ГОСТ 14254—80. Аппаратуру изготавливают в пяти климатических исполнениях и пяти категорий размещения, что кодируется буквами У, УХЛ, Т, М, ОМ и цифрами 1, 2, 3, 4 и 5. Электрические аппараты имеют оболочки, которые обеспечивают защиту персонала от соприкосновения с токоведущими частями, а аппарат от попадания в него пыли, твердых предметов и воды. Для обозначения степени защиты электротехнических изделий оболочки, согласно ГОСТ 14254—80, применяют буквы IP и следующие за ними две цифры. Например IP12 означает, что оболочка защищает изделие от попадания твердых тел размером более 50 мл и капель воды при наклоне изделия до 15° от нормального положения; IP31 — защита от попадания твердых тел размером более 2,5 мм и инструментов толщиной более 2,5 мм, а также от падающих вертикально капель воды; IP66 — предотвращено проникновение пыли полностью и попадание воды в количестве, опасном для аппарата даже при периодическом заливании водой (волн воды).

Степень защиты от попадания внутрь оболочки посторонних твердых тел, проникновения воды, соприкосновения с токоведущими частями установлена ГОСТ 14254—80 и кодируется буквами IP и двумя цифрами, стоящими за ними. Первая цифра (0...6) означает степень защиты от попадания внутрь оболочки посторонних твердых тел и соприкосновения с токоведущими частями, вторая (0...8) — степень защиты оборудования от проникновения воды. Например, IP00 означает, что аппарат открытого типа, IP54 — аппарат в корпусе, защищающем от брызг воды и попадания внутрь посторонних предметов размером до 0,05 мм.

Контактные аппараты бывают ручного и электромеханического управления, при котором подвижные контакты приводятся в действие при помощи электромагнита. Все эти аппараты обязательно содержат контактный узел, органы управления, а также могут иметь дугогасительные устройства.

По конструктивному исполнению контактные узлы (с

шенно контакты) подразделяются на *рычажные, мостиковые, врубные*. Контактные поверхности, через которые ток переходит из одной токоведущей детали в другую, могут иметь следующие исполнения: плоскость—плоскость, плоскость—сфера, плоскость—цилиндр, цилиндр—цилиндр.

По назначению контакты делятся на *главные*, которые включаются в цепь силового канала, и *блокировочные* (блок-контакты), используемые в цепях управления.

По действию контактов при начальном воздействии на орган управления их называют *замыкающими* или *размыкающими*.

Дугогасительные устройства необходимы в аппаратах, коммутирующих большие токи, так как возникающая при разрыве тока электрическая дуга вызывает подгорание контактов. В низковольтных аппаратах применяются два вида дугогасительных камер: с магнитным гашением дуги и с деионным.

При магнитном гашении контакты помещены внутри дугогасительной камеры 2 (рис. 7.1, а), изготовленной из теплоустойчивого изоляционного материала. С обеих сторон камера охвачена стальными щеками 3, прикрепленными к торцам стального сердечника 1 дугогасительного электромагнита, магнитное поле которого выталкивает дугу в узкую щель камеры вверх.

При деионном гашении дуги (рис. 7.1, б) над контактами 4, помещенными внутри дугогасительной камеры 2, располагается решетка из стальных пластин 5. При размыкании контактов образовавшаяся между ними дуга потоком воздуха выдувается вверх, попадает в зону металлической решетки и быстро гасится.

Электромагнит — основной элемент электромеханического органа управления. Электромагнит (рис. 7.2) состоит из неподвижного сердечника 4, закрепленного на ярме 1, подвижного якоря 2 и втягивающей катушки 3. Сердечник и якорь изготавливают из ферромагнитных материалов, а катушку — из медного изолированного провода. В электромагнитах, подключаемых параллельно с источником питания, катушка имеет большое число витков, выполненных проводом с малой площадью сечения.

Электромагниты постоянного тока с поворотным якорем (рис. 7.2, а) применяются в

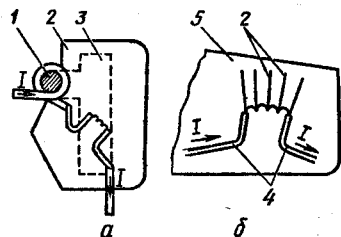


Рис. 7.1. Устройство дугогасительных камер:

а — с магнитным гашением дуги;
б — с деионным гашением дуги.

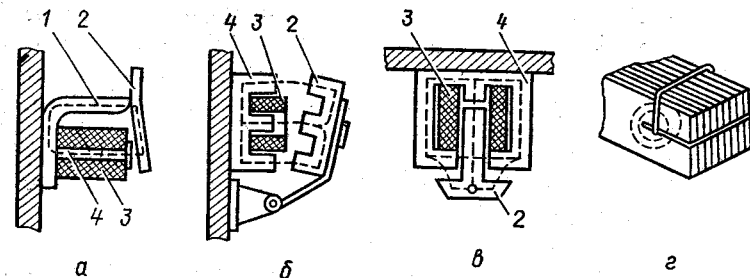


Рис. 7.2. Конструкции электромагнитов постоянного тока (а), переменного тока с поворотным якорем (б), с прямоходовым якорем (в) и устройство короткозамкнутого витка на сердечнике (г):

1 — ярмо; 2 — якорь; 3 — катушка; 4 — сердечник.

контакторах постоянного тока, промежуточных реле, электромагнитных реле времени.

У электромагнитов переменного тока (рис. 7.2, б, в) значение и направление магнитного потока непрерывно меняются вместе с изменением направления тока в катушке 3. Поэтому сердечник 4 и якорь 2 изготавливают не сплошными, как у электромагнитов постоянного тока, а шихтуют из изолированных листов электротехнической стали. Это уменьшает вихревые токи в магнитопроводе, потери энергии и нагрев. При питании катушки однофазным переменным током магнитный поток, меняя направление, периодически снижается до нуля, что вызывает вибрацию якоря и гудение. Для ослабления этих явлений на торцевую часть сердечника или якоря накладывают медный короткозамкнутый виток (рис. 7.2, г). В моменты перехода основного потока через нуль скорость изменения его самая большая, и поэтому в короткозамкнутом витке наводится максимальная ЭДС. Через виток проходит ток, который создает свой магнитный поток, замыкающийся через сердечник и якорь, что препятствует отпадению якоря при переходе основного потока через нуль.

Ток катушки электромагнита переменного тока зависит главным образом от индуктивности катушки, определяемой значением воздушного зазора между сердечником и якорем. При большом зазоре индуктивность и полное сопротивление цепи катушки малы. Поэтому в момент включения катушки в сеть по ней протекает ток, в 5...8 раз превышающий номинальный. По этой причине катушка может быстро сгореть при заклинивании якоря в начале включения, когда магнитопровод разомкнут. Это от

ничивает также допустимую частоту включений электромагнитов переменного тока.

Электромагниты с поворотным якорем (рис. 7.2, б) применяются в контакторах, электромагниты с прямоходовым якорем (рис. 7.2, в) — в электромагнитных пускателях.

Тяговое усилие всех электромагнитов зависит от силы тока катушки и воздушного зазора. Оно увеличивается при уменьшении воздушного зазора.

Ток, при котором происходит втягивание якоря электромагнита, имеющего последовательную катушку, называется *током срабатывания*, а ток, при котором якорь отпадает, — *током возврата*. Он всегда меньше тока срабатывания.

Аналогично для электромагнитов с параллельной катушкой различают напряжение срабатывания и напряжение возврата.

Отношение тока I_b (напряжения U_b) возврата к току I_{cp} (напряжению U_{cp}) срабатывания называется коэффициентом возврата: $k_b = I_b / I_{cp}$ или $k_b = U_b / U_{cp}$. Для электромагнитов постоянного тока этот коэффициент находится в пределах 0,05...0,4, для аппаратов переменного тока — 0,4...0,95.

После включения электромагнита в сеть ток в катушке и магнитный поток достигают своего установившегося значения через некоторое время. Необходимо также время для перемещения якоря от исходного положения до конечного. Общее время от момента включения до прекращения движения якоря определяет *время срабатывания* $t_{включ.}$. Аналогично время, необходимое на отключение электромагнита, характеризуется так называемым *временем возврата* $t_{откл.}$.

Время срабатывания и время возврата характеризуют быстродействие аппарата и обуславливают допустимую частоту его выключений.

Электромагниты постоянного тока обычно имеют большее время срабатывания, достигающее нескольких десятых долей секунды. Время срабатывания пускателей с электромагнитами переменного тока не превышает 0,1 с.

По времени срабатывания и возврата электромагнитные аппараты подразделяются на безынерционные ($t_{включ.}$ и $t_{откл.} \leq 0,001$ с), быстродействующие (от 0,001 до 0,05 с), нормальные (от 0,05 до 0,15 с), замедленные (от 0,15 до 9 с).

На электрических схемах узлы и основные части аппаратов управления изображают условными обозначениями, символами. Условные положения контакта вычерчивают для обесточенной катушки и без механических воздействий на аппараты.

Изображение контактов располагают так, чтобы воображаемая сила, действующая на подвижную часть контакта, уменьша-

ла острый угол изображенного контакта и замыкала замыкающие контакты, но размыкала размыкающие. Если подвижные контакты механически связаны и изображены совмещенно, то изображающие их линии должны быть параллельны.

Механическую связь контактов показывают двумя параллельными линиями или одной пунктирной. Условные обозначения коммутационных устройств и контактных соединений приведены в ГОСТ 2.755—74, воспринимающих частей электромеханических устройств (катушек электромагнитов) — в ГОСТ 2.756—76, полупроводниковых приборов — в ГОСТ 2.730—73.

В принципиальных электрических схемах, когда элементы одного аппарата разнесены, каждый символ одного аппарата снабжают одинаковыми буквенно-цифровым позиционным обозначением и кодом, составляемыми из одной или двух букв латинского алфавита и порядкового номера (ГОСТ 2.710—81). Позиционные обозначения проставляют над символом или с правой стороны.

7.2. Коммутационная аппаратура ручного управления

В зависимости от назначения и использования различают аппараты силовых цепей и аппараты цепей управления.

Допустимую токовую нагрузку аппарата определяют по условиям нагрева, а также по допустимому току включения и отключения.

Рубильник — наиболее простой аппарат ручного управления. Он предназначен для нечастого включения электрических цепей без нагрузки и электроприемников небольшой мощности.

В зависимости от электрических параметров различают рубильники трехполюсные, двухполюсные, однополюсные, с дугогасительными камерами или без них, на номинальный ток 100, 250, 400 и 600 А. По конструктивному исполнению рубильники бывают в кожухе, с передним или задним присоединением, с центральной или боковой рукояткой, комбинированные с предохранителями и др. Разновидность рубильников представляют переключатели на два рабочих и одно нейтральное положения.

Для подключения отдельных электродвигателей удобны рубильники, смонтированные в кожухе совместно с плавкими предохранителями или без них, так называемые силовые ящики.

Рубильники имеют шифр обозначений, состоящий из букв и цифр. Буквенные и цифровые обозначения типа рубильника расшифровываются следующим образом: Р — рубильник с цен-

тральной рукояткой, РБ — с боковой рукояткой, РПЦ — с центральным рычажным приводом. Первая цифра после букв указывает число полюсов, вторая — условно определяет номинальный ток рубильника (1—100 А; 2—250 А; 4—400 А; 6—600 А). Например, рубильник с боковой рукояткой, трехполюсный, с номинальным током 250 А обозначают РБ 32.

Силовые ящики имеют буквенный шифр ЯВЗ (ящик, выключатель, закрытый). Цифры имеют такое же значение, как у рубильников.

Выбирают рубильники с учетом места их установки, допустимого тока нагрузки и тока отключения (коммутации).

В производственных сельскохозяйственных установках наибольшее применение нашли рубильники в кожухе без дугогасительных камер. При напряжении 380 В для таких рубильников допускается отключать ток, равный $0,3I_n$. Если такой рубильник предназначен для включения и отключения электродвигателя, то номинальный ток рубильника должен быть в три раза больше номинального тока электродвигателя.

Пакетные выключатели и переключатели, как и рубильники, предназначены для нечастых включений в сетях переменного тока до 380 В. Существует много различных исполнений пакетных выключателей.

По конструктивному исполнению пакетные выключатели и переключатели делят на защищенные, закрытые и герметические. Пакетные выключатели компактные, надежно работают при тряске, поэтому они удобны для применения на передвижных установках.

Многоцепными пакетными переключателями можно изменять схему подключения двигателя (звезда—треугольник), переключать фазы при реверсировании и т. д.

Для более сложных схем переключения силовых цепей, например обмоток многоскоростных асинхронных электродвигателей, управления тяговыми и крановыми электродвигателями, применяют барабанные типа БП и пакетно-кулачковые типа ПКК переключатели. Их применяют при частоте переключения до 120 в час.

Номинальный ток пакетных выключателей является длительным допустимым (по нагреву) током. Допустимый ток отключения, так же как для рубильников без дугогасительных камер, составляет 30 % номинального.

Аппараты для коммутаций цепей управления рассчитывают на меньшую силу тока и большее допустимое число переключений.

Эти аппараты изготавливают одно- и многоцепными, с двумя

и более положениями. Они, по существу, такие же, как и для силовых цепей, но меньших размеров.

Конструкции пакетных переключателей, предназначенных для цепей управления, позволяют получить до 220 вариантов схем соединений при числе коммутируемых цепей до 24 и числе фиксированных положений от 2 до 8 (через 45, 60 или 90°).

Наиболее распространенными переключателями цепей управления такой конструкции являются аппараты серии ПКУ2, ПКУ3, рассчитанные для напряжений до 380 В переменного и 220 В постоянного тока и имеющие номинальный ток 6А (ПКУ2) и 10А (ПКУ3).

Ручная коммутация цепей катушек электромагнитных пускателей для включения и отключения электродвигателей и других токоприемников при дистанционном управлении осуществляется кнопками управления. По способу защиты от воздействий окружающей среды различают открытые, закрытые, герметичные и взрывобезопасные кнопки.

7.3. Аппаратура и устройства автоматического управления

Контакты. Дистанционное и автоматическое управление электродвигателями постоянного тока выполняют при помощи контакторов постоянного тока. Их изготавливают одно- и многополюсными, с замыкающими и размыкающими контактами.

Контактор состоит из двух основных частей: электромагнита и контактной системы с дугогасительной камерой магнитного гашения. Контакторы постоянного тока серии КП изготавливают на токи от 40 до 2500 А.

Контакторы переменного тока применяют для управления электродвигателями переменного тока большой мощности, а также при большой частоте их включений. Для гашения дуги в них применяют дугогасительные камеры с деионной решеткой. Контакторы переменного тока серии КТ имеют электромагнит с поворотным якорем и контакты рычажного типа. Изготавливают их на токи от 20 до 600 А.

Значительным достижением техники в производстве контактной аппаратуры являются контакторы с использованием герметических силовых контактов (герсиконов). Например, контакторы на герсиконах КМГ17, КМГ18 предназначены для управления двигателями мощностью до 3 кВт при напряжении 380 В.

В герсиконах контакты размещены в герметической оболочке в среде инертного газа, они срабатывают под воздействием

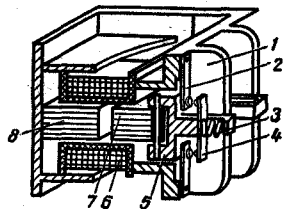


Рис. 7.3. Устройство электромагнитного пускателя.

внешнего магнитного поля, создаваемого катушкой. Контакторы с использованием герсиконов обладают большой долговечностью, надежно работают в условиях повышенной запыленности, влажности и в других неблагоприятных условиях окружающей среды.

Электромагнитные пускатели предназначены для дистанционного и автоматического управления трехфазными асинхронными двигателями с номинальным током до 200 А

(100 кВт). Их применяют также для дистанционного управления трехфазными электронагревательными, осветительными и облучательными установками.

Основные части электромагнитного пускателя — электромагнит переменного тока с прямоходовым якорем, контакты мостикового типа, замыкающие и размыкающие блок-контакты. Для управления пускателями применяют двухкнопочные или трехкнопочные посты.

Промышленность изготавливает электромагнитные пускатели серий ПМЛ и ПМА. Они установлены в пластмассовом корпусе, состоящем из двух частей, скрепленных винтами.

Электромагнитный привод пускателя имеет Ш-образный сердечник 8 и якорь 7 (рис. 7.3). На крайних полюсах сердечника установлены короткозамкнутые витки. Намагничивающая катушка 6 расположена на средней укороченной части сердечника и несколько выступает над ним, что создает дополнительную силу тяги. Катушка фиксируется выступами верхней части корпуса.

Якорь связан с пластмассовой траверсой 5, на которой установлены подвижные главные контакты 4 мостикового типа и нажимные пружины 3, обеспечивающие нажатие контактов. Неподвижные контакты 2 установлены в пластмассовом корпусе контактора, они разделены перегородками 1 и закрыты крышкой. В крышках контакторов большой мощности размещаются деионные дугогасительные камеры. При отключении катушки якорь с траверсой перемещается в исходное положение под действием возвратных пружин.

Электромагнитные пускатели представляют собой комплексные устройства, в состав которых, кроме прямоходового контактора, входят электротепловое реле и защитный кожух.

Для пуска трехфазных электродвигателей на два направле-

ния вращения изготавливают реверсивные пускатели, которые состоят из двух неревверсивных, смонтированных в общем кожухе и снабженных механической блокировкой, исключающей одновременное включение.

В конструкции пускателей ПМЛ предусмотрена возможность присоединения приставки ПКЛ из двух или четырех дополнительных блокировочных контактов или приставки ПВЛ с контактами, переключающимися с выдержкой времени.

Пускатели ПМЛ изготавливают на номинальные токи от 10 до 200 А семи размеров, различными по исполнению в зависимости от степени защиты, категории размещения и т. п. Все эти особенности закодированы в буквенно-цифровом обозначении пускателя, состоящем из букв, характеризующих серию, и шести цифр (прил. 3).

Примерно такой же код у пускателей единой серии ПМА (прил. 4).

Электромагнитные пускатели выбирают с учетом степени защиты и климатического исполнения, по номинальному току контактов главной цепи и номинальному напряжению. Все пускатели можно устанавливать в сети напряжением 380 В.

Номинальный ток электродвигателей берут из справочника или вычисляют по формуле

$$I_n = P_n / \sqrt{3} U_n \eta_n \cos \varphi_n$$

В справочной литературе приводится номинальная мощность электродвигателей, которые можно включать пускателем определенной величины. Например, пускателем ПМА шестой величины можно управлять трехфазным двигателем мощностью 75 кВт, пятой — 55 кВт и т. д.

Следует иметь в виду также то обстоятельство, что катушки электромагнитных пускателей могут быть разными по их номинальному напряжению. Чаще их изготавливают на напряжение 380 и 220 В, но они могут быть изготовлены и на другое стандартное напряжение переменного или постоянного тока. Например, катушки пускателей ПМЛ изготавливают также на напряжения 24, 48, 60, 110 и 220 В постоянного тока и напряжения 24, 36, 127 и 660 В при частоте переменного тока 50 Гц.

Пускатели надежно работают при переменном напряжении в пределах (0,85...1,05) U_n . Допустимые пределы напряжения на катушках постоянного тока (0,5...1,10) U_n .

Электромагнитные реле находят широкое применение в цепях управления автоматизированными электроприводами. По принципу действия и наличию основных элементов они ничем не отличаются от контакторов. Реле коммутируют небольшие токи,

это позволяет упростить контактную систему, отказаться от устройств дугогашения, увеличить число контактов.

Имеется много типов реле, отличающихся размерами, числом контактных пар, номинальным напряжением и родом тока катушек, конструктивным исполнением.

По допускаемой разрывной мощности реле можно разделить на три группы: сильноточные — разрываемая мощность до 500 Вт, промежуточные — до 150 Вт, слаботочные — до 20 Вт. Наиболее распространены реле большой мощности РПЛ, средней — РПУ, малой — РЭН, РСМ, РС.

В устройствах автоматики нашли широкое применение реле с герметизированными магнитоуправляемыми контактами, обладающие высоким быстродействием, надежностью и большим сроком службы. Использование герметизированных контактов (герконов) существенно повышает надежность функционирования и износостойкость аппаратуры, улучшает ее массово-габаритные показатели. В герконовых реле (рис. 7.4) неподвижный контакт 1 и подвижный 2, изготовленный из сплава железа с никелем, помещены внутри герметизированной стеклянной капсулы 3, наполненной инертным газом. Капсула охвачена магнитопроводом-экраном 5. При подаче постоянного напряжения на катушку 4 возникает магнитный поток, который замыкается по магнитопроводу и ферромагнитным контактам. Конец подвижного контакта притягивается к неподвижному и создается цепь тока. При снятии напряжения с катушки магнитный поток исчезает и подвижный контакт, обладающий пружинными свойствами, возвращается в исходное положение — цепь размыкается. Контакты замыкаются и в том случае, если к геркону приблизить магнит.

Выпускаются герконы разных модификаций, в том числе миниатюрные, служащие связующим звеном между полупроводниковыми элементами и электромеханическими контактами. На базе герконов выпускаются разнообразные реле РПГ (промежуточное), РНГ (напряжения), РТГ (токовое), слаботочные РЭС 42... РЭС 86 и другие. Все эти реле допускают большое число срабатываний ($1 \cdot 10^3$... $2 \cdot 10^8$), большую частоту включений в час.

Промежуточные и другие электромагнитные реле выбирают так же, как и контакторы.

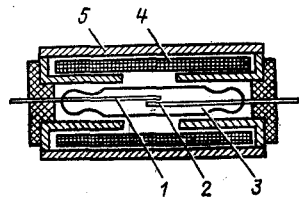


Рис. 7.4. Устройство герконового реле с внешним экраном.

Реле времени обеспечивают необходимую выдержку времени при автоматизированном пуске, работу электрооборудования по заданной программе. Они бывают с часовым механизмом, электродвигательные, пневматические, электромагнитные, конденсаторные, электронные.

Двухпрограммное реле времени 2РВМ применяют в тех случаях, когда необходимо выполнить суточный цикл программ. Такое реле состоит из анкерного часового механизма с автоматическим подзаводом пружины от микродвигателя и программного устройства. Основной частью программного устройства служит диск с двумя рядами отверстий, в которые, согласно программам, ввинчиваются штифты. Во время движения диска штифты воздействуют через рычажные устройства на замыкающие контакты. Последние подают питание на катушки промежуточных реле или катушки электромагнитных пускателей.

Электродвигательные (моторные) реле времени предназначены для работы в схемах автоматического управления электроприводами, когда требуются выдержки порядка десятков, сотен секунд, и для последовательного коммутирования нескольких цепей.

Реле представляет собой электромеханическое устройство с приводом от синхронного микродвигателя. Вал этого двигателя при помощи электромагнитной муфты может соединяться с редуктором, передающим вращение главному валу, с которым связаны упоры, воздействующие на контактную систему. От момента включения муфты до момента срабатывания контактов проходит определенное время, то есть имеется выдержка времени, которая определяется положением упоров, частотой вращения микродвигателя, передаточным коэффициентом редуктора.

При отключении реле от электрической цепи электромагнит сцепления теряет возбуждение, муфта отъединяет вал редуктора от двигателя, а возвратная пружина приводит все контакты в исходное положение.

Недостаток реле — сложность конструкции и малая износостойкость.

Пневматическое реле времени РВП2 (рис. 7.5, а) обеспечивает замедление сигнала в пределах 0,5...180 с и состоит из электромагнитного устройства, воздушного замедлителя, микровыключателя. Катушки реле изготавливают на напряжения 36, 127, 220 В. Задержка регулируется при помощи регулировочной иглы с винтовым приводом.

Пневматический замедлитель используют также в специальных контактных приставках к магнитным пускателям ПМЛ.

Электромагнитное реле времени (рис. 7.5, б) отличается от

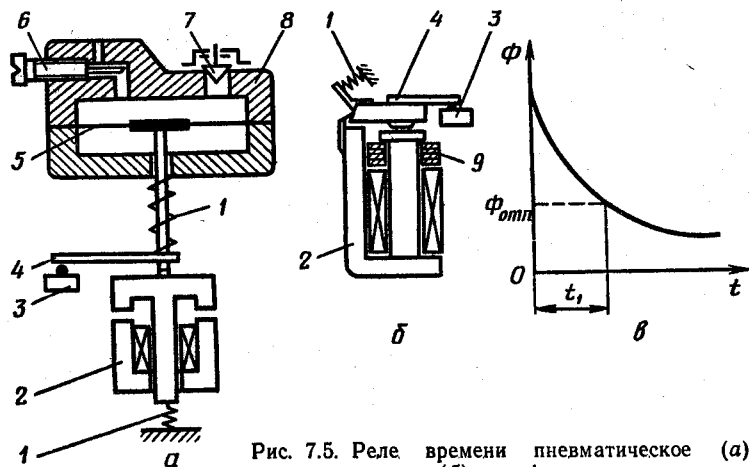


Рис. 7.5. Реле времени пневматическое (а), электромагнитное (б) и график изменения магнитного потока после отключения катушки электромагнитного реле (в): 1 — пружина; 2 — электромагниты; 3 — микропереключатель; 4 — рычаг; 5 — эластичная мембрана; 6 — регулировочный винт с иглой; 7 — обратный клапан; 8 — воздушный замедлитель; 9 — медные шайбы.

обычного реле постоянного тока только наличием гильзы или набора шайб, расположенных на сердечнике.

Для получения задержки прохождения электрического сигнала от десятков долей секунды до нескольких десятков секунд находят все большее распространение конденсаторные устройства. В них используется явление переходного процесса при зарядке или разрядке конденсатора через сопротивление в цепи постоянного тока. Известно, что при этом ток, напряжения на зажимах сопротивления и конденсатора меняются постепенно по экспоненциальной зависимости (рис. 7.6).

Продолжительность задержки срабатывания реле t при таком переходном процессе

$$t = RC \ln U / (U - U_{\text{ср}}),$$

где R — сопротивление реле; C — емкость конденсатора; U — напряжение питания; $U_{\text{ср}}$ — напряжение срабатывания реле.

Новые электронные реле времени серии ВЛ построены на полупроводниковых элементах с применением микросхем, отличаются высокой надежностью работы и широкой номенклатурой исполнения. В реле этой серии применяется явление заряда конденсатора (ВЛ-43, ВЛ-44, ВЛ-48) или принцип пересчета импульсов (ВЛ-45).

В реле ВЛ-43 отсчет времени начинается с момента замыкания управляющего контакта $KV1$ (рис. 7.6, а). Когда напряжение на конденсаторе достигает достаточного уровня, на выходе с усилителя появляется напряжение и электромагнитное реле $KV2$ срабатывает.

На рисунке 7.7 приведена структурная схема реле ВЛ-35, работающего путем счета импульсов, вырабатываемых специальным генератором импульсов G . Реле имеет три канала. При подаче управляющего сигнала на один из входов ($Bx1$, $Bx2$, $Bx3$) генератор начинает выдавать импульсы, которые пересчитываются счетчиком импульсов $Сч$. Когда число импульсов достигает числа, установленного на дешифраторе $Дш$, срабатывает соответствующий выходной усилитель ($У1$, $У2$, $У3$) и выдает питание на исполнительное реле.

При помощи переключательного устройства ПУ можно обеспечивать последовательную или параллельную работу каналов реле.

Реле времени выбирают в соответствии с требуемым диапазоном выдержек времени, напряжением питания, степенью защиты и другими показателями.

Конечные (путевые) переключатели или выключатели предназначены для коммутации цепей управления в зависимости от положения механизма.

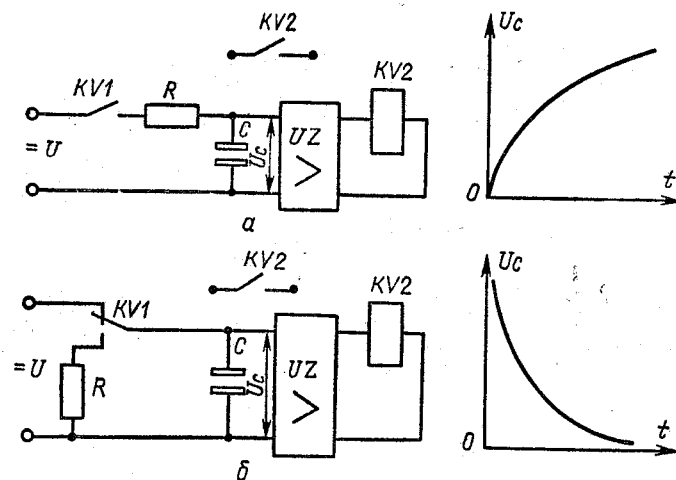


Рис. 7.6. Электрические схемы конденсаторных реле времени: а — с зарядом конденсатора; б — с разрядом конденсатора.

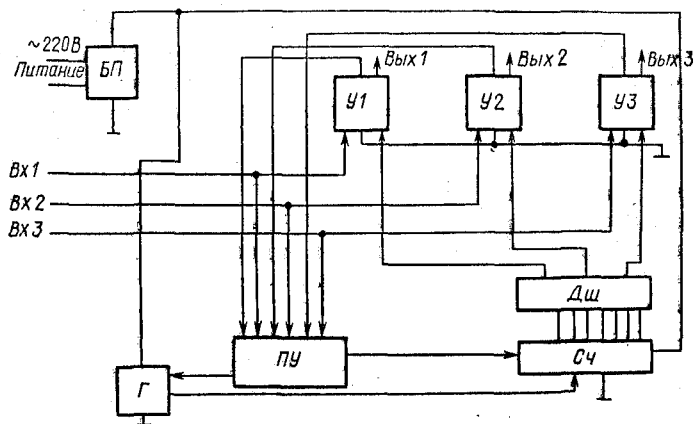


Рис. 7.7 Структурная схема реле времени ВЛ-35:

БП — блок питания; Г — генератор импульсов; ПУ — переключающее устройство; СЧ — счетчик импульсов; Дш — дешифратор; У1, У2, У3 — выходные усилители.

Контактные выключатели бывают прямого (замедленного) и непрямого (мгновенного) действия. Эти переключатели коммутируют ток до 6 А при напряжении переменного тока до 500 В. Широкое применение находят микровыключатели с малым рабочим ходом толкателя при нажатии с небольшим усилием и мгновенно переключаемыми контактами. Микровыключатели коммутируют переменный ток до 2,5 А при напряжении 380 В.

Повышение требований к надежности и долговечности элементов автоматики привело к созданию путевых выключателей с использованием герконов, а также индуктивных, фотоэлектронных и полупроводниковых выключателей.

Более широкое распространение получили бесконтактные путевые переключатели генераторного типа (БВК-24, БВК-321-24, БТП).

В корпусе 1 выключателей БВК-24, БВК-321-24 (рис. 7.8, а) по обе стороны щели расположены два броневых ферритовых сердечника 2. На одном сердечнике намотаны контурная обмотка W_k и обмотка положительной обратной связи $W_{п.с.}$, а на втором — обмотка отрицательной обратной связи $W_{о.с.}$.

Транзисторный генератор помещен в нижнюю часть корпуса и залит эпоксидным компаундом. Электрическая схема генератора БВК-24 приведена на рисунке 7.8, б. Колебательный контур $L_k C_k$ включен в цепь транзистора VT. В начальном состоя-

нии колебания не возникают в генераторе из-за сильной отрицательной обратной связи, создаваемой катушкой $W_{о.с.}$. Когда в цепь корпуса входит управляющий элемент в виде алюминиевой пластинки 3 толщиной 1...3 мм, резко уменьшается индуктивная связь между обмотками W_k и $W_{о.с.}$, в контуре возникают незатухающие колебания с частотой в несколько килогерц, а в коллекторной цепи появляется большой выходной ток. Реле срабатывает. Для стабилизации коллекторного тока при колебаниях температуры применен нелинейный делитель напряжения на резисторах $R1$ и $R2$ и терморезисторе $R3$. Стабилизация напряжения питания, которое равно 24 В, осуществляется стабилитроном $VD1$. Диод $VD2$, включенный в цепь эмиттера, дополнительно стабилизирует ток коллектора.

Такой же принцип используется в выключателе БВК-321-24, отличающемся от БВК-24 наличием усилителя, собранного на транзисторе.

Бесконтактный торцевой переключатель БТП выполнен в цилиндрическом стальном корпусе диаметром 24 мм, длиной 100 мм. Плата с элементами электрической схемы переключателя залита эпоксидным компаундом. На торце платы установлена ферритовая чашка с катушками, выполняющая роль чувствительного элемента. Управляющим элементом в БТП является стальной экран, при приближении которого к чувствительному элементу уменьшается амплитуда автоколебаний генератора, выполненного на транзисторе VT2 (рис. 7.9).

Путевой бесконтактный выключатель с использованием фотодиодов ВПБ-15-32 предназначен для работы в системах авто-

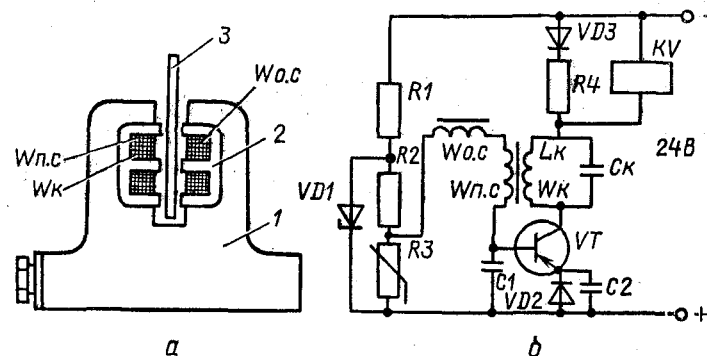


Рис. 7.8. Бесконтактный генераторный путевой выключатель БВК-24: а — общий вид; б — электрическая схема.

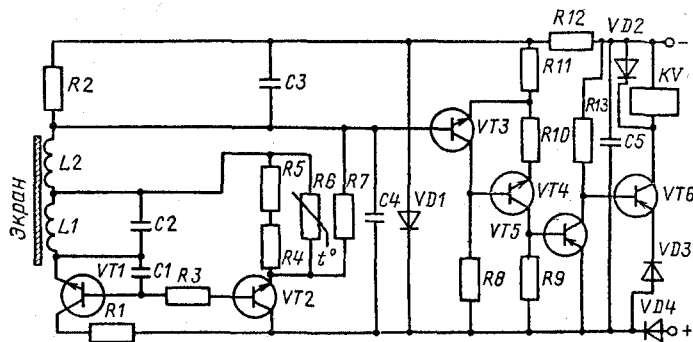


Рис. 7.9. Электрическая принципиальная схема бесконтактного торцевого переключателя серии БТП

матики станков с программным управлением. Конструкция выключателя щелевого типа, позволяет работать при подходе управляющего элемента (непрозрачной пластины) с двух боковых сторон рабочей щели.

Опико-электронная схема выключателя работает на дифференциальном принципе. С одной стороны рабочей щели расположен инфракрасный излучатель, с другой — три фотодиода (два боковых симметричны относительно третьего). Боковые фотодиоды соединены параллельно и подключены к одному из входов дифференциального усилителя, средний подключен к другому входу. При движении управляющего элемента вдоль рабочей щели происходит перекрытие одного из фотодиодов, затем боковой фотодиод постепенно открывается, а средний закрывается. При этом выравниваются напряжения на входах дифференциального усилителя, а в момент их равенства выключатель срабатывает. Эти выключатели отличаются очень малой погрешностью по пути срабатывания (примерно на $5 \cdot 10^{-3}$ мм).

Конечные и путевые выключатели выбирают по степени защиты от воздействия окружающей среды, напряжению, коммутируемому току, износостойкости, допускаемой скорости перемещения, стоимости и другим показателям.

Бесконтактные путевые выключатели обладают более высокой степенью защиты, надежностью в работе, они имеют большую допустимую частоту срабатываний, отличаются электробезопасностью и им следует отдавать предпочтение в сельскохозяйственных электроустановках.

7.4. Бесконтактные устройства в силовых цепях

Все большее применение находят бесконтактные устройства для коммутации тока в силовых цепях электропривода. Их выполняют обычно при помощи тириستоров.

Тиристор — управляемый вентиль, который открывается тогда, когда на его управляющий электрод подан небольшой положительный потенциал (4...8 В) по отношению к катоду. После открывания тиристор пропускает ток даже в том случае, если управляющего напряжения нет. Но в цепи переменного напряжения при переходе анодного тока через нуль тиристор закрывается, если в этот момент отсутствует управляющий ток.

Тиристор пропускает ток только в одном направлении, поэтому в цепях переменного тока тиристоры включают встречно-параллельно. один тиристор пропускает одну полуволну тока, второй — встречную полуволну. Тиристоры изготовляют на токи от 50 мА до 1000 А и напряжение до 1000 В.

На токи до 100 А изготовляют симметричные тиристоры (симисторы), которые пропускают ток в обоих направлениях при подаче управляющего напряжения. На базе тириستоров выпускают пускатели, регуляторы напряжения.

Тиристорный пускатель (рис. 7.10) состоит из силового блока, схемы управления, блока защиты БЗ и источника питания ИП цепей управления. При подаче напряжения в отсутствие аварийных состояний транзистор VT открыт. При нажатии кнопки SB1 получает питание катушка реле KV, контакты которого замыкают цепь управления соответствующими тиристорами. Допустим, что после замыкания контакта KV.1 положительная полуволна напряжения сети приложена к аноду тиристора VS1. Тогда ток управления, опирающийся этот тиристор, пройдет через диод VD1, контакт KV.1, резистор R1, управляющий электрод тиристора VS1. Тиристор открывается и пропускает ток к приемнику, а цепь управления шунтируется. При переходе тока через нуль тиристор VS1 закрывается. Следующая полуволна напряжения будет положительной для тиристора VS2, ток управления протекает через VD2, R1, KV.1 и управляющий электрод тиристора VS2, а тиристор VS2 открывается. Таким образом, к токоприемнику проходит ток прямого и обратного направлений.

Аналогично протекает процесс и в фазах L1, L3.

Блок токовой защиты БЗ воздействует на схему управления реле KV, запирая транзистор VT при увеличении тока свыше допустимых значений.

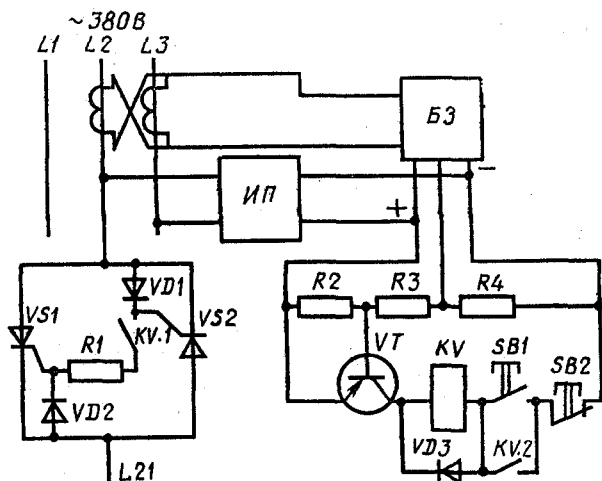


Рис. 7.10. Функциональная схема тиристорного пускателя.

Тиристорные пускатели обладают следующими преимуществами перед электромагнитными: отсутствием искрообразования, высокой механической прочностью и стойкостью к воздействию вибраций, продолжительным сроком службы, бесшумностью в работе, малой мощностью управления. Недостаток тиристорных пускателей — большая стоимость. Применять их эффективно там, где используются в полной мере их хорошие качества: при большой частоте включений, в пожароопасных помещениях, передвижных машинах и т. п. В сельском хозяйстве используют пускатели серий ПТ-16-380, ПТ-40-380 на номинальные токи 16 и 40 А.

7.5. Аппаратура защиты и защитно-отключающие устройства

Электродвигатели должны быть обеспечены защитой от аварийных режимов. С июля 1982 г. начал действовать руководящий технический материал РТМ 105/23/46/70/16—0—164—81 «Методика выбора пускорегулирующей и защитной аппаратуры электроприводов сельскохозяйственных машин». Он регламентирует состав защитной аппаратуры и порядок ее выбора. Согласно этому документу, для

защиты электродвигателей напряжением до 1000 В можно применять плавкие предохранители, автоматические выключатели, тепловые реле, универсальные встроенные температурные устройства и другие аппараты защиты.

Защита необходима для предотвращения повреждения электрооборудования и устранения развития повреждения. Устройства защиты устанавливают как в силовых каналах, так и в цепях управления. Основные виды защит в электроприводе следующие: защита от короткого замыкания в силовой цепи или цепи управления; защита двигателей от перегрузки током, длительно превышающим его номинальное значение; нулевая защита от нежелательных последствий исчезновения и последующего восстановления напряжения в электрической сети; фазочувствительная защита, отключающая трехфазный двигатель при большой несимметрии напряжения или обрыве фазы.

Защитно-отключающие устройства предназначены для защиты обслуживающего персонала в случае прикосновения к токоведущим частям, и защиты изоляции при возникновении тока утечки.

Плавкие предохранители используют для защиты электрооборудования от токов короткого замыкания. Простота устройства и обслуживания, малые размеры, высокая отключающая способность, небольшая стоимость обусловили широкое применение предохранителей. Для защиты электродвигателей применяют пробочные и трубчатые предохранители (прил. 6).

Пробочные предохранители состоят из корпуса с винтовым патроном и завинчивающейся части в виде пробки. Они бывают четырех габаритов — ПРС6, ПРС20, ПРС63 и ПРС100 с номинальными токами на 6, 20, 63 и 100 А соответственно.

Трубчатые предохранители состоят из разборного патрона с плавкой вставкой, контактных стоек, основания. Для гашения дуги патрон в предохранителях типа ПН-2 заполнен кварцевым песком.

В предохранителях типа ПР-2 дугогасительная среда создается газогенерирующим материалом, из которого сделана трубка-патрон. Такие предохранители изготовляют на токи от 6 до 1000 А.

Для защиты тиристорных выпускателей выпускают быстродействующие предохранители с серебряной плавкой вставкой в закрытом патроне с наполнителем (серия НПБ).

Защитные характеристики предохранителей не стабильны — вследствие старения контактов и других причин время срабатывания может быть различным при одном и том же токе (рис. 7.11).

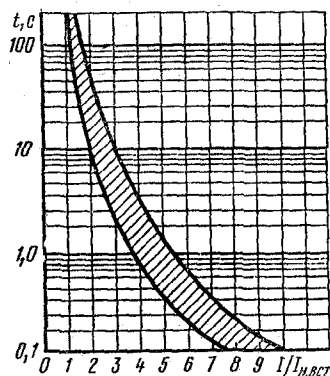


Рис. 7.11. Защитные характеристики предохранителя ПР-2.

Вставку калибруют так, чтобы она перегорела только при токе, превышающем номинальный $I_{н.вст.}$ больше чем на 30...60 %. Когда ток превышает номинальный в 10 раз и более, вставка расплавляется за десятые и сотые доли секунды. Таким образом, плавкие предохранители хорошо защищают цепи при коротких замыканиях.

Предохранители выбирают в соответствии с номинальным током плавкой вставки для защиты короткозамкнутых асинхронных электродвигателей выбирают так, чтобы вставка

не перегорала при пуске. Из рисунка 7.11 видно, что двухкратную перегрузку вставка выдерживает примерно 10 с, трехкратную — 1 с. Продолжительность разгона электродвигателя в электроприводе находится обычно в этих пределах. Поэтому для ответвления к одиночному короткозамкнутому электродвигателю номинальный ток плавкой вставки $I_{н.вст.}$ предохранителя должен удовлетворять следующему условию:

$$I_{н.вст.} \geq I_{пуск}/2,5,$$

где $I_{пуск}$ — пусковой ток электродвигателя.

Для ответвлений к одиночным электродвигателям с тяжелыми условиями пуска, то есть когда длительность пускового периода больше 2...2,5 с или пуски часто повторяются, должно быть соблюдено следующее условие:

$$I_{н.вст.} \geq I_{пуск}/1,6.$$

Учитывая, что пусковой ток короткозамкнутых двигателей в 6...7 раз больше его номинального I_n , для двигателей при легком пуске должно быть $I_{н.вст.} \approx 2,5I_n$, а для двигателей с тяжелыми условиями пуска $I_{н.вст.} \approx 4I_n$.

Следовательно, предохранители не отключают короткозамкнутый двигатель даже при 2,5-кратных и больших перегрузках, то есть не являются средством защиты от перегрузок. Они защищают ответвления линии и аппараты, находящиеся за ними, только от длительного воздействия токов короткого замы-

кания, а также могут отключать заклиненный электродвигатель через 10 и более секунд.

Автоматические выключатели (автоматы) предназначены для автоматического размыкания электрической цепи при возникновении в ней перегрузок и коротких замыканий. Их применяют также для нечастых включений и отключений силовых цепей при помощи соответствующих кнопок или рукоятки. В цепях трехфазного переменного тока применяют трехполюсные автоматы, в сетях постоянного и однофазного тока — двух- и однополюсные.

Все автоматы имеют электромагнитные расцепители, которые срабатывают при коротком замыкании. Автоматы с комбинированным расцепителем имеют, кроме того, электротепловой расцепитель, действующий при относительно небольших, но продолжительных перегрузках.

Автоматические выключатели серий АЕ2000 (прил. 5) и ВА12 выпускают в одно-, двух- и трехполюсном исполнении с комбинированными и электромагнитными расцепителями.

Устройство автомата с комбинированным расцепителем показано на рисунке 7.12.

Вручную включают и отключают автомат при помощи рукоятки 4. Для включения автомата рукоятку переводят вниз, при этом деталь 3 поворачивается и своим нижним концом входит в зацепление с зубом 6, удерживающего рычага 7. Затем рукоятку 4 перемещают вверх. При этом под действием пружины 5 рычаги 11 и 12 перемещаются вверх по отношению к нейтральному положению. Автомат включается, и ток течет через замкнутые контакты 13 и 14, гибкую связь 10, катушку электромагнитного расцепителя и нагревательное устройство электротеплового расцепителя 8.

Автоматическое отключение при коротком замыкании происходит вследствие того, что якорь электромагнитного расцепителя под действием силы F_m притяги-

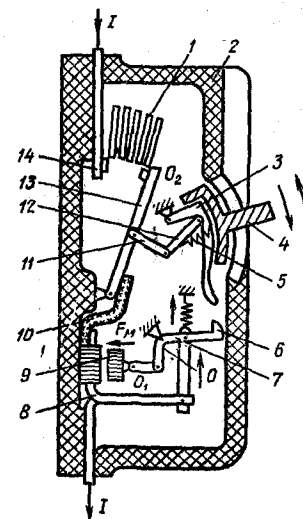


Рис. 7.12. Устройство автоматического выключателя АЕ2050.

вается и зуб 6 выходит из зацепления с деталью 3. Пружина 5 поворачивает деталь 3, при этом рычаги 11 и 12 проходят через нейтральное положение, автомат отключается. Аналогично происходит отключение автомата при токах перегрузки. При этом свободный конец биметаллического расцепителя 8 перемещается вниз и зуб 6 выходит из зацепления с деталью 3.

Ручное отключение автомата происходит при перемещении рукоятки 4 вниз. При этом конец пружины 5 также перемещается вниз, а рычаги 11 и 12 проходят через нейтральное положение, отключая контакты.

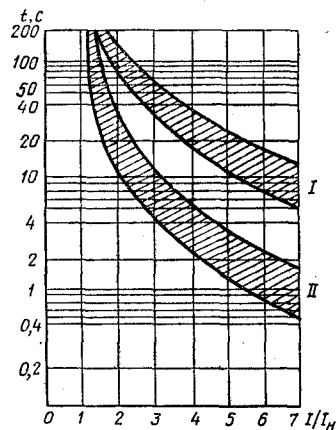
Автоматы могут быть снабжены расцепителями минимального напряжения, отключающими автомат при падении напряжения в сети ниже допустимого значения, а также расцепителями дистанционного отключения, срабатывающими и отключающими автомат путем подачи напряжения на его катушку.

Возникающая при размыкании контактов автомата электрическая дуга гасится в дугогасительной решетке 1. Повышение давления внутри замкнутого объема, образованного изоляционным основанием и крышкой 2, способствует гашению дуги.

Автоматические выключатели характеризуются номинальным током автомата I_n , номинальным током комбинированного расцепителя $I_{н.а}$, током срабатывания (отсечки) электромагнитного расцепителя $I_{э.р}$, предельным током отключения $I_{пр}$ (динамической устойчивостью).

Электромагнитный расцепитель максимального тока срабатывает практически мгновенно при достижении тока отсечки (отсечка происходит мгновенно при десятикратном токе и более), а время срабатывания теплового расцепителя при перегрузках, меньших тока отсечки, определяется защитными характеристиками. На рисунке 7.13 приведены такие характеристики для автомата АЕ2050, а также показано поле перекрытия, учитывающее фактический разброс срабатывания при регулировании расцепителей, которое можно выполнять в пределах $(0,9...1,15) I_{н.а}$ при помощи регулировочного винта.

Рис. 7.13. Защитные характеристики автоматического выключателя АЕ2050 при срабатывании с холодного (I) и горячего (II) состояния.



Автоматические выключатели выбирают по типу, номинальному току автомата I_n комбинированного расцепителя $I_{н.а}$ и току динамической устойчивости $I_{пр}$.

По сравнению с плавкими предохранителями автоматические выключатели, являясь аппаратами многократного действия, обладают определенными достоинствами: при их использовании сокращаются простои оборудования, так как повторно включить автомат проще и быстрее, чем заменить предохранитель; в трехфазных цепях они отключают одновременно все линии, что исключает неполнофазный режим.

Электротепловые реле предназначены для защиты электродвигателей от недопустимого перегрева при длительных перегрузках. В реле типов РТТ и РТЛ в отличие от остальных предусматриваются температурная компенсация, механизм ускоренного срабатывания при обрыве фазы и дополнительные замыкающие контакты.

Защитные характеристики тепловых реле аналогичны характеристикам электротепловых расцепителей автоматов. При токе $1,2 I_{н.у}$ и меньше реле не срабатывает, при полторакратном — срабатывает за 20 с, при шестикратном — за 2 с, если нагреватели предварительно были нагреты номинальным током. При таких же перегрузках время срабатывания увеличивается соответственно до 150 и 20 с, если предварительно нагрева не было.

Электротепловые реле выбирают так же, как электротепловые расцепители автоматов.

Для идеальной защиты электродвигателей защитные характеристики реле и характеристики нагрева электродвигателя должны согласовываться так, чтобы двигатель отключался, когда его температура достигнет предельно допустимой.

В таблице 7.1 приведены оптимальные значения продолжительности срабатывания защиты, необходимые для обеспечения расчетного срока службы электродвигателей мощностью до 50 кВт, при разных перегрузках. Там же приведены усредненные значения продолжительности срабатывания тепловых реле в зависимости от тока перегрузки.

Из сравнения приведенных характеристик видно, что даже усовершенствованная электротепловая защита не может обеспечить оптимальную продолжительность отключения перегрузок. Например, при полторакратной нагрузке реле отключает двигатель через 20...150 с, хотя это можно сделать через 3...4 мин, наоборот, при шестикратном пусковом токе электродвигатель может опасно перегреться за 10 с, а холодное реле отключает его только через 30 с.

7.1. Защитные характеристики тепловых реле

Кратность тока перегрузки I/I_n	Продолжительность срабатывания защиты, с		
	оптимальная	с горячего состояния	с холодного состояния
1,1	1800	Не срабатывает	Не срабатывает
1,2	700	То же	То же
1,3	300	120	400
1,4	150	30	200
1,5	120	20	150
1,6	90	17	120
1,7	70	12	90
1,8	60	10	85
2,0	50	8	80
60 и более	5	2	30

Универсальная встроенная температурная защита УВТЗ.

Часть электродвигателей сельскохозяйственной модификации серии 4А выпускают со встроенными в обмотки датчиками температуры. В качестве датчиков используют позисторы-терморезисторы, проводимость которых при температуре 105 °С (позистор СТ14-15) или 130 °С (позистор СТ14-1А) скачкообразно уменьшается.

В лобовые части каждой фазной обмотки, которые обычно имеют наибольшую температуру, встраивают три последовательно соединенных позистора.

Разработано несколько модификаций устройств защиты УВТЗ: УЗ-1А, УВТЗ-1, УВТЗ-1М и др.

УВТЗ-1М (рис. 7.14) состоит из трех позисторов R_m подключаемых к зажимам 5 и 6 управляющего устройства.

Управляющее устройство смонтировано в пластмассовом корпусе и имеет 6 выходных зажимов. Устройство содержит узел питания, усилитель и выходное реле KV . Узел питания подключается к напряжению ~220 В через зажимы 1 и 4. Он состоит из диодного моста $VD1...VD4$, ограничивающих резисторов $R1, R2, R4$ и стабилитронов $VD5, VD6$. Усилитель выполнен на транзисторах $VT1...VT4$ и тиристоре VS .

Схема УВТЗ-1М работает следующим образом. Если температура обмотки электродвигателя ниже предельно допустимого значения, то сопротивление позисторов мало и напряжение, поступающее на базу транзистора $VT4$, будет больше значения порога срабатывания усилительного каскада $VT3, VT4$, определяемого делителями $R6, R7, R8$. В этом случае транзистор $VT4$ открыт, транзистор $VT1$ и тиристор VS — закрыты, а реле KV обесточено. При увеличении температуры обмоток электродвигателя

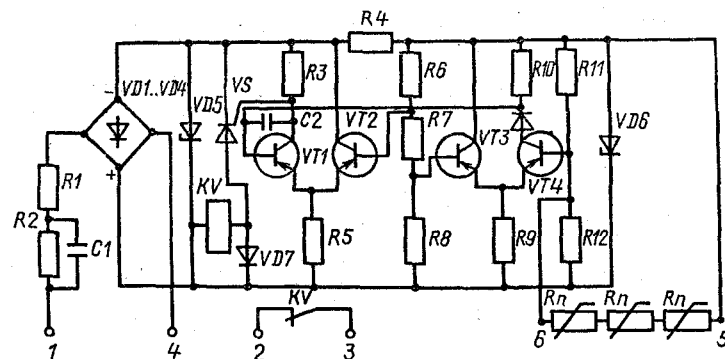


Рис. 7.14. Принципиальная электрическая схема универсальной встроенной температурной защиты УВТЗ-1М.

до критической температуры позисторов потенциал, поступающий на базу транзистора $VT4$, уменьшается. Тогда транзистор $VT4$ закрывается, а транзистор $VT1$ открывается. Выходное реле KV через тиристор VS получает питание и своими размыкающими контактами размыкает цепь катушки электромагнитного пускателя, который отключает электродвигатель от сети. УВТЗ-1М осуществляет также самоконтроль — отключает электродвигатель при возникновении неисправности датчиков-позисторов. Универсальность описанного реле состоит в том, что оно может быть применено для электродвигателя любой мощности.

Недостатки таких устройств заключаются в том, что необходимо иметь двигатели со встроенными датчиками, подводить к электродвигателю от пульта два дополнительных провода. Реле недостаточно быстро отключает незапустившийся или заклинивший двигатель, а также при его работе в неполнофазном режиме питания.

Фазочувствительные устройства защиты электродвигателей ФУЗ-М и ФУЗ-У. На рисунке 7.15, а показана схема такой усовершенствованной защиты типа ФУЗ-У. В устройстве объединены фазовый, токовый и температурный принципы выявления аварийных режимов. ФУЗ-У содержит фазовращательные трансформаторы тока $TV1$ и $TV2$, фазовый кольцевой детектор $VD1...VD4$ и $R1...R4$, исполнительное реле KV , управляемый выпрямитель с температурной коррекцией $VS1$ и $R5...R9$, зарядно-разрядную цепь $R10, VD7, R11, R12$, накопительный конденсатор $C1$, пороговые элементы $VT, VD6, R13, C2, VD5$ и $R14$, тиристор $VS2$.

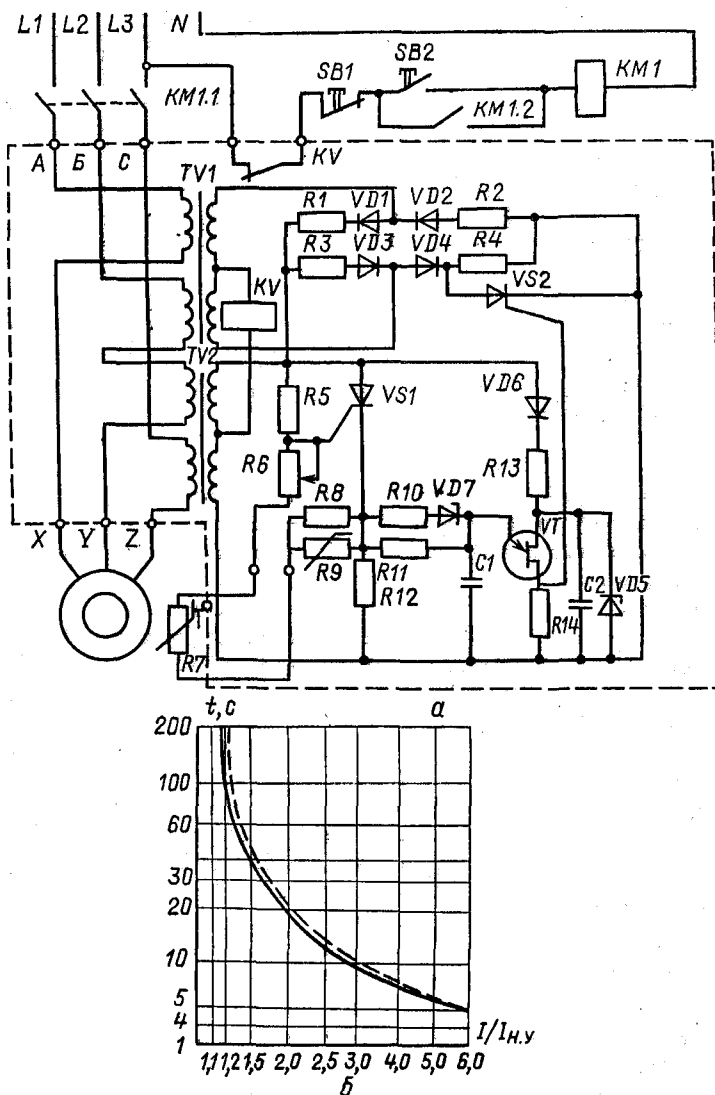


Рис. 7.15. Универсальное устройство защиты ФУЗ-У:

а — электрическая схема устройства и его подключения; б — защитные характеристики.

Схема работает следующим образом. При работе электродвигателя в недопустимом режиме (на двух фазах) угол сдвига фаз между напряжениями вторичных обмоток трансформаторов $TV1$, $TV2$ становится равным 0° или 180° , вследствие чего ток в реле KV резко возрастает, реле срабатывает и своим размыкающим контактом отключает электромагнитный пускатель управления электродвигателем.

Для защиты электродвигателя от перегрузки контролируют напряжение вторичной обмотки трансформатора тока $TV2$, которое пропорционально току нагрузки. При нормальной нагрузке и температуре электродвигателя тиристор управляемого выпрямителя $VS1$ закрыт и напряжения на конденсаторе $C1$ нет. При определенной перегрузке, когда измеряемое напряжение достигает порога открывания тиристора $VS1$, установленного потенциометром $R6$, начинается зарядка конденсатора $C1$ через тиристор и зарядный резистор $R11$. Угол открывания тиристора зависит от измеряемого напряжения, поэтому продолжительность зарядки конденсатора меньше при больших перегрузках. Для того, чтобы уменьшить продолжительность срабатывания устройства при очень больших перегрузках (заклинивание ротора электродвигателя), зарядный резистор $R11$ шунтирован дополнительной цепочкой $R10$, $VD7$, причем $R10 < R11$. При большой перегрузке стабилитрон $VD7$ «пробивается» и зарядка конденсатора проходит через параллельно включенные резисторы $R10$ и $R11$, обеспечивая задержку по времени не более 5...6 с. Когда напряжение на накопительном конденсаторе достигает напряжения включения однопереходного транзистора VT , конденсатор $C1$ быстро через него разряжается и импульсом тока открывает тиристор $VS2$, при этом получается разбаланс моста кольцевого детектора, появляется ток в катушке KV и происходит отключение двигателя.

Установка позистора $R7$ на корпус электродвигателя позволяет обеспечить дополнительную защиту на случай нарушения охлаждения электродвигателя. При опасном перегреве электродвигателя сопротивление позистора резко возрастает, повышается потенциал базы тиристора $VS1$, он полностью открывается, конденсатор $C1$ быстро заряжается и происходит отключение двигателя.

Терморезистор $R9$ (с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления) установлен в устройстве защиты и предназначен для стабилизации защитной характеристики при колебаниях температуры окружающей среды. На рисунке 7.15, б показаны защитные характеристики ФУЗ-У при температурах окружающей среды 40°C (сплошная линия) и 20°C (пунктир-

ная линия). Из характеристик видна высокая температурная стабильность устройства.

Достоинства ФУЗ-У следующие: быстрое реагирование на прямые аварийные режимы, такие как обрыв фаз и незапускание (заклинивание) электродвигателя; стабильность защитных характеристик; простота его подключения и регулировки реле.

Фазочувствительные устройства защиты ФУЗ-М, ФУЗ-У, разработанные в Латвийской сельскохозяйственной академии, изготовляют в пяти типоразмерах с диапазоном рабочих токов электродвигателей от 1 до 32 А.

Эти устройства можно выбирать в соответствии с номинальным током электродвигателя, пользуясь таблицей 7.2, в которой приведены данные наиболее распространенных устройств ФУЗ-М, отличающихся от ФУЗ-У только отсутствием позистора.

7.2. Некоторые данные фазочувствительных защит ФУЗ-М и ФУЗ-У

Типоразмер устройства	Диапазон рабочего тока, А	Номинальный ток электродвигателя (А) при установке рукоятки переменного резистора R_6 (рис. 7.15.) на делении			
		-0,35	-0,3	-0,2	-0,1
ФУЗ-М1	1...2	0,98	1,05	1,2	1,35
ФУЗ-М2	2...4	1,95	2,1	2,4	2,7
ФУЗ-М3	4...8	3,9	4,2	4,8	5,4
ФУЗ-М5	16...32	15,6	16,8	19,2	21,6

Продолжение табл. 7.2.

Типоразмер устройства	Диапазон рабочего тока, А	Номинальный ток электродвигателя (А) при установке рукоятки переменного резистора R_6 (рис. 7.15.) на делении				
		1,0	+0,1	+0,2	+0,3	+0,35
ФУЗ-М1	1...2	1,5	1,65	1,8	1,95	2,03
ФУЗ-М2	2...4	3	3,3	3,6	3,9	4,1
ФУЗ-М3	4...8	6	6,6	7,2	7,8	8,1
ФУЗ-М5	16...32	24	26,4	28,8	31,2	32,4

Есть и другие модификации ФУЗ, в том числе не допускающие включения электродвигателя при пониженном сопротивлении изоляции обмоток. Такие модификации рекомендуют для защиты электродвигателей погружных насосов.

Устройства защитного отключения ЗОУ представляют собой высокочувствительное реле, способное отключить токоприемник даже при незначительном токе утечки при повреждении изоляции одной или двух фаз или прикосновении людей и животных к токоведущей части. Промышленность выпускает установки типа ЗОУП-25, РУД-022, РУД-024, РУД-0543, ИЭ-981342 и др.

В комплект реле РУД-05-УЗ (рис. 7.16) входит датчик тока утечки UA с дифференциальным трансформатором тока T и резистором R_1 , блок усиления P с исполнительным реле KV . Усилительный блок состоит из следующих основных элементов: конденсатора-фильтра C_1 , блока предварительного усиления, выполненного на операционном усилителе A , диода VD_3 , элемента задержки R_7 , C_3 , диода VD_4 для обеспечения обратной связи и исключения вибрации реле, выходного усилителя на транзисторе VT . Блок питания состоит из трансформатора TV , выпрямительного моста VS , емкости C_4 , стабилизатора VD_6 . Кнопка SB_1 служит для проверки исправности реле.

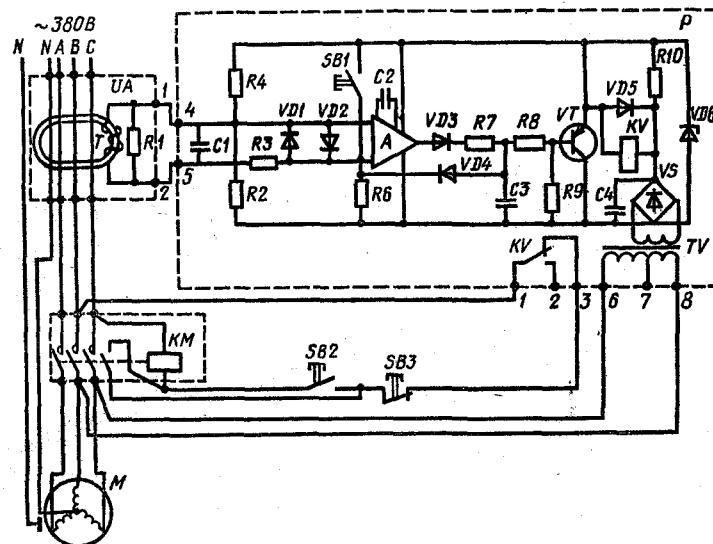


Рис. 7.16. Электрическая принципиальная схема защитно-отключающего устройства РУД-05-УЗ и его подключения:

UA — датчик тока; T — дифференциальный трансформатор; P — усилительный блок; KM — электромагнитный пускатель; M — электродвигатель.

Реле работает следующим образом. При отсутствии утечки тока сумма токов во всех проводах, пропущенных через окно трансформатора *T*, равна нулю, во вторичной обмотке ЭДС не наводится, на выходе усилителя *A* напряжения нет, конденсатор *СЗ* разряжен, транзистор *VT* закрыт, выходное реле *KV* обесточено. При появлении тока утечки сумма токов в проводниках, пропущенных в окно датчика, не равна нулю. В магнитопроводе, охватывающем проводники, появляется нескомпенсированный магнитный поток, вызывающий во вторичной обмотке ЭДС и ток. На вход усилителя *A* подается напряжение с резистора *R1*. Если ток утечки превышает уставку реле, напряжение на выходе усилителя *A* резко возрастает, транзистор *VT* открывается и выходное реле срабатывает. Усилительный блок соединяется с датчиком через зажимы 1—2, 4—5, блок питания подключается к напряжению 380 В через зажимы 6—8. Контакты выходного реле 1—3 включены в цепь катушки электромагнитного пускателя *KM*.

Основные технические характеристики РУД-05-УЗ: номинальный ток нагрузки защищаемых электроустановок — до 100 А, номинальное напряжение — 380 или 220 В, уставки тока срабатывания — 30, 100, 300 мА, продолжительность срабатывания не более 0,06 с.

Устройство ЗОУП-25 монтируется совместно с электромагнитным пускателем ПМЕ-211 в одном защитном корпусе. В него встроены трансформатор токов нулевой последовательности, усилительный блок с выходным реле, размыкающие контакты которого включены в цепь катушки пускателя. ЗОУП-25 предназначен для токоприемников до 25 А при питании их от трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью, срабатывает при токе утечки 10 мА за 0,05 с. Кнопки управления и проверки расположены на крышке корпуса. ЗОУП отличается от РУД не только мощностью, но и тем, что в окно его дифференциального трансформатора пропускается 3 провода, а в РУД — 4 провода. РУД удобнее для защиты четырехпроводных ответвленных линий, так же как устройство ИЭ-98. Устройство ИЭ-98 предназначено для установок мощностью до 4 кВт при номинальном напряжении трехфазной сети 380/220 В, установке защиты при однофазной утечке 0,01 А, продолжительности срабатывания защиты не более 0,05 с.

Все аппараты защиты выбирают в соответствии с условиями внешней среды, которые регламентируются Правилами устройства электроустановок и Правилами техники безопасности.

7.6. Классификация систем и схемы автоматического управления электроприводами

Классификация систем управления. Управление — это совокупность воздействий на управляющие устройства для обеспечения пуска, работы и остановки электропривода. В некоторых случаях в процессе работы регулируют скорость, выполняют реверсирование, поддерживают постоянной заданную скорость, мощность или другую какую-либо величину. Если пуск электропривода, регулирование скорости и торможение выполняют при помощи аппаратов ручного управления, то такое управление называется неавтоматическим. Электропривод, управляемый таким способом, называется *неавтоматизированным*. Если же при управлении электроприводом человек участвует только в подаче начального управляющего воздействия, а остальные действия по управлению осуществляют различные аппараты (реле, электромагнитные пускатели, различные регуляторы), то такой электропривод называется *автоматизированным*. Электропривод, в котором все операции по управлению осуществляют автоматические аппараты и устройства, а участие человека предусматривается только в надзоре за электромеханической системой, называется *автоматическим*. Управление автоматизированным и автоматическим электроприводом осуществляет система управления, которая во взаимодействии с двигателем, преобразователями и автоматическими управляющими устройствами называется *электромеханической автоматической системой управления электроприводом (АСУЭП)*.

По числу используемых для управления электроприводом сигналов (каналов информации) различают два вида систем управления: по разомкнутому и замкнутому циклам.

Система электропривода, управляемая по разомкнутому циклу, называется разомкнутой. Процесс управления по этой системе характеризуется отсутствием обратных связей от регулируемой величины (скорости, момента, тока) и влияния регулируемой величины на управляющее воздействие.

Системы, управляемые по замкнутому циклу и называемые замкнутыми, одновременно используют два вида информации. Задающая информация сравнивается с информацией обратной связи, и в зависимости от значения и знака результирующего сигнала по каналу управления вырабатывается регулирующее воздействие на электропривод таким образом, чтобы свести отклонение к минимуму. Качество и точность работы такой системы намного выше, чем разомкнутой.

По виду сигналов информации и управления АСУЭП разделяются на непрерывные и дискретные. По виду усилительных элементов в управляющем устройстве различают системы электропривода релейно-контактные, бесконтактные и серводвигательные.

Все разнообразие способов и систем управления электроприводами подчинено выполнению определенных функций, и их можно классифицировать по этим признакам. К основным функциям можно отнести следующие:

- 1) управление процессами пуска, торможения и реверсирования электроприводов;
- 2) поддержание постоянства (стабилизация) заданной скорости или тока в статическом и динамическом режимах;
- 3) отработку заданной программы;
- 4) выбор целесообразных режимов работы.

К функциям автоматики привода относятся также защиты; блокировки, исключающие возникновение аварий при неправильных воздействиях операторов; ограничение движения механизмов в конечных положениях; сигнализация о ходе технологического процесса или исправностях и неисправностях механизмов.

При автоматическом управлении электроприводов применяют реле и первичные преобразователи времени, скорости, тока, путевые переключатели и соответственно подразделяют управление по принципу времени, принципу скорости и т. д.

Электрические схемы электроприводов и других установок подразделяются на следующие типы: структурные, функциональные, принципиальные (полные), соединений (монтажные), подключений, общие, расположения, совмещенные. В конструкторской документации они кодируются буквой Э, обозначающей вид схемы, и цифрами: структурная 1, функциональная 2, принципиальная 3, соединений 4, подключений 5, общая 6, расположения 7, совмещенная 0 (ГОСТ 2.701—84).

Электрические схемы выполняют по правилам, которые установлены ГОСТ 2.702—75.

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, и все электрические связи между ними. Она определяет полный состав элементов и связей между ними и дает полное представление о принципах работы установки, являясь важнейшим техническим документом.

Элементы на принципиальной схеме изображают в виде графических обозначений, установленных в стандартах Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Элементы и устройства изображают на схемах совмещенным или разнесенным способом. При совмещенном способе составные части элементов или устройств изображают на схеме в непосредственной близости друг от друга. При разнесенном способе составные части элементов и устройств или отдельные элементы устройств изображают на схеме в различных местах таким образом, чтобы отдельные цепи изделия были изображены наиболее наглядно.

При выполнении схем рекомендуется пользоваться строчным способом. При этом графические обозначения элементов или их составных частей, входящих в одну цепь, изображают последовательно друг за другом по прямой, а отдельные цепи — рядом, образуя параллельные (горизонтальные или вертикальные) строки.

Каждый элемент или устройство, входящие в изделие и изображенные на схеме, должны иметь буквенно-цифровое позиционное обозначение в соответствии с требованиями ГОСТ 2.710—81.

Рассмотрим типовую схему управления асинхронными трехфазными электродвигателями. На рисунке 7.17 приведена электрическая схема пуска со звезды на треугольник, которая осуществляется по принципу времени двумя пускателями и промежуточным реле *KV*. Такой пуск возможен, если статический момент сопротивления при пуске невелик, а двигатель имеет номинальное напряжение 660/380 В. После включения автомата *QF* при нажатии кнопки *SB2* получают питание катушки промежуточного реле *KV*, реле времени *KT* и пускателя *KM1*. Пускатель *KM1* своими контактами *KM1.1* соединяет концы обмоток двигателя *C4, C5, C6* в одну общую точку и двигатель начинает работать, будучи соединенным в звезду. При этом напряжение на обмотках в $\sqrt{3}$ раз меньше номинального, а пусковой ток (линейный) в три раза меньше того, который был бы при соединении обмоток в треугольник. Через установленное время реле *KT* размыкает контакт *KT.1* и замыкает контакт *KT.2*. Происходит отключение пускателя *KM1* и включение пускателя *KM2*. Двигатель пересоединяется в треугольник и ра-

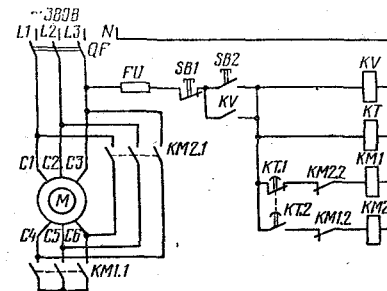


Рис. 7.17. Электрическая принципиальная схема пуска электродвигателя с переключением со звезды на треугольник по принципу времени.

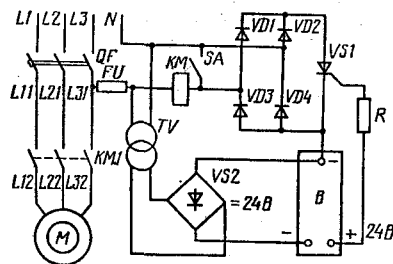


Рис. 7.18. Схема управления электродвигателем с бесконтактной цепью управления.

ботает при номинальном напряжении на обмотках. Чтобы при этом переключении толчок тока был небольшим, выдержка реле времени должна быть равной продолжительности разгона двигателя или больше нее.

Бесконтактное управление электроприводами. Электрические контакты — ненадежные элементы электрической цепи, так как возникающая между ними электрическая

дуга при размыканиях постепенно разрушает и ограничивает срок их службы. Среда, насыщенная водяными парами, едкими газами, тряска и вибрация, которые нередки в сельскохозяйственном производстве, также способствуют преждевременному выходу из строя электромеханических аппаратов. Кроме того, в пожароопасных помещениях, к которым относятся основные производственные сельскохозяйственные постройки, нельзя устанавливать устройства в обычном исполнении с искрящимися контактами. Следовательно, контактные датчики, путевые и конечные выключатели, которые необходимо располагать непосредственно в производственных помещениях, применять нельзя.

Опыт эксплуатации показывает, что особенно велико число отказов у контактных путевых выключателей, реле времени, промежуточных. Поэтому в условиях сельскохозяйственного производства перспективны бесконтактные цепи управления, выполнение которых требует меньше дополнительных затрат, а также полностью бесконтактные схемы электроприводов. В этих схемах обычно используют тиристорные коммутаторы.

На рисунке 7.18 показана цепь управления электромагнитным пускателем с применением тиристорного коммутатора.

Напряжение бесконтактного конечного выключателя (или другого преобразователя, регулятора температуры, влажности, освещенности) вместо реле подается на управляющий электрод тиристора $VS1$ и цепь катушки пускателя KM оказывается замкнутой. Если напряжение на выходе преобразователя исчезнет, например, пластина выведется из паза бесконтактного конечного выключателя B , тиристор $VS1$ закроется и при первом прохождении пульсирующей полуволны напряжения через нуль ток в катушке исчезнет. Выключатель SA служит для наладочных работ и ручного управления, резистор R — для ограничения

тока управления. На схеме показаны также автоматический выключатель QF и блок питания выключателя B , состоящий из трансформатора TV и выпрямительного моста $VS2$.

Такая схема может быть использована, например, для автоматизации безбашенной водокачки, если управляющую пластинку выключателя B закрепить на подвижной части датчика давления.

Если вместо электромагнитного пускателя применить тиристорный, используя напряжение на выходе первичных преобразователей для управления, то получится полностью бесконтактная схема.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По каким показателям различают аппараты управления? 2. Какие бывают контакты? 3. Какие приборы используют взамен контактов? 4. Какие принципы используют в реле времени? 5. Какие аппараты применяют при автоматическом управлении? 6. Какие устройства используют для защиты электродвигателей? 7. Какие функции выполняют устройства автоматического управления? Какие вы знаете виды электрических схем? По какому принципу осуществляется автоматизация торможения противовключением? 10. В каких случаях применяют бесконтактные управления? 11. Какими преимуществами обладают замкнутые системы автоматического управления и регулирования?

Практическое занятие № 4. ВЫБОР АППАРАТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕПАРАТОРА

Выбрать аппаратуру управления и защиты для электропривода сепаратора, используя результаты практического занятия № 2.

1. Выписать номинальные данные выбранного ранее электродвигателя 4А 100Л4УЗ: $P_n = 4$ кВт, $n_n = 1430$ мин⁻¹.
2. Обосновать состав пусковой и защитной аппаратуры.
3. Выбрать эти аппараты по номинальным данным электродвигателя.
4. Определить номинальные токи уставки расцепителя с учетом времени переходного режима.
5. Проверить, пользуясь приведенными защитными характеристиками, соответствие выбранного электротеплового расцепителя пусковому режиму электродвигателя, когда $I = 6I_n$, и периоду разгона барабана, когда $I_n = 1,8I_n$.
6. Выбрать ЗОУ, например типа ИЭ98, и расчетом показать эффективность защиты этим аппаратом от поражения током человека. При этом, по опытным данным, можно принять, что при продолжительности действия 0,1 с для человека допустим ток 0,5 А (для коров 0,9 А). Если человек прикоснется к оголенному проводу при фазном напряжении $U_\phi = 220$ В, то через него пройдет ток $I_\phi = 1,075 \cdot 220 / 1000 = 0,2$ А при

наиболее неблагоприятных условиях, когда сопротивление человека $R_h = 1000 \text{ Ом}$, а напряжение на $7,5\%$ выше номинального.

Такой ток утечки устройство ИЭ93 отключит за время менее $0,05 \text{ с}$, так как ток утечки $0,01 \text{ А}$ оно отключает за $0,05 \text{ с}$.

Аналогично можно выполнить расчет для коров и свиней, сопротивление тела которых 500 и 300 Ом , а допустимый ток 1 А при продолжительности действия до $0,1 \text{ с}$.

Практическое занятие № 5. ВЫБОР АППАРАТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Составить принципиальную электрическую схему пуска асинхронного электродвигателя с переключением со звезды на треугольник и выбрать аппаратуру управления.

1. Определить продолжительность пуска при включении двигателя по схеме «звезда», пользуясь исходными данными: моментом инерции системы, моментом сопротивления при пуске, паспортными данными электродвигателя.

2. Выбрать реле времени с достаточной выдержкой времени.

3. Выбрать электромагнитные пускатели с учетом того, что по их главным контактам будет проходить фазный ток.

4. Начертить схему пуска с учетом характера действия контактов реле и их числа, а также используя два или три электромагнитных пускателя.

Лабораторная работа № 2. ИЗУЧЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПУСКАТЕЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОГО РЕЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы. Изучить устройство и основные особенности электромагнитных аппаратов переменного и постоянного тока

Программа работы. 1. Ознакомиться с конструкциями электромагнитных пускателей, контакторов и реле постоянного тока, имеющих в лаборатории.

2. Провести опыты по определению напряжений срабатывания, коэффициента возврата, продолжительности срабатывания этих аппаратов.

3. Определить опытным путем зависимость тока, потребляемого катушками, от напряжения и значения воздушного зазора δ .

Содержание отчета. Включить в отчет эскизы схемы аппаратов, их технические данные, результаты опытов, заключение об особенностях электромагнитных аппаратов переменного и постоянного тока, графики зависимости $I = f(U)$; $I = \varphi(\delta)$.

Лабораторная работа № 3. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ИСПЫТАНИЕ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Цель работы. Изучить конструкцию и основные параметры защитных устройств, освоить методику снятия их защитных характеристик.

Программа работы. 1. Ознакомиться с конструкциями предохранителей, электротепловых реле, автоматических выключателей, датчиков

и усилительных устройств УВТЗ, фазочувствительных и защитно-отключающих устройств, имеющихся в лаборатории, и по плакатам.

2. Снять защитную характеристику одного из имеющихся устройств.

3. По снятой характеристике определить номинальный ток данной установки и параметры электродвигателя, для которого подходит это устройство.

Содержание отчета. Включить в отчет эскизные схемы тепловых расцепителей, технические данные исследуемого устройства, опытные данные и графические зависимости.

Лабораторная работа № 4. ИЗУЧЕНИЕ И НАЛАДКА СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Цель работы. Изучить схему пуска и торможения двигателя с короткозамкнутым ротором, научиться собирать схему и выполнять наладку.

Программа работы. 1. Ознакомиться с аппаратурой включения электродвигателя: электромагнитным пускателем, реле времени, блоком возбуждения.

2. Собрать схему. В качестве электропривода использовать привод заточного станка или другого механизма с большим моментом инерции. Проверить работу схемы.

3. Замерить продолжительность пуска и торможения. Установить ток динамического торможения равным $(1,5 \dots 2) I_n$.

4. Отрегулировать реле времени так, чтобы его выдержка равнялась продолжительности остановки.

Содержание отчета. Включить в отчет технические данные аппаратов, схему автоматизированного привода, описание ее работы, результаты опытов, расчеты по определению среднего момента электродвигателя при пуске и торможении по уравнению $M_s = I \omega_n / t$.

**8.1. Условия окружающей среды
и их влияние на работу
электрооборудования**

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 повышенные 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).

**8.2. 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 транспортного 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 ТСНК-3,0Б 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 $\cos \phi$.

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.

8.3. Проверка возможности пуска асинхронных короткозамкнутых электродвигателей

Мощности сельских потребительских трансформаторов часто бывают соизмеримы с мощностями питающихся от них электродвигателей. В этом случае соизмеримы и их сопротивления. Так как пусковой ток асинхронного короткозамкнутого электродвигателя в 5...7 раз превышает номинальный, то при пуске наиболее мощного и удаленного двигателя его пусковой

ток, протекая по обмоткам трансформатора и питающей линии, вызывает значительные потери напряжения в них и напряжение на зажимах запускаемого электродвигателя оказывается значительно ниже номинального. Известно, что момент электродвигателя, в том числе и пусковой, пропорционален квадрату напряжения. Поэтому из-за снижения напряжения резко снижается пусковой момент электродвигателя. Может случиться так, что сниженного пускового момента электродвигателя окажется недостаточно, чтобы преодолеть момент сопротивления машины во время трогания с места. В этом случае двигатель не сможет тронуться с места, и, если не сработает защита, длительный пусковой ток выведет его из строя.

При значительном снижении напряжения при пуске электродвигателей большой мощности могут остановиться другие, параллельно подключенные, вследствие снижения их перегрузочного момента, особенно если характер нагрузки таков, что имеются пики моментов сопротивления.

Значительные снижения напряжения при пуске электродвигателей весьма чувствительны для таких потребителей, как осветительные установки, в которых лампы при включении мощных электродвигателей сразу почти гаснут, а затем начинают плавно загораться в соответствии с нарастанием напряжения. Вредно сказывается снижение напряжения на работе телевизоров и радиоприемников.

Для обеспечения пуска электродвигателя необходимо, чтобы пусковой момент, развиваемый электродвигателем при сниженном напряжении во время пуска, равнялся приведенному к валу электродвигателя моменту трогания рабочей машины плюс избыточный момент, равный четверти номинального, обеспечивающий разбег системы электродвигатель — рабочая машина, или был больше него.

Это можно записать в следующем виде:

$$k_U M_{п.н} \geq M_{т.пр} + 0,25 M_n, \quad (8.1)$$

где k_U — коэффициент снижения напряжения при пуске; $M_{п.н}$ — пусковой момент, развиваемый электродвигателем при номинальном напряжении.

Коэффициент снижения напряжения

$$k_U = U_n / U_{п.н}$$

где $U_{п.н}$ — напряжение на зажимах электродвигателя при пуске; U_n — номинальное напряжение электродвигателя.

Приведенный момент трогания машины

$$M_{т.пр} = M_T / (i\eta_n),$$

где M_T — момент трогания машины, Н·м, i — передаточное число ($i = \eta_{дв}/\eta_{п}$); $\eta_{п}$ — КПД передачи.

Момент трогания машины берут из ее технической характеристики. Если такие данные отсутствуют, то этот момент можно определить, измерив прикладываемое к поверхности шкива машины усилие, под действием которого машина начинает трогать с места:

$$M_T = F_T r, \quad (8.2)$$

где F_T — сила, обеспечивающая трогание машин, Н; r — радиус шкива, м.

Разделив левую и правую части уравнения (8.1) на $M_{п}$, получим, что

$$k_U^2 \mu_{п} \geq \mu_T + 0,25, \quad (8.3)$$

где $\mu_{п}$ — кратность номинального пускового момента электродвигателя; μ_T — кратность приведенного момента трогания машины.

Из последнего уравнения

$$k_U \geq \sqrt{(\mu_T + 0,25)/\mu_{п}}. \quad (8.4)$$

Отклонение напряжения в период пуска электродвигателя

$$\delta U \% = \frac{U_n - U_{п}}{U_n} 100 = (1 - k_U) 100,$$

откуда

$$k_U = 1 - \delta U \% / 100. \quad (8.5)$$

Подставив значение k_U в формулу (8.4), получим

$$[1 - \sqrt{(\mu_T + 0,25)/\mu_{п}}] 100 \geq \delta U \%. \quad (8.6)$$

Из выражения (8.6) следует, что чем больше кратность приведенного момента трогания машины и меньше кратность пускового момента электродвигателя, тем меньше допускается отклонение напряжения при пуске электродвигателя.

Чтобы проверить, будет ли обеспечен пуск электродвигателя, необходимо определить в реальных условиях $\delta U \%$, μ_T и $\mu_{п}$ и подставить их значения в выражение (8.6). Если $\delta U \%$ меньше левой части выражения или равно ей, запуск электродвигателя обеспечивается.

Фактическое отклонение напряжения на зажимах электродвигателя в период его пуска включает в себя следующие составляющие:

$$\delta U \% = \Delta U_{л\%} + \Delta U_{тр\%} - \delta U_{наб\%} \pm \delta U_{откл\%}, \quad (8.7)$$

где $\Delta U_{л\%}$ — потеря напряжения в предварительно загруженной линии при пуске электродвигателя; $\Delta U_{тр\%}$ — потеря напряжения в трансформаторе при пуске двигателя с учетом загрузки трансформатора другими подключенными в этот момент к трансформатору электроприемниками; $\delta U_{наб\%}$ — надбавка напряжения трансформатора; $\delta U_{откл\%}$ — отклонение напряжения на линиях первичного напряжения трансформатора от номинального его значения при 100 %-ной нагрузке питающей линии (знак минус принимают при положительном отклонении).

Потерю напряжения $\Delta U_{л\%}$ определяют по формуле

$$\Delta U_{л\%} = \Delta U_{л.д.п\%} + \frac{Z_{л}}{Z_{л} + Z_{дв}} \cdot 100, \quad (8.8)$$

где $\Delta U_{л.д.п\%}$ — потеря напряжения в линии до пуска электродвигателя; $Z_{л}$ — полное сопротивление линии, питающей запускаемый электродвигатель, $Z_{дв}$ — полное сопротивление электродвигателя при пуске, то есть при заторможенном роторе.

Значения $\Delta U_{л.д.п\%}$, $Z_{л}$, $Z_{дв}$ определяют следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_{л.д.п\%} &= \frac{\sqrt{3} I_{\max} l (r_1 \cos \varphi + x_1 \sin \varphi)}{U_n} \cdot 100; \\ Z_{л} &= l \sqrt{r_1^2 + x_1^2}; \quad Z_{дв} = \frac{U_n}{\sqrt{3} k_i I_n} \end{aligned} \right\} \quad (8.9)$$

где $I_{\max} = S_p / (\sqrt{3} U_n)$ — максимальный ток в линии до пуска электродвигателя, А; S_p — расчетная мощность линии без запускаемого электродвигателя, В·А; l — длина линии, км; r_1 и x_1 — активное и реактивное сопротивления линии длиной 1 км, Ом/км; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности нагрузки в линии; U_n — номинальное напряжение линии ($U_n = 380$ В); k_i — кратность пускового тока электродвигателя; I_n — номинальный ток электродвигателя А.

Потеря напряжения в трансформаторе при пуске электродвигателя

$$\Delta U_{тр\%} = \frac{u_k \% S_{\phi}}{S_T} = \frac{u_k \%}{S_T} \times \quad (8.10)$$

$$\times \sqrt{(k_{i\phi} S_{дв} \cos \varphi_{п.дв} + S_n \cos \varphi_n)^2 + (k_{i\phi} S_{дв} \sin \varphi_{п.дв} + S_n \sin \varphi_n)^2},$$

где $u_k \%$ — напряжение короткого замыкания трансформатора, %; S_{ϕ} — фактическая полная мощность нагрузки трансформатора в момент пуска электродвигателя, кВ·А; S_T — полная номинальная мощность трансформатора, кВ·А; $k_{i\phi}$ — фактическая кратность пускового тока электродвигателя с учетом снижения напряжения, вызванного влиянием

параметров источника тока, линии, электродвигателя, нагрузки; $S_{дв}$ — полная номинальная мощность электродвигателя, кВ·А; $\cos \varphi_{п.дв}$ — коэффициент мощности электродвигателя в начальный момент пуска; S_H — полная суммарная мощность прочей нагрузки (электроприемников), подключенной к трансформатору в момент пуска электродвигателя, кВ·А; $\cos \varphi_H$ — коэффициент мощности прочей нагрузки.

Значения $k_{i\phi}$ и $\cos \varphi_{п.дв}$ определяют по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} k_{i\phi} &= k_i k_U = \frac{100 k_i}{100 + \mu_K \% \frac{S_{дв}}{S_H}} \cdot \frac{Z_{дв}}{Z_{л.дв}}; \\ \cos \varphi_{п.дв} &= \frac{\eta_{дв} \cos \varphi_{дв} (\mu_H + 0,025 k_i^2)}{(1 - s_{дв}) k_i}; \\ Z_{л.дв} &= \sqrt{(r_{дв}^2 + r_{л.дв})^2 + (x_{дв} + x_{л.дв})^2}, \end{aligned} \right\} \quad (8.11)$$

где $Z_{л.дв}$ — полное сопротивление линии вместе с электродвигателем в момент его пуска ($r_{дв} = Z_{дв} \cos \varphi_{п.дв}$; $x_{дв} = Z_{дв} \sin \varphi_{п.дв}$); $\eta_{дв}$, $\cos \varphi_{дв}$, μ_H , $s_{дв}$ — соответственно номинальные значения КПД, коэффициента мощности, кратности пускового момента, скольжения электродвигателя; $r_{дв}$ и $x_{дв}$ — активное и реактивное сопротивления короткого замыкания электродвигателя (с заторможенным ротором); $r_{л.дв}$ и $x_{л.дв}$ — активное и реактивное сопротивления линии.

Надбавка напряжения понизительного трансформатора $\delta U_{надб} \%$ складывается из постоянной надбавки +5 %, заложенной в конструкции трансформатора за счет коэффициента трансформации, и регулируемой надбавки путем использования пяти ответвлений в обмотке высшего напряжения через 2,5 % витков с крайними ответвлениями $\pm 5 \%$.

Таким образом, суммарная надбавка трансформатора может составлять +10 %; +7,5 %; +5 %; +2,5 %; 0 % при подведении к каждому ответвлению обмотки высшего напряжения строго номинального напряжения сети.

Значение отклонения напряжения $\delta U_{откл} \%$ можно получить в проектной или электроснабжающей организации или определить аналитически путем вычитания из надбавки напряжения на шинах 10 кВ районной питающей подстанции потери напряжения в линии 10 кВ.

Для того, чтобы ранее включенные соседние электродвигатели не остановились и продолжали устойчивую работу при пуске

включаемого электродвигателя, необходимо, чтобы максимальный (критический) момент этих двигателей, уменьшившийся вследствие снижения напряжения, был больше приведенного момента сопротивления машины, приводимой в движение соответствующим электродвигателем, или равнялся ему. Это можно записать в виде следующего выражения:

$$k_U^2 M_{\max} \geq M_{с.пр}, \quad (8.12)$$

где M_{\max} — максимальный (критический) момент соседнего ранее включенного электродвигателя, Н·м; $M_{с.пр}$ — момент сопротивления машины, приведенный к валу электродвигателя, Н·м.

Из уравнения (8.12)

$$k_U \geq \sqrt{M_{с.пр} / M_{\max}} = \sqrt{\mu_c / \mu_{\max}}, \quad (8.13)$$

где μ_c — кратность приведенного момента сопротивления машины; μ_{\max} — кратность максимального момента соседнего ранее включенного электродвигателя.

Подставляя значение k_U из выражения (8.5) в формулу (8.13), получим

$$\delta U \% \leq (1 - \sqrt{\mu_c / \mu_{\max}}) \cdot 100. \quad (8.14)$$

Если после подставления значения $\delta U \%$, μ_c , μ_{\max} неравенство или равенство (8.14) сохраняется, то проверяемый ранее включенный электродвигатель будет продолжать устойчивую работу в период пуска включаемого электродвигателя.

Чтобы уменьшить снижение напряжения в период пуска мощных электродвигателей, можно использовать следующее:

подключить к линии ответвление в трансформаторе на большее напряжение, если имеется еще этот резерв и верхний предел отклонения напряжения у ближайшего к трансформатору потребителя не превысит +7,5 % при 25 %-ной нагрузке;

если установку можно пускать вхолостую, то надо использовать электродвигатель с переключением обмоток в период пуска со звезды на треугольник (при напряжении электродвигателя 660/380 В). При этом пусковой ток и момент уменьшаются в 3 раза;

вместо короткозамкнутого электродвигателя можно применить электродвигатель с фазным ротором (в этом случае пусковой ток уменьшается в 2...4 раза по сравнению с короткозамкнутым электродвигателем той же мощности, а пусковой момент увеличивается в 1,5...2 раза);

заменить провода питающей линии на провода большей площади сечения;

заменить трансформатор на трансформатор большей мощности.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие условия окружающей среды сельскохозяйственного производства влияют на работу электрооборудования? 2. Каковы технологические особенности работы электроприводов в сельскохозяйственном производстве? 3. Чем вызвано снижение напряжения при пуске асинхронных короткозамкнутых электродвигателей и к чему это может привести? 4. Какие составляющие включает в себя отклонение напряжения от номинального значения при пуске асинхронного короткозамкнутого электродвигателя? Объясните методику их определения. 5. Какие условия должны быть соблюдены для обеспечения запуска асинхронного короткозамкнутого электродвигателя и устойчивой работы в этот период ранее включенных электродвигателей? 6. Какие мероприятия помогают уменьшить отклонение напряжения от номинального значения при пуске асинхронных электродвигателей?

Глава 9. ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

9.1. Электропривод башенных насосных установок

В колхозах и совхозах ежедневно расходуется большое количество воды населением, коммунально-бытовыми и производственными предприятиями на поение животных и птицы, уход за ними, приготовление кормов, мойку доильной аппаратуры и посуды, на переработку продуктов сельскохозяйственного производства и на другие цели. Водоснабжение — трудоемкий процесс, электрификация и автоматизация которого облегчают труд человека и повышают его производительность. Надежность водоснабжения влияет на продуктивность животных и птицы. Установлено, что прекращение бесперебойного водоснабжения и поения животных и птицы из автопоилок снижает удой коров на 10...15 %, привес откормочного поголовья — на 12...15 %, яйценоскость птицы — на 15...20 %.

В сельском хозяйстве применяют башенные и безбашенные насосные установки. Сельская электромеханизированная установка водоснабжения обычно состоит из водисточника, насосной установки, водонапорной башни или напорного воздушно-водяного котла и водопроводной сети. Водонапорная башня

в башенной насосной установке (рис. 9.1) позволяет создать требуемый напор и необходимый запас воды. При этом электронасосный агрегат работает с выбранными номинальной подачей и напором и, следовательно, с наибольшим КПД и $\cos \phi$ при значительном сокращении продолжительности работы в течение суток по сравнению с работой насосного агрегата непосредственно на водоразборную сеть, когда требуется регулировать подачу насоса в зависимости от водоразбора потребителей.

Для выбора насоса и определения его мощности по водопотреблению определяют требуемую подачу и напор. Суточное потребление воды (м^3 в сутки)

$$Q_c = q_1 n_1 + q_2 n_2 + \dots + q_m n_m,$$

где q_1, q_2, \dots, q_m — суточная норма расхода воды отдельными видами потребителей, м^3 в сутки; n_1, n_2, \dots, n_m — число потребителей соответствующего вида.

Требуемая подача насоса ($\text{м}^3/\text{с}$)

$$Q_r = \frac{Q_c k_c k_q}{24 \cdot 3600}, \quad (9.1)$$

где k_c — коэффициент суточной неравномерности расхода воды ($k_c = 1,3$); k_q — коэффициент часовой неравномерности расхода воды ($k_q = 2,5$ для ферм с автопоением, $k_q = 4,5$ для ферм без автопоения; $k_q = 2,0$ для коммунального сектора).

Напор (м)

$$H = H_r + H_n, \quad (9.2)$$

где H_r — геодезический напор — высота подъема воды от нижнего до верхнего уровня, м; H_n — потери напора во всасывающем и напорном трубопроводах, м.

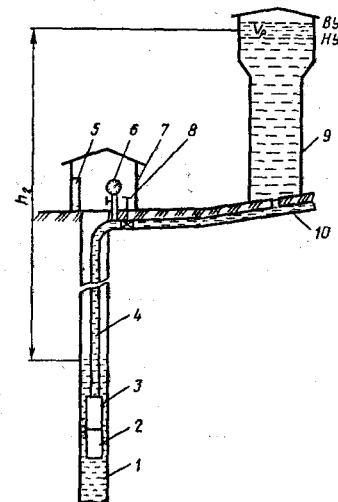


Рис. 9.1. Технологическая схема башенной насосной установки:

1 — скважина; 2 — электродвигатель; 3 — погружной насос; 4 — напорный трубопровод; 5 — станция управления; 6 — манометр; 7 — здание насосной установки; 8 — задвижка; 9 — водонапорная башня; 10 — водоразборный трубопровод; ВУ и НУ — верхний и нижний уровни регулирования; V_p — регулируемый объем.

По подаче и напору с учетом типа насосной установки в каталоге выбирают насос. Далее определяют мощность электродвигателя насоса.

Для поднятия жидкости объемом V (м^3) и плотностью ρ ($\text{кг}/\text{м}^3$) на высоту H (м) необходимо приложить силу F (Н), равную и противоположную по направлению весу этой жидкости G (Н). Мощность — есть работа, совершаемая этой силой при подъеме воды единицу времени. При этом полезная мощность (Вт)

$$P_{\text{пол}} = FH/t. \quad (9.3)$$

Так как по значению $F = G$ и $G = mg = V\rho g$, то

$$P_{\text{пол}} = V\rho gH/t = Q\rho gH = Qp,$$

где Q — подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; m — масса воды ($m = V\rho$), кг , $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ — ускорение свободного падения; p — давление воды, Па ($p = \rho gH$) 1 м напора воды создает давление $p = 9810 \text{ Па}$.

Потребная мощность для насоса (кВт)

$$P = \frac{Q\rho gH}{1000\eta_n\eta_{\text{п}}} = \frac{Qp}{1000\eta_n\eta_{\text{п}}}, \quad (9.4)$$

где η_n — КПД насоса; $\eta_{\text{п}}$ — КПД передачи.

Полный напор H включает в себя напор подъема и потери напора во всасывающем и напорном трубопроводах. По универсальной характеристике выбранного насоса для H определяют соответствующее значение Q .

Для центробежных насосов $\eta_n = 0,4 \dots 0,8$, для вихревых $\eta_n = 0,25 \dots 0,5$. Для прямой передачи $\eta_{\text{п}} = 1$, клиноременной $\eta_{\text{п}} = 0,98$, зубчатой $\eta_{\text{п}} = 0,97$, плоскоременной $\eta_{\text{п}} = 0,95$.

В реальных условиях работы насосов могут возникать утечки воды из напорного трубопровода (неплотности соединений, разрывы трубопровода и др.). В этих условиях в соответствии с характеристикой насоса $Q-H$ увеличивается мощность. Поэтому электродвигатели для насосов выбирают с некоторым запасом по мощности. Расчетная мощность, по которой надо выбирать электродвигатель для насоса,

$$P_p = k_z P,$$

где k_z — коэффициент запаса, зависящий от P .

$P, \text{ кВт}$	≤ 1	2	3	4	5	8	≥ 10
k_3	2...1,7	1,5	1,33	1,25	1,2	1,12	1,1 1,05

С учетом условий окружающей среды, особенностей монтажа, потребной мощности и частоты вращения насоса в справоч

ных таблицах выбирают соответствующий тип электродвигателя. В этом случае важно соответствие угловой скорости насоса и электродвигателя, так как подача, напор, момент и мощность находятся в следующей зависимости от угловой скорости:

$$Q \propto \omega; H \propto \omega^2; M \propto \omega^2; P \propto \omega^3.$$

В сельском хозяйстве применяют центробежные и вихревые насосы и водоструйные установки. Наиболее распространены центробежные погружные насосы, имеющие большой напор и способные подавать воду из глубоких колодцев и скважин. Благодаря быстроходности центробежных насосов их, как правило, соединяют непосредственно с асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями.

Для привода погружных насосов применяют электродвигатели специального исполнения типа ПЭДВ или АПД, рассчитанные на работу в воде. Обмотка статора в них выполнена проводом в полихлорвиниловой влагостойкой изоляции.

Башенные системы водоснабжения, как правило, строят по следующей схеме: водисточник — всасывающий трубопровод (при погружном насосе отсутствует) — насосный агрегат — напорный трубопровод — водонапорная башня — водоразборная сеть — потребители.

При включенном насосе вода поступает к потребителям и в водонапорную башню. В водонапорный бак идет часть подачи воды, представляющая собой разность между подачей насоса и расходом потребителей. При наполнении водой водонапорного бака насосный агрегат отключается, и потребитель обеспечивается водой из регулируемого объема напорного бака. При снижении уровня насосный агрегат снова включается.

В соответствии с описанным режимом работы насосный агрегат во время цикла работы включен в течение времени работы t_p и отключен в течение времени t_o .

Продолжительность работы насосного агрегата в цикле (ч)

$$t_p = V_p / (Q_n - Q), \quad (9.5)$$

где V_p — регулируемый рабочий объем напорного бака, м^3 , Q_n и Q — подача насоса и текущий расход воды потребителями, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Продолжительность паузы насосного агрегата в цикле работы (ч)

$$t_o = V_p / Q \quad (9.6)$$

Длительность одного цикла

$$t_n = t_p + t_o = V_p / (Q_n - Q) + V_p / Q = Q_n V_p / [Q (Q_n - Q)].$$

Число включений насосного агрегата в течение часа

$$v = 1/t_u = Q (Q_n - Q) / (Q_n V_p).$$

Для определения расхода воды потребителями, при котором частота включения будет максимальной, производную частоты включения по расходу воды потребителями приравняем нулю:

$$\frac{dv}{dQ} = \frac{-Q + Q_n - Q}{Q_n V_p} = 0, \text{ откуда } Q = Q_n/2.$$

Подставив вместо Q его значение $Q_n/2$ в выражение для v , получим максимальное число включений насосного агрегата в течение часа:

$$v_{\max} = \frac{\frac{Q_n}{2} \left(Q_n - \frac{Q_n}{2} \right)}{Q_n V_p} = \frac{Q_n}{4 V_p}. \quad (9.7)$$

Следовательно, при расходе воды потребителями, равном половине подачи насоса, наблюдается максимальное число включений насосного агрегата в час, которое прямо пропорционально подаче насоса и обратно пропорционально регулируемому объему.

Относительная продолжительность включения насосного агрегата

$$\varepsilon = \frac{t_p}{t_u} = \frac{V_p Q (Q_n - Q)}{(Q_n - Q) Q_n V_p} = \frac{Q}{Q_n}.$$

Чем больше продолжительность включения насосного агрегата, тем больше нагревается электродвигатель. При $Q = Q_n/2$ $t_p = t_u/2$, $\varepsilon = 0,5$. Когда $Q = Q_n$, $\varepsilon = 1$, режим работы электродвигателя становится продолжительным, а нагрев — наибольшим. Поэтому мощность электродвигателя для башенных насосных установок выбирают по продолжительному режиму работы, когда $Q = Q_n$. Регулируемый объем напорного бака, как правило, бывает такой, что максимальная частота включений насосного агрегата находится в допустимых пределах. Без увеличения мощности электродвигателя допустимое число включений в час можно принять равным 6.

По суточному графику расходов воды можно найти расходы потребителей за каждый час суток, за эти же часы суток можно подсчитать число включений насосного агрегата. Затем, сложив их, можно получить число включений насосного агрегата за сутки

$$v_c = \sum_{i=1}^{i=24} v_i.$$

Для типового графика водопотребления число включений насосного агрегата за сутки

$$v_c = (Q_c/V_p) (1 - 0,054 Q_c/Q_n). \quad (9.8)$$

Чтобы предотвратить попадание потенциала от электронасосного агрегата через водопроводную сеть на автопилки и другие металлические части, соприкасающиеся с ними, необходимо на ответвлениях от магистральных водопроводов, идущих к автопилкам, устанавливать изолирующие вставки длиной не менее 1 м в виде резиновых шлангов, полиэтиленовых труб и др. Присоединение внутренней водопроводной сети к заземленному нулевому проводу не допускается.

9.2. Электропривод безбашенных насосных установок

При надежном электроснабжении и небольших максимальных часовых расходах ($1,6...36 \text{ м}^3/\text{ч}$) на фермах могут успешно применяться безбашенные насосные установки (рис. 9.2). В их комплект входит насос с электродвигателем, воздушно-водяной котел, трубопроводы и станция управления. Безбашенные насосные установки типа ВУ выпускаются с погружным, лопастным и вихревым насосами, а также с водоструйными установками.

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 действием 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 большей подачей. Воздушная подушка котла смягчает гидравлические удары, возникающие при динамических режимах работы электронасосного агрегата.

В воздушно-водяных котлах действующих безбашенных насосных установок воздух непосредственно соприкасается с во-

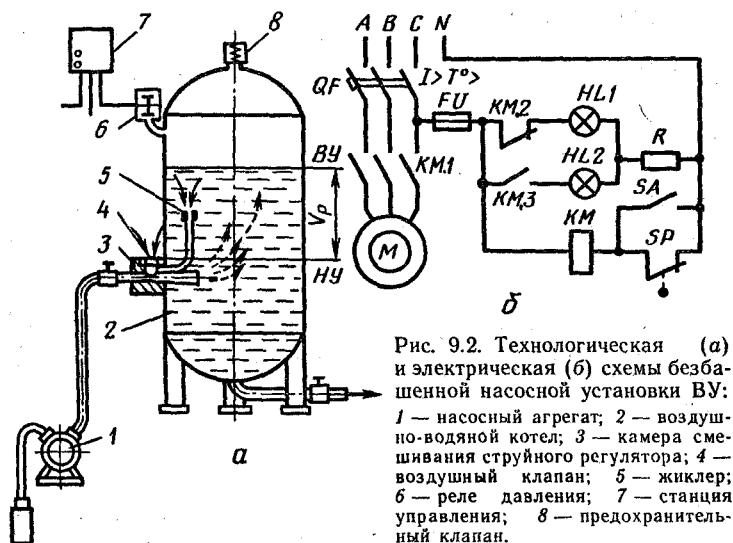


Рис. 9.2. Технологическая (а) и электрическая (б) схемы безбашенной насосной установки ВУ: 1 — насосный агрегат; 2 — воздушно-водяной котел; 3 — камера смешивания струйного регулятора; 4 — воздушный клапан; 5 — жиклер; 6 — реле давления; 7 — станция управления; 8 — предохранительный клапан.

дой, 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 сниженном давлении в момент включения насосного агрегата, когда жиклер находится в воздухе, подсоса воздуха из атмосферы не происходит. Могут быть и другие конструкции регуляторов запаса воздуха.

В безбашенных насосных установках практически отсутству-

ет 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.

Определим зависимость частоты включения насосного агрегата от параметров установки. Обозначим объем котла V_0 , начальное давление в опорожненном котле P_0 , давление включения и отключения насосного агрегата соответственно p_1 и p_2 , а объемы воздушной подушки котла V_1 и V_2 соответственно при давлениях p_1 и p_2 . Объемы измеряются в кубических метрах, а давление — в паскалях.

По закону Бойля-Мариотта

$$p_0 V_0 = p_1 V_1 = p_2 V_2. \quad (9.9)$$

Регулируемый рабочий объем

$$V_p = V_1 - V_2.$$

Подставляя в это выражение значения V_1 и V_2 предыдущего равенства, получим:

$$V_p = p_0 V_0 / p_1 - p_0 V_0 / p_2 = (p_0 V_0 / p_1) (1 - p_1 / p_2).$$

Максимальная частота включений в час может быть определена на основании известного выражения для ν_{\max} , если в него подставить значение V_p :

$$\nu_{\max} = Q_n / (4V_p) = \frac{Q_n p_1}{4 p_0 V_0 \left(1 - \frac{p_1}{p_2}\right)}. \quad (9.10)$$

Из этого уравнения видно, что при заданной подаче насоса Q_n ($\text{м}^3/\text{ч}$) частота включений насосного агрегата прямо пропорциональна отношению давления включения p_1 к начальному давлению p_0 и обратно пропорциональна объему котла V_0 и разности $1 - p_1/p_2$.

Мощность электродвигателя (кВт) для насоса безбашенной установки можно определить по формуле

$$P = \frac{Q_n \rho g H}{1000 \eta_n \eta_a}, \quad (9.11)$$

где $1/\eta_a$ — коэффициент увеличения мощности электродвигателя за счет частоты включений.

Полный напор безбашенной установки (м)

$$H = H_r + (p_1 + p_2) / (2\rho g) + H_{\text{ш}}, \quad (9.12)$$

где H_c — геодезический напор, необходимый для подъема воды от уровня водоисточника до среднего уровня в воздушно-водяном котле, м; H_n — потеря напора во всасывающем и напорном трубопроводе, м.

Коэффициент α можно определить по формуле

$$\alpha = \sqrt{1 - \frac{(k_t^2 - 1) v_{\max} t_1}{1800 - v_{\max} t_1}}, \quad (9.13)$$

где k_t — кратность эквивалентного пускового тока электродвигателя, принимаемого неизменным по значению за весь период пуска; t_1 — продолжительность разбега электронасосного агрегата, с.

Пример. Определить α при $k_t = 5$, $v_{\max} = 30$ и $t_1 = 1$ с.

$$\alpha = \sqrt{1 - \frac{(25 - 1) 30 \cdot 1}{1800 - 30 \cdot 1}} = 0,77; \quad \frac{1}{\alpha} = 1,3.$$

В этом случае за счет частоты включения мощность электродвигателя надо завышать на 30 %.

9.3. Автоматизация одноагрегатных насосных установок

Наряду с безбашенными автоматизированными установками ВУ промышленность поставляет сельскому хозяйству погружные электронасосы, укомплектованные станцией управления, предназначенной 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, как правило, сводится к автоматическому включению насосных агрегатов при опорожнении напорного бака и к их отключению 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 их в работу. Автоматически должны осуществляться контроль и сигнализация за режимами пуска, работы, остановки агрегатов и за наличием и уровнем воды в водонапорном баке и водоисточнике, если последний имеет ограниченный дебит воды.

Датчики уровней, как правило, используют электродного типа (рис. 9.3) с электродами нижнего и верхнего уровней воды в баке и общим электродом, которым обычно служит корпус датчика, присоединяемый к заземленному нулевому проводу сети. Работа датчиков в электрических схемах происходит таким образом, что при отсутствии воды между электродом нижнего уровня и заземленным корпусом насосный агрегат включается, а при появлении воды между электродом верхнего уровня и корпусом через воду между ними замыкается электрическая цепь и электродвигатель насоса отключается.

Показанный на рисунке 9.3, а трубчатый электродный датчик уровней с электроподогревом состоит из трех соосных труб, наружная из которых является общим заземленным электродом, средняя короткая — электродом верхнего уровня, а внутренняя — электродом нижнего уровня. В последней трубе находится нагревательный элемент, выполненный в виде нихромовой спирали с надетыми на нее изолирующими фарфоровыми буса-

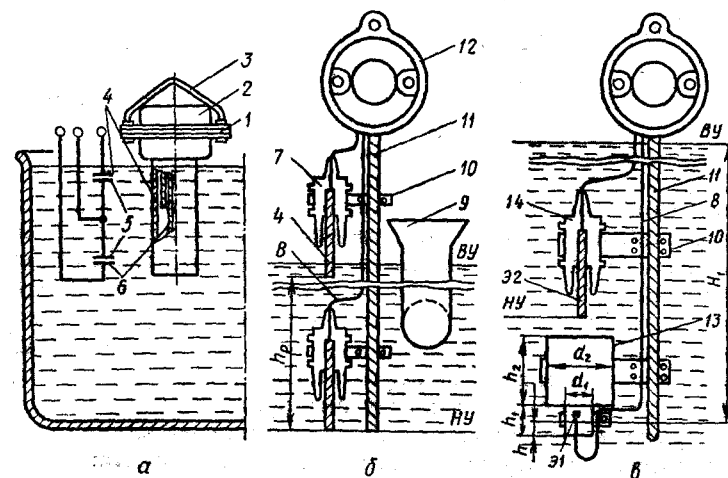


Рис. 9.3. Датчики уровней трубчатый (а), станции управления «Каскад» (б), незамерзающий БИМСХ (в):

1 — панель зажимов; 2 — защитный кожух; 3 — скоба для подвески датчика; 4 — электрод верхнего уровня; 5 — общий электрод, присоединенный к нулевому проводу; 6 — электрод нижнего уровня; 7 — изоляционный колпачок датчика верхнего уровня; 8 — провод с химовлагостойкой изоляцией; 9 — приемное отверстие сливной трубы бака; 10 — крепежный хомут; 11 — составной крепежный стержень (корпус) датчика уровней; 12 — головка датчика уровней; 13 — пневматический сосуд (бадлон) датчика верхнего уровня; 14 — изолированный колпачок датчика нижнего уровня; ВУ и НУ — верхний и нижний уровни.

ми. Нагреватель включается в зимнее время во избежание образования льда внутри датчика и отказа в его работе.

На рисунке 9.3, б приведен датчик уровней, которым по заказу комплектуется станция управления «Каскад». Каждый электрод датчика представляет собой металлический стержень диаметром 1 см и длиной 12 см, опрессованный по центру в изоляционный колпачок из полимерного материала. Колпачок при помощи хомута крепится к заземленному стержневому корпусу датчика, являющемуся общим электродом, или к напорной трубе около погружного насоса, когда он используется в качестве датчика сухого хода. Высоту между верхним и нижним электродами датчика можно регулировать путем перестановки нижнего электрода вдоль стержневого корпуса датчика до 1 м, а в случае использования дополнительного вставного звена до 1,4 м. Требуемая высота регулирования h_p (м) может быть получена из формулы

$$h_p = Q_n / 4v_d S,$$

где v_d — допустимая частота включения электродвигателя в течение 1 часа, принимаемая 6 1/ч; S — площадь внутреннего поперечного сечения бака, м²; Q_n — подача насоса, м³/ч.

Надежная работа датчика гарантируется при положительной температуре в зоне его расположения.

На рисунке 9.3, в показан один из вариантов незамерзающего пневмоэлектродного датчика верхнего уровня воды, расположенного ниже электрода нижнего уровня. Принцип действия датчика заключается в том, что при повышении уровня воды в баке под действием избыточного давления сжимается воздух внутри сосуда и при достижении верхнего установленного уровня воды в баке уровень воды в горловине сосуда достигает электрода, замыкается электрическая цепь между электродом и металлическим корпусом, то есть копируется работа электрода верхнего уровня. Связь между высотой подъема уровня воды в горловине сосуда до электрода и другими параметрами датчика можно получить, применяя закон Бойля-Мариотта:

$$h = \left(\frac{d_2^2}{d_1^2} h_2 + h_1 \right) \frac{H_1}{H_0 + H_1}, \quad (9.14)$$

где H_0 — напор, создаваемый атмосферным давлением, принимаемый при нормальном атмосферном давлении 10,3 м.

При изготовлении незамерзающего датчика в местных условиях с использованием проводов марки АПВ или других аналогичных проводов с полихлорвиниловой влагостойкой изоляцией

в качестве электрода может быть использован оголенный конец провода, желательнее большей площади сечения, согнутый в несколько вертикальных рядов для создания необходимой электродной поверхности. Отпуская крепежный хомут и перемещая в нем провод, проложенный в изоляционной трубке, можно регулировать высоту электрода и, следовательно, высоту верхнего уровня воды, при которой должен отключаться насос.

Если сосуд изготовлен из полимерного или другого изоляционного материала, то, прикрепляя к горловине тем же хомутиком другой электрод для нижнего уровня воды или используя этот же хомут в качестве электрода, можно создать незамерзающий пневмоэлектродный датчик с электродами верхнего и нижнего уровней. Нижняя кромка электрода нижнего уровня должна быть на одном уровне или несколько ниже нижней кромки горловины сосуда с таким расчетом, чтобы при снижении уровня воды и размыкании электрической цепи между электродом нижнего уровня и корпусом датчика через горловину смог бы заходить воздух в сосуд, пополняя его запас в каждом цикле работы насоса.

Схемы управления. В сельское хозяйство поступает значительное число насосов, не укомплектованных типовыми станциями управления с элементами автоматики. Поэтому прежде чем перейти к изучению типовой станции управления «Каскад», рассмотрим простейшие схемы автоматизации насосных установок с использованием датчиков уровней (рис. 9.4) или электроконтактного манометра (рис. 9.5), получивших распространение в сельском хозяйстве, на примере которых можно уяснить принципы работы автоматизированных башенных насосных установок, заложенные в электронных блоках типовых станций управления «Каскад», ШЭП и других.

Рассмотрим электрическую схему автоматизированной работы погружного насоса с использованием датчика уровней в баке напорной башни и датчика сухого хода в скважине насоса (рис. 9.4).

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 KM замкнуты, горит 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 *KM* замкнуты. В этом случае магнитный пускатель включится и включит электродвигатель насоса, одновременно с этим погаснет сигнальная лампа *HL1* и загорится *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, так как его контакты *KV1.2*, включенные последовательно с контактами *SL2*, разомкнуты. Когда вода достигнет

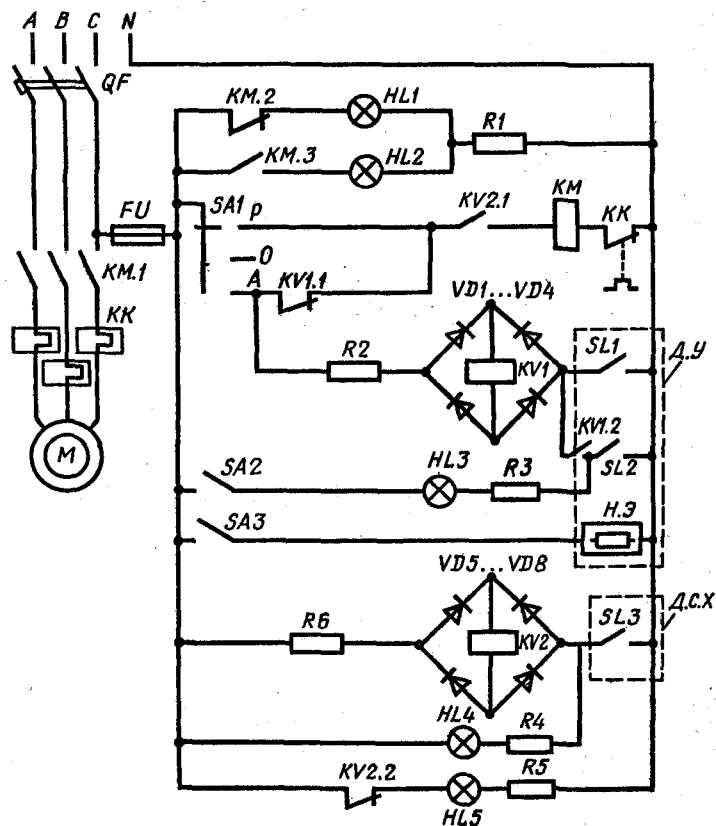


Рис. 9.4. Электрическая схема автоматизации погружного насоса по уровню воды в водонапорной башне.

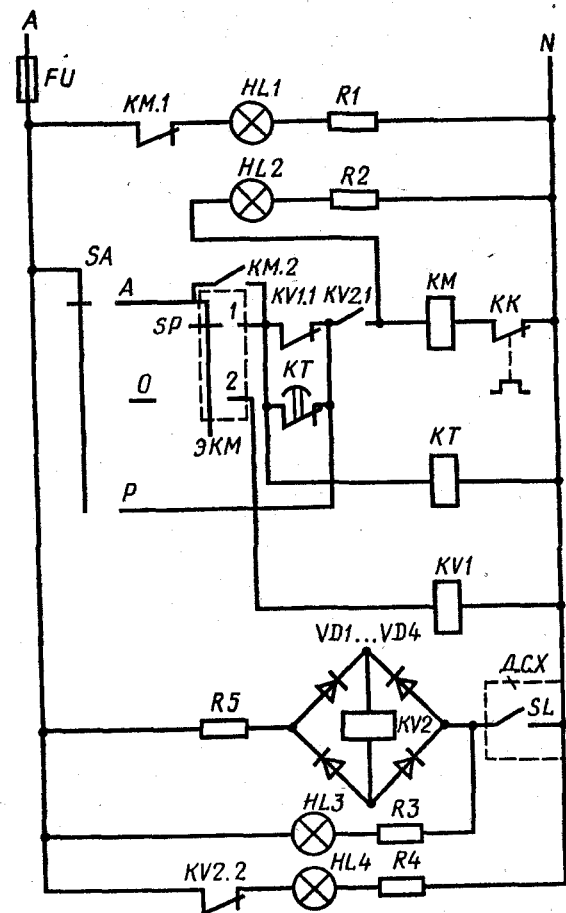


Рис. 9.5. Электрическая схема автоматизации погружного насоса по давлению при работе с водонапорной башней.

электрода верхнего уровня датчика, контакты *SL1* замкнутся, реле *KV1* включится и, разомкнув свои контакты *KV1.1* в цепи катушки магнитного пускателя *KM*, отключит последний, а, замкнув замыкающие контакты *KV1.2*, станет на самоподпитку через нижние контакты датчика *SL2*. Электродвигатель насоса отключится, погаснет сигнальная лампа *HL2* и загорится *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 в данном случае может нарастать медленно до значения тока трогания (срабатывания), который в несколько раз больше его номинального тока, когда магнитопровод этого реле замкнут. Увеличение тока в цепи катушки реле *KV1* с повышением уровня воды в верхнем промежутке датчика уровней вызвано уменьшением сопротивления слоя воды между верхним электродом и корпусом датчика уровней, так как увеличивается смачиваемая поверхность электрода и соответственно как бы увеличивается площадь сечения проводящего электрический ток слоя воды этого промежутка. Сопротивление *R2* выбирают таким, чтобы при фазном напряжении сети 220 В на обмотке реле *KV1* было напряжение 24 В постоянного тока.

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 *KM*, который отключит электродвигатель погружного насоса. Лампа *HL4* погаснет, а *HL5* загорится, сигнализируя об аварийном снижении уровня воды в скважине или колодце.

Для защиты электродвигателя погружного насоса от перегрузок вместо тепловых реле может быть использовано устройство ФУЗ-М, которое более надежно защищает электродвигатель погружного насоса как от перегрузок, так и от неполнофазных режимов работы. Выключателем *SA2* можно включать сигнальную лампу *HL3* для контроля уровня воды в напорном баке. Если лампа *HL3* не горит, то либо насос не включается, либо он включен, но не подает воды, либо подача насоса меньше расхода потребителей в это время.

Эксплуатация датчиков уровней, установленных в баках водонапорных башен, затруднительна особенно в зимний период, когда требуется их ремонт или настройка. В вопросах эксплуатации датчиков давления более удобны, так как их устанавливают на водоразборном трубопроводе у водонапорной башни или

в насосной станции на напорном трубопроводе. К сожалению, промышленность не выпускает специализированных надежных датчиков давления, которые удовлетворяли бы требованиям по регулированию работы башенных насосных установок с изменением регулируемого напора (высоты между верхним и нижним уровнем воды в баке) в пределах от 0,5 до 1,5 м. В качестве датчиков давления часто используют электроконтактные манометры ЭКМ, которые могут обеспечить заданный режим регулирования, подавая сигнал на включение насосного агрегата при убывании воды в напорном баке до нижнего установленного уровня *HУ*, соответствующего давлению включения p_1 , и подавая сигнал на отключение при подъеме воды до верхнего установленного уровня *ВУ*, соответствующего давлению отключения p_2 (рис. 9.5). При наличии в скважине воды в зоне погружного насоса контакты датчика сухого хода *SL* будут замкнуты, а реле *KV2* будет держать в замкнутом состоянии свои контакты *KV2.1* в цепи катушки магнитного пускателя *KM*.

В автоматическом режиме при уменьшении давления, когда вода из бака расходуется потребителями при отключенном насосе, подвижный стрелочный контакт манометра *SP* будет перемещаться к неподвижному контакту 1, соответствующему давлению включения насоса, и при его касании магнитный пускатель *KM* включит электродвигатель погружного насоса и своими замыкающими контактами *KM.2* станет на самоподпитку.

При включении электронасосного агрегата в напорном трубопроводе возникает кратковременное повышение давления в момент трогания насоса. В этом случае подвижный контакт манометра *SP* может коснуться контакта 2, реле *KV1* может кратковременно разомкнуть свои контакты в цепи катушки пускателя *KM*, но пускатель не отключится, так как питание его катушки будет осуществляться через контакты реле времени *KT*. После разбега электронасосного агрегата и стабилизации давления реле времени разомкнет свои контакты *KT*. При подъеме воды в напорном баке до установленного верхнего уровня *ВУ*, соответствующего давлению отключения p_2 , подвижный контакт манометра *SP* коснется контакта 2. Реле *KV1*, размыкая свои контакты *KV1.1*, отключит магнитный пускатель *KM* и электродвигатель насоса. Вследствие разбора воды уровень ее в напорном баке будет снова снижаться, давление уменьшится и контакт *SP* снова коснется контакта 1. Работа схемы повторится.

Электроконтактный манометр желательно брать с малой ценой деления, так как возникнет трудность разделения контактов 1 и 2 ввиду их близкого расположения и возможного перекрытия подвижным контактом *SP*.

Для погашения кратковременных повышений давления, действующих на электроконтактный манометр в момент включения погружного насоса, на ответвлении к манометру устанавливаются 1...2 демпфирующие круглые пластинки с малыми отверстиями. Этой цели можно достигнуть при помощи вентиля, установленного на ответвлении к манометру, степень открытия которого устанавливается такой, при которой не возникает броска давления в манометре при включении насоса. В этих случаях реле времени KT в схеме на рисунке 9.5 не требуется.

Исследования Центрального научно-исследовательского института комплексного использования водных ресурсов показали, что возникновение колебания давления в скважине в момент включения и отключения погружного насоса способствует забиванию фильтра и преждевременному выходу его из строя. Поэтому повышенная частота включения насосного агрегата, которая наблюдается особенно в безбашенных насосных установках, отрицательно действует не только на аппаратуру управления, но и на долговечность скважины. В связи с этим возникает вопрос о целесообразности использования в сельскохозяйственном водоснабжении прямоточных систем с регулируемым электроприводом, в которых подача воды соответствовала бы ее расходу потребителями при поддержании требуемого давления в водопроводной сети.

Для регулирования частоты вращения погружных насосов, а следовательно, и их подачи можно использовать преобразователь частоты, автоматически изменяющий частоту в зависимости от давления. Например, при уменьшении расхода воды потребителями увеличится давление в водопроводной сети. Датчик давления должен выдать сигнал на уменьшение частоты преобразователя, а следовательно, и на уменьшение частоты вращения электродвигателя насоса, уменьшая подачу насоса в соответствии с уменьшением расхода воды потребителями. Такие системы особенно перспективны на крупных животноводческих комплексах, так как они не только продлят срок службы скважин, но и исключат громоздкие водонапорные башни и насосные станции второго подъема, имеющие значительную стоимость.

Комплектное устройство «Каскад». Для управления центробежными погружными электронасосами промышленность выпускает комплектное устройство «Каскад», техническая характеристика которого приведена ниже.

Частота, Гц	50
Напряжение силовой цепи, В	$\sim 380 \pm 10 \dots 15 \%$

Предельная мощность погружного электродвигателя, кВт	65
Напряжение цепей управления в электронных блоках, В	~ 24
Напряжение на контактах датчиков уровней, В	~ 24
Мощность блока управления, Вт	40
Продолжительность срабатывания защиты (с):	
при токе $1,35I_n$	10...30
при токе $(1,7 \dots 2,0) I_n$ и обрыве одной из фаз	0...25
при пусковом токе	1...5
при токе короткого замыкания	Без выдержки времени
при «сухом ходе» не более	0,5
Температура воды в зоне электродов датчика уровней	$+1 \dots 40^\circ \text{C}$
Масса ящика управления, кг	50
Габаритные размеры ящика управления, мм	$900 \times 567 \times 250$

Комплектное устройство «Каскад» состоит из ящика управления, датчика «сухого хода» и по заказу заказчика может быть снабжено датчиками уровней и устройством автоматического управления по уровню или контактным манометром и устройством автоматического управления по давлению.

На рисунке 9.6 изображена электрическая принципиальная схема комплектного устройства «Каскад».

Автоматический выключатель с максимальной токовой защитой установлен для защиты от коротких замыканий в обмотке погружного электродвигателя насоса, питающем электродвигатель кабелем и в электрических цепях ящика управления.

Магнитный пускатель, или контактор KM , трансформаторные блоки, блок управления $EIQF$, реле $KV1$, датчики уровней и давления обеспечивают автоматическое управление и защиту от перегрузок электродвигателя погружного насоса.

Отсутствие между электродными стержнями и корпусом датчиков уровня и сухого хода воды влечет за собой отсутствие тока в соответствующих цепях. На электрической схеме это состояние соответствует разомкнутым замыкающим контактам датчиков верхнего уровня $SL1$, нижнего $SL2$ и сухого хода $SL3$. Наличие воды и протекание тока в соответствующих цепях на электрической схеме соответствуют замкнутому состоянию этих контактов.

Электрическая схема обеспечивает автоматическое управление по уровню воды в напорном баке при работе в режиме водоподъема или по уровню воды в скважине при работе в режиме дренажа, автоматическое управление по давлению, местное управление, отключение электродвигателя при возникновении аварийного режима («Сухой ход», «Перегрузка», «Короткое замыкание»), селективный самозапуск, контроль загрузки электро-

достижении уровнем воды нижнего положения, когда нижний электрод датчика уровней выходит из воды и размыкаются контакты *SL2*.

Повышение уровня дренажных вод в скважине до верхнего электрода датчика уровней сопровождается повторением цикла работы насосной установки.

Автоматическое управление по давлению. Электроконтактный манометр или реле давления устанавливают в головке скважины на напорном трубопроводе. Подвижный контакт электроконтактного манометра устанавливают таким образом, чтобы при разборе воды в баке водонапорной башни до нижнего контролируемого уровня происходило надежное автоматическое включение электродвигателя насоса. На разъеме «Продолжительность работы насоса» ячейки блока управления устанавливают переключку в положение, соответствующее продолжительности работы насоса, необходимой для заполнения бака водонапорной башни водой. Разъем продолжительности работы имеет 10 положений от 5 до 90 мин. Переключатель *SA* устанавливают в положение *AУ* и включают автоматический выключатель *QF*. Установка времени (мин) может быть определена из выражения

$$t_y = V_p / Q_n$$

где V_p — регулируемый объем бака, заключенный между установленными нижними и верхними уровнями воды в баке, м³; Q_n — подача насоса, м³/мин.

При снижении уровня воды в напорном баке до нижнего контролируемого, соответствующего давлению включения, замыкается контакт *SP*, электронный блок управления выдает сигнал на включение реле *KVI*, которое включает магнитный пускатель, включающий электродвигатель насоса. По истечении установленного времени электронный блок управления выдает сигнал на отключение электродвигателя насоса. При понижении статического давления в магистральном трубопроводе до контролируемого давления включения электродвигатель насоса снова включается, и цикл работы повторяется.

Местное управление. Для ручного включения электронасоса со станции управления необходимо перевести переключатель *SA* в положение *I*, а для отключения — в положение *O* (рис. 9.6).

Контроль загрузки электродвигателя осуществляется по амперметру, установленному на ящике станции управления.

При возникновении аварийного режима происходит автоматическое отключение электродвигателя насоса и на ящике стан-

ции управления загорается лампочка с надписью «сухой ход» или «перегрузка» в зависимости от характера аварийного режима. В случае необходимости аварийный сигнал можно передавать на расстояние. Для этого к специальным клеммам надо подключить сигнализирующее реле с током катушки не более 50 мА. Передача сигнала в этом случае происходит без расщиповки причины аварии.

Для включения устройства «Каскад» в работу после аварийного отключения необходимо отключить устройство от питающей сети при помощи автоматического выключателя *QF*, устранить аварию и включить автоматический выключатель *QF*.

Дистанционное управление обеспечивается при помощи реле исполнения включения *KV2* и реле исполнения *KV3*, которые в комплект поставки станции управления не входят.

Профилактический осмотр, чистку датчиков уровня и давления, автоматического выключателя, магнитного пускателя, реле проводят не реже двух раз в год, обращая особое внимание на состояние электрических контактов.

9.4. Автоматизация двухагрегатных насосных установок

Непрерывное увеличение поголовья животных и строительство животноводческих комплексов во многих случаях требуют реконструкции и строительства новых насосных установок. Повышение надежности водоснабжения — вопрос первостепенной важности. Наиболее эффективный способ повышения надежности и бесперебойности водоснабжения — применение автоматизированных двухагрегатных насосных установок с рабочим агрегатом и автоматически вводимым в работу резервным агрегатом в случае выхода из строя или неисправности первого. Чтобы осуществить этот способ, можно использовать для резервного агрегата датчик уровней, который будет включать резервный агрегат, когда уровень воды в напорном баке опустится ниже уровня включения рабочего агрегата. Когда отключены оба агрегата и вследствие водоразбора уровень воды в напорном баке снизится до нижнего установленного уровня включения первого агрегата, этот агрегат включится. Если он не подает воду или подает меньше, чем водоразбор, то уровень воды в баке будет продолжать снижаться, а при достижении установленного нижнего уровня включения второго насосного агрегата последний включится. Оба агрегата будут работать параллельно, пока не отключится каждый своим датчиком при достижении водой верхнего установленного уровня.

Рис. 9.7. Электрическая схема автоматизации двухагрегатной насосной установки.

Если по какой-либо причине после разбега первый агрегат не создает требуемого давления, контакты реле давления *SP* остаются замкнутыми и реле времени с выдержкой времени, большей, чем продолжительность разбега насосного агрегата, срабатывает и своими контактами *KT* включает сигнальную лампу *HL1* и реле *KV1*, которое, в свою очередь, размыкает свои контакты *KV1.1* в цепи катушки магнитного пускателя *KM1* первого агрегата и замыкает контакты *KV1.2* в цепи катушки магнитного пускателя *KM2* второго агрегата и в своей цепи самоблокировки. Первый агрегат отключается и включается второй. При появлении достаточного напора контакты реле давления *SP* размыкаются и рабо-

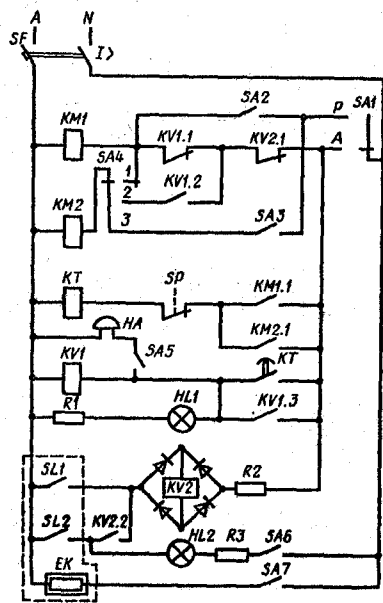


Рис. 9.7. Электрическая схема автоматизации двухагрегатной насосной установки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Практическое занятие № 6. ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ НАСОСА

Пусть для конкретного примера требуется подача $Q=9 \text{ м}^3/\text{ч}$, глубина скважины $H=20 \text{ м}$, избыточное давление у поверхности земли $p=2p_0$, где p_0 — атмосферное давление.

Для данного случая подходит безбашенная насосная установка ВУ с погружным электронасосом. Давление включения принимаем $p_1 = 2p_0$. Давление отключения определяем из соотношения $p_1/p_2 = 0,8$, то есть реле давления настраивается на эти давления срабатывания.

$p_2 = 2p_0/0,8$. Среднее избыточное давление $(p_1 + p_2)/2 = 2,25p_0$.

Потери напора в напорном трубопроводе принимаем $0,1H$, атмосферное давление $p_0 = 100$ кПа. Полное требуемое давление насоса

$$p = 2,25p_0 + 1,1\rho gH = 441 \text{ кПа.}$$

По подаче и давлению подходит погружной электронасос ЭЦВП6-10×50, который при давлении $p=441$ кПа имеет подачу $Q_n=10$ м³/ч. Этот тип насоса входит в комплект безбашенной установки ВУ-10-45 с вместимостью пневматического бака $V_0=1,25$ м³.

Максимальная частота включений погружного насоса

$$v_{\max} = \frac{Q_n \cdot p_1}{4p_0 V_0 \left(1 - \frac{p_1}{p_2}\right)} = \frac{10 \cdot 2}{4 \cdot 1,25 (1 - 0,8)} = 5 \text{ ч}^{-1}.$$

Так как при числе включений до 6 ч^{-1} максимальную частоту включений не учитывают, мощность электродвигателя

$$P = \frac{Q_n p}{\eta_n 3600} = \frac{10 \cdot 441}{0,69 \cdot 3600} = 1,77 \text{ кВт},$$

$k_3 = 1,6$ (см. стр. 132), следовательно, $P_p = k_3 P = 1,6 \cdot 1,77 = 2,8 \text{ кВт}$.

В качестве аппаратуры защиты погружных электродвигателей целесообразно применять фазочувствительные устройства (ФУЗ) и автоматы.

Лабораторная работа № 5. ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И АВТОМАТИЗАЦИИ БАШЕННОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Цель работы. Ознакомиться с устройством, принципом действия автоматизированной башенной насосной установки и элементами автоматики. Определить основные показатели ее работы.

Программа работы. 1. Ознакомиться с устройством и принципом действия башенной или безбашенной насосной установки, датчиков уровня, реле давления и других элементов автоматики.

2. Изучить и собрать электрическую схему установки для автоматизации ее работы и измерения мощности, тока и напряжения электродвигателя.

3. Осуществить холостой и рабочий ход установки, определить наибольшую подачу, потребляемую мощность и максимальный расход воды.

4. Определить среднеквадратичную мощность, часовой и удельный расход электроэнергии при разных водоразборах.

5. По данным пункта 4 построить зависимости потребной мощности и часового расхода электроэнергии от расхода воды.

6. Составить отчет.

Содержание отчета. В отчет включить паспортные данные насоса, электродвигателя, измерительных приборов, технологическую и электрическую схемы, таблицы опытных данных, расчеты по определению подачи насоса, расхода воды, среднеквадратичной мощности при разных водоразборах, зависимости потребной мощности электродвигателя и потребления электроэнергии от расхода воды потребителями. Проанализировать полученные зависимости и сделать краткие выводы по работе.

Глава 10. ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

10.1. Выбор электропривода вентиляционных установок

В воздушной среде производственных помещений, в которых находятся люди, животные, оборудование, материалы, продукты переработки, кормовые отходы, всегда есть некоторое количество вредных примесей (углекислого газа, влаги, аммиака, сероводорода, пыли и др.), а также происходит отклонение температуры от нормированных значений, что отрицательно влияет на состояние здоровья людей, продуктивность животных, долговечность электрооборудования.

В неветилируемых помещениях неудовлетворительный температурно-влажностный режим и газовый состав воздуха вызывают снижение молочной продуктивности коров на 10...15 %, уменьшение прироста свиней на 20...30 %, снижение яйценоскости кур-несушек на 15...20 %.

Установлено также, что в неветилируемых сырых и холодных свинарниках увеличивается расход корма на 24 % на единицу привеса. При хорошей вентиляции экономится до 95 кг зерна на каждые 100 кг привеса откормочного свиноголовья и значительно сокращаются заболеваемость и падеж животных, особенно молодняка. Чистый воздух в помещениях так же необходим животным, как и полноценное питание.

Вентиляционные установки применяют для поддержания в допустимых пределах температуры, влажности, запыленности и вредных газов в воздухе производственных, животноводческих, птицеводческих и других помещений.

Системы механической вентиляции подразделяются на вытяжную, приточную и приточно-вытяжную.

Вытяжная вентиляция. Вентиляторы вытягивают воздух из помещения, образуя разрежение, а свежий воздух поступает в помещение через неплотности.

Приточная вентиляция. Вентиляторы нагнетают наружный воздух в помещение, создавая избыточное давление, а выходит воздух из помещения через вытяжные шахты и неплотности. Применяется, как правило, при подогреве приточного воздуха.

Приточно-вытяжная вентиляция — это сочетание приточной вентиляции с вытяжной.

Определение воздухообмена ($\text{м}^3/\text{ч}$). Чтобы выбрать вентилятор и определить мощность электродвигателя для него,

необходимо найти требуемый расход воздуха и требуемый напор для подачи свежего воздуха в помещения.

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.

Уравнение часового воздухообмена по удалению излишнего содержания углекислоты может быть записано в следующем виде:

$$1,2C + LC_1 = LC_2 \quad (10.1)$$

где 1,2 — коэффициент, учитывающий выделение углекислоты микроорганизмами в подстилке; C — количество CO_2 , выделяемое животными, л/ч; C_1 — содержание CO_2 в наружном воздухе, л/м³; L — требуемое количество воздуха, подаваемого вентилятором, чтобы обеспечить в помещении допустимое содержание CO_2 , м³/ч; C_2 — допустимое содержание CO_2 в воздухе внутри помещения, л/м³.

В уравнении воздухообмена левая часть представляет приток углекислоты в помещение в течение часа, а правая часть — ее удаление. Равенство частей, то есть равновесие, достигается за счет часового воздухообмена:

$$L = 1,2C / (C_2 - C_1). \quad (10.2)$$

Значение C определяют исходя из поголовья животных и количества CO_2 , выделяемого одним животным (табл. 10.1).

10.1 Количество теплоты, углекислоты и водяных паров, выделяемых животными и птицей

Животное, птица	Живая масса, кг	CO_2 , л/ч	Пары воды, г/ч	Теплота, кДж/ч
Корова стельная	400	110	184	2815
	600	138	329	3470
Корова, лактирующая с уровнем лактации в сутки:				
10 л	400	114	292	2900
	600	135	348	3450
30 л	400	165	424	4220
	600	189	487	4880
Свинья откормочная	100	43	110	1090
Свиниматка с приплодом	150	78	198	1950
Свиниматка супоросная	150	46	117	1560
Овца	50	20	50	502
Куры взрослые в клетках	2...2,5	1,7	3	22,2

а предельно допустимое количество углекислоты CO_2 приведено в таблице 10.2. В сельской местности $C_1 = 0,3$ л/м³, в городе $C_1 = 0,4$ л/м³.

10.2. Температура, влажность, содержание углекислоты в воздухе животноводческих помещений

Помещение	Температура внутри помещения, °C		Относительная влажность воздуха Φ_2 (не более)	Предельно допустимое количество углекислоты в воздухе, л/м ³
	оптимальная	минимальная		
Коровник	10,6	7	0,80	2,5
Телятник:				
телята до 6 недель	18,3	16	0,70	2,5
телята 6...12 недель	12,8	10	0,70	2,5
Свинарник:				
маточник	18,3	13	0,70	2,5
откормочник	21	18	0,75	2,5
Овчарня	5	3	0,80	3,0
Птичник:				
куры	15	7	0,75	2,5
цыплята на мясо	21	16	0,75	2,5

В плохо вентилируемом помещении при накоплении углекислоты свыше нормы ослабляется дыхание животных, у них ухудшается аппетит, снижается их продуктивность.

Часовой воздухообмен по удалению излишней влаги характеризуется уравнением

$$W_1 + W_2 + Ld_1 = Ld_2$$

где W_1 — влага, выделяемая животными внутри помещения, г/ч (табл. 10.1); $W_2 = 0,1W_1$ — влага, испаряющаяся с пола, г/ч; d_1 — влагосодержание наружного воздуха, г/м³; d_2 — допустимое влагосодержание воздуха внутри помещения, г/м³.

Из уравнения воздухообмена

$$L = (W_1 + W_2) / (d_2 - d_1) = 1,1W_1 / (d_2 - d_1). \quad (10.3)$$

Допустимое влагосодержание внутри помещения

$$d_2 = d_{2\text{нас}\Phi_2}$$

а влагосодержание наружного воздуха

$$d_1 = d_{1\text{нас}\Phi_1}$$

где $d_{2\text{нас}}$ — влагосодержание насыщенного воздуха внутри помещения при оптимальной температуре, г/м³ (табл. 10.3), $d_{1\text{нас}}$ — влагосодержа-

10.3. Физические свойства влажного воздуха при давлении 101,3 кПа (760 мм рт. ст.)

Темпе- ратура, °С	Влагосо- держание воздуха $d_{\text{нас}}, \text{г/м}^3$	Темпе- ратура, °С	Влагосо- держание воздуха $d_{\text{нас}}, \text{г/м}^3$	Темпе- ратура, °С	Влагосо- держание воздуха $d_{\text{нас}}, \text{г/м}^3$	Темпе- ратура, °С	Влагосо- держание воздуха $d_{\text{нас}}, \text{г/м}^3$
-20	0,88	-7	2,76	6	7,3	19	16,3
-19	0,96	-6	2,99	7	7,8	20	17,3
-18	1,05	-5	3,24	8	8,3	21	18,3
-17	1,15	-4	3,54	9	8,8	22	19,4
-16	1,27	-3	3,81	10	9,4	23	20,6
-15	1,38	-2	4,18	11	10,0	24	21,8
-14	1,51	-1	4,46	12	10,7	25	23,0
-13	1,65	0	4,84	13	11,4	26	24,4
-12	1,80	1	5,22	14	12,1	27	25,8
-11	1,96	2	5,60	15	12,8	28	27,2
-10	2,14	3	5,98	16	13,6	29	28,7
-9	2,3	4	6,40	17	14,5	30	30,3
-8	2,54	5	6,84	18	15,4		

ние насыщенного наружного воздуха при расчетной температуре, г/м^3 (табл. 10.3); φ_2 — допустимая относительная влажность воздуха внутри помещения (табл. 10.2); φ_1 — расчетная относительная влажность наружного воздуха.

Значение расчетной температуры и относительной влажности наружного воздуха для вентиляционных установок в различных зонах берут из справочников по вентиляции. Если этих сведений нет, то ориентировочно расчетную температуру наружного воздуха можно принять равной -3°C , а относительную влажность $\varphi_1=0,9$.

Расчетная кратность воздухообмена

$$k=L/V, \quad (10.4)$$

где V — объем вентилируемого помещения, м^3 .

Определение давления вентилятора. Давление вентилятора

$$p=p_d+p_c \quad (10.5)$$

где p_d и p_c — динамическая и статическая составляющие давления вентилятора, Па.

Динамическая составляющая давления

$$p_d=\rho v^2/2, \quad (10.6)$$

где $\rho = \frac{\rho_0}{(1+\alpha\theta)}$ — плотность воздуха при θ , кг/м^3 ; $\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3$ — плотность воздуха при 0°C , θ — температура воздуха, $^\circ\text{C}$; $\alpha = 1/273$ —

коэффициент, учитывающий относительное увеличение объема воздуха при нагревании его на один градус, $1/^\circ\text{C}$; $v=10...15 \text{ м/с}$ — скорость воздуха.

Динамическое давление, создаваемое вентилятором, обеспечивает приращение скорости 1 м^3 воздуха от 0 до v и представляет собой кинетическую энергию 1 м^3 воздуха.

Статическое давление, создаваемое вентилятором, затрачивается на преодоление трения частиц воздуха о стенки трубопровода, а также на преодоление местных сопротивлений на изгибах, отводах, задвижках и т. д.:

$$p_c=IR+p_m \quad (10.7)$$

где IR — потеря давления, затрачиваемая на преодоление трения частиц воздуха о стенки трубопровода, Па; l — длина трубопровода, м; R — потеря давления на 1 м трубопровода, Па/м; p_m — потеря давления, затрачиваемая на преодоление местных сопротивлений, Па.

Потеря напора на одном метре трубопровода может быть определена по эмпирической формуле

$$R=64,8 \frac{v^{1,924}}{d^{1,281}} \left(\frac{\rho}{1,29} \right)^{0,852}, \quad (10.8)$$

где v — скорость воздуха в трубопроводе, м/с ; d — диаметр трубопровода, мм.

Для трубопровода прямоугольного сечения в эту формулу вместо d можно подставлять расчетный эквивалентный диаметр

$$d_p=2ab/(a+b), \quad (10.9)$$

где a и b — стороны прямоугольного сечения трубопровода, мм.

Значение R можно также брать по таблицам справочников по отоплению и вентиляции.

Потеря напора в местных сопротивлениях

$$p_m=\Sigma \xi p_d=\Sigma \xi \rho v^2/2, \quad (10.10)$$

где ξ — коэффициент местного сопротивления; для разных видов местных сопротивлений на изгибах коэффициент ξ имеет следующие значения:

r/d	0,75;	1,0;	1,5;	2,0;	3,0
ξ	0,50;	0,22;	0,18;	0,15;	0,12

Здесь r и d — радиус изгиба и диаметр трубы.

Коэффициент местного сопротивления ξ для колена трубы 90° равен 1,18, для входа в трубу с закругленными краями — 0,5, для выхода из трубы — 1,0, для открытой задвижки — 0,1, для задвижки, открытой наполовину, — 4,0.

Определение мощности электродвигателя вентилятора. По наибольшему значению L и расчетному значению p по номограммам или из таблиц выбирают ближайший вентилятор. Затем по его характеристике $Q-p$ — для расчетного значения p находят фактическую подачу Q .

В отличие от насосов вентиляторы, перекачивая воздух из помещения в окружающее пространство или наоборот, основную энергию затрачивают на сообщение воздуху значительной скорости (10...15 м/с) под действием создаваемого давления при сравнительно небольшой плотности ($\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$ при 0°C).

Исходя из этого, выведем формулу для определения мощности вентилятора. Пусть вентилятор засасывает наружный воздух плотностью ρ (кг/м³), создает напор и прогоняет воздух по трубопроводу площадью сечения S (м²) со скоростью v (м/с).

Масса воздуха, проходящего через поперечное сечение трубопровода в одну секунду (кг/с),

$$m_1 = \rho S v. \quad (10.11)$$

Вентилятор за каждую секунду сообщает воздуху запас кинетической энергии, то есть развивает полезную мощность (Вт).

$$P_{\text{пол}} = m_1 v^2 / 2 = \rho S v^3 / 2 = \rho v^3 / 2. \quad (10.12)$$

Используя КПД вентилятора η_v , КПД передачи η_n и имея в виду, что $Sv = Q$, а $\rho v^2 / 2 = p$, получим мощность электродвигателя для вентилятора (кВт), с учетом статического давления

$$P = \frac{Qp}{1000 \eta_v \eta_n}, \quad (10.13)$$

где Q — подача вентилятора, м³/с; p — давление, создаваемое вентилятором, Па; η_v — КПД вентилятора.

Так как скорость воздуха v пропорциональна угловой скорости ω ($v = \omega r$), то из расчета видно, что мощность вентилятора пропорциональна кубу угловой скорости ($P \propto \omega^3$), момент и давление, создаваемые вентилятором, пропорциональны квадрату угловой скорости ($M = P/\omega \propto \omega^2$), ($P \propto \omega^2$), а подача вентилятора — угловой скорости ($Q \propto \omega$).

Расчетная мощность электродвигателя для вентилятора, по которой выбирают электродвигатель из каталога,

$$P_p = k_p P, \quad (10.14)$$

где k_p — коэффициент запаса.

Для осевых вентиляторов $k_p = 1,1$. Для центробежных вентиляторов коэффициент запаса зависит от мощности следующим образом:

P , кВт	До 0,5	0,5...1,0	1,0...2,0	2,0...3,0	От 3 и выше
k_p	1,5	1,3	1,2	1,15	1,1

Коэффициент запаса мощности учитывает возможную перегрузку электродвигателя при увеличении подачи вентилятора свыше номинальной (утечка воздуха в напорном трубопроводе, разрыв трубопровода и др.).

Механическая характеристика вентилятора представляет собой зависимость момента сопротивления на валу вентилятора от угловой скорости, обычно ее называют вентиляторной характеристикой:

$$M_v = M_0 + (M_{v,n} - M_0) (\omega / \omega_n)^2,$$

где M_0 — момент сопротивления в подшипниках или момент трогания вентилятора; $M_{v,n}$ — момент сопротивления вентилятора при номинальной угловой скорости; ω и ω_n — задаваемая и номинальная угловые скорости.

Так как $M_0 \ll M_{v,n}$, проверку выбранного электродвигателя по условиям трогания с места не проводят и приближенно считают $M_v = \omega^2$, а мощность $P = \omega^3$.

Поэтому частота вращения электродвигателя должна совпадать с частотой вращения вентилятора. Незначительное увеличение частоты вращения ведет к резкому увеличению требуемой мощности и момента сопротивления.

Электропривод вентиляторов. Для поддержания требуемых параметров микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях промышленность выпускает вентиляционное и отопительно-вентиляционное оборудование «Климат-4», «Климатика», СФОО-10/0,4Т, СФОО-16/0,4Т и другие на базе осевых вентиляторов серии ВО-5, 6МУЗ и ВО7, 1МУЗ. Основные технические данные вентиляторов и их электродвигателей приведены в приложениях 7 и 8.

Частоту вращения и подачу вентиляторов регулируют изменением значения питающего напряжения на зажимах электродвигателей повышенного скольжения. На выходе вентилятор имеет подвижные жалюзи, открывающиеся потоком воздуха. Уровень шума, создаваемый вентиляторами, не превышает 85 дБ. Вентиляторы типа ВО развивают сравнительно небольшое давление около 300 Па.

Электродвигатели 4АПА80-06У2 и 4АПА80-А6У2 рассчитаны на работу в условиях умеренного климата при температуре окружающей среды от -45°C до $+40^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности до 80 % при $+20^{\circ}\text{C}$. Электродвигатели 4АПА80-06Т2 и 4АПА80-А6Т2 используют при температуре от -10°C до $+45^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности до 90 % при $+27^{\circ}\text{C}$. В помещениях допускается химически активная среда. Режим работы электродвигателей продолжительный. Технический ресурс их до капитального ремонта составляет не менее 20 тыс. ч. Вероятность безотказной работы равна 0,9 за 10 тыс. ч. Расчетный срок службы 15 лет при общей наработке 45 тыс. ч. В них применены подшипники закрытого типа, работающие без замены и пополнения смазки в течение всего срока их службы. На корпусе предусмотрен заземляющий зажим. Второй такой зажим имеется внутри вводного устройства.

На рисунке 10.1 приведены регулировочные характеристики вентиляторов ВО7, 1МУЗ, укомплектованных электродвигателями 4АПА80-А6У2 и Д100Л 6ПУ2, который заменен. Регулировочная характеристика с приводом от 4АПА80-А6У2 линейная на большем участке, чем с приводом от Д100Л 6ПУ2, сдвинута вправо и имеет больший наклон. Это позволяет лучше регулировать подачу в зависимости от температуры воздуха. Напряжение трогания у первого электродвигателя около 40 В, что значительно ниже, чем у второго. Ток электродвигателя в диапазоне частот вращения $(0,5...0,86) n_n$ больше номинального значения, а при частоте вращения $n = 0,75 n_n$ имеет наибольшее превышение порядка 13,5 %. Этот режим работы электродвигателей

характеризуется наибольшими потерями. Хотя максимальные потери наблюдаются при сниженной частоте вращения и, следовательно, худшем обдуве, теплоустойчивость изоляции электродвигателей выбрана с учетом возможности увеличения нагрева обмоток статора при напряжении, мень-

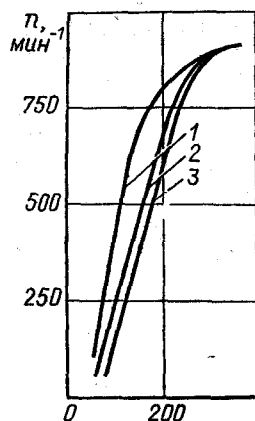


Рис. 10.1. Регулировочные характеристики вентиляторов ВО7, 1МУЗ:

1 — прежний электродвигатель Д100Л6ПУ2, питающийся через автотрансформатор; 2 — электродвигатель 4АПА80-А6У2, питающийся через автотрансформатор; 3 — электродвигатель 4АПА80-А6У2, питающийся через тиристорный регулятор напряжения.

шем, чем номинальное. Температура поверхности корпуса электродвигателя в нормальном режиме работы может достигать 50°C .

10.2. Автоматизация вентиляционных установок

Для вентиляции животноводческих и птицеводческих помещений используется оборудование «Климат-4», которое предусматривает регулирование подачи осевых вытяжных вентиляторов автоматически или вручную в зависимости от температуры воздуха внутри помещения. Подача вентиляторов регулируется ступенчато путем подачи одной из трех ступеней напряжения питания на зажимы электродвигателей и изменения числа подключенных вентиляторов. Вентиляторы разбиты на 3 группы. У трехфазного автотрансформатора предусмотрены отпайки на две ступени напряжения, обеспечивающие частоты вращения электродвигателей, соответствующие подаче вентиляторов 30 % и 60 % номинальных значений. Третья ступень 100 % подачи обеспечивается напряжением сети 380 В.

Исследования показали, что применение плавного автоматизированного регулирования подачи вентиляторов в птичнике/по выращиванию бройлеров позволяет улучшить качество регулирования параметров микроклимата, увеличить среднесуточный прирост до 3,5 % и обеспечить экономию электроэнергии до 15 % по сравнению со ступенчатым регулированием.

Непрерывное изменение параметров микроклимата внутри животноводческих, птицеводческих и других производственных помещений требует непрерывного контроля и управления установками микроклимата. Управлять вентиляционными установками экономичнее и удобнее при помощи датчиков и регуляторов, регулирующих соответствующие параметры микроклимата.

С 1985 г. взамен бесконтактной тиристорной системы управления микроклиматом МК-ВА-УЗ начато серийное производство бесконтактного устройства «Климатика-1», предназначенного для поддержания заданной температуры воздуха в производственных помещениях путем плавного изменения частоты вращения асинхронных электродвигателей вытяжных вентиляторов при помощи изменения напряжения на их зажимах в зависимости от фактической и заданной температуры воздуха внутри помещения. Напряжение регулируют при помощи трехфазного тиристорного регулятора напряжения, действующего по принципу фазового регулирования угла открытия тиристорov в зависимости от температуры воздуха в помещении.

Система «Климатика-1» отличается от МК-ВА-УЗ схемой измерения, системой импульсно-фазового управления (СИФУ) и защиты. В устройствах типа «Климатика-1» применены более совершенные и надежные схемы с использованием аналоговых и цифровых микросхем, предусмотрены защиты от обратного порядка следования фаз, бросков напряжения питания и другие. Устройство «Климатика-1» характеризуется следующими основными данными:

Напряжение сети, В	380 $\begin{smallmatrix} +10\% \\ -7,5\% \end{smallmatrix}$
Число фаз питающей сети	3
Частота питающей сети, Гц	$50 \pm 1,25$
Номинальный ток, А	63
Диапазон регулирования выходного напряжения, не менее	1:6
Мощность, потребляемая системой управления, не более, Вт	100
КПД, не менее, %	97
Изменение температуры воздуха в помещении, вызывающее изменение выходного напряжения от минимального до максимального значения, не более, °С	4

На панели управления при помощи задатчика устанавливается требуемая для поддержания в помещении температура в пределах от 0° до 40 °С. Устройство предназначено для работы в помещениях, где температура воздуха при эксплуатации должна быть в пределах от 0° до 40 °С, относительная влажность воздуха — 80 % при 20 °С, верхнее значение — 98 % при 25 °С.

Конструктивно устройство «Климатика-1» состоит из металлического корпуса, в котором размещены силовой блок и блок управления, и отдельно расположенного блока переключателя, позволяющего включать электродвигатели как через устройство управления, так и минуя его. ↘

На рисунке 10.2, а приведена электрическая схема включения электродвигателей вентиляторов в сеть посредством станции управления «Климатика-1».

В силовой блок станции управления входят автомат QF, шесть тиристоров с групповым охладителем и защитные элементы тиристоров: варисторы RU, защищающие от перенапряжения сети, цепочки R—C, защищающие от коммутационных перенапряжений, и конденсаторы C4...C6, ограничивающие скорость нарастания напряжения при подключении устройства к питающей сети (эти элементы показаны только в фазе А).

В блок управления станции БУ входят две печатные платы, два питающих трехфазных трансформатора, узел защиты и панель управления. На печатных платах смонтированы системы фазного регулирования угла открытия тиристоров, транзистор-

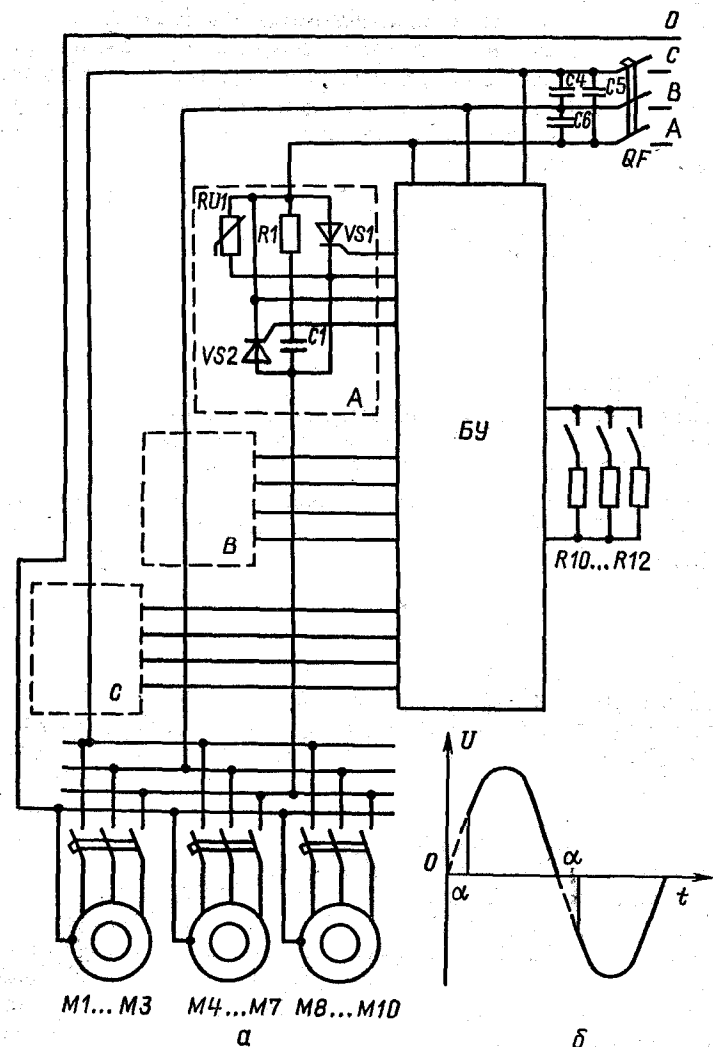


Рис. 10.2. Электрическая схема станции управления «Климатика-1».

ные усилители и импульсные трансформаторы, обеспечивающие кратковременные импульсы напряжения в цепях управления тиристоров для обеспечения их открытия. Узел защиты осуществляет защиту блока управления от обратного чередования фаз, неполнофазного режима и от бросков напряжения питания в момент включения устройства. Срабатывание узла защиты сопровождается световой сигнализацией, выполненной на светодиоде.

С каждым устройством «Климатика-1» поставляется комплект из четырех термопреобразователей (термодатчиков), в качестве которых служат термометры сопротивления типа ТСМ (до четырех), включаемые параллельно и распределенные по длине помещения. На рисунке 10.2, а они показаны резисторами R10...R12.

Работа системы управления БУ происходит следующим образом.

На панели управления задатчиком устанавливается требуемая температура воздуха, которую надо поддерживать в помещении при помощи датчиков температуры R10...R12. Одновременно задатчиком терморегулирования образуется соответствующая мостовая измерительная схема в зависимости от числа подключенных термодатчиков.

Сигнал разбаланса измерительного моста, пропорциональный отклонению температуры в помещении от заданного значения, подается на вход усилительных и импульсно-фазных систем управления, которые формируют требуемый угол открытия тиристоров α (рис. 10.2, б). С превышением температуры воздуха угол открытия α уменьшается, напряжение на зажимах электродвигателей вентиляторов увеличивается, частота вращения вентиляторов повышается, увеличивая вытяжку воздуха из помещения. Частота вращения изменяется в такой степени, чтобы обеспечить температуру в помещении, заданную задатчиком. С уменьшением же температуры воздуха относительно заданной формируется сигнал в блоке управления БУ, обеспечивающий увеличение угла открытия тиристоров α , которое приводит к снижению напряжения на зажимах электродвигателей и соответственно к уменьшению воздухообмена в такой пропорции, чтобы приблизить температуру воздуха в помещении к заданной.

Устройство «Климатика» устанавливают на стене на высоте 1,5 м от пола в специальном отсеке птицеводческого или животноводческого помещения. Термодатчики подключают к блоку управления экранированным проводом с сопротивлением не более 1 Ом. Сопротивление изоляции между силовым клемником и корпусом должно быть не менее 5 МОм.

В условиях сельскохозяйственного производства широкое распространение получили вентиляционно-отопительные агрегаты с теплоносителем, получающим теплоту от котельных. Эти агрегаты, получившие название «калориферы с теплоносителем», или «тепловентиляторы» (ТВ), предназначены для обеспечения требуемых параметров воздушной среды в первую очередь в помещениях животноводческих ферм и комплексов.

Тепловентиляторы серии ТВ выпускаются промышленностью взамен тепловентиляторов серий КПС и КПП и отличаются от них усовершенствованной автоматизированной системой управления и защитой калорифера от замораживания. Функции управления и защиты выполняет станция (устройство) управления «Приток 1». Тепловентилятор серии ТВ состоит из вентилятора с двухскоростным электродвигателем, калориферного блока, обводного канала с жалюзи, температурного реле, обеспечивающего защиту калорифера от замораживания в зимнее время при понижении температуры воды до $+30^\circ\text{C}$. Обводной канал позволяет забирать наружный воздух, минуя калорифер, что способствует увеличению подачи воздуха на 20...30 % с одновременным исключением потерь напора и энергии в калорифере в летний период, когда не требуется отопление.

Промышленность выпускает тепловентиляторы шести типовых размеров (табл. 10.4).

10.4. Основные данные тепловентиляторов серии ТВ

Тип тепловентилятора	Подача по воздуху, м ³ /ч		Подача по теплоте, кВт	Присоединенная мощность электродвигателя при максимальной частоте вращения, кВт	Тип электродвигателя
	1-я скор.	2-я скор.			
ТВ-6	3 000	6 000	52	2,2	4АЗВ10098/4ΟΥ2
ТВ-9	4 500	9 000	70	3,6	4А112МВ8/4СУ1
ТВ-12	6 000	12 000	95	5,3	4А13288/4СУ1
ТВ-18	9 000	18 000	138	7,1	4А132М8/4СУ1
ТВ-24	12 000	24 000	155	9,0	4А1608/4СУ1
ТВ-36	18 000	36 000	198	13	4А160М8/4СУ1

Воздух поступает через калорифер и обводной канал. Регулирование поступления воздуха через обводной канал и калорифер осуществляется исполнительным механизмом типа МЭО-0,63/63-025П. Теплоноситель поступает в калорифер непрерывно (кроме летнего периода) и его поступление не регулируется.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие величины входят в формулу мощности электродвигателя вентилятора и как их определить? 2. Каковы особенности регулирования в оборудовании «Климатика»? 3. В чем заключаются принципы автоматизации вентиляционных установок и какие регуляторы и датчики используются в системах автоматизации микроклимата?

Практическое занятие № 7. ВЫБОР ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Выбор вентиляционного оборудования, включая электрооборудование, основывается на конкретных расчетах по определению требуемых часового воздухообмена и давления. В технических данных выпускаемых промышленностью комплектов вытяжных вентиляторов типа ВО для птицеводческих и животноводческих помещений указывается номинальная их подача при давлении 19,6 Па. Определим число вентиляторов типа ВО для птичника на 30 000 кур. Расчет проведем по условиям удаления углекислого газа и влаги.

Количество углекислого газа, выделяемого птицей в течение часа, с учетом норм таблицы 10.1 и поголовья птицы составит

$$C = 1,7 \cdot 30\,000 = 51\,000 \text{ л/ч.}$$

Количество углекислого газа, содержащегося в 1 м^3 наружного воздуха, принимаем $C_1 = 0,3 \text{ л/м}^3$, а допустимое его количество в 1 м^3 воздуха внутри птичника (табл. 10.2) $C_2 = 2,5 \text{ л/м}^3$.

Требуемый часовой воздухообмен по условию удаления углекислого газа ($\text{м}^3/\text{ч}$)

$$L = 1,2C/(C_2 - C_1) = 1,2 \cdot 51\,000/(2,5 - 0,3) = 27\,818.$$

Количество влаги, выделяемое птицей в течение часа, с учетом норм таблицы 10.1 и поголовья птицы $W_1 = 3 \cdot 30\,000 = 90\,000 \text{ г/ч}$.

Количество влаги, содержащееся в 1 м^3 наружного воздуха при принимаемой температуре -3°C ($d_{1\text{нас}} = 3,81 \text{ г/м}^3$, табл. 10.3) и относительной влажности $\phi_1 = 0,9$, $d_1 = d_{1\text{нас}} \phi_1 = 3,81 \cdot 0,9 = 3,43 \text{ г/м}^3$.

Допустимое количество влаги в 1 м^3 воздуха внутри помещения определяется при минимальной температуре 7°C ($d_{2\text{нас}} = 7,8 \text{ г/м}^3$, табл. 10.3) и допустимой относительной влажности $\phi_2 = 0,75$ (табл. 10.2), так как расчеты показывают, что с уменьшением температуры внутри помещения требуемый часовой воздухообмен увеличивается: $d_2 = d_{2\text{нас}} \phi_2 = 7,8 \cdot 0,75 = 5,85 \text{ г/м}^3$.

Требуемый часовой воздухообмен по условиям удаления влаги ($\text{м}^3/\text{ч}$)

$$L = 1,1W_1/(d_2 - d_1) = 1,1 \cdot 90\,000/(5,85 - 3,43) = 41\,000.$$

Берем наибольшее значение $L = 41\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$. С учетом равномерного распределения вентиляторов в птичнике выбираем вентиляторы ВО5 с подачей $L_1 = 6000 \text{ м}^3/\text{ч}$ при давлении 19,6 Па. Число вентиляторов $n = L/L_1 = 41\,000/6000 = 6,83$. Принимаем $n = 7$.

Вентиляторы ВО5 комплектуются электродвигателями с повышенным скольжением мощностью 0,37 кВт (прил. 7 и 8). Для управления и защиты выбирается станция управления «Климатика» с соответствующей настройкой на работу с семью вентиляторами ВО5. Если станция управления «Климатика» отсутствует, то с учетом принятой электрической схемы включения выбирают соответствующую аппаратуру управления (автоматы, магнитные пускатели, ФУЗ).

Лабораторная работа № 6. ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЯТОРА

Цель работы. Изучить электроприводные характеристики вентилятора и способы регулирования его подачи.

Программа работы. 1. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия приборов для измерения напора и скорости воздушного потока в трубопроводе с задвижкой, на который работает вентилятор.

2. Собрать электрическую схему регулируемого электропривода вентилятора.

3. Снять зависимости мощности, момента, подачи, давления вентилятора от частоты его вращения при полностью открытой задвижке на трубопроводе.

4. Снять зависимость мощности, потребляемой электродвигателем вентилятора при номинальной частоте его вращения и разной степени открытия задвижки на трубопроводе (25, 50, 75 и 100 %).

5. По кривым мощности (пункты 3 и 4) для одних и тех же подач найти отношения мощности при дроссельном регулировании к мощности, полученной при регулировании подачи частотой вращения вентилятора, и построить зависимость этого отношения от подачи вентилятора.

6. Составить отчет.

Содержание отчета. В отчет включить паспортные данные вентилятора, электродвигателя, измерительных приборов, технологическую и электрическую схемы, таблицы опытных данных, расчеты, зависимости мощности, момента, подачи, давления вентилятора от частоты его вращения при полностью открытой задвижке на трубопроводе, зависимость потребляемой мощности при номинальной частоте вращения от степени открытия задвижки на трубопроводе (25, 50, 75 и 100 %). Проанализировать полученные результаты и сделать краткие выводы по работе.

11.1. Электропривод
кормоприготовительных машин

Качество корма, в значительной мере зависящее от технологии и качества переработки и приготовления, — один из основных факторов, определяющих продуктивность животных и птицы.

Корма на животноводческих фермах готовят в кормоцехах и кормокухнях по поточной технологии с набором соответствующих машин. Кормоприготовительные машины поставляются в комплекте с электродвигателями и аппаратурой управления.

Основные кормоприготовительные машины — это режущие и дробильные. К машинам режущего типа относятся Волгарь-5 (для измельчения в мезгу зеленой массы, корнеплодов, бахчевых и кукурузных початков молочно-восковой спелости), измельчители корнеклубнеплодов ИКС-5М, ИГК-30Б, ИКМ-5 и другие (табл. 11.1). К дробильным машинам относятся дробилки кормов КДУ-2, ДБ-5 и другие.

Мощность электродвигателя кормоприготовительных машин (кВт) приближенно может быть определена по формуле

$$P = \frac{k_x a_n Q}{\eta_n}, \quad (11.1)$$

где $k_x = 1,15 \dots 1,2$ коэффициент, учитывающий потери холостого хода; a_n — энергия, затрачиваемая на измельчение (резание, дробление) тонны продукта, кВт·ч/т; Q — производительность машины, т/ч; η_n — КПД передачи.

11.1. Приводные характеристики машин для измельчения кормов

Марка машины	Рекомендуемый электродвигатель	Мощность электродвигателя, кВт	Приведенный момент инерции, кг·м ²
Измельчитель сочных кормов ИКС-5М	4А132С4СУ1	7,5	6,25
Измельчитель кормов «Волгарь-5»	4АР180С4СУ1	22	1,57
Измельчитель грубых кормов ИГК-30	4АР180М4СУ1	30	11,4
Универсальная дробилка кормов ДКУ-1	4АР180С4СУ1	22	2,65
Дробилка кормов КДУ-2	4АР180М4СУ1	30	7,75

Продолжение

Марка машины	Момент трогания, Н·м	Минимальный момент, Н·м	Номинальный момент, Н·м	Производительность, т/ч
Измельчитель сочных кормов ИКС-5М	4,9	2,94	7,8	5
Измельчитель кормов «Волгарь-5»	11,8	7,35	9,8	5...10
Измельчитель грубых кормов ИГК-30	2,94	2,94	16,7	3
Универсальная дробилка кормов ДКУ-1	9,8	4,9	15,7	1 (на зерне), 7 (на корнеклубнеплодах)
Дробилка кормов КДУ-2	14,7	10,7	55	2 (на зерне), 15 (на корнеклубнеплодах), 0,7 (на сене)

При измельчении корнеклубнеплодов измельчителем кормов ИКС-5М $a_n = 1,15$ кВт·ч/т, измельчителем «Волгарь-5» — $a_n = 1,2$ кВт·ч/т. При измельчении зерна удельная энергия измельчения

$$a_n = C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1), \quad (11.2)$$

где λ — степень измельчения материала, равная отношению среднего размера (D) частиц исходного материала к среднему размеру (d) частиц измельченного продукта; C_1 и C_2 — коэффициенты, определяемые опытным путем, кВт·ч/т. Например, для ячменя $C_1 = 2,9$, $C_2 = 2,5$; для ржи $C_1 = 3,4$, $C_2 = 2,6$; для пшеницы $C_1 = 1,7$ кВт·ч/т, $C_2 = 3,0$ кВт·ч/т.

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 мин.

11.2. Автоматизация приготовления
корнеклубнеплодов

При работе поточной линии (рис. 11.1, а) корнеклубнеплоды загрузочным транспортером 1 подаются в подающий транспортер 2, из которого они поступают в камнеотдели-

тельное устройство и в моющую и измельчающую машину 3. В зависимости от принятой технологии корнеклубнеплоды могут поступать в запарный чан 4 или в транспортное устройство в неизмельченном или измельченном виде.

Поточная линия может быть включена от специального программного устройства *KT1* (рис. 11.1, б) в соответствии с заданной программой или вручную при помощи кнопки *SB2*. Схема автоматизации приготовления корнеклубнеплодов работает следующим образом. При нажатии кнопки *SB2* получает питание пускатель *KM3*, который включает электродвигатель моющей и измельчающей машины 3. Контактами *KM3* включается пускатель *KM2*, подающий напряжение на электродвигатель транспортера 2. Контакты *KM2.2*

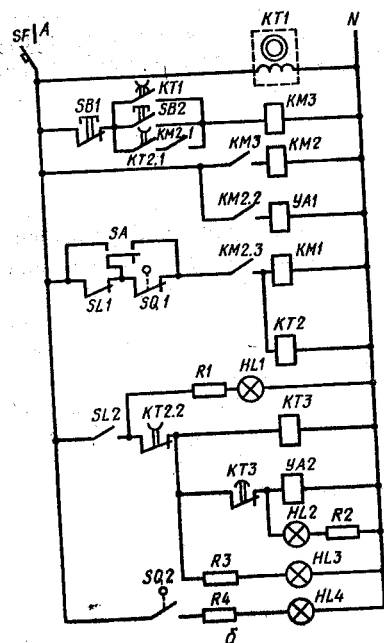
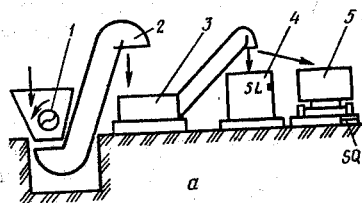


Рис. 11.1. Технологическая (а) и электрическая (б) схемы автоматизации приготовления корнеклубнеплодов:

1 — загрузочный транспортер; 2 — подающий транспортер; 3 — моющая и измельчающая машина; 4 — запарник; 5 — транспортное устройство.

статочная для размещения оставшегося в поточной линии продукта. В этом случае в электрической схеме происходят следующие переключения.

При наполнении запарного чана до установленного уровня срабатывает реле уровня, размыкая свои контакты *SL1* и замыкая контакты *SL2*, подготавливая цепь включения пара. Разрывается цепь питания пускателя *KM1* и реле времени *KT2*. Пускатель *KM1* отключает загрузочный транспортер 1, поступление продукта в поточную линию прекращается. Реле времени *KT2* через выдержку времени, достаточную для освобождения поточной линии от продукта, размыкает контакты *KT2.1* в цепи катушки пускателя *KM3*, останавливая всю поточную линию и прекращая подачу воды в мойку. Одновременно с этим реле времени *KT2* замыкает свои контакты *KT2.2* в цепи электромагнита *YA2*, включающего пар. Включается реле времени *KT3*, которое через время, достаточное для запаривания, размыкает свои контакты *KT3.1*, отключающие электромагнит *YA2*, и поступление пара прекращается.

Если из поточной линии продукт должен поступать в транспортное устройство, то выключатель *SA* должен находиться в левом замкнутом положении. При наполнении этого транспортного устройства аналогично предыдущему случаю размыкаются контакты конечного выключателя *SQ1*, отключается загрузочный транспортер 1 и с выдержкой времени отключается вся поточная линия.

11.3. Автоматизация приготовления концентрированных кормов

Электропривод дробилок кормов непрерывно совершенствуется. Потребляемая мощность и расход электроэнергии на единицу перерабатываемой продукции зависят от вида перерабатываемого продукта, подачи и коэффициента полезного действия электродвигателя и машины. Последние два параметра зависят от степени загрузки машины. Поэтому необходимо обеспечить такую подачу продукта, при которой машина была бы загружена на номинальную мощность с наибольшим коэффициентом полезного действия и коэффициентом расхода электроэнергии на единицу перерабатываемой продукции при одновременном сокращении продолжительности работы в течение суток.

В качестве примера рассмотрим автоматизированный электропривод безрешетной дробилки зерна ДБ-5 производительностью 4...6 т/ч, предназначенной для измельчения различных видов фуражного зерна нормальной и повышенной влажности,

При скачкообразных перегрузках электродвигателя *M2* регулятор загрузки через исполнительное реле *KV2* отключает электромагнитную муфту и заслонку, падая, перекрывает поступление зерна в дробильную камеру.

Электродвигатель загрузочного шнека *M3* работает в повторно-кратковременном режиме. Сначала при нажатии на кнопку *SB6* включается магнитный пускатель *KM4* через открытый симистор *VS*, запускается электродвигатель *M3* и зерно поступает в приемный бункер. Отключение *M3* произойдет при достижении продуктом датчика верхнего уровня *SL1*, контакты которого, замыкаясь, шунтируют цепь управления симистора *VS*, так как управляющий электрод будет соединен с нулевым проводом. Симистор *VS* запирается, разрывается цепь питания магнитного пускателя *KM4* и электродвигатель *M3* отключается. Уровень зерна в бункере начинает снижаться, размыкаются контакты датчика верхнего уровня *SL1*, однако шунтирующая цепь тока через замкнутые контакты датчика нижнего уровня *SL2* сохраняется. Повторное включение электродвигателя *M3* происходит при снижении уровня зерна в бункере ниже датчика нижнего уровня *SL2*, когда его контакты оказываются разомкнутыми. Конечный выключатель *SQ2* срабатывает при полностью открытой заслонке и включает звуковой сигнал (сирену) *HA*.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От каких факторов и от каких величин зависит мощность электродвигателя измельчителей и дробилок кормов? 2. Какие мероприятия проводятся по улучшению условий пуска и загрузки кормоприготовительных машин и на какие показатели они влияют? 3. Объясните технологические и электрические схемы автоматизированного приготовления корнеклубнеплодов и дробления кормов.

Глава 12. ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ КОРМОРАЗДАТОЧНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК

12.1. Выбор электропривода для транспортеров

Транспортные работы на животноводческих фермах (подвозка кормов, подстилки, вывоз молока, уборка и удаление навоза и др.) по затратам труда составляют примерно 30...40 % всех работ.

На фермах значительное распространение получили электрифицированные транспортные средства, которые можно подразделить на стационарные и мобильные. К стационарным относятся ковшовые, скребковые, ленточные, шнековые и другие транспортеры, предназначенные главным образом для перемещения грузов в животноводческих помещениях, кормоцехах, молочных и в складах. К мобильным относятся электрифицированные передвижные кормораздатчики, электрокары, тельферы и др.

Вывод общей формулы мощности, необходимой для перемещения груза, основан на следующих положениях. Работа транспортеров связана с перемещением грузов по направлению, которое всегда можно представить в виде двух составляющих: вертикальной и горизонтальной составляющих. Поэтому определим составляющие мощности, необходимые для подъема груза массой *m* на высоту *h* и для горизонтального перемещения на расстояние *L*.

Для подъема тела надо к центру его тяжести приложить силу, равную по значению его весу, но направленную в противоположную сторону (вверх).

В этом случае мощность (Вт) — это есть работа, затрачиваемая на подъем груза, в одну секунду

$$P_h = mgh / (t_{\uparrow}) = Qgh / \eta_{\uparrow} \quad (12.1)$$

где *m* — масса груза, кг; *g* — ускорение свободного падения (*g* = 9,8 м/с²); *h* — высота подъема, м; *t* — продолжительность подъема, с; *Q* — подача, кг/с; η_{\uparrow} — КПД транспортера.

При горизонтальном перемещении к телу надо приложить силу, равную по значению силе трения, но направленную в сторону движения. Сила трения

$$F_{\text{тр}} = mgf,$$

где *f* — коэффициент трения.

Если тело перемещается транспортером, то правильнее силу, препятствующую движению, называть не силой трения, а силой сопротивления движению, а коэффициент *f* — коэффициентом сопротивления движению.

Работа, затрачиваемая на горизонтальное перемещение груза в одну секунду, то есть мощность (Вт)

$$P_L = mgfL / t = QgfL, \quad (12.2)$$

где *L* — горизонтальная составляющая пути перемещения груза, м.

Мощность электродвигателя, равная сумме мощностей, затрачиваемых на подъем и горизонтальное перемещение груза,

с учетом КПД передачи движения от электродвигателя к транспортеру (η_n)

$$P = \frac{Qg}{\eta_n} \left(Lf + \frac{h}{\eta_r} \right). \quad (12.3)$$

В транспортных установках подачу принято измерять в тоннах в час, а мощность — в киловаттах. В этом случае мощность электродвигателя

$$P = \frac{Q}{367 \cdot \eta_n} \left(Lf + \frac{h}{\eta_r} \right). \quad (12.4)$$

Для вертикальных транспортеров (норий) в формулы (12.3) и (12.4) подставляется $L=0$, а для горизонтальных $h=0$.

Скребковые транспортеры состоят из бесконечной цепи со скребками, перемещающими продукт внутри желоба. Их используют для транспортирования корнеклубнеплодов, зерна, силосной массы, грубых кормов, уборки навоза. В зависимости от назначения скребковые транспортеры имеют конструктивные различия и продукт перемещают нижней или верхней ветвью. На рисунке 12.1, а показана схема скребкового транспортера, перемещающего продукт нижней ветвью цепи.

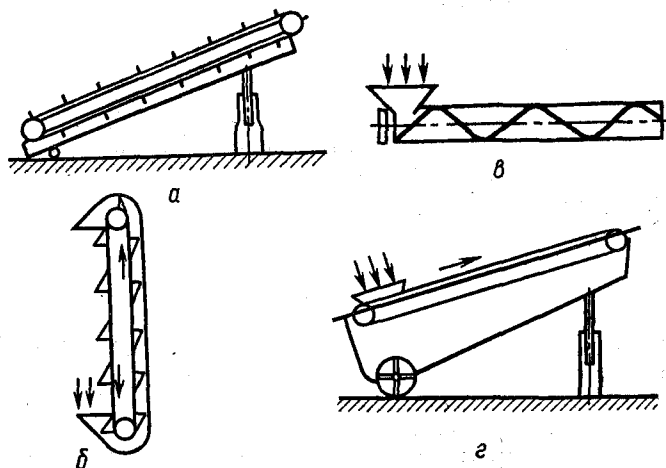


Рис. 12.1. Кинематические схемы стационарных транспортеров: а — скребкового; б — ковшового; в — шнекового; г — ленточного.

Подача скребковых транспортеров (т/ч)

$$Q = HBv\rho\psi C3600, \quad (12.5)$$

где H и B — высота и ширина скребка, м; v — скорость движения цепи: для корнеклубнеплодов 0,3...0,5 м/с, для зерна 1...2, для мучных кормов и навоза 0,5...1,0 м/с; ρ — объемная масса (плотность) транспортируемого продукта: для корнеклубнеплодов 0,45 т/м³, для зерна 0,45...0,75, для силоса 0,27, для зерновой дерти 0,37...0,63, для навоза 1,0 т/м³; ψ = 0,6...0,8 — коэффициент заполнения; C — коэффициент, учитывающий степень заполнения скребков в зависимости от угла наклона транспортера α (табл. 12.1).

12.1. Значения коэффициента C , учитывающего степень заполнения скребков в зависимости от угла наклона транспортера

$\alpha, ^\circ$	Значения C для грузов	
	легкосыпучих	плотосыпучих
10	0,85	1,0
20	0,65	0,85
30	0,5	0,75
45	0,35	0,6

Мощность электродвигателя для скребковых транспортеров определяют по формуле (12.4). Значение f приведено в таблице 12.2.

12.2. Значение коэффициента f сопротивления движению

Подача транспортера, т/ч	Коэффициент f для транспортера с цепями	
	втулочно-роликовыми	крючковыми
4,5	2,25	4,2
9,0	1,7	3,0
18,0	1,3	2,25
27,0	1,1	1,9
36,0	1,05	1,6

Ковшовые транспортеры (элеваторы, нории) предназначены для вертикального или наклонного (с небольшим отклонением от вертикали) перемещения сыпучих материалов (зерно, мука, корнеплоды, гранулы и др.) и корнеклубнеплодов (рис. 12.1, б). Они состоят из непрерывной прорезиненной ленты с закрепленными ковшами, верхнего ведущего барабана, нижнего ведомого барабана и кожуха. Продукт поступает в нижнюю головку и выходит через верхнюю.

Подача элеватора (т/ч)

$$Q = \frac{Vv}{a} \rho \psi 3600, \quad (12.6)$$

где V — вместимость ковша, м^3 ; v — скорость движения ленты (для зерна 2...4, для муки 1...1,5, для корнеплодов 0,3...0,5 м/с); a — расстояние между ковшами (шаг), м; ρ — плотность транспортируемого материала, т/м^3 ; ψ — коэффициент заполнения ковшей (для зерна 0,75...0,90, для продуктов помола 0,33). У наклонных норий коэффициент заполнения больше на 10...20 %.

Мощность (кВт) электродвигателя элеватора (нории) определяют по формуле (12.4) при $L=0$ и $\eta_r=0,5...0,67$.

Шнековые транспортеры (рис. 12.1, в) предназначены для транспортирования зерна и смешивания продуктов размола, комбикормовых смесей, сырого и запаренного картофеля, влажных кормов, силоса, сена и т. п. Они состоят из кожуха, в котором рабочий винт, вращаясь, своей винтовой поверхностью перемещает транспортируемый материал.

Подача шнека (т/ч)

$$Q = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} s \rho \psi n c \cdot 60, \quad (12.7)$$

где D — наружный диаметр винта, м; d — диаметр вала винта, м; s — шаг винта (расстояние между витками), м; ρ — плотность перемещаемого материала, т/м^3 ; ψ — коэффициент заполнения винта, в расчетах для зерна принимается 0,25...0,35, для муки — 0,25...0,30, для корнеплодов — 0,4, для полужидких кормов-смесей — 0,9...1,0, для навоза — 0,6...0,8; n — частота вращения вала, мин^{-1} ; c — коэффициент снижения подачи в зависимости от угла наклона шнека α :

$\alpha,^\circ$	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
c	1	0,9	0,8	0,7	0,65	0,58	0,52	0,48	0,44	0,40	0,34	0,30

Мощность электродвигателя (кВт), необходимая для привода шнека,

$$P = \frac{Q}{367 \eta_n} \left(L f + \frac{h}{\eta_r} \right) k, \quad (12.8)$$

где k — поправочный коэффициент, зависящий от угла наклона транспортера.

Для зерна, кормов всех видов и продуктов помола $f=1,2$, для навоза $f=2,5$, коэффициенты сопротивления движению материала по кожуху получены опытным путем. Значения коэффициента k зависят от угла наклона транспортера α :

$\alpha,^\circ$	До	20	25	30	35	40	45	90
k	1	1,05	1,13	1,2	1,32	1,4	2,5

Ленточные транспортеры (рис. 12.1, г) используют для перемещения сыпучих, кусковых и штучных грузов, сенажа и других видов кормов.

Максимально допустимый угол транспортирования для ржи, пшеницы, овса, ячменя составляет 20° , для гороха и кукурузы — 12° , для картофеля — 22° . При углах транспортирования выше максимально допустимых на ленту транспортера набивают планки.

Подача ленточного транспортера (т/ч)

$$Q = 3600 S v \rho, \quad (12.9)$$

где S — площадь поперечного сечения продукта, м^2 ; v — скорость движения ленты, м/с; ρ — плотность продукта, т/м^3 .

Ленточные транспортеры используют для перемещения грузов в наклонном или горизонтальном направлении. Мощность электродвигателя (кВт) для ленточного транспортера наклонного перемещения груза

$$P = F v / (1000 \eta_n), \quad (12.10)$$

где F — сопротивление движению ленты, Н; v — скорость движения ленты, м/с; η_n — КПД передачи.

Сопротивление движению ленты равно сумме сопротивлений на прямолинейном участке пути F_n , на барабанах F_6 , загрузки F_z , разгрузки F_p , то есть

$$F = F_n + F_6 + F_z + F_p. \quad (12.11)$$

Если лента движется по настилу, то

$$F_n = (m + m_n) g l (f_n \cos \alpha + \sin \alpha), \quad (12.12)$$

где m — масса груза, приходящаяся на 1 м длины l (м) транспортера кг/м; m_n — масса одного метра ленты, кг/м; α — угол наклона (подъема) транспортера; f_n — коэффициент трения между лентой и настилом. При стальном настиле $f_n=0,35...0,6$, деревянном $f_n=0,4...0,7$.

Если лента движется по роликовым опорам, то

$$F_n = (m + m_n) g l (f_p n_p \cos \alpha + \sin \alpha), \quad (12.13)$$

где f_p — коэффициент сопротивления движению ленты по ролику, при плоской ленте равный 0,018...0,035, при желобчатой — 0,02...0,04; n_p — число роликов.

Сопротивление движению на огибаемых лентой барабанах

$$F_6 = F_n f_6 n_6, \quad (12.14)$$

где F_d — натяжение набегающей ветви ленты, Н; $f_0 = 0,06 \dots 0,09$ — коэффициент местного сопротивления; n_0 — число барабанов.

Сопротивление от загрузки материала на ленту при подаче Q (т/ч), скорости ленты v_d и начальной скорости груза v_0

$$F_3 = 0,278 Q (v_d^2 - v_0^2) / v_d. \quad (12.15)$$

Сопротивление от плужкового сбрасывателя (лента шириной B)

$$F_p = 2,7 mgB. \quad (12.16)$$

Тросошайбовые транспортеры широко применяются на животноводческих и птицеводческих фермах для раздачи сухих сыпучих кормов по трубам при помощи тросошайбового рабочего органа (рис. 12.2). По конструкции они простые, надежны, позволяют делать повороты в любом направлении на любой угол, могут транспортировать корм на десятки метров на любом уровне без занятия полезной площади пола.

Подача тросошайбового транспортера (т/ч)

$$Q = F v p k_1 k_2 3600, \quad (12.17)$$

где $F = \pi (D^2 - d^2) / 4$ — площадь поперечного сечения транспортируемого груза, m^2 ; $D = 0,025 \dots 0,03$ м — внутренний диаметр трубопровода; d — диаметр троса, м; $v = 0,1 \dots 0,4$ м/с — скорость транспортирования; p — плотность транспортируемого материала, $т/м^3$; $k_1 = 0,8 \dots 0,9$ — коэффициент заполнения желоба; $k_2 = 1,05 \dots 1,1$ — коэффициент, учитывающий уплотнение груза.

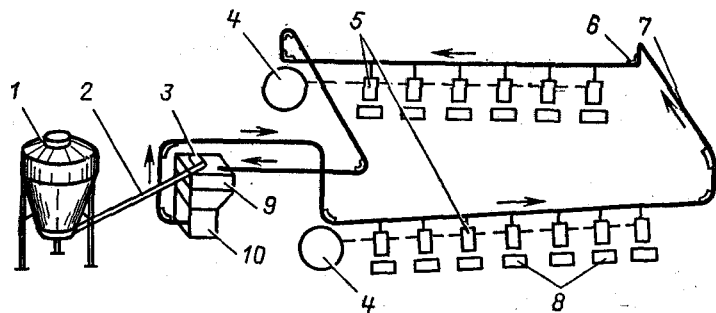


Рис. 12.2. Технологическая схема тросошайбового кормораздатчика: 1 — бункер; 2 — шнек; 3 — привод шнека; 4 — привод дозаторов; 5 — дозаторы; 6 — поворотный узел; 7 — кормопровод; 8 — кормушки; 9 — промежуточный бункер кормораздатчика; 10 — приводная установка кормораздатчика.

Мощность электродвигателя тросошайбового транспортера (кВт)

$$P = \frac{Qg}{3600\eta_n} (l_r f_r + l_b f_b + h) = \frac{Q}{367\eta_n} (l_r f_r + l_b f_b + h), \quad (12.18)$$

где l_r, l_b — суммарная длина горизонтальных и вертикальных труб, м; f_r, f_b — коэффициенты сопротивления движению тросошайбового рабочего органа по горизонтали и вертикали, зависящие от коэффициентов трения корма и шайб троса о стенки при их движении вдоль труб; h — высота подъема продукта, м.

12.2. Электропривод и автоматизация стационарных транспортерных кормораздатчиков

Для раздачи различных видов кормов на животноводческих фермах и комплексах широко используются выпускаемые промышленностью электрифицированные стационарные и мобильные кормораздаточные транспортеры и кормораздатчики. Стационарные раздаточные средства не нуждаются в широких кормовых проходах и позволяют легко автоматизировать процесс раздачи кормов.

На фермах крупного рогатого скота из стационарных кормораздатчиков наибольшее применение нашли ленточные транспортерные кормораздатчики ТВК-80Б, ТРЛ-100, КЛК-75, КЛО-75, на свинофермах — тросошайбовые транспортеры КШ-0,5, пневматические установки ПУС-1,0 (табл. 12.3).

12.3. Основные технические данные наиболее распространенных транспортерных кормораздатчиков

Кормораздатчик	Подача при механизированной загрузке, т/ч	Фронт кормления, м	Число обслуживаемых животных	Установленная мощность электродвигателя, кВт
КЛК-75	20	75	100...200	5,5
ТВК-80Б	38,6	75	60...62	5,5
ТРЛ-100	20	75	600...2000 коров, 3...12 тыс. на откорме	30
КЛО-75	До 20	75	100...200	5,5
КШ-0,5	0,35...1,5	6...160 (дли. 60 свиноматок с порона контура) сятами, 600 на откорме		3,29
ПУС-1,0	19	До 90	600...1200	3

Для поточной линии раздачи кормов на фермах КРС можно использовать центральный поперечный распределительный транспортер для подачи кормов на кормораздатчик ($Q=20$ т/ч, $P_{уст}=10$ кВт) и наклонный транспортер для приема кормов от бункеров-дозаторов и подачи на центральный поперечный распределительный транспортер ($Q=20$ т/ч, $P_{уст}=3$ кВт).

Рассмотрим работу автоматизированного электропривода наиболее часто используемого тросошайбового кормораздатчика (рис. 12.2). Комбикорм из наружного бункера 1 шнековым транспортером 2 подается в бункер 9. Из бункера 9 корм перемещается по кормопроводу 7 с помощью троса с шайбами и через отверстия поступает в индивидуальные или групповые дозаторы 5. После заполнения последнего дозатора его датчик уровня

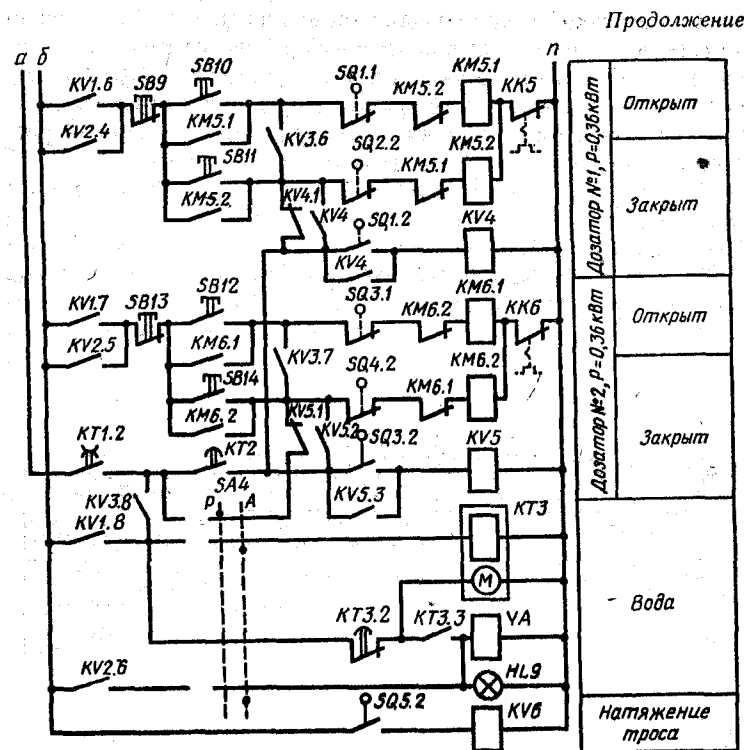
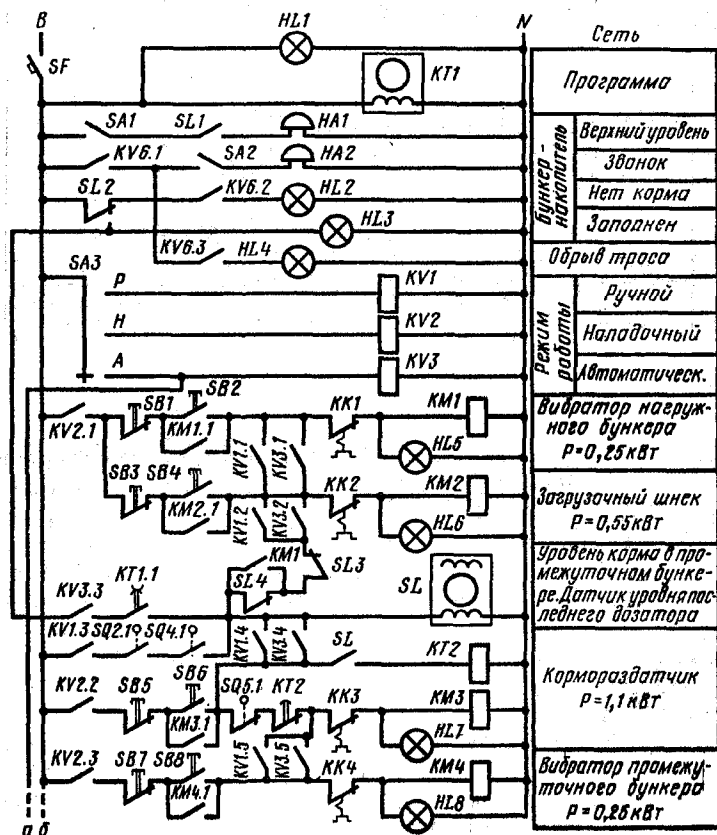


Рис. 12.3. Электрическая схема автоматизированного управления тросошайбовыми транспортерами КШ-0,5 и КШ-0,5-0,9.

выключает электропривод 10 тросошайбового транспортера и включает приводы 4 открытия дозаторов, которые высыплют корм в кормушки 8. После опорожнения дозаторов они закрываются электроприводами 4. При опорожнении бункера 9 привод 3 шнекового транспортера 2 включается, а при заполнении отключается. Для увлажнения корма в кормушках в кормораздатчик вмонтирован водопровод с запорным электромагнитным клапаном, который автоматически открывается после заполнения дозаторов комбикормом и закрывается через определенное время.

Принципиальная электрическая схема тросошайбовых кормораздатчиков КШ-0,5 и КШ-0,5-0,9 (рис. 12.3) предусматривает управление в автоматическом А, ручном Р и наладочном Н режимах. Программное реле времени $KT1$ включает и отключает

кормораздатчик в заданное время при наличии корма в промежуточном бункере 9 (см. рис. 12.2 и 12.3), когда контакты датчика нижнего уровня *SL2* сработали. В автоматическом режиме переключатели *SA3* и *SA4* ставят в положение *A*. При включении автоматического выключателя *SF* напряжение подается на электрическую схему. Реле *KV3* замыкает свои контакты, подготавливая цепи управления к автоматической работе. В заданное время программное реле времени *KT1* замыкает свои контакты. Включается реле времени *KT3*, дозирующее увлажнение, электромагнитный клапан *УА* открывается и вода поступает в кормушки. Одновременно включается пускатель кормораздатчика *KM3*, и при отсутствии комбикорма в промежуточном бункере 9, когда контакты датчиков нижнего *SL4* и верхнего *SL3* уровней замкнуты, магнитные пускатели *KM2* и *KM1* включают электродвигатели загрузочного шнека 2 и вибратора бункера-накопителя 1, которые работают до заполнения бункера 9, то есть до тех пор, пока не разомкнутся контакты *SL3*. При заполнении последнего дозатора 5 срабатывает его сигнализатор уровня *SL*, который включает реле времени *KT2*, а оно с выдержкой времени, необходимой для освобождения кормопровода от корма, отключает пускатели *KM3* кормораздатчика и *KM4* вибратора бункера 9. Одновременно подается питание на катушки магнитных пускателей *KM5.1* и *KM6.1* на открытие дозаторов. Корм высыпается в кормушки. При полном открытии дозаторов срабатывают конечные выключатели *SQ1.1* и *SQ3.1*, которые отключают катушки пускателей привода на открытие дозаторов *KM5.1* и *KM6.1* и через реле *KV4* и *KV5* включают привод на закрытие дозаторов. При полном закрытии дозаторов привод отключается конечными выключателями *SQ2.2* и *SQ4.2*. Реле времени *KT3* через 4...7 мин с момента замыкания контактов программного реле времени *KT1* отключает электромагнитный клапан *УА*, который перекрывает поступление воды в кормушки.

При обрыве или ослаблении натяжения троса конечный выключатель *SQ5.1* отключает катушку магнитного пускателя кормораздатчика *KM3* и через контакты *SQ5.2* и реле *KV6* включает звонок *HA2* (при замкнутом *SA2*), сигнальные лампы *HL4* и *HL2* (при отсутствии корма в бункере 9).

Ручное управление раздатчиком осуществляется путем переключения *SA3* и *SA4* в положение *P* и нажатия соответствующих кнопок управления. Замыкающие контакты *SQ2.1*, *SQ4.1* замкнуты при полностью закрытых дозаторах, что обеспечивает блокировку от включения привода кормораздатчика и загрузочного шнека при открытых дозаторах.

Клеточное содержание — наиболее распространенный вид

содержания птицы в промышленном птицеводстве. Промышленность выпускает ряд комплектов оборудования с различными типами клеточных батарей, в которых механизированы и в значительной степени автоматизированы основные производственные процессы кормораздачи, сбора яиц и уборки помета (табл. 12.4).

12.4. Основные технические данные комплектного оборудования клеточных батарей

Комплектное оборудование с клеточными батареями	Содержатся	Поголовье, тыс.	Мощность электродвигателей, кВт
БКМ-3	Ремонтный молодняк кур-несушек	30...54	80...125
БКМ-3Б	Бройлеры	30...54	45...100
2Б-3 двухъярусными	Бройлеры	32...66	60...130
БММ-3 трехъярусными	Ремонтный молодняк родителского стада	16...33	50...110
Четырехъярусными	Куры-несушки промышленного стада	30...40	28...35
ЦБК	Бройлеры на глубокой подстилке	17...36	40...85

Рассмотрим управление загрузкой и раздачей кормов комплекта оборудования БКМ-3.

Линия загрузки и раздачи корма комплекта оборудования БКМ-3 (рис. 12.4, а) включает в себя бункер 1 сыпучих кормов типа БСК-10, транспортер 2 типа ТУУ-2, бункер батареи с ворошилкой, линии кормушек 3 с кормораздаточной цепью и поворотными станциями, при помощи которых на каждом ярусе батареи образуется замкнутый контур кормораздаточной цепи. Норму выдачи корма из бункера батареи в кормушки регулируют при помощи заслонок, укрепленных у выходных отверстий бункера на каждом ярусе. Движение цепи кормораздачи всех трех ярусов батареи осуществляется от единого привода.

Корм из бункера 1 подается наклонным транспортером в приемник горизонтального транспортера 2, который доставляет корм в бункеры клеточных батарей, загружая их последовательно. Когда бункер первой батареи заполнится кормом до верха, закрывая кормом выгрузное окно в коробе горизонтального транспортера, корм начнет транспортироваться к бункеру второй батареи и загружать его аналогично предыдущему. При наполнении последнего бункера линия загрузки корма отключится.

На рисунке 12.4,б приведена принципиальная электрическая

схема управления загрузкой бункеров всех клеточных батарей БКМ-3 и кормораздачей первой батареи. Кормораздача в других батареях и их электрические схемы кормораздачи аналогичны первой. Аппаратура кормозагрузки (*КТ1, КМ1, КВ1, КВ2, КТ2, НЛ1*) находится в общем шкафу управления. Аппаратура кормораздачи (для первой батареи *КМ2, КВ3, НЛ2*) находится в шкафах соответствующих батарей. В цепи управления пускателем *КМ1* кормозагрузки, который включает и отключает все электродвигатели линии загрузки кормов, включены контакты тепловых реле *КК1...КК3* электродвигателей горизонтального и наклонного транспортеров.

В ручном режиме переключатели ставят в положение «Ручн.». Для управления транспортером кормозагрузки используют кнопку *SB2* «Загрузка». Отключается транспортер конечным выключателем *SQ1* при заполнении бункера последней батареи или кнопкой «Стоп» поста управления *SB1*.

Для управления механизмами кормораздачи клеточной батареи в ручном режиме используют шкаф управления КБН-3-07.000. Включают и останавливают двигатель кормораздачи первой батареи кнопками *SB4* и *SB3*. При обрыве цепи кормораздачи остановка двигателя осуществляется выключателями обрыва цепи *SQ2.2...SQ4.2*, на шкафу управления батареи и в зале загораются сигнальные лампы.

В автоматическом режиме все переключатели устанавливаются в положение «Авт.». Механизмами кормозагрузки управляют

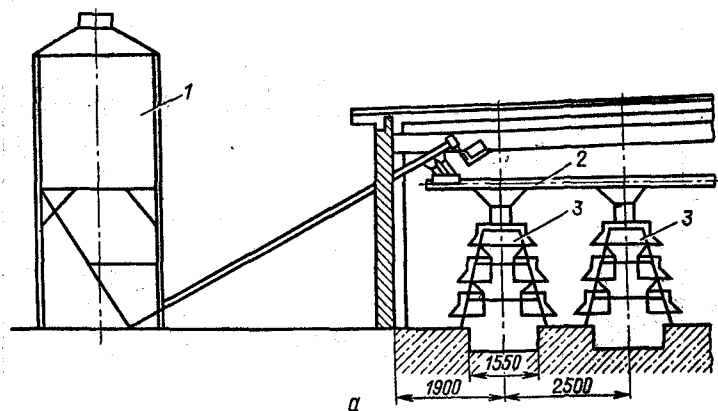
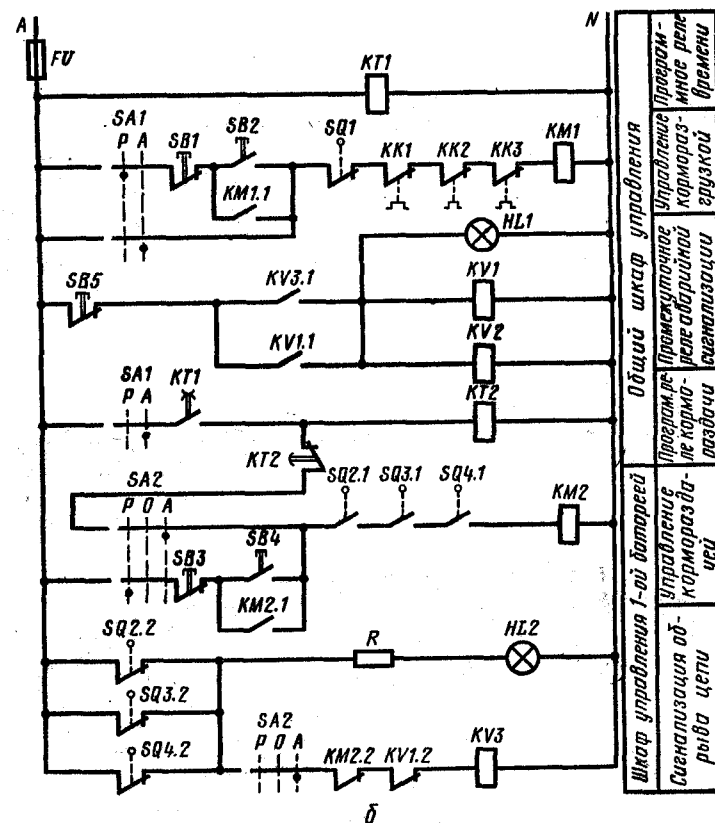


Рис. 12.4. Электропривод транспортеров кормозагрузки и кормораздачи
а — технологическая схема; б — электрическая принципиальная схема.

при помощи выключателя подачи корма *SQ1*, который размещен на бункере последней клеточной батареи. При его заполнении подается команда на останов двигателей транспортеров подачи. Процесс загрузки происходит независимо от установок программных реле.

Когда нет обрыва цепей кормораздачи на трех ярусах батарей, контакты конечных выключателей *SQ2.1... SQ4.1* в цепи катушки *КМ2* замкнуты, а в цепи сигнализации разомкнуты. Команды на включение транспортеров кормораздачи поступают от реле времени *КТ1* (2РВМ) в соответствии с технологическими режимами кормления. В момент замыкания контакта *КТ1* через



клеточной батареи БКМ-3:

размыкающий контакт *KT2* второго программного реле происходит автоматический запуск двигателей кормораздачи всех клеточных батарей (на схеме показано управление кормораздачей первой батареи). Выдержка времени контакта *KT2* устанавливается равной длительности кормораздачи батарей.

В случае обрыва цепи кормораздачи на любом ярусе одной из клеточных батарей контакты конечных выключателей *SQ2.2...SQ4.2* в цепи сигнальной лампы *HL2* замыкаются, а контакты *SQ2.1...SQ4.1* размыкаются, останавливая двигатель цепочного транспортера. Через контакты *KV1.2* и *KM2.2* сигнал поступает на катушку реле *KV3*, контакт последнего *KV3.1* замыкается в цепи катушки *KV1* и сигнал аварии поступает на сигнальную лампу *HL1*, установленную в зале, а через контакты *KV1.3* и *KV2* (на схеме не показаны) — на сигнализацию батарей. Для снятия сигнала в зале необходимо переключатель *SA2* шкафа управления батарей поставить в положение *О* «Отключено» и нажать кнопку *SB5* — «Съем сигнала».

12.3. Электропривод и автоматизация мобильных кормораздатчиков

На небольших свиноводческих фермах распространены мобильные электрифицированные кормораздатчики-смесители *КС-1,5*, *КЭС-1,7*, *КСП-0,8*, *РС-5А*. Они предназначены для перемешивания и раздачи кормовых смесей влажностью 60...80 %. Загружают кормораздатчики при помощи транспортеров кормами, поступающими из кормоцеха в подготовленном виде, или компонентами смеси. Из бункера раздатчика корм подается в кормушки раздаточными шнеками. Выгрузные шнеки снабжены дозирующими устройствами в виде шибберных заслонок, что обеспечивает широкий диапазон дозирования корма, подаваемого в кормушки. Передвигаются кормораздатчики в кормовом проходе по рельсам. Вдоль кормового прохода под потолком укреплен желоб для размещения питающего четырехжильного кабеля. Жилу меньшей площади сечения используют для заземления корпусов электродвигателей раздатчика. На фермах *КРС* часто используют аккумуляторные кормораздатчики *КСА-5Б* и другие (табл. 12.5).

Конструкция кормораздатчика *КС-1,5* показана на рисунке 12.5. Принципиальные электрические схемы включения электродвигателей и управления ими приведены на рисунке 12.6. В качестве защитно-отключающего устройства *ЗОУ* предусмотрено *ЗОУП-25*, которое предназначено для защиты людей и животных от поражения электрическим током, защиты изоляции

12.5. Основные данные мобильных электрифицированных кормораздатчиков

Кормораздатчик	Производительность, т/ч	Вместимость бункера, м³	Число обслуживаемых животных	Мощность и число электродвигателей, кВт/шт.	Скорость при раздаче, м/с
КС-1,5	30...70	2,0	600...1200 поросят-отъемышей	7,15/4	0,36
КЭС-1,7	31...62	1,7	600...1200 на откорме	5,15/3	0,5
РС-5А	60	0,8	600 на откорме, 600...1200 поросят-отъемышей	3,0/1	0,47
КСП-0,8	50	0,8	60 подсосных свиноматок, 600 поросят, 150 супоросных маток	4,5/4	0,25
КСА-5Б	До 15	5	До 600 коров	12,5/2	Регулируется

электрооборудования от недопустимых токов утечки через нее на землю, а также от токов утечки, возникающих при несимметричных коротких замыканиях на землю.

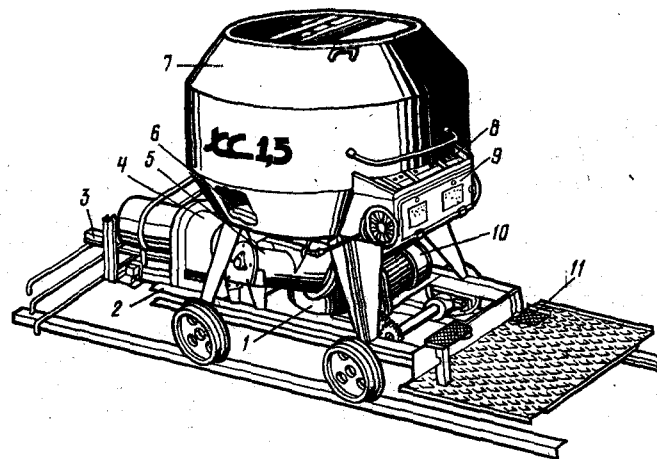


Рис. 12.5. Электромобильный кормораздатчик *КС-1,5*:

1 — распределительная коробка; 2 — ходовая часть; 3 — устройство для автоматической остановки кормораздатчика; 4 — мотор-редуктор смесителя; 5 — выгрузные шнеки; 6 — лопастная мешалка; 7 — бункер; 8 — пульт управления; 9 — панель электрооборудования; 10 — электродвигатель механизма передвижения; 11 — педаль тормоза.

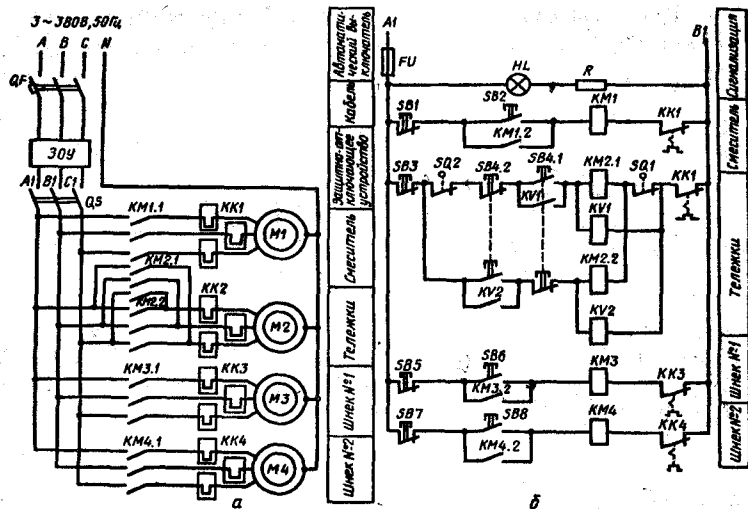


Рис. 12.6. Принципиальные электрические схемы включения (а) электродвигателей кормораздатчика КС-1,5 и управления (б) ими.

При включенных автомате *QF* и защитно-отключающем устройстве *ЗОУ* загорается лампа *HL*, сигнализирующая о наличии напряжения в цепи управления. Затем включается пакетно-кулачковый выключатель *QS*. При нажатии кнопки *SB2* замыкается цепь магнитного пускателя *KM1* и запускается электродвигатель смесителя *M1*. 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 части (тележки) кормораздатчика *M2* для движения кормораздатчика вдоль кормушек вперед. Кнопкой *SB6* включают электродвигатель первого шнека *M3* или кнопкой *SB8* включают электродвигатель второго шнека *M4* 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 *M2*, и под действием тормоза и сил сопротивления движению кормораздатчик почти мгновенно останавливается.

При отпускании педали тормоза контакты *SQ1* снова замыкаются и происходит мгновенное включение тягового электрод-

вигателя *M2* без дополнительного нажатия кнопки *SB4.1* или *SB4.2*, и движение происходит в ту сторону, в которую двигался кормораздатчик до нажатия педали тормоза. В данном случае кормораздатчик двигался вперед, промежуточное реле *KV1* находится под напряжением и его контакты будут замкнуты, блокируя кнопку пуска *SB4.1*.

Если на пути движения вперед встретится препятствие, то под действием его находящееся спереди раздатчика стержневое устройство *3* (рис. 12.5) действует на конечный выключатель *SQ2*, размыкая его контакты и автоматически останавливая кормораздатчик.

После опорожнения бункера кнопкой *SB3* останавливают тяговый электродвигатель *M2*, привод выгрузных шнеков отключают кнопками *SB5* и *SB7*, а затем тяговый двигатель кормораздатчика *M2* переключают на обратный ход кнопкой *SB4.2*.

При периодическом обслуживании через каждые 30 дней мегомметром замеряют сопротивление изоляции электродвигателей, значение которого должно быть не ниже 0,5 МОм. В случае необходимости электродвигатели сушат, проверяют сопротивление контура повторного заземления, оно должно быть не более 4 Ом.

Через каждые 6 месяцев электродвигатели отправляют в электромастерскую для проведения профилактического осмотра.

Автоматизированный кормораздатчик КЭС-1,7 (табл. 12.5) предназначен для раздачи кормовых смесей влажностью 60...70 % на свинофермах, где предусмотрены примыкающие друг к другу два ряда кормушек, расположенных вдоль производственного помещения.

Кормораздатчик (рис. 12.7,а) представляет собой самоходную двухосную тележку, передвигающуюся над двумя рядами кормушек по рельсам из уголков, расположенным на эстакаде. На тележке установлен бункер 2, внутри которого вдоль расположены два шнека 3, подающие корма к выгрузным окнам 16, каждое из которых располагается над соответствующим рядом кормушек. Каждое окно закрывается заслонкой.

На раме тележки 1 установлены три электропривода: один 8 с двигателем 4А71А2СХЛ1 мощностью 0,75 кВт служит для передвижения кормораздатчика, два другие (4А90Л4СХЛ1 мощностью по 2,2 кВт) предназначены для шнеков. Норму выдачи корма регулируют изменением частоты вращения выгрузных шнеков путем перестановки цепи на блоке звездочек и ремней на двухступенчатых шкивах привода.

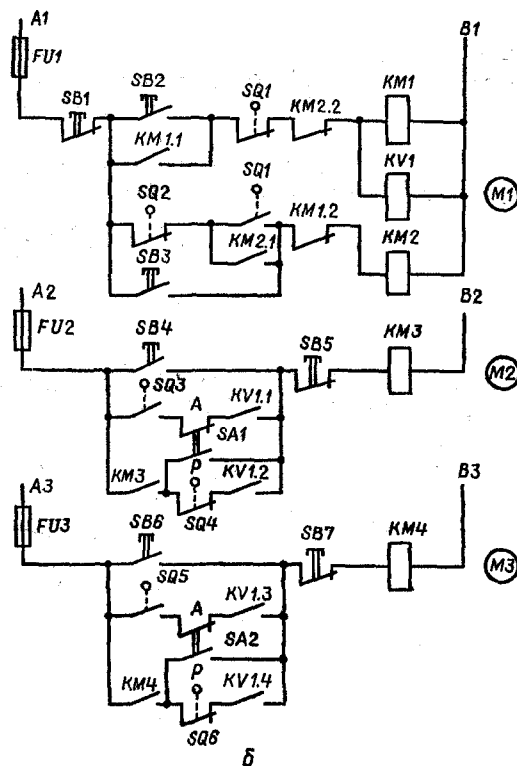
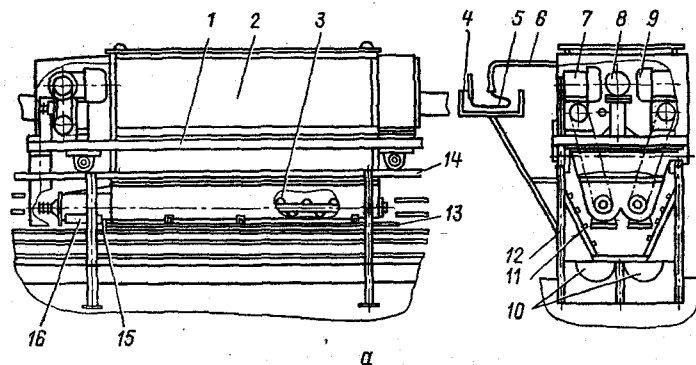


Рис. 12.7. Электропривод кормораздатчика КЭС-1,7:

а — кинематическая схема электропривода; б — электрическая схема управления электроприводом; 1 — тележка; 2 — бункер; 3 — шнек; 4 — кабельный лоток; 5 — кабель; 6 — поводок; 7 и 9 — электродвигатели механизмов раздачи кормов; 8 — электродвигатель механизма передвижения; 10 — кормушки; 11 — ограждение; 12 — стойка эстакады; 13 — тяга; 14 — уголок; 15 — заслонка; 16 — выгрузное окно.

Питание к электродвигателям от автомата через защитно-отключающее устройство ЗОУП-25 кабелем длиной 80 м, находящимся в лотке, подается на автоматы электродвигателей. Затем через ответвления с соответствующими предохранителями *FU1*, *FU2*, *FU3* подключаются цепи управления магнитных пускателей электродвигателей *M1*, *M2*, *M3* (рис. 12.7, б).

Перед началом работы включают все автоматы и ЗОУП-25, а переключатель в силовой цепи тягового электродвигателя ставят в положение, соответствующее направлению движения. В случае автоматического управления кормораздатчиком переключатели *SA1* и *SA2* ставят в положение автоматической работы. А. Затем нажимают кнопку *SB2*, включаются магнитный пускатель *KM1* и тяговый электродвигатель *M1*. Одновременно промежуточное реле *KV1*, оживляясь током, замыкает свои контакты в цепях управления магнитных пускателей *KM3*, *KM4* электродвигателей шнеков *M2*, *M3*.

При подходе кормораздатчика к месту начала раздачи корма в кормушки происходит действие соответствующих упоров на конечные выключатели *SQ3*, *SQ5*, которые магнитными пускателями *KM3* и *KM4* включают электродвигатели шнеков *M2* и *M3*. Начинается раздача корма с движущегося кормораздатчика. По окончании фронта кормления происходит действие других упоров на конечные выключатели *SQ4*, *SQ6*, которые отключают шнеки. При движении кормораздатчика дальше в конце хода конечный упор действует на конечный выключатель *SQ1*, который своими контактами переключает электродвигатель *M1* на обратный ход.

При этом обесточивается катушка промежуточного реле *KV1*, его контакты размыкаются. При подходе кормораздатчика к месту загрузки его кормом соответствующий упор действует на конечный выключатель *SQ2*, который отключает тяговый электродвигатель *M1*. Цикл раздачи заканчивается.

На свиноводческих фермах с централизованным приготовлением кормов в кормоцехе на базе кормораздатчика типа КЭС-1,7 используют автоматизированную линию раздачи корма, которая включает в себя средства доставки и загрузки кормов, эстакаду, электрокарный кормораздатчик и систему кабельного питания. Применение такой линии позволяет свести к минимуму ручные операции при транспортировке и раздаче кормов. Работа оператора, управляющего линией, сводится к включению и выключению механизмов, загружающих корм в бункер, а также включению самого кормораздатчика. Все последующие операции по транспортировке и раздаче корма в свиноводческом комплексе выполняются автоматически.

12.4. Электропривод и автоматизация навозоуборочных транспортеров

Уборка навоза — трудоемкий процесс, который занимает в производственном цикле ферм и комплексов значительное время. Поэтому создание устройств, обеспечивающих автоматическое управление работой навозоуборочных транспортеров в животноводческих помещениях, — важная задача. На животноводческих фермах наиболее распространены скребковые транспортеры кругового движения типа ТСН-3,0Б, ТСН-160 и возвратно-поступательного движения — УС-10, УС-15, УС-12, ТС-1 и др. (табл. 12.6).

Транспортеры кругового движения ТСН-3,0Б и ТСН-160 состоят из горизонтальных и наклонных транспортеров. Горизонтальные транспортеры при помощи скребков, прикрепленных к цепи, перемещают навоз по специальным каналам из помещения к наклонным транспортерам, которые подают его в транспортные средства. Сначала включается наклонный транспортер, затем — горизонтальный. Отключают их в обратной последовательности. После отключения горизонтального транспортера наклонный отключают через промежуток времени, достаточный для освобождения его от навоза, так как в зимний период при замерзании оставшегося на наклонном транспортере навоза рабочие движущиеся части транспортера могут приморозиться к его конструкции, особенно в той его части, которая выходит из помещения наружу. Запуск электродвигателя наклонного транспортера в этих условиях может не произойти, так как электродвигатель не сдвинет с места примерзшие рабочие органы транспортера. В этом случае защита должна отключить электродвигатель от сети, а если защита отсутствует или не сработает, то обмотка электродвигателя выйдет из строя.

В процессе уборки навоза транспортером кругового движения нагрузка электродвигателя меняется. Его пуск осуществляется при максимальной нагрузке. По мере движения цепи со скребками и сбрасывания навоза в приемную часть наклонного транспортера количество перемещаемого навоза уменьшается, и в конце цикла уборки, когда цепь транспортера совершит полный оборот, нагрузка уменьшится до ее значения при холостом ходе. Продолжительность работы горизонтального транспортера ТСН-3Б (ТСН-160) за одну уборку составит

$$t = \frac{1,05l}{v} = \frac{1,05 \cdot 170}{0,19} = 900 \text{ с} = 15 \text{ мин.}$$

12.6. Основные данные навозоуборочных транспортеров

Наименование и марка установки	Животноводческое помещение	Подача, т/ч	Число обслуживаемых животных	Мощность и число электродвигателей, кВт/шт.
Навозоуборочный транспортер ТСН-160 с круговым типом цепи кругового движения	Ферма КРС	До 6	100	1,5 4 1 1 1,5 4 1 1
Навозоуборочный транспортер ТСН-3,0 Б кругового движения	То же (привяз. содержание)	До 6	100	1,5 4 1 1
Скреперный транспортер ТС-1 для уборки навоза — продольный и поперечный	Свиноферма	До 12	600 (на откорме)	4 4 1 1 1,1 1
Скреперная установка УС-15 для уборки навоза	Коровник длиной до 80 м	1,0	100	1 3 1 1 1 3
Скреперная установка УС-12 для уборки навоза из щелевых полов	Свиноферма	6...8	600 (на откорме)	1 3 1 3 1 6 1 5,5
Скреперная установка УС-10 для уборки навоза	МТФ при боксовом содержании КРС	10, длина контура 170 м	600	1 22 1 1
Навозоуборочный поперечный конвейер КПН-10	Ферма КРС	4...10	1200	1 1
Скреперная установка УСН-8 для подачи навоза в навозохранилище	То же	До 5	200	1 1
Установка УТН-10М для транспортирования навоза в навозохранилище	То же	До 20	600 (на откорме)	1 1
Многострунная гидросмыльная установка для бесканальной системы удаления навоза	Свиноферма для группового содержания	Расход воды 10л/с, давление 500 кПа	600	1 1

где l — длина горизонтального транспортера, равная 170 м; v — скорость движения цепи со скребками, равная 0,19 м/с; 1,05 — коэффициент, учитывающий продолжительность пуска (разбега) и обеспечивающий некоторый запас времени.

Продолжительность работы наклонного транспортера, необходимая для освобождения его от находящегося на нем навоза после отключения горизонтального транспортера, можно принять равной 1,5 мин.

Расчеты показывают, что нагрузка в начале уборки примерно в 4 раза больше, чем в конце. Поэтому при выборе электродвигателя для горизонтальных транспортеров ТСН-3,0Б, ТСН-160 определяют максимально возможную нагрузку в начале уборки и по условиям пуска находят достаточный пусковой момент и мощность электродвигателя.

Усилие транспортной цепи при работе на холостом ходу (Н)

$$F_x = mglf_x \quad (12.19)$$

где m — масса 1 м цепи со скребками, кг/м; g — ускорение силы тяжести (9,81 м/с²); l — длина цепи, м; f_x — коэффициент трения цепи по деревянному настилу ($f_x = 0,5$).

Усилие (Н), затрачиваемое на преодоление сопротивления трения навоза о дно канала при перемещении навоза по каналу,

$$F_n = m_n g f_n \quad (12.20)$$

где $m_n = Nm_1/z$ — масса навоза в канале, приходящаяся на одну уборку, кг; N — численность животных, обслуживаемых одним транспортером, г; m_1 — суточный выход навоза от одного животного, кг/г; z — число уборок навоза в сутки ($z=4$); f_n — коэффициент трения навоза о дно канала ($f_n = 0,97$).

Усилие (Н), затрачиваемое на преодоление сопротивления трения навоза о боковые стенки канала,

$$F_6 = p_6 f_n \quad (12.21)$$

где p_6 — давление навоза на боковые стенки канала, принимают равным 50 % общего веса навоза: $p_6 = m_n g / 2$.

Усилие (Н) на преодоление сопротивления заклинивания навоза, возникающего между скребками и стенками канала,

$$F_a = lF_1/a \quad (12.22)$$

где $F_1 = 15H$ — усилие, затрачиваемое на преодоление сопротивления заклинивания, приходящееся на один скребок; $a = 0,46$ м — расстояние между скребками, м.

Общее максимальное усилие, необходимое для перемещения навоза в канале, когда весь транспортер загружен,

$$F_{\max} = F_n + F_6 + F_3 + F_x \quad (12.23)$$

Момент сопротивления, приведенный к валу электродвигателя, при максимальной нагрузке (Н·м).

$$M_{\max} = F_{\max} v / (\omega \eta_n) \quad (12.24)$$

где ω — угловая скорость электродвигателя, рад/с.

Учитывая, что момент сопротивления, приведенный к валу электродвигателя, увеличивается при трогании транспортера, момент трогания от максимального усилия сопротивления

$$M_{\text{тр.пр}} = 1,2 M_{\max} \quad (12.25)$$

Для пуска в этом случае необходимо, чтобы

$$k_n^2 M_n \geq M_{\text{тр.пр}} + 0,25 M, \quad (12.26)$$

откуда требуемый момент электродвигателя

$$M \geq \frac{M_{\text{тр.пр}}}{k_n^2 \mu_n - 0,25} \quad (12.27)$$

где μ_n — кратность пускового момента (для электродвигателя серии 4А при синхронной частоте вращения 25 с⁻¹ и мощности до 10 кВт $\mu_n = 2,0$).

Необходимая мощность электродвигателя (Вт)

$$P = M \omega \quad (12.28)$$

Мощность электродвигателя для наклонного транспортера можно определить по формуле (12.4).

Электротехническая промышленность выпускает комплектные устройства управления типа ЯАА, предназначенные для автоматического управления электродвигателями навозоуборочных транспортеров ЯАА5403 для УС-10, ТС-1, ЯАА5404 для УС-15, ЯАА5910 для ТСН-3,0Б, ТСН-160 и их защиты.

На рисунке 12.8 приведена принципиальная электрическая схема комплектного устройства ЯАА5910. Дистанционное управление электродвигателями транспортера осуществляется при помощи кнопочных постов SB1... SB4. При нажатии кнопки SB3 подается питание на катушку пускателя KM1, который включает двигатель наклонного транспортера, подготавливает цепь пускателя KM2 к включению на длительную работу и подает питание на устройство защиты А (УВТЗ-1М). Кнопкой SB2 подается питание на катушку магнитного пускателя KM2, который включает электродвигатель горизонтального транспортера.

В схеме предусмотрено включение на зимний период блока защиты УЗП-1 от примерзания скребков наклонного транспортера. Блок подключается при помощи переключателя *SA*, о чем сигнализирует лампа *HL1*. В этом случае, если температура воздуха выше нормы, контакт датчика температуры *SK* замкнут, следовательно, с выпрямительного моста сигнал подается через диод *VD1*, резистор *R1*, конденсатор *C1* на управляющий электрод тиристора *VS*, который открывается. Катушка магнитного пускателя *KM1* получает питание, включается двигатель наклонного транспортера.

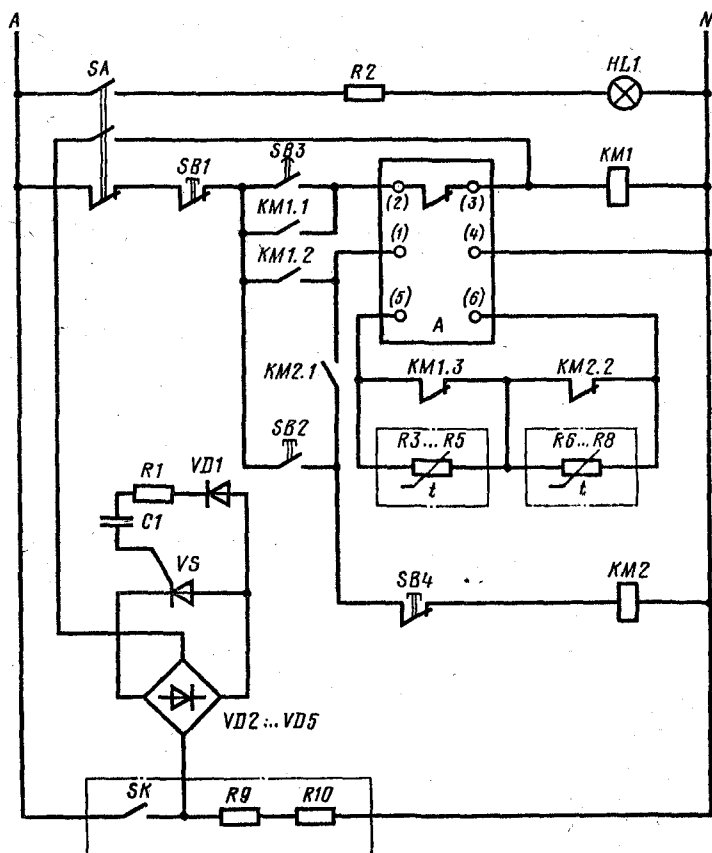


Рис. 12.8. Электрическая схема управления навозоуборочным транспортом ТСН-160.

Когда температура воздуха ниже нормы, контакт датчика температуры *SK* разомкнут, тиристор *VS* закрыт, следовательно, включение наклонного транспортера невозможно. Для обеспечения включения наклонного транспортера его надо тщательно осмотреть, освободить от возможного примерзания и намерзания.

Технологические линии навозоудаления на крупных животноводческих фермах и комплексах промышленного типа — сложные разветвленные поточно-транспортные системы с механизмами циклического действия. По функциональному назначению эти механизмы подразделяются на три группы: 1 — продольные, убирающие навоз из зон расположения животных; 2 — поперечные, транспортирующие его из помещения; 3 — механизмы, предназначенные для погрузки навоза в мобильные транспортные средства или перекачки в хранилище.

Такие линии при привязном содержании скота включают горизонтальные скребковые транспортеры установок ТСН-160а или ТСН-ЗБ, КНП-10 и УТН-10 (рис. 12.9,а); при боксовом содержании — УС-15, КНП-10 и УТН-10 (рис. 12.9,б).

В соответствии с технологической схемой (рис. 12.9,б) на рисунке 12.9,в приведена принципиальная электрическая схема автоматизации поточной линии.

В заданное время программное реле времени *KT1* замыкает свои контакты и включает реле времени *KT2*, *KT3*, *KT4*, а реле времени *KT4* своими контактами включает магнитные пускатели *KM1* поперечного транспортера и *KM2* первого уборочного транспортера. Через время Δt_1 , достаточное для уборки навоза первым уборочным транспортером, срабатывает реле времени *KT2*, которое своими контактами отключает магнитный пускатель *KM2* первого уборочного транспортера и включает магнитный пускатель *KM3* второго уборочного транспортера. После окончания уборки навоза вторым уборочным транспортером реле времени *KT3* с выдержкой времени $\Delta t_2 = 2\Delta t_1$ отключает второй уборочный транспортер и включает третий. Через время $\Delta t_3 = 3\Delta t_1$ программное реле времени *KT1* размыкает свои контакты и отключает все три реле времени и навозоуборочные транспортеры.

Через время Δt_4 , достаточное для освобождения от навоза поперечного транспортера, перемещающего навоз от навозоуборочных транспортеров в навозохранилище, он отключается при помощи реле времени *KT4*.

Поршневой насос по перекачке навоза из навозосборника в навозохранилище включается и отключается при помощи своего программного реле времени *KT5*.

Для технологической схемы, приведенной на рисунке 12.9,а,

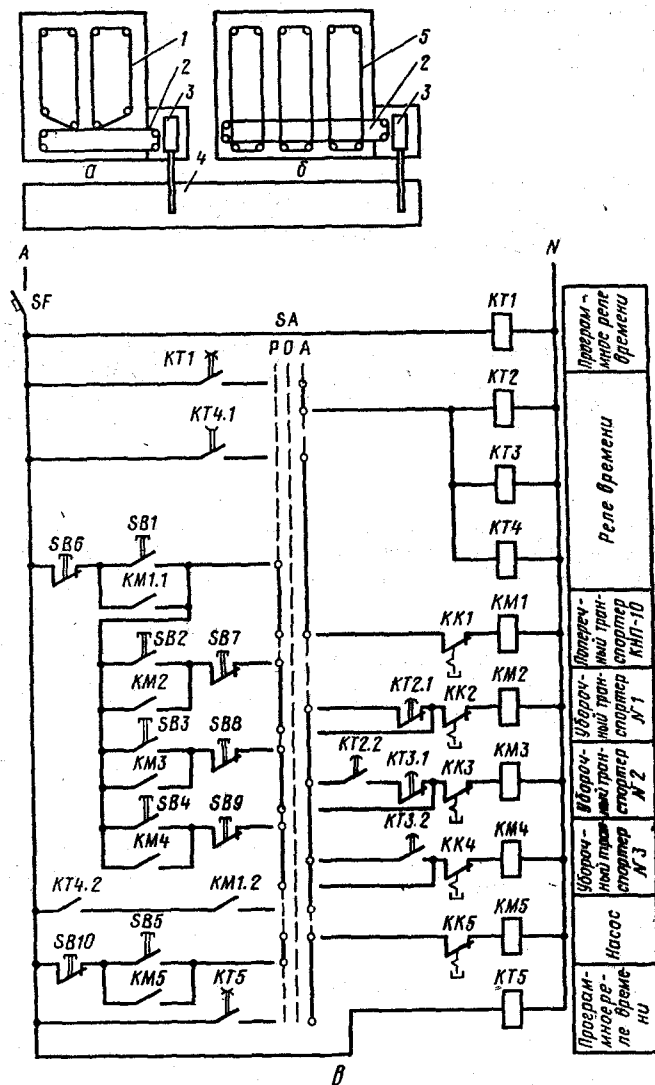


Рис. 12.9. Электропривод поточной линии уборки навоза:
 а — при привязном содержании; б — при боксовом содержании; в — принципиальная электрическая схема автоматизированного управления поточной линией уборки навоза; 1 — скребковый транспортер ТСН-160А; 2 — навозо-уборочный конвейер КНП-10; 3 — поршневой насос УН-10; 4 — навозохранилище; 5 — скреперная установка УС-15.

электрическая схема упрощается. Из нее нужно исключить магнитный пускатель *КМ4* третьего уборочного транспортера и реле времени *КТ3*. В представленной электрической схеме предусмотрена раздельная работа уборочных транспортеров на общий поперечный транспортер. Если же подача поперечного транспортера равна суммарной подаче двух (рис. 12.9,а) или трех (рис. 12.9,б) уборочных транспортеров или больше нее, то их можно включать и отключать одновременно. Для этой цели из электрической схемы надо исключить реле времени *КТ2* и *КТ3*.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От каких величин зависит мощность электродвигателя стационарных транспортеров (скребковых, ленточных, шнековых, ленточных)? 2. Какова методика выбора мощности электродвигателя для скребковых, ленточных, тросовых и уборочных транспортеров? 3. Как определить мощность электродвигателя для транспортера по определенным экспериментальным путем скорости движения (м/с) и усилию (Н), требуемому для перемещения рабочего органа с грузом и совпадающему по направлению со скоростью движения? 4. Как работают электрические схемы автоматизированного управления кормораздаточными и уборочными транспортерами и мобильными кормораздатчиками?

Практическое занятие № 8. ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ СКРЕБКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА

Определить мощность и выбрать тип электродвигателя для скребкового и шнекового транспортеров, которые в наружных условиях должны перемещать зерно на расстояние 20 м с углом наклона 30°. Подача каждого транспортера 18 т/ч, у скребкового транспортера втулочно-роликовая цепь.

Для определения мощности электродвигателя транспортеров надо воспользоваться формулой (12.4). Для скребкового транспортера определим величины, входящие в формулу (12.4), то есть $h = l \sin \alpha = 20 \sin 30^\circ = 10$ м, $L = l \cos \alpha = 20 \frac{\sqrt{3}}{2} = 17,3$ м, КПД редуктора η_n берем 0,75, КПД транспортера на подъем η_r принимаем 0,6, коэффициент сопротивления движению f берем из таблицы 12.1 для $Q = 18$ т/ч и втулочно-роликовой цепи ($f = 1,3$).

Мощность электродвигателя для скребкового транспортера (кВт)

$$P = \frac{Q}{367 \eta_n} \left(Lf + \frac{h}{\eta_r} \right) = \frac{18}{367 \cdot 0,75} \left(17,3 \cdot 1,3 + \frac{10}{0,6} \right) = 1,53 \text{ кВт.}$$

Выбираем электродвигатель сельскохозяйственного назначения 4А80ВАСУ1 мощностью 1,5 кВт с синхронной частотой вращения 1500 мин⁻¹.

Аналогично выбирают двигатель для шнекового транспортера.

13.1. Электропривод и автоматизация доильных установок

Для доения коров — одного из наиболее трудоемких процессов — применяют следующие основные доильные установки: при доении в стойлах — доильные агрегаты с переносными ведрами ДАС-2Б и 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 также механизированные установки УДТ-8 «Тандем» и УДЕ-8А «Елочка» (табл. 13.1).

Около 90 % коров на фермах колхозов и совхозов 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 стационарный молокопровод. Применение молокопровода типа 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 и др.) 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 с доением на площадках даже с учетом дополнительных затрат труда на отягивание и привязывание животных позволит повысить производительность труда на 25...50 %.

На доильных установках УДА-8 и УДА-16, разработанных на базе установок УДТ-8 и УДС-8А, а также на УДА-100 автоматизированы операции доения, отключения вакуума и снятия доильного аппарата с вымени. Проверка в производственных условиях показала, что затраты труда оператора машинного доения на автоматизированных установках УДА-8 и УДА-16 в 1,3...1,4 раза меньше, чем на выпускавшихся ранее неавтоматизированных установках такого же типа. Манипулятором, на котором монтируется доильный аппарат, предусмотрены ручная установка аппарата на вымя и автоматическое управление пневмоцилиндрами при машинном доении и снятии аппарата с вымени после окончания доения.

Основной элемент 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 доильных стаканов и таким образом происходит машинное додаивание. При уменьшении интенсивности доения (ниже 200 г/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 передвиже-

13.1. Основные данные доильных установок

Тип установки	Производительность оператора, голов в час	Число операторов	Р _{уст.} , кВт	Число	
				доильных аппаратов	коров
ДАС-2Б	16...18	3...4	3	8	100
АД-100А	16...18	3...4	3	8	100
АД-100А (модификация для родильных отделений)	16...18	1...2	4	8	1 установка на ферму
АДМ-8:					
исполнение 07	22...25	2	4; 1,1	6	100
исполнение 04	22...25	4	4; 4; 1,1	12	200
УДА-8 «Тандем»:					
автоматизированная	65	1	18	8	400
автоматизированная со съемом информации и АСУ	65	1	20	8	400
УДА-16 «Елочка»:					
автоматизированная	70	1	22	16	600
автоматизированная со съемом информации и АСУ	70	1	24	16	600
УДА-100 «Карусель» автоматизированная	Не менее 100	1	23	16	600
УДТ-8 «Тандем»	70	1...2	20	8	400
УДС-8А «Елочка»	80	2	22	16	600

ния 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 дверью 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 16 с.

Управление конвейером доильной установки автомат санобработки 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 24 В постоянного тока и от генератора импульсов напряжением 9 В. На блок управления платформой поступают сигналы от бесконтактных концевых 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 отечественного производства для создания вакуума в вакуум-проводе комплектуются вакуум-насосами УВУ-60/45 или централизованными вакуумными установками ЦВУ-3, ЦВУ-6, ЦВУ-12 (рис. 13.1).

Необходимая подача вакуум-насоса ($\text{м}^3/\text{ч}$)

$$Q_n = kqn, \quad (13.1)$$

где $k = 2 \dots 3$ — коэффициент, учитывающий неполную герметизацию системы; q — расход воздуха одним доильным аппаратом при 60 пульсациях в минуту ($q = 1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$); 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 ($\text{Н}/\text{м}^2$).

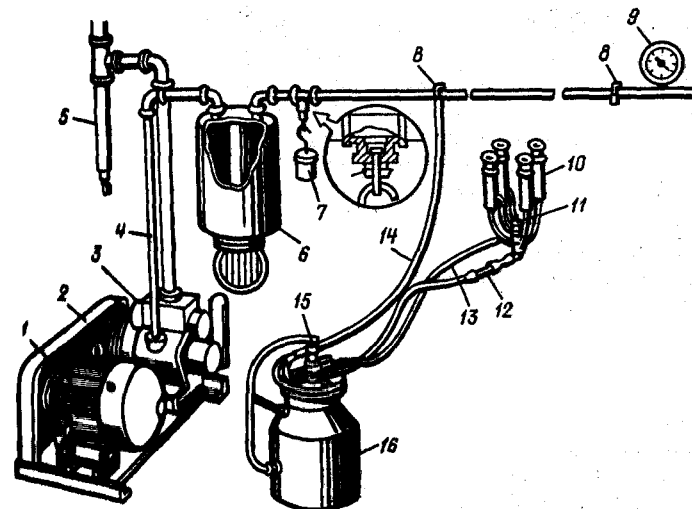


Рис. 13.1. Электропривод вакуум-насоса УВУ-60/45 доильной установки: 1 — электродвигатель; 2 — ограждение ременной передачи; 3 — вакуум-насос; 4 — вакуум-трубопровод; 5 — маслосборник выхлопной трубы вакуум-насоса; 6 — вакуум-баллон; 7 — вакуум-регулятор; 8 — кран; 9 — вакуумметр; 10 — доильные стаканы; 11 — коллектор; 12 — молочный шланг; 13 — вакуумный шланг; 14 — магистральный шланг; 15 — пульсатор; 16 — доильное ведро.

Мощность электродвигателя для вакуум-насоса (кВт)

$$P = \frac{Qp}{1000\eta_n\eta_{np}}, \quad (13.2)$$

где η_n — КПД вакуум-насоса (0,2...0,25); η_{np} — КПД передачи.

Мощность электродвигателя вакуум-насоса УВУ-60/45 при подаче $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ составляет 4 кВт, а при подаче $45 \text{ м}^3/\text{ч}$ — 3 кВт, момент трогания находится в пределах (0,75...1,0) 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.

Для определения потребления электроэнергии доильными установками и составления графиков электрических нагрузок при составлении проектов электрификации ферм надо знать продолжительность работы вакуумных насосов в течение дойки t_d (ч):

$$t_d = \frac{0,88N}{Q_1n} + \Delta t, \quad (13.3)$$

где N — число коров ($0,88N$ — число дойных коров); Q_1 — производительность оператора машинного доения, голов в час (табл. 13.1); n — число операторов, обслуживающих всех коров; $\Delta t = 0,3 \dots 0,5$ ч — продолжительность промывки молокопровода и доильных аппаратов.

Для доения коров в личных хозяйствах предназначен индивидуальный доильный аппарат АИД-1. Его можно применять и на небольших молочных фермах подсобных хозяйств предприятий. Агрегат состоит из вакуум-насоса подачи $4 \text{ м}^3/\text{ч}$, электродвигателя мощностью $0,6 \text{ кВт}$, доильного аппарата с доильным ведром вместимостью 19 дм^3 и вакуум-провода с вакуум-регулятором. Общая масса агрегата 48 кг . Электродвигатель подключается к электрической сети напряжением 220 В через розетку. Корпус электродвигателя должен быть заземлен.

Чтобы уменьшить опасность поражения людей и животных электрическим током, на молочных фермах применяют защитно-отключающие устройства, а в местах соединения вакуум-провода с вакуум-насосом необходимо предусматривать изолирующую вставку не менее $0,25 \text{ м}$. В качестве вставки могут быть использованы резиновый шланг или полиэтиленовая труба. Изолирующие вставки систематически, не реже одного раза в год, проверяют на чистоту и целостность внутренней и наружной поверхности. Расстояние от внутренней проводки до трубопроводов должно быть не менее 10 см .

13.2. Электропривод сепараторов молока

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 показана на рисунке 13.2.

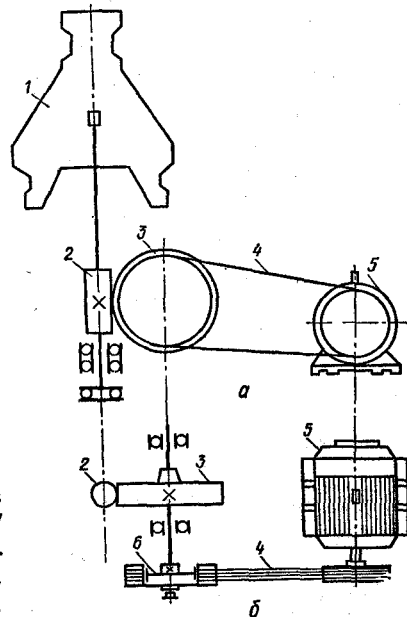
Момент сопротивления сепаратора на валу электродвигателя создается силами трения в подшипниках, в передаче привода и силами трения вращающихся частей о воздух и жидкость. Поэтому механическая характеристика носит «вентиляторный» характер и может быть выражена зависимостью

$$M_c = M_0 + b\omega^2, \quad (13.4)$$

где M_c — момент сопротивления сепаратора, приведенный к валу электродвигателя, имеющего номинальную частоту вращения 1430 мин^{-1} , $\text{Н} \cdot \text{м}$; $M_0 = 0,2 \dots 1,0 \text{ Н} \cdot \text{м}$ — начальный момент на валу электродвигателя;

Рис. 13.2. Кинематическая схема электропривода сепаратора молока:

a — фронтальный вид; b — вид в плане; 1 — барабан сепаратора; 2 — веретено; 3 — шестерня; 4 — клиновидный ремень; 5 — электродвигатель; 6 — фрикционно-центробежная муфта.



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 $b = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м} / (\text{рад/с})^2$. Квадратичная зависимость момента сопротивления сохраняется при линейной скорости барабана до 70 м/с ($7 \dots 10 \text{ тыс. мин}^{-1}$).

Потребная мощность электродвигателя (Вт) для привода сепаратора в рабочем режиме

$$P = kM\omega, \quad (13.5)$$

где $k = 1,2 \dots 2$ — коэффициент, учитывающий мощность, необходимую на сообщение кинетической энергии жидкости, поступающей в барабан, а также на гидродинамические потери и т. д.

В условиях неустановившегося режима (пуска) момент, создаваемый механическими колебаниями системы, в период первого резонанса и биений больше суммарного статического момента, определяемого по формуле (13.4), 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...2, кратность максимального — 2,2...2,4 и кратность минимального момента — 1,0. Этим условиям удовлетворяют электродвигатели серии 4А.

Пусковой ток электродвигателя в течение 1,5...3 мин, особенно при повторных пусах 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 сепараторов, можно использовать центробежную фрикционную муфту (рис. 13.3, 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 (рис. 13.3, 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

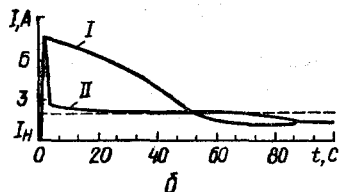
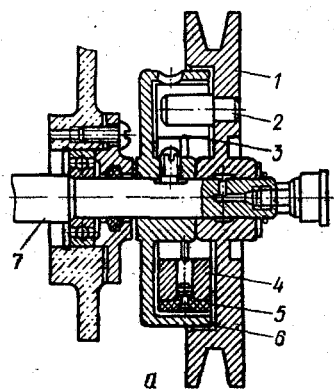


Рис. 13.3. Электропривод с центробежной муфтой:

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.

продолжительности разбега. При использовании центробежной фрикционной муфты мощность электродвигателя можно выбрать по номинальному режиму работы, так как в начальный момент включения электродвигатель разбегается почти вхолостую.

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. В сельском хозяйстве применяются сепараторы ОСБ-1000, ОСП-3М и установка ОПФ-1 для очистки, пастеризации и охлаждения молока (выдержка 20 с). Производительность сепараторов ОСБ-1000, ОСП-3М и установки ОПФ-1 соответственно составляет 1000, 3000 и 1000 л/ч, а мощность электродвигателя — 1; 4,5; 22,8 кВт.

Передача в электроприводе ОСБ-1000 редукторная, ременная, и в ОСП-3М через фрикционную муфту.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие доильные установки комплектуются автоматическими манипуляторами доения и санитарной обработки вымени, какие производственные операции они выполняют и каков экономический эффект от их применения? 2. Какие величины входят в формулу мощности электродвигателя для вакуум-насосов и как их определяют? 3. В чем заключается особенность электропривода сепаратора молока, как выбрать электродвигатель для него и каков принцип действия устройств, облегчающих запуск?

Глава 14. ЭЛЕКТРОПРИВОД СТРИГАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

14.1. Электрооборудование стригальных пунктов

Стрижка овец — один из наиболее трудоемких процессов в овцеводстве. На овцеводческих фермах в основном используют электростригальные агрегаты ЭСА-6/200 и

ЭСА-12/200. Цифры в числителе означают число стригальных машинок типа МСУ-200, а в знаменателе — частоту, на которой работают электродвигатели стригальных машинок. На базе двух стригальных агрегатов ЭСА-12/200 создан комплект оборудования выносного стригального цеха ВСЦ-24/200 (табл. 14.1).

Электростригальные установки подсоединяют к электрической сети 380/220 В. При стрижке овец на отгонных пастбищах или в других местах, где отсутствует электрическая энергия, для электроснабжения электростригальных установок используют передвижные электростанции напряжением 400/230 В, мощностью 4,5 и 9,5 кВт.

Электростригальные агрегаты повышенной частоты ЭСА-12/200 и ЭСА-6/200 включают в себя соответственно 12 и 6 стригальных машинок МСУ-200, преобразователь частоты и напряжения ИЭ-9401, заточный аппарат ДАС-350, пресс для прессования шерсти и комплект электрической сети.

Преобразователь частоты и напряжения ИЭ-9401 служит для преобразования трехфазного тока частотой 50 Гц, напряжением 380 В в трехфазный ток повышенной частоты 200 Гц при напряжении 36 В. Преобразователь объединяет двухполюсный асинхронный короткозамкнутый электродвигатель и шестиполюсный асинхронный генератор, статоры которых размещены в одном корпусе, а роторы насажены на общий вал.

Электрическая схема преобразователя показана на рисунке 14.1. Напряжение сети частотой 50 Гц подается на статор двигателя и через щетки и кольца на ротор генератора. Обмотки статора электродвигателя и ротора генераторов подсоединены к электрической сети 380 В так, что их магнитные поля вращаются в одну сторону, то есть совпадают по направлению. Электродвигатель вращает ротор генератора с частотой 2800 мин⁻¹ (46,7 с⁻¹). Магнитное поле шестиполюсного ротора генератора вращается с синхронной частотой 1000 мин⁻¹ (16,7 с⁻¹) относительно самого ротора. Относительно обмотки статора магнитное поле его ротора вращается с частотой, равной сумме частоты вращения самого ротора и синхронной частоты магнитного поля вокруг ротора, то есть $n_{м.п} = 46,7 + 16,7 = 63,4$ с⁻¹. В обмотке статора генератора наводится электродвижущая сила 36 В с частотой

$$f = p_r n_{м.п} = 3 \cdot 63,4 = 190 \text{ Гц,}$$

где p_r — число пар полюсов генератора; $n_{м.п} = 63,4$ с⁻¹ — частота вращения магнитного поля генератора.

14.1. Технико-экономические показатели электростригальных установок

Электростригальные установки	Максимальная производительность, голов в час	Поголовье овец, тыс.	Число стригальных машинок	Мощность электродвигателя стригальной машинки, Вт	Напряжение электростанции, В	Преобразователь частоты/его мощность, кВт	Пресс для шерсти/мощность его электродвигателя, кВт
Электростригальные агрегаты:							
ЭСА-6/200	60	До 5	$\frac{\text{МСУ-200}}{6}$	115	36	$\frac{\text{С-572 или ИЭ-9401}}{4}$	$\frac{\text{ГП-10А}}{3,0}$
ЭСА-12/200	120	До 10	$\frac{\text{МСУ-200}}{12}$	115	36	$\frac{\text{ИЭ-9401}}{4}$	$\frac{\text{ГП-10А}}{3,0}$
Выносной стригальный цех ВСЦ-24/200	240	До 20	$\frac{\text{МСУ-200}}{24}$	115	36	$\frac{\text{ИЭ-9401 (2 шт.)}}{4}$	$\frac{\text{ЦС-73-3}}{7,5}$
Электростригальный аппарат ЭСА-1ДИ	10	До 1	$\frac{\text{МСО-77Б}}{1}$	180...270	220	—	—

Примечание. 1. Мощность электродвигателя точильного аппарата ДАС-350 составляет 0,5 кВт. 2. Мощность электродвигателя транспортера шерсти ТШ-0,5Б равна 0,6 кВт.

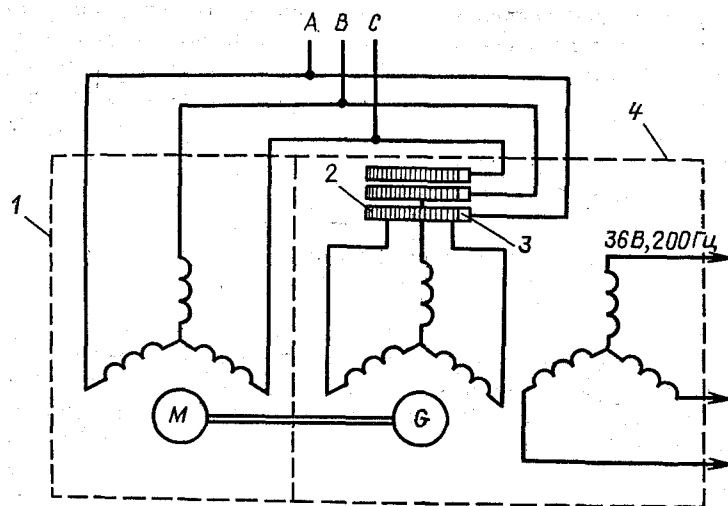


Рис. 14.1. Электрическая схема преобразователя частоты ИЭ-9401:
1 — двигатель; 2 — кольцо; 3 — щетки; 4 — генератор.

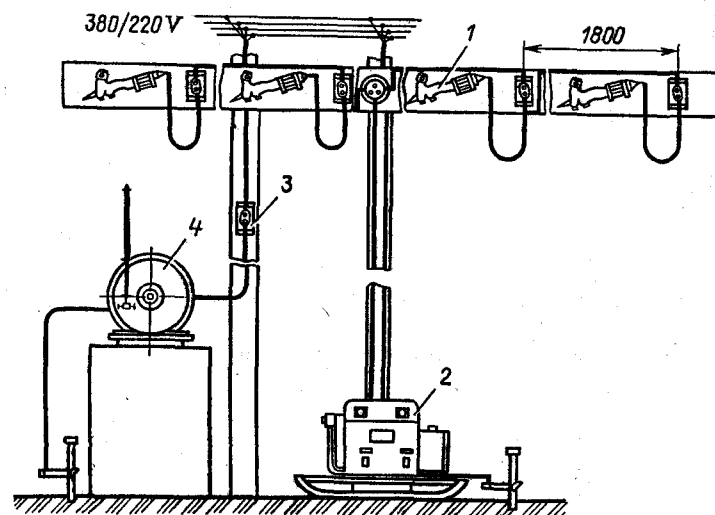


Рис. 14.2. Схема размещения оборудования электростригального агрегата ЭСА-12/200:
1 — стригальная машинка МСУ-200; 2 — преобразователь частоты тока ИЭ-9401; 3 — выключатель; 4 — заточный аппарат ДАС-350.

Для подсоединения преобразователя к электрической сети агрегат укомплектован четырехжильным кабелем площадью сечения $2,5 \text{ мм}^2$ длиной 20 м. Для подсоединения стригальных машинок к преобразователю со вторичной стороны используют трехжильный кабель площадью сечения 6 мм^2 длиной 10 м. На рисунке 14.2 приведена схема размещения оборудования стригального агрегата ЭСА-12/200.

14.2. Электропривод стригальных машинок

Наличие в выпускавшихся ранее стригальных аппаратах ЭСА-1Д гибкого вала значительно снижает надежность электропривода, маневренность и, следовательно, производительность стригали. Для того чтобы пристроить электродвигатель непосредственно к стригальной машинке, уменьшена его масса. Масса стригальной машинки МСУ-200 со встроенным двигателем составила 1,55 кг, в то время как в стригальном аппарате ЭСА-1Д только один двигатель имел массу 6 кг.

Снизить активную массу электродвигателя m (кг) в ручных электроинструментах удается за счет увеличения частоты его вращения $n_{\text{дв}}$ (мин^{-1}) и частоты питающего тока f (Гц) при той же мощности P (Вт). Это видно из соотношения

$$m = m_0 \sqrt{\frac{I_0 P}{f n_{\text{дв}}}}, \quad (14.1)$$

где m_0 — экспериментальный коэффициент ($m_0 = 11$ для двухполюсных трехфазных двигателей частоты 50 Гц и $m_0 = 12...13$ для двухполюсных двигателей повышенной частоты 200 Гц); f_0 — номинальная частота сети, равная 50 Гц.

Но при увеличении частоты тока и вращения наряду с уменьшением массы электродвигателя увеличивается масса редуктора. Исследования показали, что наименьшая масса электропривода получается при частоте питающего тока $f = 200...400$ Гц.

В комплект выносного стригального цеха ВСЦ-24/200 входят два электростригальных агрегата ЭСА-12/200, включая их силовые и осветительные сети и преобразователи, а также транспортер шерсти и пресс для шерсти, более производительный, чем в одном агрегате ЭСА-12/200.

Для индивидуальных хозяйств поставляется стригальный аппарат ЭСА-1ДИ с гибким валом и подвесным однофазным электродвигателем мощностью 0,18...0,27 кВт на напряжение

220 В. Масса электродвигателя 9,7 кг, а масса стригального аппарата 16 кг.

Стригальная машинка МСУ-200 (рис. 14.3, а) состоит из стригальной головки и электродвигателя типа АВ. Ширина захвата стригальной головки 76,8 мм. Ее режущий аппарат совершает 2200 двойных ходов в минуту. Стригальная головка состоит из корпуса, эксцентрикового и нажимного механизмов, редуктора (передаточное число 5) и режущего аппарата.

Встраиваемый трехфазный асинхронный короткозамкнутый электродвигатель АВ закрытого обдуваемого исполнения имеет мощность 115 Вт, напряжение 36 В, частоту 200 Гц, частоту вращения $175...183,3 \text{ с}^{-1}$, $\cos \varphi = 0,75$; $\eta = 0,65$. Двигатель выполнен в закрытом алюминиевом корпусе с ребрами охлаждения и с наружным самообдувом от вентилятора, установленного на конце вала ротора. Длина шнура питания 2,5 м.

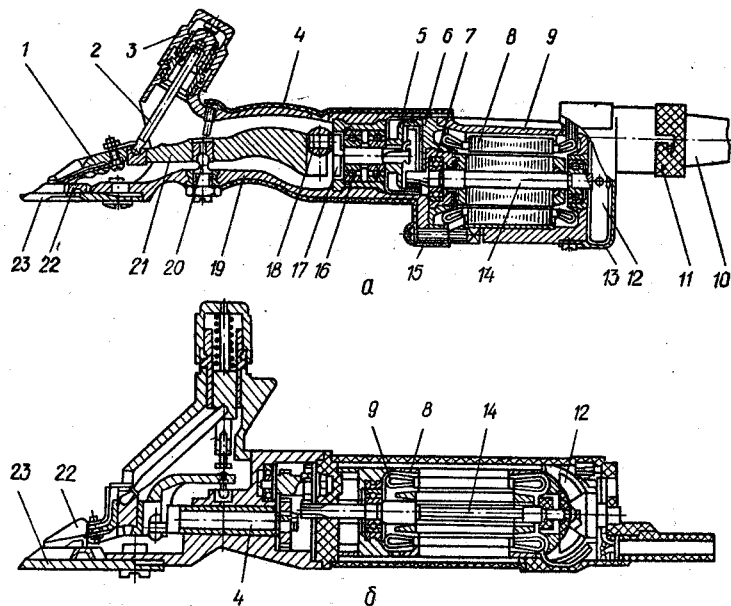


Рис. 14.3. Стригальные машинки МСУ-200 (а) и МСУ-200В (б):

1 — левая нажимная лапка; 2 — упорный стержень; 3 — нажимная гайка; 4 — чехол; 5 — зубчатое колесо; 6 — щит подшипника; 7 — шарикоподшипник; 8 — статор электродвигателя; 9 — корпус электродвигателя; 10 — шнур питания; 11 — фиксатор; 12 — вентилятор; 13 — задняя крышка электродвигателя; 14 — вал-шестерня ротора электродвигателя; 15 — винт; 16 — подшипник; 17 — эксцентрик; 18 — ролик; 19 — корпус стригальной машинки; 20 — центр вращения; 21 — рычаг; 22 — нож; 23 — гребенка; 24 — вал.

Устройство стригальной машинки МСУ-200В показано на рисунке 14.3, б. Передача движения от электродвигателя к валу головки стригальной машинки происходит при помощи шестеренчатой пары с передаточным числом $i=5$. Конец вала электродвигателя выполнен в виде шестерни, которая входит в зацепление с зубчатым колесом со стороны его внутренней цилиндрической поверхности, на которой нарезаны зубья. Вращательное движение зубчатого колеса при помощи эксцентрикового устройства преобразуется в поперечные поступательные-возвратные ходы рычага режущего аппарата.

Так как повышение частоты тока уменьшает степень опасности поражения электрическим током, то использование напряжения 36 В и частоты 200 Гц делает эксплуатацию стригальных машинок МСУ-200 электробезопасной. Повышение маневренности и снижение реактивного момента (примерно в 4 раза), утомляюще действующего на руку стригателя, повышает производительность стрижки овец при помощи МСУ-200 на 25...30 % по сравнению со стрижкой ранее выпускавшимися промышленностью стригальными аппаратами ЭСА-1Д.

Расход электроэнергии на стрижку одной овцы (Вт·ч/г)

$$a = \frac{P_{\text{уст}} k_3}{\eta_{\text{дв}} \eta_{\text{пр}} Q}, \quad (14.2)$$

где $P_{\text{уст}}$ — установленная мощность электродвигателя стригальной машинки ($P_{\text{уст}} = 115 \text{ Вт}$); k_3 — коэффициент общей загрузки ($k_3 = 0,85$); $\eta_{\text{дв}}$ и $\eta_{\text{пр}}$ — КПД электродвигателя и преобразователя частоты ($\eta_{\text{дв}} = 0,65$; $\eta_{\text{пр}} = 0,72$); Q — производительность одного стригателя, голов в час (табл. 14.1).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы технические показатели электростригальных агрегатов и выносных стригальных цехов? 2. Как работает электрическая схема и какой принцип действия преобразователя частоты ИЭ-9401? 3. Как устроен электропривод стригальной машинки МСУ-200 и каковы ее показатели (масса, мощность, производительность, степень электробезопасности и т. д.)?

Лабораторная работа № 7. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСТРИГАЛЬНОГО АГРЕГАТА ЭСА-12/200 И ОТДЕЛЬНЫХ ЕГО УЗЛОВ

Цель работы. Изучить устройство и работу электропривода стригальной машинки МСУ-200 и преобразователя частоты ИЭ-9401.

Программа работы. 1. Ознакомиться с устройством и эксплуатацией

агрегата ЭСА-12/200 (стригальными машинками МСУ-200, преобразователем частоты ИЭ-9401, точильным аппаратом ДАС-350).

2. Изучить устройство электропривода стригальной машинки МСУ-200 в разобранном виде.

3. Изучить устройство, электрическую схему и принцип работы преобразователя частоты ИЭ-9401.

4. Подключить агрегат к электрической сети, проследить за показаниями приборов, измеряющих напряжение и частоту на выходе преобразователя, опробовать работу стригальных машинок МСУ-200 и точильного аппарата ДАС-350.

5. Собрать электрическую схему и снять зависимость изменения выходного напряжения, частоты тока, мощности холостого хода преобразователя при изменении питающего напряжения при помощи регулятора напряжения.

6. Составить отчет.

Содержание отчета. В отчет по работе включить технические характеристики и электрические схемы электростригального агрегата, преобразователя частоты, стригальной машинки, полученные зависимости изменения выходного напряжения, частоты, мощности холостого хода преобразователя в зависимости от изменения питающего напряжения. Проанализировать полученные результаты. Сделать краткие выводы.

Глава 15. ЭЛЕКТРОПРИВОД ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНО-СУШИЛЬНЫХ МАШИН

15.1. Особенности электропривода зерноочистительно-сушильных машин

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 влажность его должна быть не более 14 %.

Промышленность выпускает зерноочистительные агрегаты типов ЗАВ-10, ЗАВ-20, ЗАВ-25, ЗАВ-40, ЗАВ-50, ЗАВ-100 и зерноочистительно-сушильные комплексы КЗС-10, КЗС-20, КЗС-25, КЗС-40, КЗС-50 производительностью соответственно 10, 20, 25, 40, 50 т/ч на пшенице. Зерноочистительно-сушильные комплексы КЗС включают в себя зерноочистительное отделение ЗАВ соответствующей производительности и сушильное отделение с зерносушилкой, охладительной колонкой, нориями.

Зерноочистительные агрегаты предназначаются в основном для южных зон страны, где влажность зерна в период уборки не превышает 16 % и не требуется дополнительная сушка.

Зерноочистительно-сушильные комплексы КЗС предназна-

ны для средней полосы страны, Прибалтийских республик, Белоруссии, Сибири, Дальнего Востока и других районов, где влажность зерна в период уборки превышает 16 % и требуется дополнительная его сушка.

Промышленность также выпускает специализированные зерноочистительные агрегаты и зерноочистительно-сушильные комплексы, например для послеуборочной обработки риса (ЗАР, КЗР), которые могут быть использованы и для обработки зерновых, бобовых и некоторых других культур. Их технологические схемы в основном повторяют схемы описанных выше агрегатов и комплексов.

От того, какую производительность будет иметь выбранное оборудование зерноочистительно-сушильного пункта, зависят число и суммарная установленная мощность электродвигателей, которая влияет на выбор площади сечения питающей электрической линии и мощности трансформаторной подстанции.

Для определения требуемой производительности зерноочистительных машин и сушилок определяют плановый перспективный сбор зерна для каждой культуры (t)

$$M_i = a_i S_i, \quad (15.1)$$

где a_i — плановая перспективная урожайность i -й культуры, т/га;
 S_i — посевная площадь i -й культуры, га.

В паспорте зерноочистительных машин производительность указывается для пшеницы влажностью 16 % и засоренностью не более 10 %, а зерносушилок для пшеницы, влажность которой должна быть снижена с 20 до 14 %.

У зерноочистительных машин общего назначения при увеличении влажности зерна свыше 16 % производительность снижается в среднем на 5 % на каждый процент увеличения влажности. При увеличении примесей свыше 10 % производительность машин снижается на 2 % на каждый процент увеличения примесей.

С учетом средних за несколько лет значений влажности и засоренности обрабатываемого зерна соответствующих культур требуемую паспортную производительность машин первичной очистки можно определить из выражения

$$Q_{\text{м1}} = \frac{k_{\text{н.п}}}{n_{\text{д}} t_{\text{р}} k_{\text{з}}} \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{k_{\text{и}} w s k_{\text{им}}}, \quad (15.2)$$

где $k_{\text{н.п}}$ — коэффициент, учитывающий неравномерность поступления зерна в течение часа и дня; $n_{\text{д}}$ — число дней работы зерноочистительно-сушильного пункта (20 дней); $t_{\text{р}}$ — продолжительность работы пункта

(две смены по 10 ч); k_n — коэффициент использования рабочего времени (0,8...0,9); k_{iWS} — коэффициент, учитывающий влажность и засоренность зерна i -й культуры (табл. 15.1); k_{im} — коэффициент, учитывающий вид обрабатываемого зерна i -й культуры (табл. 15.2).

15.1. Значения коэффициента k_{iWS} в зависимости от влажности W и засоренности S зерна

Влажность зерна W , %	Коэффициент k_{iWS} при засоренности S зерна, %		
	5	10	15
15...18	1,0	0,9	0,8
19...22	0,9	0,8	0,7
23...26	0,8	0,7	0,6
27...30	0,7	0,6	0,5

15.2. Значения коэффициентов k_{im} и k_{ic}

Культура	k_{im}	k_{ic}
Пшеница	1,0	1,0
Рожь	0,9	1,1
Ячмень	0,8	1,0
Овес	0,7	1,0
Кукуруза	1,0	0,5
Зернобобовые	1,0	0,4

Коэффициент неравномерности поступления зерна на зерноочистительный пункт для увлажненных районов $k_{нп}=2,2...3,2$, для сухих — $k_{нп}=1,6...2,2$.

Производительность машин вторичной очистки рекомендует-ся определять с учетом удаления из зерна большей части засоряющих примесей машинами первой очистки, то есть $Q_{м2} = (0,9...0,95) Q_{м1}$.

Паспортная производительность сушилки соответствует сушке пшеницы продовольственного назначения при снижении влажности зерна с 20 до 14 %.

Требуемая производительность сушильного оборудования

$$Q_c = \frac{1}{n_d t_p k_n} \sum_{i=1}^n \frac{M_i k_{iW} C}{100 k_{i3} k_{ic}} \quad (15.3)$$

где t_p — продолжительность работы сушильного оборудования в течение суток (принимается 24 ч); k_{iW} — коэффициент, учитывающий изменение производительности сушилок в зависимости от заданного процента снижения влажности зерна i -й культуры; C — процент зерна, подлежащего сушке, %; k_{i3} — коэффициент, учитывающий снижение производительно-

сти при сушке семенного зерна (для продовольственного и фуражного зерна $k_{i3}=1$, для семенного $k_{i3}=0,5$); k_{ic} — коэффициент, учитывающий изменение производительности сушилок в зависимости от вида зерна.

При конечной влажности зерна $W_2=14$ % значения коэффициента k_{iW} зависят от начальной влажности W_1 следующим образом:

Начальная влажность зер-

на W_1 , %	16	18	20	22	24	26	28	30
Коэффициент k_{iW}	0,54	0,80	1,0	1,2	1,46	1,63	1,88	2,14

По расчетному значению требуемой производительности $Q_{м1}$ выбирают ближайший больший по производительности зерноочистительный агрегат ЗАВ или зерноочистительное отделение комплекса КЭС. Если комплексе выбран по производительности зерноочистительного отделения, то найденное значение требуемой производительности сушилки Q_c сопоставляют с паспортной производительностью сушильного отделения комплекса, выбранного по расчетной производительности зерноочистительных машин. Если производительность сушильного отделения меньше расчетного значения Q_c , то рассматривают возможность использования в составе комплекса более производительной сушилки или отделения бункеров активного вентилирования с подогревом воздуха. Если по каким-либо причинам этого сделать нельзя, зерноочистительно-сушильный комплекс подбирают по расчетной производительности Q_c сушильного отделения.

В последние годы ведется интенсивное строительство цехов для производства витаминно-травяной муки на базе агрегатов АВМ-0,65, АВМ-1,5, АВМ-3,0 и других типов с пневмобарабанными сушилками. Паспортная производительность пневмобарабанных сушилок устанавливается при сушке измельченной травы с начальной влажностью $W_1=75$ % до конечной $W_2=8...10$ %.

Требуемая производительность агрегата травяной муки АВМ (т/ч)

$$Q_r = \frac{M_r}{n_d t_p k_n k_{iW}} \quad (15.4)$$

где M_r — планируемый годовой объем производства травяной муки, т; n_d — число дней работы агрегата (100...120 дней); t_p — продолжительность работы агрегата в течение суток (одна смена — 10 ч, две смены — 20 ч), ч; k_n — коэффициент использования рабочего времени (0,7...0,8); k_{i3} — коэффициент использования производительности агрегата (0,8...0,85); k_{iW} — коэффициент, учитывающий изменение производительности агрегата в зависимости от начальной влажности травяной массы (при $W_1=70; 75; 80$ % соответственно $k_{iW}=1,3; 1,0; 0,73$).

По аналогичной методике определяется производительность технологических линий подготовки брикетированных и гранулированных кормов.

Мощность электродвигателя P (кВт) зерноочистительных машин зависит от их загрузки и определяется следующей зависимостью:

$$P = \frac{P_x + A_1 Q + A_2 Q^2}{\eta_n},$$

где P_x — мощность холостого хода, кВт (табл. 15.3); A_1, A_2 — коэффициенты, зависящие от конструкции машины и технологии очистки, кВт·ч/т, кВт·ч²/т² (табл. 15.3); Q — пропускная способность машины, т/ч; η_n — КПД передачи.

15.3. Значения мощности холостого хода P_x и коэффициентов A_1 и A_2 для машин, входящих в агрегат ЗАВ-20

Машина	P_x , кВт	A_1 , кВт·ч/т	A_2 , кВт·ч ² /т ²
Воздушно-решетчатая машина ЗВС-10	0,48	0,075	0
Триерный блок БТ-10	0,56	0,041	0,003
Нория НЗ-20	0,49	0,055	0,0063
Передаточный транспортер	0,39	0,015	0,0012

15.2. Технологические и электрические схемы зерноочистительно-сушильных комплексов

В зерноочистительно-сушильных комплексах КЗС предусмотрена поточная технология послеуборочной обработки зерна. По типу применяемых сушилок их можно разделить на две группы — с шахтными сушилками (КЗС-10Ш, КЗС-20Ш, КЗС-40Ш) и с барабанными сушилками (КЗС-10Б, КЗС-20Б).

В качестве примера рассмотрим широко распространенный зерноочистительно-сушильный комплекс КЗС-20Ш производительностью на очистке 20 т/ч, на сушке — 16 т/ч. Установленная мощность 152,8 кВт, из которой мощность силового электрооборудования 148,3 кВт, освещения 4,5 кВт. Потребная мощность комплекса 137,4 кВт, из которой потребная мощность силового электрооборудования 132,9 кВт, освещения 4,5 кВт. Средневзвешенный коэффициент мощности 0,8. Комплекс рассчитан на годовой объем зерна в 5000..6000 т с продолжительностью работы за сезон 300 ч. Режим работы — в две смены,

число работающих в смену — 2 человека. Технологическая схема комплекса показана на рисунке 15.1.

Автомобили с зерновым ворохом от комбайнов при помощи автомобилеподъемника 19 разгружаются в завальную яму 20, зерновой ворох первой ветвью загрузочной норрии 5 подается вверх в зерноочистительное отделение, а затем по зернопроводу — в машину предварительной очистки (ворохоочиститель). Распределительное устройство зернопровода позволяет частично или полностью подавать зерновой материал в машину предварительной очистки или направлять его в секцию бункера резерва 13. После первой очистки зерновой материал поступает в норрию шахт сушилки, имеющей две линии сушки, которые могут работать параллельно при влажности зерна до 20 %, но выше кондиционной влажности 14 % и последовательно при влажности выше 20 %. Отходы транспортером 14 подаются в бункер отходов 16.

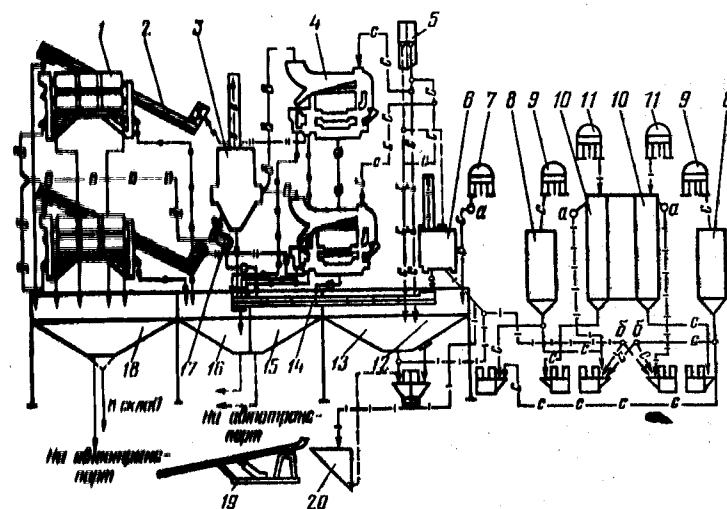


Рис. 15.1. Технологическая схема КЗС-20Ш:

1 — триерные блоки ЗАВ-10; 2 — передаточный транспортер; 3 — централизованная воздушная система; 4 — ветрорешетчатая машина ЗАВ-10; 5, 7, 9, 11 — норрии; 6 — ворохоочиститель; 8 — охлаждающая колонка; 10 — шахта зерносушилки СЗШ-16; 12 — буферная емкость очистительного отделения; 13 — секция бункера резерва; 14 — транспортер отходов; 15 — секция бункера фуража; 16 — секция бункера отходов; 17 — пневмотранспортер; 18 — бункер очищенного зерна; 19 — автомобилеподъемник ГАП-2П; 20 — завальная яма; — о — отходы; — — — необработанное зерно; — в — воздушный поток; — | — зерно после первичной очистки; — с — сухое зерно; — || — зерно после вторичной очистки; — ф — фураж.

При параллельной работе шахт влажность зерна снижается с 20 до 14 % и производительность сушки по сырому зерну составляет 16 т/ч, а при последовательной работе шахт влажность снижается с 26 до 14 % и производительность равна 8 т/ч. В первом случае зерновой материал из машины предварительной очистки 6 распределяется по двум нориям 11, которые подают его одновременно в обе шахты 10. Из шахт высушенное зерно нориями 9 подается в охладительные колонки 8, а из них охлажденное зерно норией 7 подается в буферную емкость 12 очистительного отделения, откуда оно самотеком поступает во вторую ветвь нории 5, подающей его к зерноочистительным машинам 4. Зерновой материал системой зернопроводов делится на две равные части и направляется в приемные камеры двух воздушно-решетных зерноочистительных машин. Очищенное семенное зерно поступает на шнековые питатели передаточных транспортеров 2, подается в триерные блоки и очищается от длинных и коротких примесей. Фракции очистки — фуражное зерно и примеси (отходы) от зерноочистительных машин направляются в соответствующие бункера. От триерных блоков очищенные семена и примеси подаются соответственно в бункера 18 чистого зерна и 16 — отходов. Центральная воздушная система с вентилятором предназначена для создания воздушного потока в рабочих каналах зерноочистительных машин, отвода от них при помощи воздуха примесей и выделения примесей. Если влажность зерна не более 16 %, то обработка происходит без применения сушилок. В этом случае зерновая масса из машины предварительной очистки идет во вторую ветвь нории 5, подающую ее на дальнейшую очистку.

В зависимости от назначения, влажности и засоренности зерновой массы на КЗС-20Ш можно применять разные технологии послеуборочной обработки зерна.

Варианты технологических схем зерноочистительного отделения приведены в таблице 15.4 (расшифровка на рисунке 15.2). На рисунке 15.2 приведена принципиальная электрическая схема зерноочистительного агрегата КЗС-20Ш.

Выбор варианта технологической схемы (поточной линии) зерноочистительного агрегата осуществляется при помощи переключателей SA1 и SA2 (табл. 15.4). Для каждой поточной линии соблюдаются необходимые блокировочные связи как при пуске и работе, так и при аварийных отключениях. В каждой поточной линии сначала включают вентилятор централизованной воздушной системы, а затем — машины в порядке, обратном направлению потока зерна. Отключают машины в обратном порядке, то есть по потоку зерна.

15.4. Технологические схемы зерноочистительного агрегата КЗС-20Ш

Вариант очистки зерна	Работоспособная линия	Порядок включения машин агрегата (рис. 15.2.)	Положение переключателя	
			SA1	SA2
Предварительная — воздушно-решетная триерная	1-я линия		4	1
	2-я линия		4	3
	Две линии		4	2
	—		3	Проз-вольное
Предварительная — воздушно-решетная	1-я линия		2	1
	2-я линия		2	3
	Две линии		2	2
Наладочный режим	—	Произвольный	1	2

Примечание. В — вентилятор.

Индивидуальное включение и отключение любой машины агрегата без соблюдения технологической последовательности достигается путем закорачивания всех блокировочных связей контактами промежуточных реле $KV1$ и $KV2$ при установке переключателя $SA1$ в положение 1, а $SA2$ — в положение 2. Этот режим предназначен для наладки и опробывания отдельных машин, входящих в состав зерноочистительного агрегата.

В случае аварии все машины комплекса одновременно можно отключить кнопками $SB1$ и $SB2$ из зерноочистительного и сушильного отделений, а машины только зерноочистительного отделения — кнопкой $SB3$, установленной в станции управления. Использовать аварийные кнопки для отключения зерноочистительного агрегата при окончании работы недопустимо, так

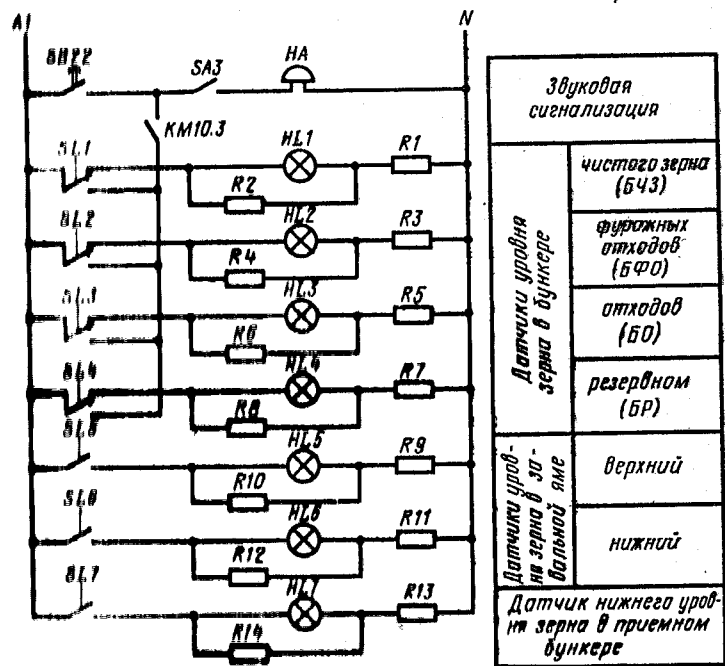
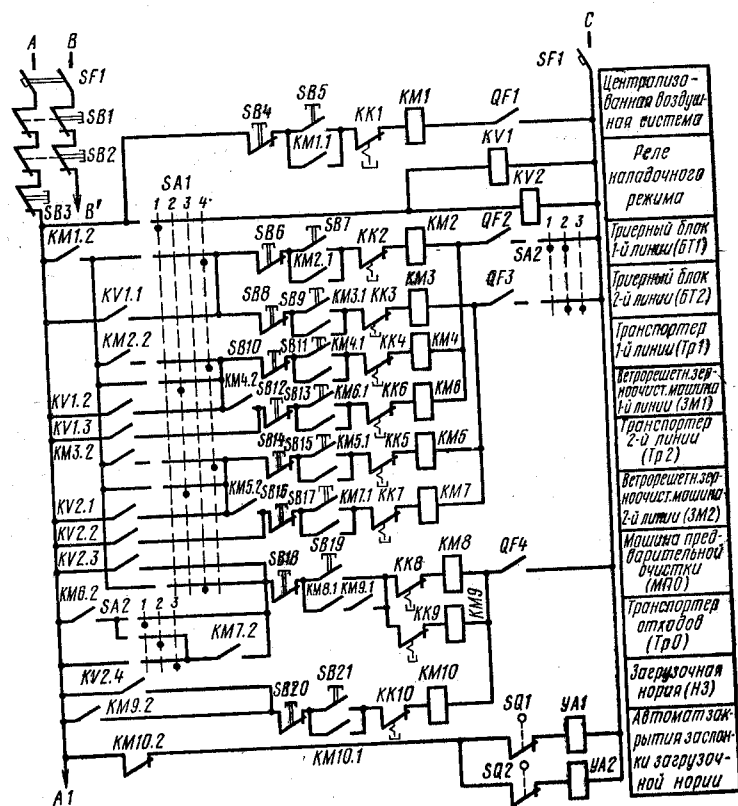


Рис. 1Б.2 Электрическая схема управления зерноочистительным агрегатом КЗС-2011.

как и машинах остается зерно и при следующем пуске машины могут не запуститься под нагрузкой.

Подготовка электрической схемы и запуск машин зерноочистительного агрегата происходят следующим образом:

1) включают автоматические выключатели силовых цепей, цепей управления $SF1$ и главный рубильник. При этом включаются блок-контакты автоматических выключателей $QF1$, $QF2$, $QF3$ и $QF4$, установленных для защиты от коротких замыканий электродвигателей вентилятора воздушной системы, триерных блоков, передаточных транспортеров, зерноочистительных машин 1-й и 2-й линий очистки;

2) задают необходимый вариант технологической схемы путем установки универсальных переключателей $SA1$ и $SA2$ в соответствующие положения. Пусть, например, переключатели $SA1$ и $SA2$ установлены соответственно в положения 4 и 2;

3) при включенном выключателе SA3 кнопкой SB22 подают звуковой сигнал, предупреждающий о начале работы. Затем нажатием соответствующих кнопок включают:

вентилятор централизованной воздушной системы (SB5 — KM1);

триерные блоки 1-й и 2-й линий очистки (SB7 — KM2 и SB9 — KM3);

передающие транспортеры 1-й и 2-й линий очистки (SB11 — KM4 и SB13 — KM5);

ветро-решетные зерноочистительные машины 1-й и 2-й линий очистки (SB15 — KM6 и SB17 — KM7);

машину предварительной очистки и транспортер отходов (SB19 — KM8 и KM9);

загрузочную норрию (SB21 — KM10).

После включения загрузочной норрии вручную поднимают заслонки загрузочных окон норрии H3 (это можно сделать потому, что блок-контакты KM10.2 магнитного пускателя разомкнуты).

Автоматы закрытия заслонки норрии (YA1-SQ1 и YA2-SQ2) установлены на обе ветви двухпоточной загрузочной норрии. При неработающей норрии блок-контакты KM10.2 магнитного пускателя цепи автомата закрытия заслонки замкнуты, загрузочное окно закрыто заслонкой, при этом заслонка нажимает на микропереключатель SQ1 и его контакты разомкнуты. Поднимание заслонки освобождает микропереключатель и он замыкает свои контакты. В этом случае через замкнутые контакты KM10.2 и SQ1 на электромагнит автомата YA1 подается напряжение, сердечник электромагнита втягивается и заклинивает заслонку, лишая возможности поднять ее. После включения загрузочной норрии, когда контакты KM10.2 будут разомкнуты, обесточится электромагнит, заслонка освободится от заклинивания и становится возможным ее подъем. Перед остановкой машин сначала закрывают заслонку загрузочной норрии, а затем с выдержкой времени, необходимой для освобождения действующей поточной линии от зерна, отключают машины.

Контроль заполнения бункеров осуществляется при помощи датчиков уровня SL1...SL4 типа ДУМ-100К с действием на световой и звуковой сигналы. Сигнальные лампы HL1...HL4 горят при незаполненных бункерах. При заполнении какого-либо из бункеров гаснет соответствующая сигнальная лампа и включается звуковой сигнал HA. В этом случае надо опорожнить наполненный бункер или отключить загрузочную норрию. Датчики устанавливают на такой уровень, чтобы в оставшуюся незаполненную емкость бункера вместились зерно, находящееся

в машинах и зернопроводах агрегата с момента получения сигнала и отключения загрузочной норрии.

Электрическая принципиальная схема сушильного агрегата получает питание от фаз B и C через кнопки отключения SB1 и SB2. Она не отличается сложностью, и аналогично рассмотренной схеме в ней предусматривается последовательное включение электродвигателей агрегата против потока зерна, начиная с электродвигателя норрии сухого зерна (рис. 3.38) с соответствующей электрической блокировкой в зависимости от принятого варианта технологической схемы сушки зерна.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова методика выбора производительности зерноочистительных машин и сушилки? 2. Какие величины входят в формулу мощности электродвигателя зерноочистительных машин? 3. Объясните технологическую и электрическую схемы КЗС-20Ш.

Глава 16. ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕТАЛЛО- И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ И СТАНДОВ ДЛЯ ОБКАТКИ

Колхозные и совхозные механические мастерские имеют первостепенное значение в техническом обслуживании и своевременном ремонте сельскохозяйственной техники, отказ или нарушение в работе которой может привести к значительным потерям урожая или недополучению продукции животноводства и птицеводства. Мастерские, как правило, оснащены современным станочным оборудованием, электростендами для обкатки автотракторных и комбайновых двигателей после ремонта, крап-балками, различными транспортирующими устройствами и другими установками.

16.1. Электропривод металлорежущих станков

Для электропривода токарных, сверлильных, фрезерных, шлифовальных и других станков, как правило, используют асинхронные короткозамкнутые электродвигатели, при выборе которых первостепенное значение имеет правильное определение их мощности, от оптимального значения которой зависит экономичность работы электропривода, то есть коэффициент полезного действия, расход электрической энергии, стоимость электродвигателя и стоимость обрабатываемой детали.

Мощность электродвигателя станка рассчитана на его максимальную загрузку, которая в реальных условиях работы может отличаться от фактической. Необходимая мощность электродвигателя для станков может быть определена теоретически или экспериментальным путем.

Теоретически необходимая мощность (кВт) электродвигателя для металлорежущих станков, обрабатывающих конкретные детали, может быть определена по формуле

$$P_{\text{ст}} = \frac{F_p v_p}{1000 \eta_{\text{ст}} 60}, \quad (16.1)$$

где F_p — усилие резания, Н; v_p — скорость резания, м/мин; $\eta_{\text{ст}}$ — КПД станка; для токарных, фрезерных, сверлильных, шлифовальных станков $\eta_{\text{ст}} = 0,7 \dots 0,85$; для строгальных, долбежных, дыропробивных $\eta_{\text{ст}} = 0,4 \dots 0,5$.

Усилие резания (Н) можно определить из формулы, полученной на основании экспериментальных данных,

$$F_p = C_p t^{x_p} s^{y_p}, \quad (16.2)$$

где C_p — коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого металла, Н/мм²; t — глубина резания, мм; s — подача резца на один оборот шпинделя, мм; x_p, y_p — показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого материала, глубины резания, подачи и качества резца.

Для токарных станков общего назначения при черновой обработке изделий принимают $t = 3 \dots 30$ мм, $s = 0,4 \dots 3$ мм, а при чистовой обработке $t = 0,1 \dots 2$ мм, $s = 0,1 \dots 0,4$ мм. Значения C_p, x_p, y_p берут в справочной литературе.

В ориентировочных расчетах можно использовать упрощенную формулу

$$F_p = C_p' t^{0,75}, \quad (16.3)$$

где C_p' для стали равен 1962, ковкого чугуна 1226, серого чугуна 1491 Н/мм².

Скорость резания (м/мин) определяют из выражения

$$v_p = \frac{C_{v_p}}{t^{x_{v_p}} s^{y_{v_p}}}, \quad (16.4)$$

где C_{v_p} — коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала, м·мм²/мин; x_{v_p}, y_{v_p} — показатели степени, зависящие от качества обрабатываемого материала, материала резца, подачи и глубины резания, берутся в справочной литературе.

Мощность электродвигателя (кВт) для сверлильного станка

$$P_{\text{св}} = \frac{M_{\text{св}} \omega}{1000 \eta_{\text{ст}}}, \quad (16.5)$$

где $M_{\text{св}}$ — прищаживающий момент сверла, Н·м; ω — угловая скорость, рад/с.

Момент, необходимый для вращения сверла, можно определить по эмпирической формуле

$$M_{\text{св}} = C_m d^{x_m} s^{y_m}, \quad (16.6)$$

где C_m — коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого металла, Н·м/мм³; d — диаметр сверла, мм; s — подача сверла за один его оборот, мм; x_m, y_m — показатели степени, зависящие от качества обрабатываемого материала и размера сверла.

Подача

$$s = C_s d^{x_s}, \quad (16.7)$$

где C_s и x_s — постоянные величины, зависящие от прочности и диаметра сверла

Скорость сверления (м/мин)

$$v_{\text{св}} = \frac{C_{v_{\text{св}}} d^{x_{v_{\text{св}}}}}{t^{y_{v_{\text{св}}}}} \text{ и } \omega = 33,3 \frac{v_{\text{св}}}{d}, \quad (16.8)$$

где $C_{v_{\text{св}}}$ — коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала и подачи, м; $x_{v_{\text{св}}}, y_{v_{\text{св}}}$ — показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого материала; T — стойкость резца (продолжительность его работы между двумя соседними заточками), мин; t — показатель степени, принимаемый равным 0,167.

Для ориентировочных расчетов величину T при сверлении деталей из стали можно принимать равной d , а из чугуна и медных сплавов — $1,5d$.

Мощность электродвигателя (кВт) для шлифовальных станков

$$P_{\text{ш}} = \frac{P_{\text{к}} + P_{\text{д}}}{\eta_{\text{ст}}}, \quad (16.9)$$

где $P_{\text{к}}$ и $P_{\text{д}}$ — мощности, потребляемые соответственно на вращение круга и детали.

$$P_{\text{к}} = \frac{F_{\text{ш}} v_{\text{к}}}{1000 \cdot 60} \text{ и } P_{\text{д}} = \frac{F_{\text{ш}} v_{\text{д}}}{1000 \cdot 60}, \quad (16.10)$$

где $F_{ш}$ — усилие резания при шлифовании, Н; v_k и v_d — соответственно линейные скорости круга (20...50 м/мин) и детали (15...25 м/мин).

Усилие резания (Н) при шлифовании определяется по следующей эмпирической зависимости:

$$F_{ш} = C_{ш} v_k^{0,7} v_d^{0,7} t_p^{0,6}, \quad (16.11)$$

где $C_{ш}$ — постоянный коэффициент, определяемый свойствами обрабатываемого металла, Н·мин/(м·мм²). При обработке закаленной стали он равен 21,6 Н·мин/(м·мм²), незакаленной стали — 20,6 Н·мин/(м·мм²), чугуна — 19,6 Н·мин/(м·мм²).

Расчетные мощности $P_{ст}$, $P_{св}$, $P_{ш}$ определены для длительных режимов работы. Однако в реальных условиях в процессе работы станка бывают паузы. Поэтому для конкретного случая можно определить фактически необходимую мощность с учетом продолжительности работы и пауз в цикле. Необходимую мощность для станка можно определить по формуле

$$P_{потр} = P_{ст} \sqrt{\frac{\gamma^2 + \left(\frac{P_x}{P_{ст}}\right)^2 \frac{t_o}{t_p}}{1 + \frac{t_o}{t_p}}}, \quad (16.12)$$

где t_p и t_o — продолжительность работы и пауз в цикле; P_x — мощность холостого хода станка; γ — коэффициент загрузки станка,

$$\gamma = \frac{(P_x + P_{ст})}{2P_{ст}}.$$

При остановке станка, когда $P_x = 0$, $\gamma = 1/2$. Значения t_p , t_o определяют для конкретных производственных условий. При ориентировочных расчетах и когда t_p , t_o и P_x определить трудно, можно принимать $P_x/P_{ст} = 0,15$ для токарных, сверлильных, шлифовальных станков, работающих в мастерских и заводах автотракторной промышленности, $P_x/P_{ст} = 0,10$ для фрезерных, $t_o/t_p = 0,35$ для токарных, $t_o/t_p = 0,640$ для сверлильных и $t_o/t_p = 0,455$ для фрезерных станков.

В производственных условиях в ряде случаев возникает необходимость определять мощность электродвигателя для различных станков и машин в конкретных условиях работы. Такая необходимость может возникнуть после значительного срока службы станка или машины, когда отдельные части изнашивались, ремонтировались или полностью заменились, вследствие чего изменились технико-экономические показатели, в том числе и необходимая мощность электродвигателя. Кроме того, в ряде

случаев мощность установленного на станках и машинах электродвигателя выбрана для обработки наиболее энергоемкого материала в наиболее тяжелых условиях работы и в длительном режиме. В реальных же условиях производства эти показатели могут значительно отличаться от паспортных. Поэтому часто возникает целесообразность уточнения на практике фактически необходимой мощности электродвигателя с целью обеспечения более экономичной работы электропривода с наибольшим коэффициентом полезного действия, $\cos \phi$ и наименьшим расходом электроэнергии на обрабатываемую деталь.

16.2. Электропривод станков для обкатки автотракторных двигателей

В соответствии с ГОСТ 18523—79 при капитальном ремонте ремонтные предприятия обязаны подвергать обкатке и приемо-сдаточным испытаниям каждый тракторный и комбайновый двигатель.

Тракторные, автомобильные и комбайновые двигатели после изготовления и ремонта подвергают холодной и горячей обкатке на специальных электростендах типа СТЭ (рис. 16.1), комплектуемых асинхронным электродвигателем с фазным ротором мощностью от 4,5 до 250 кВт и синхронной частотой вращения 750, 1000 и 1500 мин⁻¹. По показаниям стенда определяют мощ-

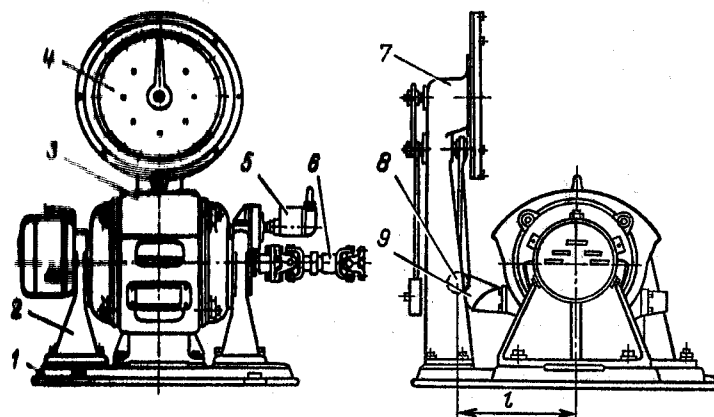


Рис. 16.1. Общий вид электростенда:

1 — чугунная плита; 2 — стойка; 3 — электродвигатель; 4 — циферблат; 5 — тахогенератор; 6 — шарнирный вал; 7 — весовой механизм; 8 — центр шарнира; 9 — рычаг.

ность, развиваемую электродвигателем. Для этого по шкале циферблата определяют силу, действующую от электродвигателя на весовое устройство, и угловую скорость при помощи прибора, получающего сигнал от тахогенератора 5. Для измерения усилия от электродвигателя, обусловленного его нагрузкой, применяется балансирующая система, то есть корпус электродвигателя 3 смонтирован на двух стойках 2 с шарикоподшипниками, на которых он свободно может поворачиваться. Стойки устанавливают на чугунной плите 1. Корпус рычагом 9 соединен с весовым механизмом 7. Сила, с которой действует балансируемый статор электродвигателя на весовой механизм, обусловлена моментом, развиваемым электродвигателем, и расстоянием l от оси электродвигателя до точки приложения этой силы. Как правило, $l=0,974$ м.

После изготовления или ремонта теплового двигателя подвергают холодной обкатке (тепловой двигатель приводится в движение электродвигателем стенда), а затем горячей, когда тепловой двигатель заведен и нагружается электрической машиной (двигателем), работающей в режиме генератора (тормоза), отдающего электрическую энергию в электрическую сеть. Холодную обкатку проводят для приработки коренных подшипников и других трущихся пар теплового двигателя. Горячую обкатку проводят для определения развиваемой тепловым двигателем мощности и расхода топлива на киловатт-час.

По показаниям измерительных приборов можно определить мощность, развиваемую электродвигателем в режиме холодной обкатки и тепловым двигателем в режиме горячей обкатки.

Мощность (кВт), измеряемая стендом,

$$P_{ст} = M\omega 10^{-3} = Fl\omega 10^{-3} = 1,05Fln 10^{-4}, \quad (16.13)$$

где F — усилие, действующее на весовое устройство, Н; l — длина плеча весового устройства, м; ω — угловая скорость, рад/с; n — частота вращения, мин⁻¹.

Электрическая схема включения обмоток электродвигателя стенда показана на рисунке 16.2, а. Концы фазных обмоток ротора подведены к кольцам, изолированно насаженным на вал ротора электродвигателя. Три реостата R , соединенные в данном случае в треугольник, через щетки и кольца включаются в трехфазную обмотку ротора. Изменяя значение сопротивлений R , можно подобрать необходимый режим работы электрической машины.

Выпускаемые промышленностью стенды СТЭ комплектуются жидкостными реостатами (рис. 16.2, б, вид фронтального и бокового разреза), которые выполнены в виде металлического корпу-

са 7, наполненного трехпроцентным раствором кальцинированной соды. В верхней части корпуса размещен вал 9, на котором изолированно от него закреплены три медные электродные пластины 8 секторообразной формы. Вал с пластинами поворачивается при помощи исполнительного механизма 12, состоящего из электродвигателя 11 и редуктора 10.

Электрическое сопротивление слоя жидкости между пластинами (Ом)

$$R = \rho l / S, \quad (16.14)$$

где ρ — удельное сопротивление одного кубического сантиметра жидкости, Ом·см; l — расстояние между электродными пластинами, см; S — площадь смоченной поверхности пластины, см².

На рисунке 16.2, б и зависимости (16.14) видно, что с поворотом вала против часовой стрелки пластины реостата будут погружаться в жидкость, площадь смачиваемой поверхности S будет увеличиваться, а сопротивление R реостата будет уменьшаться, и, наоборот, при подъеме пластин сопротивление R будет увеличиваться. Насосная помпа 13 мощностью 100 Вт служит для перемешивания жидкости и выравнивания температуры, так как в верхней части реостата температура жидкости повышается вследствие прохождения тока через ее слой между пластинами.

На рисунке 16.2, в приведены механические характеристики электродвигателя стенда при различных погружениях электродных пластин. Первое исходное положение пластин характеризуются значительным сопротивлением $R_1 = R_{max}$. Затем при втором большем погружении пластин в жидкость $R_2 < R_1$ и т. д. Этим положением пластин для $R_1, R_2, R_3, R_4 = 0$ построены соответствующие механические характеристики электродвигателя 14, 15, 16, 17, которые пересекают механическую характеристику 18 теплового двигателя при холодной обкатке в точках 14', 15', 16', 17', являющихся рабочими при указанных выше сопротивлениях реостата. Этим точкам в двигательном режиме соответствуют угловые частоты вращения $\omega_{14д}, \omega_{15д}, \omega_{16д}, \omega_{17д}$. Четвертая точка 17' находится на естественной характеристике асинхронного электродвигателя с фазным ротором, когда дополнительное сопротивление реостата $R_4 = 0$.

При включенной первой ступени реостата и обмотки статора электродвигателя в сеть под действием избыточного момента двигатель начинает разбегаться. Его момент и угловая частота вращения изменяются по механической характеристике 14 до точки пересечения 14' с механической характеристикой 18 мо-

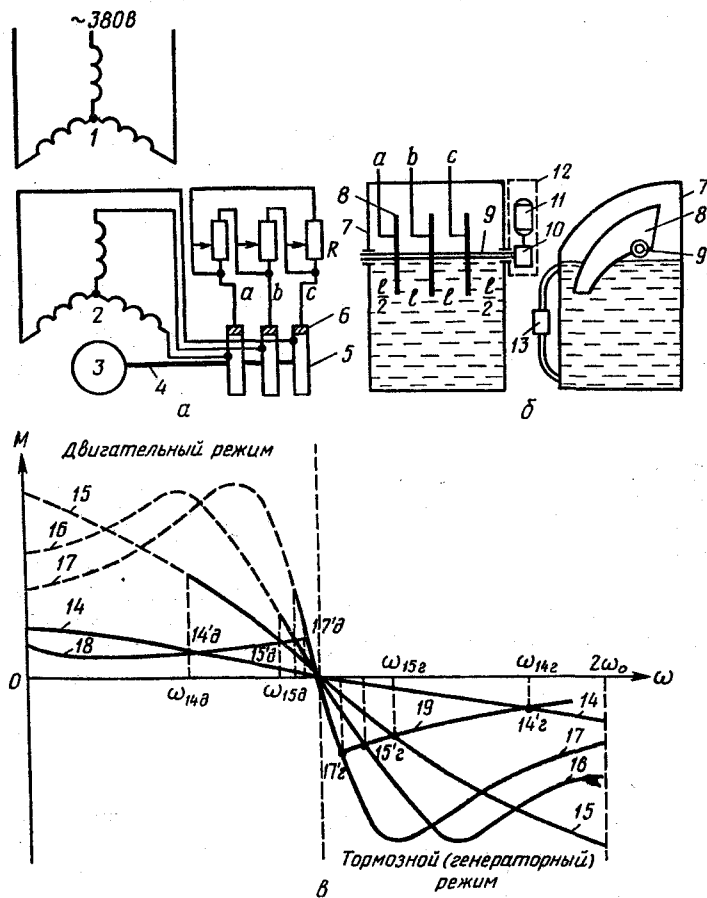


Рис. 16.2. Электропривод обкаточно-тормозного стенда:

а — электрическая схема управления; б — электропривод жидкостного реостата; в — механические характеристики электродвигателя обкаточно-тормозного стенда; 1 — обмотка статора электродвигателя; 2 — обмотка ротора электродвигателя; 3 — ротор электродвигателя; 4 — вал электродвигателя; 5 — кольцо ротора; 6 — щетка; 7 — корпус жидкостного реостата; 8 — электродная пластина реостата; 9 — вал электродных пластин; 10 — редуктор исполнительного механизма; 11 — электродвигатель исполнительного механизма; 12 — исполнительный механизм; 13 — насосная помпа; 14, 15, 16, 17 — механические характеристики при $R_1 = R_{max}$, $R_2 < R_1$, $R_3 < R_2$, $R_4 = 0$; 18 — механическая характеристика теплового двигателя при холодной обкатке; 19 — кривая, обеспечивающая отдачу в электрическую сеть мощности, не превышающей допустимое значение.

мента сопротивления теплового двигателя при холодной обкатке $M_1 = f(\omega)$. Электродвигатель в этой точке работает с угловой частотой вращения ω_{14d} . При мгновенном переключении реостата (погружение пластин) в следующее положение момент электродвигателя возрастает с точки $14'_d$ до точки пересечения вертикали с кривой 15, по которой под действием избыточных моментов электродвигатель разбегается до точки пересечения с кривой 18. Этой точке соответствует угловая частота ω_{15d} . При дальнейших мгновенных переключениях двигатель переходит на работу по естественной характеристике в точке $17'_d$. Чем медленнее переключение (плавное погружение пластин), тем меньше величина избыточных моментов с переходом с одной характеристики на другую и плавнее разбегается электродвигатель.

Если вывести тепловой электродвигатель с вращением вала в ту же сторону, что и в двигательном режиме, и увеличивать подачу топлива, то с переходом за синхронную частоту вращения электродвигатель перейдет в генераторный (тормозной режим) с отдачей электрической энергии в сеть. Так как теперь ротор будет опережать магнитное поле статора и скольжение изменит свой знак, изменится направление электрического тока и момента электрической машины, который будет противодействовать моменту, развиваемому тепловым двигателем и совпадавшему по направлению с моментом электродвигателя в двигательном режиме. Механические характеристики электрической машины в генераторном режиме будут иметь противоположные значения моментов по сравнению с двигательным режимом.

В генераторном режиме на ступенях сопротивлений надо подбирать такие значения угловой частоты вращения ω и соответствующие им значения моментов по механическим характеристикам для этих ступеней, чтобы мощности, отдаваемые электрической машиной в сеть, не превосходили допустимого значения, то есть чтобы ток в обмотках электродвигателя не превосходил допустимого значения. Кривая 19 на рисунке 16.2, а изображает значения моментов и соответствующих им угловых частот вращения, при которых мощность, отдаваемая электрической машиной в электрическую сеть, равна допустимому значению.

В генераторном режиме (в противоположность двигательному режиму) для увеличения угловой частоты вращения сопротивление реостата надо увеличивать (точки $17'_d$, $16'_d$, $15'_d$, $14'_d$, то есть электродные пластины реостата надо выводить из жидкости).

При холодной обкатке поток энергии направлен от электродвигателя к тепловому двигателю, а при горячей обкатке — наоборот, от теплового двигателя к электродвигателю, работаю-

щему в режиме генератора. Процесс холодной обкатки обычно длится 1...1,5 ч. В этом режиме электродвигатель бывает загружен примерно на 15...30 % своей номинальной мощности.

Мощность теплового двигателя может быть определена из зависимости

$$P_{\tau} = \frac{P_{\text{ст}}}{\eta_{\text{к.п}}}, \quad (16.15)$$

где $P_{\text{ст}}$ — мощность, определяемая по измерительным приборам стенда, кВт; $\eta_{\text{к.п}}$ — КПД коробки передач. При использовании соединительной муфты вместо коробки передач $\eta_{\text{к.п}} = 1$.

При номинальной мощности теплового двигателя $P_{\text{т.н}}$ (кВт), которую он должен развивать при горячей обкатке, измеренное на стенде значение силы в этом случае может быть определено из выражения

$$P_{\text{т.н}} \eta_{\text{к.п}} = P_{\text{ст}} = F l \omega 10^{-3} = 1,05 F l n 10^{-4}, \quad (16.16)$$

откуда

$$F = \frac{P_{\text{т.н}} \eta_{\text{к.п}} 10^3}{l \omega} = \frac{P_{\text{т.н}} \eta_{\text{к.п}} 10^4}{1,05 l n}. \quad (16.17)$$

Если во избежание перегрузки электрической машины допустимую мощность в генераторном режиме приравнять присоединенной мощности в двигательном режиме, соотношение между мощностью электродвигателя обкаточно-тормозного стенда и мощностью теплового двигателя в режиме горячей обкатки можно определить из условия

$$P_{\text{т.н}} = \frac{P_{\text{дп}}}{\eta_{\text{г}} \eta_{\text{к.п}}} = \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{г}} \eta_{\text{н}} \eta_{\text{к.п}}}, \quad (16.18)$$

где $P_{\text{дп}}$ — присоединенная мощность электродвигателя, то есть мощность, потребляемая электродвигателем из сети при его загрузке со стороны вала на номинальную мощность $P_{\text{н}}$, указанную в паспорте ($P_{\text{дп}} = P_{\text{н}} / \eta_{\text{н}}$); $\eta_{\text{г}}$ — КПД электродвигателя, работающего в генераторном (тормозном) режиме при отдаваемой в сеть мощности, равной присоединенной; $\eta_{\text{н}}$ — номинальный КПД электродвигателя.

При мощности генератора, равной присоединенной мощности в двигательном режиме, принимаем $\eta_{\text{г}} \cong \eta_{\text{н}}$.

В этом случае

$$P_{\text{т.н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}^2 \eta_{\text{к.п}}}. \quad (16.19)$$

Из этого выражения видно, что, зная мощность электродвигателя обкаточно-тормозного стенда, ориентировочно можно определить мощность теплового двигателя, на которую электродвигатель может его загрузить в генераторном (тормозном) режиме. По выражению (16.19) можно определять мощность электродвигателя обкаточно-тормозного стенда по наибольшей мощности теплового двигателя, подлежащего горячей обкатке после его изготовления или ремонта.

Во многих случаях горячая обкатка завершается на повышенной частоте вращения $n = (1,5...2,0) n_c$, когда в цепь ротора электродвигателя введено почти полное сопротивление реостата, в котором теряется до 20 % мощности. С учетом этих потерь и несколько повышенных механических потерь в коробке передач и электродвигателе за счет увеличенной частоты вращения тепловой двигатель в этом случае можно использовать при работе на перегрузках до 20 %.

На рисунке 16.3 приведена электрическая схема обкаточно-тормозного стенда ГОСНИТИ. Для привода поворотного вала пластины реостата использован исполнительный механизм ИМ-2/120 с однофазным конденсаторным электродвигателем МЗ мощностью 26 Вт на напряжение 220 В. Угол поворота выходного вала исполнительного механизма 120°, продолжительность одного оборота 120 с. Схема предусматривает дистанционное управление электродвигателем стенда и его реостатом.

В исходном положении электродные пластины реостата находятся вверху. Путевой выключатель SQ1 находится под воздействием нажимного упора и его замыкающие контакты замкнуты, а размыкающие — разомкнуты, сигнальная лампа HL1 сигнализирует о наличии напряжения в цепи управления, а HL2 — о том, что пластины реостата подняты (реостат введен).

При включении стенда на холодную обкатку включают рубильник SA, нажимают кнопку SB1, магнитный пускатель KM включает электродвигатели стенда и своими блок-контактами подготавливает цепь для включения электродвигателя исполнительного механизма МЗ. Загорается сигнальная лампа HL3.

Кнопкой SB4 создается цепь тока через обмотки электродвигателя исполнительного механизма МЗ, который включается на опускание в жидкость электродных пластин реостата (на уменьшение сопротивления). При этом нажимной упор отходит от конечного выключателя SQ1, замыкающие контакты которого размыкаются, а размыкающие замыкаются. Лампа HL2 гаснет. Сопротивление реостата начинает уменьшаться, а частота вращения электродвигателя возрастает. Как только частота враще-

ния электродвигателя достигнет требуемого значения, соответствующего первой ступени обкатки, кнопка *SB4* отпускается, сопротивление реостата прекращает изменяться и начинается обкатка на первой ступени частоты вращения. Для перехода на вторую ступень нажимают кнопку *SB4* и, достигнув следующей требуемой частоты вращения, отпускают ее. Перехода на последнюю ступень обкатки, снова нажимают кнопку *SB4* и ее отпускают до тех пор, пока упор исполнительного механизма не подействует на конечный выключатель *SQ2* и не отключится электродвигатель исполнительного механизма *M3*. На последней ступени холодной обкатки работа электродвигателя происходит на механической характеристике, близкой к естественной.

После окончания холодной обкатки нажимают кнопку *SB3*, включается вторая обмотка электродвигателя исполнительного механизма, вращающая вал электродных пластин реостата в обратную сторону, то есть на подъем электродных пластин. Когда электродные пластины будут подняты в верхнее исходное поло-

жение, упор исполнительного механизма воздействует на конечный выключатель *SQ1*, замыкающие контакты которого заминут, а размыкающие разомкнутся. Включится сигнальная лампа *HL2*. Электродвигатель исполнительного механизма отключится.

Если после окончания обкатки электродвигатели будут отключены кнопкой *SB2* (без предварительного нажатия кнопки *HL3*), то замкнувшиеся размыкающие блок-контакты *KM.3*, включенные параллельно кнопке *SB3*, включают электродвигатель исполнительного механизма на подъем пластин реостата, который затем отключится вследствие действия упора на конечный выключатель *SQ1*, когда пластины реостата возвратятся в верхнее исходное положение.

Для проведения горячей обкатки теплового двигателя включают электродвигатели стэнда и исполнительного механизма и, когда исполнительный механизм отключится при полностью опущенных пластинах реостата, заводят тепловой двигатель. Затем с увеличением подачи горючего тепловой двигатель, набирая частоту вращения, переводит электродвигатель в режим генератора (тормозной режим).

Достигнув требуемой нагрузки, прекращают изменять подачу горючего и начинается горячая обкатка теплового двигателя на первой ступени частоты вращения. Для перехода на следующую ступень вращения нажимают кнопку *SB3*, пластины реостата начинают подниматься, сопротивление реостата увеличивается и возрастает частота вращения. Добившись необходимой частоты вращения, отпускают кнопку *SB3* и начинается горячая обкатка на второй ступени и т.д. После окончания горячей обкатки выключают тепловой двигатель, а затем кнопкой *SB2* отключают электродвигатель с возвращением пластин реостата в исходное положение.

Если проводится непрерывная обкатка, то после окончания холодной обкатки, не включая исполнительный механизм на подъем пластин реостата, заводят тепловой двигатель, увеличивают подачу горючего до необходимой нагрузки и начинается горячая обкатка в описанной выше последовательности.

Описанные электростенды нашли широкое распространение в мастерских колхозов, совхозов, ремонтных заводов, а также на автотракторных заводах-изготовителях. Они удобны и надежны в эксплуатации, однако имеют следующие недостатки: 1) невозможность холодной обкатки на малой частоте вращения, с которой целесообразно было бы ее начинать; 2) горячая обкатка проводится только на сравнительно большой частоте вращения, превышающей синхронную.

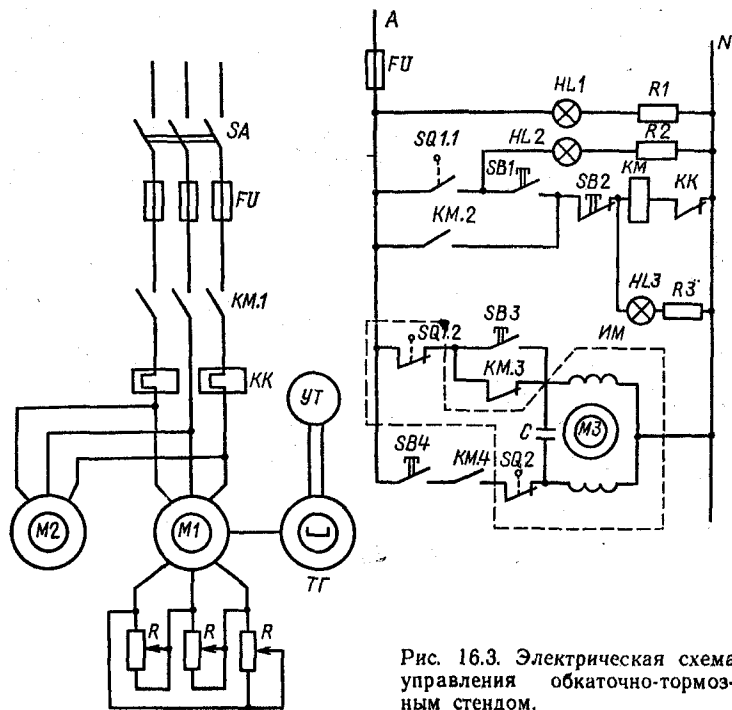


Рис. 16.3. Электрическая схема управления обкаточно-тормозным стендом.

16.3. Электропривод деревообрабатывающих установок

При строительстве различных построек в колхозах и совхозах требуется большое количество досок для потолков, полов, перегородок, оконных рам и т.п. Распиловка леса на доски и брусья — один из трудоемких и энергоемких процессов. Для этой цели широко применяются пилорамы и круглопильные станки.

Лесопильная рама — основной производительный агрегат для распиловки бревен на доски и брусья. В сельском хозяйстве наибольшее распространение получили пилорамы производительностью 2,5...8,2 м³/ч с электродвигателем мощностью 20...35 кВт, частотой вращения 240...250 мин⁻¹ и с числом пил 8...12. Наибольший диаметр распиливаемых бревен 350...520 мм.

На рисунке 16.4, а показана кинематическая схема электропривода лесопильной рамы и ее механизмов. Электродвигатель 1 при помощи ременной передачи приводит в движение кривошипно-шатунный механизм 2 и 7. Верхний конец шатуна шарнирно соединен с пильной рамой 5, сообщает последней вертикальное поступательно-возвратное движение в направляющих пазах 11 корпуса рамы. Таким образом, преобразуется вращательное движение электродвигателя 1 в поступательно-возвратное движение пильной рамы 5 с вертикально закрепленными на ней пилами 6. Ход рамы вниз — рабочий, при нем происходит процесс пиления бревна на доски и брусья. От вала кривошипно-шатунного механизма механизмом подачи 4 поворачиваются в разные стороны направляющие рифленые валики 10 (рис. 16.4, б), зажимающие бревно 8 сверху и снизу и подающие его под пилы 6 рамы 5. Маховик 9 служит для обеспечения равномерности движения и преодоления пильной рамой переходных точек в нижнем и верхнем положениях, когда $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 180^\circ$ (рис. 16.4, в). Электродвигатель пилорамы запускают без нагрузки. Самый тяжелый пуск — когда рама находится в нижнем положении в момент трогания с места ($\alpha = 180^\circ$).

Мощность электродвигателя пилорамы определяют из выражения

$$P = (P_n + P_{\text{под}} + P_x) / \eta_{\text{р.п}} \quad (16.20)$$

где P_n — мощность, затрачиваемая на пиление бревна; $P_{\text{под}}$ — мощность, расходуемая на подачу бревна; P_x — мощность холостого хода пилорамы с выключенной подачей, то есть без учета холостого хода механизма подачи; $\eta_{\text{р.п}}$ — КПД ременной передачи.

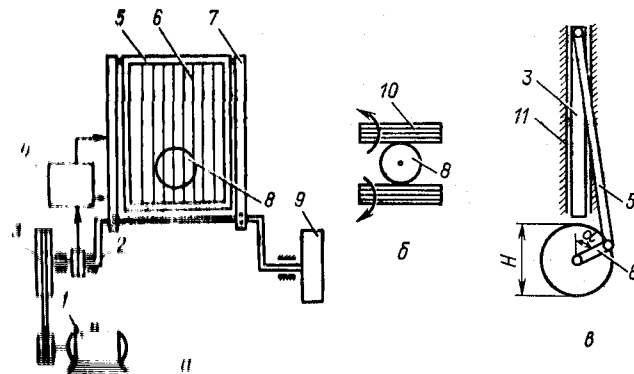


Рис. 16.4. Электропривод пилорамы:

а — кинематическая схема электропривода; б — кинематическая схема подачи; в — кривошипно-шатунный механизм пилорамы; 1 — электродвигатель; 2 — кривошип; 3 — шкив; 4 — механизм подачи; 5 — пильная рама; 6 — пила; 7 — шатун; 8 — бревно; 9 — маховик; 10 — рифленые валики; 11 — направляющий паз

Мощность пиления (кВт)

$$P_n = F_n v_n / 1000, \quad (16.21)$$

где F_n — усилие пиления, Н; v_n — скорость пиления, м/с.

Усилие пиления определяется по эмпирической зависимости

$$F_n = k_n k_2 b s \sum h / H, \quad (16.22)$$

где k_n — удельное сопротивление пилению, зависящее от материала дерева (сосна, ель, береза, дуб и др.), Н/мм²; k_2 — поправочный коэффициент, учитывающий затупление пил в процессе пиления; b — ширина пропила, мм; s — подача, приходящаяся на рабочий ход пильной рамы, мм/ход; $\sum h$ — сумма высот пропилов в плоскости, перпендикулярной оси бревна в зоне среднего диаметра, м; H — ход пильной рамы, м.

Удельное сопротивление пилению для древесных пород принимают равным произведению удельного сопротивления пилению сосны на поправочный коэффициент ($k_n = k_n k_i$). Для сосны $k_i = 1,0$; $k_n = 80$ Н/мм². Поправочный коэффициент k_i для березы равен 1,3, для ели 0,9, для липы 0,8, для лиственницы 1,07, для дуба 1,55, для ясеня 2. Если значение поправочного коэффициента k_2 для острой пилы принять за единицу, то в зависимости от продолжительности ее работы он принимает следующие значения:

Продолжительность работы пилы, ч	1	2	3	4	6
Поправочный коэффициент k_2	1,14	1,27	1,4	1,5	1,6

Ширина пропила $b = 1,5a$, где a — толщина пилы. Подача на пилораме может регулироваться в пределах от 3 до 8 мм/об. В расчетах принимают $\Sigma h = 0,75d_{ср}z$, где $d_{ср}$ — диаметр среднего сечения бревна; z — число пил, находящихся в работе при распиливании бревна. Ход пильной рамы $H = 2r_{кр}$, где $r_{кр}$ — радиус кривошипа.

На рисунке 16.4, в видно, что средняя скорость пиления (м/с)

$$v_n = 2Hn/60 = Hn/30,$$

где n — частота вращения вала пилорамы, мин⁻¹.

Подставляя полученные выражения для F_n и v_n в формулу (16.21), получим следующее выражение для мощности пиления:

$$P_n = \frac{k_n k_s b s \Sigma h n}{3 \cdot 10^4}. \quad (16.23)$$

Мощность, затрачиваемая на подачу бревна,

$$P_{под} = \frac{F_{под} v_{под}}{1000 \eta_{под}}, \quad (16.24)$$

где $F_{под}$ — усилие подачи (принимается $F_{под} \cong F_n$), Н; $v_{под}$ — скорость подачи бревна, м/с; $\eta_{под}$ — КПД механизма подачи.

Скорость подачи можно определить делением подачи на продолжительность одного оборота вала пилорамы $t_1 = 2H/v_n$ (рис. 16.4, в). Тогда получим

$$v_{под} = \frac{s}{10^3 t_1} = \frac{sv_n}{10^3 2H}. \quad (16.25)$$

Подставляя в выражение мощности подачи (16.24) вместо $F_{под}$ равную ей величину F_n и полученное выражение для $v_{под}$, получим

$$P_{под} = \frac{F_n v_n s}{\eta_{под} 10^3 2H 10^3} = \frac{P_n s}{2H \eta_{под} 10^3}. \quad (16.26)$$

Мощность (кВт) холостого хода пилорамы на шарикоподшипниках

$$P_x = 2,1 \cdot 10^{-6} m n^2 r_{кр}, \quad (16.27)$$

на подшипниках скольжения

$$P_x = 1,6 \cdot 10^{-5} m n^2 r_{кр} \quad (16.28)$$

где m — масса движущихся частей пилорамы, кг; n — частота вращения вала пилорамы, мин⁻¹; $r_{кр}$ — радиус кривошипа, м.

Подставляя полученное выражение для $P_{под}$ в формулу мощности электродвигателя пилорамы (16.20), получим

$$P_{эл} = \frac{P_n \left(1 + \frac{s}{2H \eta_{под} 10^3} \right) + P_x}{\eta_{р.п}}. \quad (16.29)$$

Поступающие на распиливание бревна отличаются диаметром, твердостью, сучковатостью и другими механическими свойствами. Если не регулировать подачу, то нагрузка электродвигателя будет разной и значительно отличаться от номинальной. Это снижает КПД, $\cos \phi$ и повысит расход электроэнергии на кубометр распиленного материала. Для обеспечения оптимальной нагрузки электродвигателя используют автоматизированную подачу. В схеме автоматического регулирования подачи (рис. 16.5) в зависимости от нагрузки электродвигателя используется самостоятельный электродвигатель постоянного тока $M2$, который приводит в действие механизм подачи. Питание электродвигателя постоянного тока происходит от выпрямителя с тиристорным регулятором напряжения E . Частота вращения электродвигателя $M2$, которая обеспечивает пропорциональную подачу,

$$n_{M2} = (U - IR_n) / (C\phi). \quad (16.30)$$

Для настройки и обеспечения работы схемы используется питание системы возбуждения электродвигателя от сети через трансформатор.

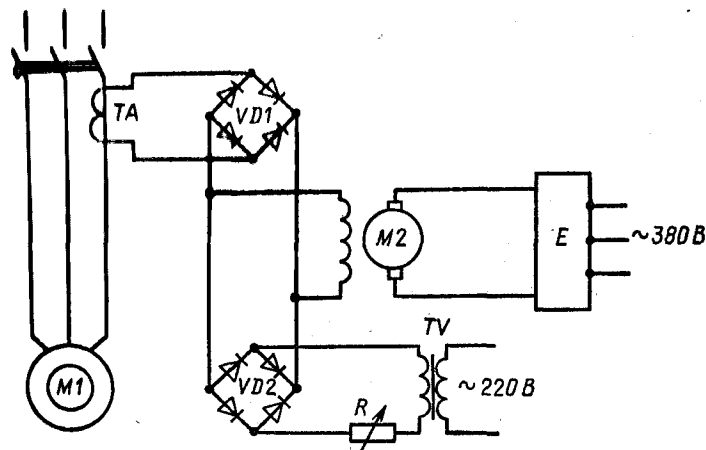


Рис. 16.5. Электрическая схема автоматизированного управления подачей пилорамы.

сформатор TV , регулируемое сопротивление R и выпрямительный мостик $VD2$.

Электрическая схема работает следующим образом. Увеличение нагрузки сверх номинальной увеличивает напряжение во вторичной обмотке TA , которое через выпрямительный мостик $VD1$ подается на обмотку возбуждения двигателя постоянного тока $M2$. Ток и соответственно магнитный поток обмотки возбуждения увеличиваются, что, согласно формуле (16.30), приводит к уменьшению частоты вращения и соответственно подачи. И наоборот, с уменьшением нагрузки подача увеличивается. Таким образом, электрическая схема, предварительно настроенная на номинальную нагрузку, будет поддерживать ее в процессе работы пилорамы.

Круглопильные станки получили широкое распространение в сельском хозяйстве. Их применяют для распиловки небольших по длине и диаметру бревен, брусев, заготовок с целью получения строительного материала, потребность в котором весьма высока.

Для ориентировочных расчетов мощности электродвигателя круглопильного станка (кВт) можно пользоваться формулой

$$P = kD, \quad (16.31)$$

где D — диаметр пилы, м; k — коэффициент пропорциональности, кВт/м. При $D \leq 0,5$ м $k=8$ кВт/м, а при $D > 0,5$ м $k=10$ кВт/м.

Диаметр круглой пилы выбирают в зависимости от наибольшего диаметра бревна, подлежащего пилению на круглопильном станке. Диаметр пилы (м) приближенно можно определить из выражения

$$D = (3 + \sqrt{10 + 2,5d})^2 \cdot 10^{-3}, \quad (16.32)$$

где d — наибольший диаметр бревна, мм.

Круглая пила, обладая значительным моментом инерции, при отключении электродвигателя продолжает значительное время вращаться вхолостую, снижая производительность круглопильного станка. Для торможения пилы при отключении электродвигателя используют торможение противовключением электродвигателя с применением реле скорости, которое отключает катушку противовключения реверсивного магнитного пускателя электродвигателя при снижении частоты вращения до минимального значения.

16.4. Электропривод грузоподъемных механизмов

В мастерских, цехах ремонтных заводов и других производственных помещениях широкое применение находят электрические тали (тельферы) и кран-балки для подъема и перемещения грузов и деталей машин при монтажных, ремонтных и погрузочно-разгрузочных работах.

На строительных площадках широко применяют башенные и порталные краны.

Электрическая таль типа ТЭ выпускается грузоподъемностью 0,5...5 т, а типа МВ (Болгария) — 0,125...1,0 т (табл. 16.1).

16.1. Основные данные электроталей типов ТЭ и МВ

Тип электротали	Грузоподъемность, т	Высота подъема, м	Мощность электродвигателя подъема, кВт	Мощность электродвигателя передвижения, кВт
ТЭ05-511	0,5	3...18	0,75	0,12
ТЭ1-511	1,0	3...18	1,7	0,18
ТЭ2-511	2,0	3...18	3,0	0,4
ТЭ3-511	3,0	3...18	4,5	0,4
ТЭ5-711	5,0	3...18	7,5	2×0,6
МВ005М	0,125	6,4	0,18	0,03
МВ010М	0,250	6,4	0,36	0,03
МВ050М	0,5	6,4	0,76	0,12
МВ103М	1,0	6,4	0,76	0,12

Примечание. Скорость передвижения электроталей 20 м/мин, скорость подъема 8 м/мин, кроме электротали типа МВ103М, у которой скорость подъема 4 м/мин.

Вариант 5 с канатом подъема (рис. 16.6, 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 показана на рисунке 16.6, б. Груз 10 зацепляют крюком 6, включают элек-

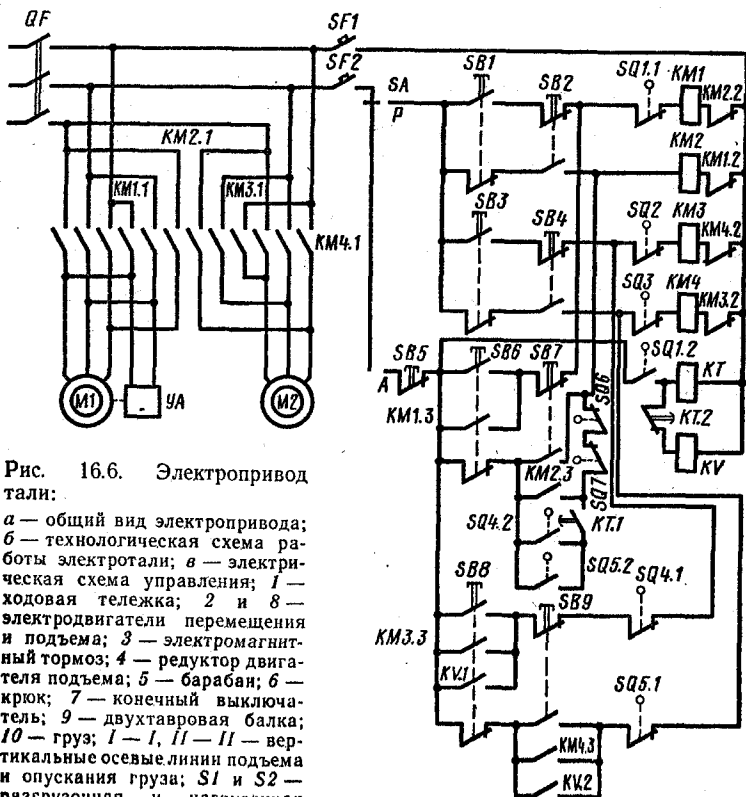
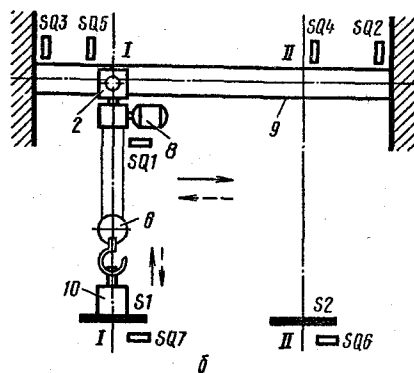
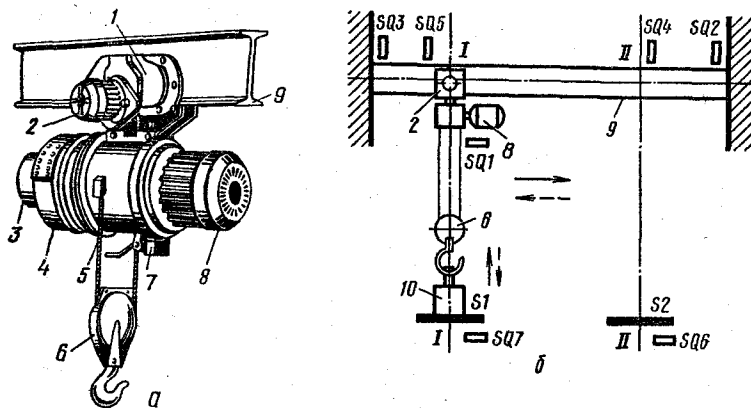


Рис. 16.6. Электропривод тали:

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 — двухтавовая балка; 10 — груз; I—I, II—II — вертикальные осевые линии подъема и опускания груза; S1 и S2 — разгрузочная и нагруженная площадки.

тродвигатель 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 нагруженной площадки S2, отключают электродвигатель 8, отцепляют груз, включают электродвигатель 8 для подъема крюка, поднимают крюк (холостой ход), отключают электродвигатель 8 и включают 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 (рис. 16.6, в) предусматривает ручное и автоматизированное управление при помощи установки переключателя SA в положение P или A.

Ручное управление электродвигателем подъема M1 осуществляется реверсивными пускателями KM1, KM2 и кнопками SB1, SB2, а электродвигателем перемещения M2 соответственно пускателями KM3, 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 электродвигателя подъема M1 включается и электромагнит тормоз YA, растормаживающий электродвигатель, а при отключении электромагнита двигатель затормаживается при помощи пружины тормоза. Заводская станция управления выполнена по этой схеме. Для автоматизированного управления дополнительно предусмотрены реле времени KT, реле KV, конечные выключатели SQ4 и SQ5, устанавливаемые в конце и начале пути перемещения II-II и I-I (рис. 16.6, в), 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 SA1 устанавливают в положение A и кнопкой управления SB9 или SB8 в зависимости от места расположения груза включают электродвигатель M2. Двигатель перемещает таль в нуж-

ном направлении и отключается выключателем SQ5 или SQ4 в исходном положении I-I или II-II при размыкании контакта SQ5.1 или SQ4.1. По технологической схеме (рис. 16.6, б) за исходное положение принято I-I. Контакты выключателя SQ7 разомкнуты под действием силы тяжести груза 10. Нажав кнопку SB7, включают электродвигатель M1 для спуска крюка к грузу. Отпустив кнопку SB7, отключают спуск. После зацепления груза кнопкой SB6 включают электродвигатель M1 для подъема груза. Достигнув конечного выключателя SQ1, крюк, действуя на него, размыкает контакты SQ1.1, отключается подъем, а контактами SQ1.2 включаются реле KV и KT. Контактными KV.1 включается электродвигатель перемещения по направлению к месту назначения II-II, так как контакты SQ4.1 замкнуты, а SQ5.1 разомкнуты. После возвращения путевого выключателя SQ5 в исходное положение срабатывает реле KT ($\Delta t_{cp} \approx 1...1,5$ с), замыкает контакты KT.1 и размыкает KT.2, отключая реле KV. В конце пути перемещения II-II таль, действуя на выключатель SQ4, размыкает SQ4.1 и замыкает SQ4.2. Включается электродвигатель M1 на опускание груза. При достижении грузом нагрузочной площадки S2 под действием его силы тяжести размыкаются контакты конечного выключателя SQ6 и электродвигатель M1 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 электродвигатели подъема выбирают с повышенным скольжением. При опускании груза, когда он под действием силы тяжести преодолевает сопротивление холостого хода электропривода и может опускаться самостоятельно, электродвигатель работает в тормозном, то есть генераторном режиме. Мощность электродвигателя подъема при подъеме груза в длительном режиме можно определить из выражения

$$P_1 = \frac{(m + m_0) g v_1}{1000 \eta}, \quad (16.33)$$

где m — масса груза, кг; m_0 — масса захватывающего приспособления, кг; g — ускорение свободного падения, m/c^2 ($9,8 \text{ м/с}^2$); v_1 — скорость подъема груза, м/с; $\eta = 0,7$ — КПД подъемного механизма при номинальной грузоподъемности.

Мощность электродвигателя при опускании груза, когда он работает в режиме торможения, равна разности между развиваемой

имой силой тяжести груза мощностью $P_{гр}$ и создаваемой силами трения мощностью $P_{тр}$ в подъемном механизме:

$$P_2 = P_{гр} - P_{тр} = \frac{(m + m_0) g v_2}{1000} - \left[\frac{(m + m_0) g v_2}{1000 \eta} - \frac{(m + m_0) g v_2}{1000} \right] = - \frac{(m + m_0) g v_2}{1000} \left(2 - \frac{1}{\eta} \right), \quad (16.34)$$

где v_2 — скорость опускания груза, м/с.

Эквивалентные мощности электродвигателя при подъеме и опускании груза соответственно

$$P_{э1} = \sqrt{\frac{P_{э1}^2 t_{n1} + P_{т1}^2}{0,75 t_{n1} + t_1}} \quad \text{и} \quad P_{э2} = \sqrt{\frac{P_{э2}^2 t_{n2} + P_{т2}^2}{0,75 t_{n2} + t_2}},$$

где $P_{э}$ — максимальная мощность при пуске двигателя; t_{n1} , t_{n2} — продолжительность пуска при подъеме и опускании груза; t_1 , t_2 — продолжительность подъема и опускания груза.

Общая эквивалентная мощность электродвигателя за цикл работы

$$P_{э} = \sqrt{\frac{P_{э1}^2 (t_{n1} + t_1) + P_{э2}^2 (t_{n2} + t_2) + P_{x1}^2 t_{x1} + P_{x2}^2 t_{x2}}{t_{n1} + t_{n2} + t_1 + t_2 + t_{x1} + t_{x2} + t_3 + t_4}}, \quad (16.35)$$

где $P_{э1}$ и $P_{э2}$ — мощности холостого хода, то есть без груза, при подъеме и спуске крюка; t_{n1} , t_{n2} — продолжительности холостого хода при подъеме и спуске крюка; t_1 — продолжительность перемещения тали к месту назначения и обратно, когда электродвигатель подъема отключен; t_2 — продолжительность паузы между циклами работы.

Выпускаемые электротали, как правило, комплектуют электродвигателями со стандартной повторностью включения ПВ% = 25%. В этом случае мощность электродвигателя со стандартной повторностью включения

$$P_{э,ст} = P_{э} \sqrt{100/\text{ПВ}\%} = P_{э} \sqrt{100/25} = 2P_{э}, \quad (16.36)$$

Мощность электродвигателя перемещения составляет 10...18 % 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.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как устроены и действуют обкаточный стенд СТЭ, жидкостный реостат, пилорама и электроталь? 2. По каким формулам определяют мощность электродвигателя для металлорежущих станков, обкаточных станков, пилорамы и электротали? 3. С какой целью и как проводится холодная и горячая обкатка тепловых двигателей на обкаточных стендах СТЭ? 4. Объясните принципиальные электрические схемы обкаточного стенда СТЭ и электротали.

Раздел ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ четвертый

Глава 17. СПОСОБЫ И УСТРОЙСТВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВУЮ

17.1. Сущность электротехнологии

Электротехнология включает все виды процессов, в которых воздействие на предметы труда осуществляется при помощи электрической энергии. Электрическую энергию можно преобразовывать в другие виды (механическую, тепловую и др.) или использовать в виде электрического тока, электрического, электромагнитного, магнитного полей для непосредственного воздействия на предметы труда. Некоторые процессы электротехнологии сформировались в самостоятельные направления науки и техники («Электропривод», «Светотехника», «Электрохимия» и др.).

Под электротехнологией понимают две большие группы процессов, объединенные терминами «Электротермия» и «Электронно-ионная технология».

Электротермия включает процессы, в которых использование электрической энергии связано с ее преобразованием в тепловую.

Электронно-ионная технология охватывает круг технологических и биологических процессов, в которых электрическую энергию в виде электрического тока, электромагнитных полей и других форм электричества используют для непосредственного воздействия на предметы труда без предварительного (как правило) преобразования ее в другие виды.

Электротехнологические процессы реализуются при помощи различного электротехнологического оборудования. Роль и значение этого оборудования в сельскохозяйственном производстве непрерывно возрастают. В первую очередь это относится к электротермическому оборудованию. В сельскохозяйственном производстве преобладающее значение имеет тепловая энергия. В балансе энергопотребления сельскохозяйственного производства она занимает основную долю — до 65 %, а в животноводстве — 80...90 %. Поэтому теплоснабжение сельскохозяйственных потребителей, особенно в животноводстве, играет огромную роль. Все основные процессы в сельском хозяйстве, начиная с выращивания растений и выведения молодняка и кончая

переработкой и хранением продукции, связаны с потреблением тепловой энергии.

Большие перспективы применения в хозяйствах и на предприятиях агропромышленного комплекса имеет электронно-ионная технология. Широкое применение нашли электрические изгороды, устройства магнитной очистки кормов, ионизаторы воздуха в животноводческих и птицеводческих помещениях, получают все большее распространение высокоэффективные электрические сепараторы зерна, электрические способы предпосевной обработки посевного материала, уничтожения сорняков; устройства обработки сельскохозяйственных материалов электрическим током, электрофизические методы обработки металлов в ремонтном производстве и т. д.

17.2. Техно-экономическое обоснование применения электрической энергии в технологических процессах

Широкое внедрение систем и методов электро-технологии, особенно электротеплоснабжения, ограничивается рядом объективных факторов, основными из которых являются высокая стоимость электроэнергии и большие потребности в электроэнергии на тепловые процессы. Поэтому перевод тепловых процессов на электроэнергию требует надлежащего технико-экономического обоснования.

Выбор энергоносителей (или оборудования) выполняют путем технико-экономического сравнения вариантов, которые могут в равной степени (условие сопоставимости) обеспечить заданные параметры теплоснабжения. Основным критерием сравнения вариантов являются приведенные затраты. Оптимальным признается вариант, по которому приведенные затраты минимальны.

В случае, когда капитальные вложения осваивают в течение одного года, выражение для годовых приведенных затрат (руб. в год) имеет вид

$$Z = E_n K + I, \quad (17.1)$$

где E_n — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, принимаемый равным 0,15; K — единовременные капиталовложения, руб.; I — ежегодные издержки производства, руб. в год.

При оценке вариантов учитывают следующие показатели: $Z_{тгу}$ — приведенные затраты, связанные с сооружением и обслуживанием теплогенерирующих установок (ТГУ). $Z_{эн}$ — приведенные затраты на энергоноситель (энергетическая составля-

ющая), учитывающие затраты на добычу (производство), магистральный и распределительный транспорт энергоносителя и его хранение; $Z_{т.э}$ — затраты, учитывающие технологический эффект.

Суммарные приведенные затраты (руб. в год)

$$Z = Z_{тгу} + Z_{эн} - Z_{т.э} \quad (17.2)$$

В капитальных затратах и ежегодных издержках не учитывают составляющие, которые являются общими (одинаковыми) для сравниваемых вариантов.

Приведенные затраты на ТГУ

$$Z_{тгу} = E_n K_{тгу} + I_{тгу} \quad (17.3)$$

Капитальные затраты на ТГУ

$$K_{тгу} = K_{о.в.о} + K_{тр.х} + K_c + K_m + K_{т.с} + K_{ак} \quad (17.4)$$

где $K_{о.в.о}$ — стоимость основного и вспомогательного оборудования; $K_{тр.х}$ — расходы на транспортировку и хранение оборудования (около 11 % стоимости основного и вспомогательного оборудования); K_c — стоимость строительства; K_m — стоимость монтажа оборудования (принимается приблизительно 25 % стоимости оборудования); $K_{т.с}$ — стоимость внешних тепловых сетей; $K_{ак}$ — стоимость аккумулирующих емкостей тепловой энергии при работе оборудования по принудительному графику (при отсутствии данных принимается 40 % стоимости основного оборудования).

Ежегодные издержки на ТГУ

$$I_{тгу} = I_a + I_{т.р} + I_z + I_{пр} \quad (17.5)$$

где I_a — амортизационные отчисления, принимаемые в соответствии с Нормами амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства СССР; $I_{т.р}$ — отчисления на текущий ремонт (в среднем 20 % отчислений на амортизацию); I_z — расходы на зарплату обслуживающего персонала, определяются в соответствии со штатным расписанием, исходя из ставок работников. Для укрупненных расчетов принимают в среднем 1850 руб. в год на человека; $I_{пр}$ — общие и прочие расходы на ТГУ и тепловые сети; принимаются около 30 % суммы ($I_a + I_{т.р} + I_z$).

Таким образом,

$$I_{тгу} = 1,56 I_a + 1,3 I_z \quad (17.6)$$

Приведенные затраты на энергоноситель

$$Z_{эн}^1 = Z_{уд}^1 B, \quad (17.7)$$

$$Z_{эн}^3 = Z_{уд}^3 \mathcal{E}, \quad (17.8)$$

где $Z_{уд}^T, Z_{уд}^Э$ — удельные приведенные затраты на соответствующий энергоноситель (топливо, электроэнергия), руб. на 1 т у.т. (условного топлива), руб. на 1 кВт·ч; $B, Э$ — годовой расход топлива и электроэнергии т у.т. в год, кВт·ч в год.

Годовой расход топлива (т у.т. в год)

$$B = \frac{Q}{29,3\eta_n^{cp}}, \quad (17.9)$$

электроэнергии (кВт·ч в год)

$$Э = \frac{Q}{3,6 \cdot 10^{-3} \eta_n^{cp}}. \quad (17.10)$$

Здесь Q — годовая потребность в теплоте, ГДж в год; 29,3 ГДж/т у.т. — тепловой эквивалент 1 т у.т.; $3,6 \cdot 10^{-3}$ ГДж/(кВт·ч) — тепловой эквивалент 1 кВт·ч; η_n^{cp} — среднегодовой эксплуатационный коэффициент полезного использования энергоресурсов,

$$\eta_n^{cp} = \eta_{тр.х} \eta_{тгу} \eta_{т.с} \eta_{рег} \quad (17.11)$$

где $\eta_{тр.х}$ — потери энергоносителя при транспортировке и хранении; $\eta_{тгу}$ — среднегодовой эксплуатационный КПД теплогенерирующей установки; $\eta_{т.с}$ — потери в теплосетях (0,85...0,90); $\eta_{рег}$ — потери из-за недостаточной точности регулирования подачи теплоты отдельным потребителям.

При укрупненных расчетах принимают $\eta_{тр.х} = 0,8$; $\eta_{т.с} = 0,85...0,90$; $\eta_{рег} = 0,80$; $\eta_{тгу}$ принимают по заводским паспортам оборудования.

17.3. Способы электронагрева и классификация электронагревательных установок

Получение теплоты на базе электрической энергии возможно по двум принципиально разным схемам:

1) по схеме прямого преобразования, когда электрическая энергия (энергия различных форм движения заряженных частиц в электрическом поле) преобразуется в тепловую (энергию тепловых колебаний атомов и молекул вещества);

2) по схеме косвенного преобразования, когда электрическая энергия непосредственно в тепловую не преобразуется, а используется для переноса теплоты от одной среды (источника теплоты) к другой (потребителю теплоты), причем температура источника может быть ниже температуры потребителя.

В зависимости от класса нагреваемых материалов (провод-

ники, полупроводники, диэлектрики) и способов возбуждения в них электрического тока или поля различают следующие способы электрического нагрева: сопротивлением (резистивный), электродуговой, индукционный, диэлектрический, электронный, световой (лазерный). Каждый из способов электрического нагрева может быть прямым или косвенным.

При прямом нагреве электроэнергия преобразуется в тепловую в самой нагреваемой среде (теле), в которой возбуждается электрический ток (те или иные формы движения заряженных свободных или связанных частиц).

При косвенном нагреве преобразование электрической энергии в тепловую происходит в специальных преобразователях — электрических нагревателях, а затем уже от них путем теплопроводности, конвекции, излучения или комбинацией этих способов передается нагреваемой среде.

Собственно электрический нагрев материала — это прямой нагрев по схеме прямого преобразования.

Схема косвенного преобразования электрической энергии в тепловую реализуется в электротепловых насосах и трансформаторах теплоты. Пока она распространена мало, но имеет большие перспективы развития.

Для электрического нагрева различных сред и материалов используют электротермическое оборудование, включающее различные электрические нагреватели и электронагревательные установки

Электрический нагреватель (электронагреватель) — это тепловыделяющий источник, преобразующий электрическую энергию в тепловую. В соответствии со способами электронагрева различают электронагреватели сопротивления, индукционные (индукторы), диэлектрические (конденсаторы) и др.

Электронагревательная установка (ЭНУ) — это агрегат или оборудование, включающие электрические нагреватели, рабочую камеру и другие элементы, связанные в едином конструктивном комплексе и предназначенные для совершения определенного технологического процесса.

Электронагревательные установки классифицируют по способу электрического нагрева (сопротивления, электродуговые, диэлектрические и др.), назначению (электрические печи, котлы, водонагреватели и др.), принципу нагрева (прямого и косвенного), принципу работы (периодического и непрерывного действия), частоте тока, способу теплопередачи от нагревателей к нагреваемой среде, рабочей температуре (низко-, средне-, высокотемпературные), питающему напряжению (низковольтные, высоковольтные).

17.4. Основы теплового расчета электронагревательных установок

Электрические нагреватели и электронагревательные установки совмещают функции приемников электрического тока и источников теплоты и характеризуются соответствующими электрическими и тепловыми параметрами, определяемыми расчетом. К основным параметрам ЭНУ относятся тепловая мощность, питающее напряжение, частота тока, КПД, коэффициент мощности ($\cos \phi$), основные геометрические размеры.

Задача расчета состоит в определении оптимальных значений параметров, обеспечивающих наилучшие технологические, эксплуатационные и экономические показатели.

Полный расчет электрических нагревателей и установок включает тепловой, электрический, механический и гидравлический расчеты. В настоящем курсе рассматриваются лишь элементы теплового и электрического расчетов.

Тепловой расчет установок заключается в определении их мощности, основных конструктивных размеров, в расчете тепловой изоляции, определении теплового КПД. Эти общие тепловые параметры характерны для всех видов электронагревательных установок независимо от их назначения, устройства и способа электронагрева. При тепловом расчете нагревателей основная задача состоит в определении необходимой активной (теплоотдающей) поверхности.

Электрический расчет состоит в выборе питающего напряжения и частоты тока, разработке электрической схемы соединения нагревателей и способа регулирования мощности, определении электрического КПД и коэффициента мощности, а при расчете нагревателей основная задача сводится к определению их геометрических размеров.

Определение мощности установок. Процесс нагрева может преследовать две цели: 1) изменение энтальпии нагреваемого материала (собственно нагрев); 2) изменение фазового состояния материала (испарение, плавление).

Для расчета мощности установок периодического действия задаются следующие исходные технологические условия:

- m — масса нагреваемого материала, кг;
- ϕ_1, ϕ_2 — начальная и конечная температура нагрева, °C;
- h_1, h_2 — начальная и конечная удельные энтальпии материала, кДж/кг;
- c — удельная теплоемкость материала, кДж/(кг·°C);
- t — продолжительность нагрева, с.

Для установок непрерывного действия вместо m и t задается производительность m_t (кг/с).

Полезную тепловую мощность (кВт) определяют по следующим формулам.

При нагреве материалов:

а) для установок периодического действия

$$P_{\text{пол}} = \frac{mc(\phi_2 - \phi_1)}{t} = \frac{m(h_2 - h_1)}{t}; \quad (17.12)$$

б) для установок непрерывного действия

$$P_{\text{пол}} = m_t c(\phi_2 - \phi_1) = m_t (h_2 - h_1). \quad (17.13)$$

При плавлении или испарении материалов:

а) для установок периодического действия

$$P_{\text{пол}} = \frac{m[c(\phi_2 - \phi_1) + g]}{t} = \frac{m(h_2 - h_1)}{t}; \quad (17.14)$$

б) для установок непрерывного действия

$$P_{\text{пол}} = m_t [c(\phi_2 - \phi_1) + g] = m_t (h_2 - h_1), \quad (17.15)$$

где g — удельная теплота фазового превращения (плавления или испарения), кДж/кг.

Из формул (17.12) ... (17.15) следует, что полезная мощность расходуется на изменение энтальпии тела и не зависит от способа нагрева. Она определяется только массой, теплоемкостью тела и граничными температурами нагрева.

Расчетная (выделяемая) мощность, помимо полезной мощности, включает и все виды тепловых потерь в установке (на нагрев конструкции, потери в окружающую среду и др.), которые учитываются тепловым КПД,

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{пол}} / \eta_T \quad (17.16)$$

Потребляемая мощность — это мощность, потребляемая установкой (нагревателем) из сети. Она больше расчетной на сумму потерь в электрических элементах установки (нагревательных трансформаторах, преобразователях, подводящих проводах и т. п.). Эти потери учитываются электрическим КПД

$$P_{\text{потр}} = P_{\text{расч}} / \eta_{\text{э}} = P_{\text{пол}} / (\eta_T \eta_{\text{э}}) = P_{\text{пол}} / \eta, \quad (17.17)$$

где η_T — тепловой КПД установки; $\eta_{\text{э}}$ — электрический КПД установки; $\eta = \eta_T \eta_{\text{э}}$ — общий КПД установки.

Установленную мощность выбирают выше потребляемой

$$P_{\text{уст}} = k_{\text{з}} P_{\text{потр}} = \frac{k_{\text{з}} P_{\text{пол}}}{\eta_T \eta_{\text{э}}}, \quad (17.18)$$

где k_3 — коэффициент запаса, учитывающий необходимость увеличения мощности нагревателей из-за возможного снижения питающего напряжения, увеличения потерь в процессе эксплуатации и др. (принимается равным 1,1...1,3).

При известном удельном расходе электроэнергии на нагрев установленную мощность (кВт) приближенно определяют по формуле

$$P_{\text{уст}} = m_1 a, \quad (17.19)$$

где a — удельный расход электроэнергии, кВт·ч/кг, кВт·ч/м³ и т. п.

Удельный расход электроэнергии на некоторые тепловые процессы имеет следующие значения:

Процесс	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т
Пастеризация молока	83,5
Электродное запаривание картофеля	70
Электротермическая обработка соломы	180
Электрогидротермическая обработка фуражного зерна	80
Нагрев воды в емкостных водонагревателях	1,3 кВт·ч/ (м ³ ·К)

Номинальная мощность — это мощность, развиваемая нагревателями установки при номинальном режиме работы (номинальном напряжении, частоте тока, сопротивлении нагревателей и др.) и указываемая на заводском щитке. В электронагревательных установках номинальная мощность обычно соответствует их полезной мощности.

Тепловой и электрический КПД определяют следующим образом:

$$\eta_T = P_{\text{пол}} / P_{\text{расч}} = (P_{\text{расч}} - \Delta P_T) / P_{\text{расч}}, \quad (17.20)$$

$$\eta_E = P_{\text{расч}} / P_{\text{потр}} = (P_{\text{потр}} - \Delta P_E) / P_{\text{потр}}, \quad (17.21)$$

где ΔP_T — тепловые потери (в окружающую среду, на нагрев конструкций и др.), кВт; ΔP_E — электрические потери (в подводящих проводах, нагревательных трансформаторах и т. д.), кВт.

Общий КПД

$$\eta = \eta_T \eta_E = P_{\text{пол}} / P_{\text{потр}}. \quad (17.22)$$

При питании установки непосредственно от сети можно принять $\eta_E = 1$ и $\eta = \eta_T$. Значение η находится в пределах 0,95...0,98 для установок непрерывного действия и 0,70...0,95 для установок периодического действия. Меньшие значения относятся к установкам косвенного нагрева.

При питании установок пониженным напряжением (электроконтактный нагрев, электрообогреваемые полы и т. д.) необходимую мощность нагревательного (понижающего) трансформатора (кВ·А) определяют по формуле

$$S = k_3 P_{\text{пол}} / (\eta \cos \varphi). \quad (17.23)$$

Значение $\cos \varphi$ находится в пределах 0,82...0,85.

17.5. Прямой электронагрев сопротивлением

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 (Дж) определяется законом Джоуля-Ленца

$$Q = I^2 R t. \quad (17.24)$$

Как видно из (17.24), при неизменной силе тока I и продолжительности нагрева t количество теплоты пропорционально сопротивлению проводника R , отсюда и происходит название способа нагрева.

Мощность (P), выделяемая в проводнике,

$$P = I^2 R = U^2 / R, \quad (17.25)$$

где U — напряжение, подводимое к проводнику, В.

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 электронагрев сопротивлением подразделяется на два вида: электроконтактный — нагрев металлических тел (проводников первого рода) и электродный — нагрев проводников второго рода.

Электроконтактный нагрев поясняется рисунком 17.1, а. Тело 2 (труба, прут, вал и т. п.) включают во вторичную цепь понижающего (нагревательного) трансформатора 4. Так как сопротивление тела мало, то, согласно (17.24), для нагрева необходим большой ток, который подводят при помощи массивных медных зажимов 1. Иногда этот способ используют для

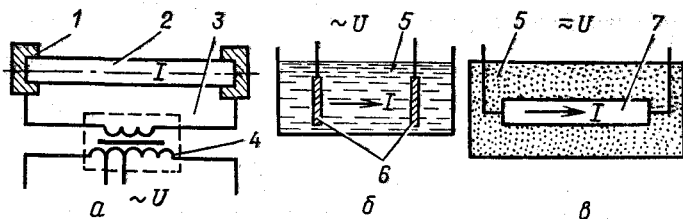


Рис. 17.1. Принципы нагрева сопротивлением:

a — электроконтактный; *б* — электродный; *в* — элементный; 1 — зажим; 2 — нагреваемое тело; 3 — подводящий проводник; 4 — нагревательный трансформатор; 5 — нагреваемая среда; 6 — электроды; 7 — нагреватель.

размораживания трубопроводов в зимнее время, подогрева циркулирующей в трубах жидкости и т. п.

Помимо нагрева тел простой формы, электроконтактный нагрев широко применяется в установках электроконтактной сварки (точечной, шовной, стыковой), а также для электроконтактной наплавки при восстановлении изношенных поверхностей деталей машин.

Электродный нагрев получил в сельскохозяйственном производстве широкое распространение в электродных водонагревателях, водогрейных и паровых котлах. Он может также использоваться для тепловой обработки влажных кормов, пастеризации молока, стерилизации парниковой почвы и др. Материал с ионной проводимостью помещают между электродами и нагревают электрическим током, протекающим от электрода к электроду (рис. 17.1, б).

Электроды, предназначенные для подвода электрического тока к нагреваемой среде, образуют электродную систему, или электродный нагреватель (рис. 17.2). Установки электродного нагрева (водонагреватели, паровые котлы, пастеризаторы, кормозапарники и т. п.) просты по устройству, надежны и экономичны. Электродный нагрев осуществляется только на переменном токе, чаще всего промышленной частоты 50 Гц. Основной недостаток установок электродного нагрева — необходимость дополнительных мер по обеспечению безопасности обслуживания.

Задача расчета электродных нагревателей состоит в определении размеров электродов и расстояния между ними.

При нагреве способом сопротивления мощность, выделяемая в проводнике с током, определяется формулой (17.25). С изменением температуры проводника изменяется его сопротивление и, следовательно, мощность. При температуре θ сопротивление

проводника будет R_θ , а мощность

$$P_\theta = U^2 / R_\theta. \quad (17.26)$$

Омическое сопротивление проводника определяется формулой

$$R_\theta = \rho_\theta l / S = l / (\gamma_\theta S), \quad (17.27)$$

где l — длина проводника, м; S — площадь поперечного сечения проводника, м²; ρ_θ — удельное сопротивление проводника при температуре θ , Ом·м; γ_θ — удельная проводимость проводника при температуре θ , См·м⁻¹,

$$\gamma_\theta = 1 / \rho_\theta.$$

При электродном нагреве проводником является вода (или другое вещество с ионной проводимостью), заключенная между электродами. Для простейшего случая однофазной плоско-параллельной электродной системы (рис. 17.2, а)

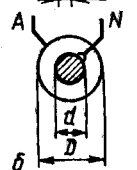
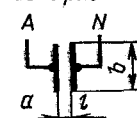
$$R_\theta = l / (\gamma_\theta S) = l / (\gamma_\theta b h) = k / (\gamma_\theta h), \quad (17.28)$$

где S — площадь рабочей поверхности одного электрода, м²; b , h — ширина и высота электрода, м; l — расстояние между электродами, м; γ_θ — удельная проводимость воды при температуре θ , См·м⁻¹; $k = l/b$ — геометрический коэффициент электродной системы.

Геометрический коэффициент зависит от формы и взаимного расположения электродов. Для систем, приведенных на рисунке 17.2, он определяется следующим образом:

$$a) \quad k = l/b; \quad (17.29)$$

Однофазные



Трехфазные

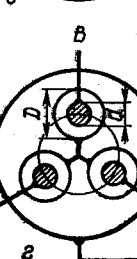


Рис. 17.2. Некоторые типы электродных систем:

a — однофазная с плоскими электродами; *б* — однофазная с цилиндрическими коаксиальными электродами; *в* — трехфазная с пластинчатыми электродами (треугольник); *г* — трехфазная с коаксиальными электродами (звезда).

$$б) k = \frac{1}{2\pi} \ln D/d; \quad (17.30)$$

$$в) k = l/(n-1)b, \text{ где } n — \text{число пластин}; \quad (17.31)$$

$$г) k = \frac{1}{2\pi} \ln D/d. \quad (17.32)$$

С учетом (17.28) формула мощности (17.26), выделяемой в жидкостном проводнике, заключенном между парой электродов, предстанет в виде

$$P_\phi = U^2 \gamma_\phi h/k. \quad (17.33)$$

Удельная проводимость воды изменяется с ростом температуры линейно

$$\gamma_\phi = \gamma_{20} [1 + \alpha (\phi - 20)], \quad (17.34)$$

где γ_{20} — удельная проводимость воды при 20 °С. Для сельскохозяйственных водисточников γ_{20} находится в пределах 0,1...0,02 См·м⁻²; α — температурный коэффициент проводимости. Для воды он положительный и находится в пределах 0,025...0,35 °С⁻¹; ϕ — температура воды, °С.

Поскольку γ в процессе нагрева изменяется, то изменяется и выделяемая мощность (в установках периодического действия) либо плотность тока по поверхности электродов (в установках непрерывного действия), что является недостатком электродного нагрева.

Среднюю за период нагрева от ϕ_1 до ϕ_2 выделяемую мощность можно получить из (17.33), подставив среднее значение электрической проводимости воды, равное

$$\gamma_{cp} = \gamma_{20} [1 + \alpha (\phi_{cp} - 20)], \quad (17.35)$$

$$\text{где } \phi_{cp} = 0,5 (\phi_1 + \phi_2).$$

Подставляя в (17.33) значение ϕ_{cp} , имеем

$$P = U^2 \gamma_{cp} h/k. \quad (17.36)$$

С другой стороны, расчетная (выделяемая) мощность определяется заданными технологическими условиями (производительностью m , граничными температурами ϕ_1 и ϕ_2). Тогда с учетом тепловых потерь

$$P = m \cdot c (\phi_2 - \phi_1) / \eta. \quad (17.37)$$

Приравняв правые части формул (17.36) и (17.37), получим уравнение теплового баланса процесса нагрева

$$U^2 \gamma_{cp} h/k = m \cdot c (\phi_2 - \phi_1) / \eta,$$

откуда необходимая высота (м) электродов

$$h = \frac{m \cdot c k (\phi_2 - \phi_1)}{U^2 \gamma_{cp} \eta}. \quad (17.38)$$

В расчетах нередко пользуются не удельной проводимостью, а обратной величиной — удельным сопротивлением и вычисляют его для любой температуры ϕ по формуле

$$\rho_\phi = 40 \rho_{20} / (20 + \phi), \quad (17.39)$$

которая получается из (17.34), если принять значение $\alpha = -0,025$ °С⁻¹.

В этом случае выражение для расчетной высоты электродов получает вид

$$h = \frac{m \cdot c k \rho_{20}}{U^2 \eta} \ln \frac{20 + \phi_2}{20 + \phi_1}. \quad (17.40)$$

Последовательность расчета такова. Выбирают электродную систему (рис. 17.2). Задаются значением b (при плоских электродах) или d (при цилиндрических электродах). Находят расстояние между электродами l по формуле

$$l = U / E_{доп}, \quad (17.41)$$

где $E_{доп}$ — допустимая напряженность электрического поля в межэлектродном пространстве, В/м. Для воды можно принять $E_{доп} = (125...150) \cdot 10^3$ В/м.

По формуле (17.38) или (17.40) находят h . Полученное значение площади электродов проверяют по допустимой плотности тока

$$S \geq k_n I_{max} / j_{доп}, \quad (17.42)$$

где $k_n = 1,1...1,4$ — коэффициент, учитывающий неравномерность плотности тока по поверхности электродов; I_{max} — рабочий ток при максимальной температуре нагрева ϕ ; $j_{доп}$ — допустимая плотность тока на электродах, А/м².

Значение $j_{доп}$ при нагреве воды плоскими электродами не должно превышать $0,5 \cdot 10^4$ А/м², цилиндрическими — $2 \cdot 10^4$ А/м².

Лучшими материалами для электродов являются нержавеющая сталь, титан, а в некоторых случаях — электротехнический графит.

17.6. Косвенный электронагрев сопротивлением

Электрические нагреватели сопротивления (резистивные нагреватели) — это устройства, в которых происходит преобразование электрической энергии в тепловую, и затем уже от них теплота передается нагреваемой среде (рис. 17.1, в).

Основной элемент резистивных нагревателей — высокоомное нагревательное сопротивление (резистор), которое конструктивно дополняется устройствами подвода тока, электрической изоляции, защиты от окружающей и нагреваемой среды. Нагревательные сопротивления выполняют из жаростойких сплавов высокого сопротивления — нихромов (Х20Н80, Х15Н60 и др.) в виде проволочных спиралей, ленточных зигзагов и т. п.

Удельное сопротивление металлических проводников возрастает с температурой

$$\rho_{\theta} = \rho_{20} [1 + \alpha (\theta - 20)], \quad (17.43)$$

а мощность, согласно (17.26) и (17.27), снижается:

$$P_{\theta} = U^2 S / (\rho_{\theta} l), \quad (17.44)$$

где ρ_{20} — удельное сопротивление проводника при 20 °С, Ом·м; α — температурный коэффициент сопротивления, °С⁻¹; l , S — длина и площадь поперечного сечения нагревательного сопротивления, м, м².

Изменение мощности нагревателя в процессе нагрева приводит к необходимости завышать площадь сечения питающих проводов и усложняет расчет. Поэтому нагревательные сплавы должны иметь возможно более низкое значение температурного коэффициента α .

По исполнению различают открытые, закрытые и герметические нагреватели (рис. 17.3). В *открытых* нагревателях нагревательный резистор открыт для доступа воздуха или нагреваемой среды, в *закрытых* он помещен в защитный кожух, предохраняющий от механических воздействий и контакта с нагреваемой средой, в *герметических* — нагревательный резистор изолирован от доступа воздуха.

Расчет нагревателей сопротивления включает тепловую и электрическую часть. Элементы теплового расчета изложены в п. 17.3. Электрическая часть включает, как отмечалось выше, выбор питающего напряжения, способа регулирования мощности, определение электрического КПД и коэффициента мощности. Основная задача электрического расчета — определить геометрические размеры нагревательного сопротивления.

Питающее напряжение выбирают исходя из условия безопасности для обслуживающего персонала и животных. В сельскохозяйственных установках обычно используют сетевое напряжение 380/220 В, частотой 50 Гц. При повышенной электроопасности устройств (электрообогреваемые полы, переносные нагреватели, установки нагрева в особо сырых помещениях и т. п.) применяют пониженное напряжение — 12, 24, 36 В.

Регулирование мощности и схема включения нагревателей. Из формулы (17.25) следует, что мощность, а значит, и температуру можно регулировать изменением питающего напряжения U или сопротивления нагревателей R .

Существуют способы плавного регулирования напряжения при помощи автотрансформаторов, тиристоров, магнитных усилителей и др. В установках косвенного нагрева распространено регулирование мощности изменением числа включенных трехфазных групп (секций), составляющих в сумме общую мощность установки. Все большее распространение получает непре-

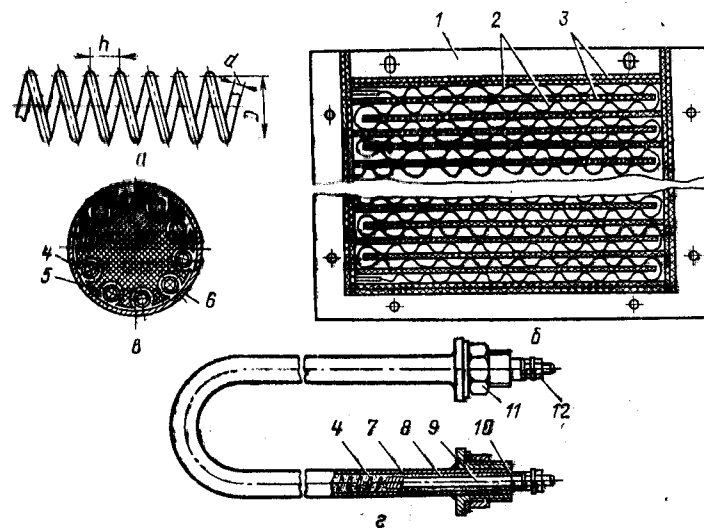


Рис. 17.3. Типы электронагревателей сопротивления:

а — открытый спиральный; б — открытый в виде гофрированной ленты в электрокалориферах; в — закрытый (спираль на керамическом основании в защитном кожухе); г — герметический (трубчатый электронагреватель ТЭН); 1 — корпус; 2 — электронагреватель из гофрированной ленты; 3 — изоляционные прокладки; 4 — спираль; 5 — керамический стержень с пазом; 6 — защитный кожух; 7 — трубка; 8 — наполнитель; 9 — выводная шпилька; 10 — уплотняющая втулка; 11 — гайка крепления; 12 — выводы.

рывное тиристорное регулирование напряжения и, следовательно, мощности.

В электродных устройствах распространено регулирование мощности изменением активной поверхности электродов путем введения между ними диэлектрических экранов.

Все нагреватели во всех фазах выполняют одинаковыми по мощности, размерам, числу их в каждой фазе, поэтому расчет ведут только для одного нагревателя (фазы).

Геометрические размеры нагревателей (вернее нагревательных сопротивлений) определяют путем совместного решения уравнений, характеризующих нагреватель как приемник электрического тока и тепловыделяющий источник:

1) как приемник электрического тока нагреватель должен иметь размеры, обеспечивающие выделение необходимой мощности в соответствии с формулой (17.44)

$$P = U^2 S / (\rho l);$$

2) как тепловыделяющий источник нагреватель должен иметь размеры, обеспечивающие передачу выделяющейся в нем тепловой мощности P нагреваемой среде в соответствии с законами теплопередачи

$$P = k (\vartheta - \vartheta_0) A, \quad (17.45)$$

где k — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°C); ϑ — рабочая температура нагревательного сопротивления, °C; ϑ_0 — температура нагреваемой среды, °C; A — площадь активной (теплоотдающей) поверхности, м².

Рабочая температура нагревателя ϑ в самых тяжелых условиях не должна превышать допустимое для данного материала значение температуры $\vartheta_{\text{доп}}$, то есть должно соблюдаться условие $\vartheta \leq \vartheta_{\text{доп}}$. Нагреватели стареют и выходят из строя вследствие окисления поверхности нагревательного сопротивления. Интенсивность окисления определяется главным образом рабочей температурой ϑ , а также условиями среды, в которой работает нагреватель, частотой включений и другими факторами. Время, за которое площадь сечения нагревателя уменьшается на 20 % от первоначального значения при некоторой неизменной температуре, называют сроком службы. Максимально допустимой температурой для нагревателя является такая, начиная с которой резко возрастает процесс окисления и разрушения его поверхности. Срок службы должен быть достаточным, чтобы окупилась все затраты на нагреватель.

Рассчитать размеры нагревателя было бы нетрудно, составив уравнение теплового баланса путем приравнивания правых частей выражений (17.44) и (17.45). Однако трудность заключа-

ется в том, что условия теплопередачи от нагревателя [величина K в формуле (17.45)] тоже зависят от его геометрических размеров. Поэтому для расчета используют эмпирические зависимости теории теплопередачи и расчет ведут методом последовательного приближения. В практике прибегают к приближенным методам расчета с применением различного рода экспериментальных данных.

Расчет по рабочему току основан на использовании экспериментальных (табличных или графических) зависимостей между токовыми нагрузками на проводники, их температурами и значениями площадей сечений. Эти зависимости получают обычно для проволок, натянутых горизонтально в спокойном воздухе, имеющую температуру 20 °C. Таблицы составляют для каждого материала проволок (табл. 17.1). Для перехода от табличных условий к реальным вводят опытные поправочные коэффициенты.

Расчет по рабочему току ведут в такой последовательности.

Определяют рабочий ток нагревателя. Для однофазных установок

$$I = 10^3 P / (U_z).$$

17.1. Допустимые нагрузки на нихромовую проволоку, подвешенную горизонтально в спокойном воздухе при температуре 20 °C

Диаметр проволоки, мм	Площадь сечения, мм ²	Допустимые нагрузки (А) при расчетной температуре, °C						
		200	400	600	700	800	900	1000
0,1	0,00785	0,1	0,47	0,63	0,72	0,81	0,9	1,0
0,2	0,0314	0,65	1,03	1,4	1,65	1,82	2,0	2,3
0,3	0,085	1,05	1,63	2,27	2,7	3,05	3,4	3,85
0,4	0,126	1,5	2,34	3,3	3,85	4,4	5,0	5,7
0,5	0,195	2	3,15	4,5	5,2	5,9	6,75	7,7
0,6	0,342	2,52	4,0	5,7	6,5	7,5	8,5	9,7
0,7	0,385	3,1	4,8	6,95	7,8	9,1	10,3	11,8
0,8	0,503	3,7	5,7	8,15	9,15	10,8	12,3	14,0
0,9	0,636	4,25	6,7	9,35	10,45	12,3	14,5	16,5
1,0	0,785	4,85	7,7	10,8	12,1	14,3	16,8	19,2
1,1	0,95	5,4	8,7	12,4	13,9	16,5	19,1	21,5
1,2	1,13	6,0	9,8	14,0	15,8	18,7	21,6	24,3
1,3	1,33	6,6	10,9	15,6	17,8	21,0	24,4	27,0
1,4	1,54	7,25	12,0	17,4	20,0	23,3	27,0	30,0
1,5	1,77	7,9	13,2	19,2	22,4	25,7	30,0	33,0
1,6	2,01	8,6	14,4	21,0	24,5	28,0	32,9	36,0
1,8	2,54	10,0	16,9	24,9	29,0	33,1	39,0	43,2
2,0	3,14	11,7	19,6	28,7	33,8	39,5	47,0	51,0
2,5	4,91	16,6	27,5	40,0	46,6	57,5	66,5	73,0
3,0	7,07	22,3	37,5	54,5	64,0	77,0	88,0	102,0
4,0	12,6	37	60	80	93	110	129	151

Для трехфазных установок

$$I = 10^3 P / (\sqrt{3} U z),$$

где P — мощность установки, кВт; U — питающее напряжение, В; z — число нагревателей в фазе.

Выбирают материал нагревательного сопротивления и устанавливают его желаемую рабочую температуру ϑ , которая в самых тяжелых условиях работы не должна превышать допустимую для выбранного нагревательного сплава. В таблице 17.1 фигурирует расчетная (фиктивная) температура ϑ_p , соответствующая табличным условиям. Расчетная ϑ_p и действительная ϑ температуры связаны эмпирическим соотношением

$$\vartheta_p = k_m k_c \vartheta, \quad (17.46)$$

где k_m и k_c — коэффициенты монтажа и среды.

Коэффициент монтажа k_m учитывает ухудшение теплоотдачи от нагревателя и, следовательно, увеличение его температуры в реальном нагревателе по сравнению с табличными условиями. Коэффициент $k_m < 1$ и только для табличных условий $k_m = 1$.

Коэффициент среды k_c учитывает улучшение теплоотдачи вследствие влияния нагреваемой среды, создающей условия работы, отличающиеся от табличных, всегда $k_c > 1$.

По I и ϑ_p из таблицы 17.1 находят диаметр проволоки и определяют площадь сечения S . Из двух возможных значений всегда выбирают большее. Необходимую длину проволоки на один нагреватель находят по формуле

$$l_{np} = \frac{U^2 S}{10^3 P_{p20} (1 + \alpha \vartheta)}, \quad (17.47)$$

где $\vartheta = \vartheta - 20$.

Результаты расчетов в значительной степени зависят от достоверности значения k_m и k_c . Значения этих коэффициентов для некоторых случаев приведены ниже. Меньшие значения k_m берут для меньших диаметров проволоки, большие — для больших.

Конструктивное выполнение нагревателя

	k_m
Проволока, натянутая горизонтально в спокойном воздухе при 20 °С	1,0
Проволочная спираль в спокойном воздухе	0,8...0,9
Проволочная спираль в огнеупорном держателе	0,7
Проволока, навитая на огнеупорный держатель в спокойном воздухе	0,6...0,7

Нагревательное сопротивление между двумя слоями тепловой изоляции (закрытые электроплитки, некоторые трубчатые электронагреватели)	0,5
Нагревательное сопротивление с мощной тепловой изоляцией (трубчатые электронагреватели, электронагреватели в обогреваемых полах)	0,3...0,4

Условия окружающей (нагреваемой) среды

	k_c
Проволочная спираль в воздушном потоке	1,1...1,5
Нагреватели, погруженные в воду	2,5
Нагреватели, омываемые потоком жидкости	3...3,5

Нагревательные сопротивления часто выполняют в виде проволочных спиралей (рис. 17.3, а). Размеры спиралей выбирают из условия достаточной механической прочности нагревателей. Для проволочных спиралей из нихрома средний диаметр витков d_{cn} принимают равным $d_{cn} = (8...10) d$, шаг спирали $h = (2...6) d$, где d — диаметр проволоки. Число витков определяют по формуле

$$n = \frac{l_{np}}{\sqrt{(\pi d_{cn})^2 + h^2}}, \quad (17.48)$$

а длину спирали — по формуле

$$l_{cn} = h n.$$

Трубчатые электронагреватели (ТЭНы). Низко- и средне-температурные установки косвенного нагрева оборудуют трубчатыми электронагревателями (рис. 17.3, з) заводского изготовления, отличающимися высокой надежностью и электробезопасностью. Они могут работать в воде, молоке, расплавленной соли и т. д., надежны при вибрациях и ударных нагрузках, могут иметь любую форму.

Трубчатый электронагреватель (ТЭН) представляет собой металлическую трубку, внутри которой размещена спираль из нихрома, изолированная от трубки насыпной электрической изоляцией — кристаллической окисью магния (периклазом). После опрессовки нагревателя порошкообразный периклаз превращается в монолит, прочно фиксирующий спираль по центру трубки. Параметры выпускаемых промышленностью стандартизованных односпиральных ТЭНов (более сложные конструкции могут иметь в одной трубке две и три спирали с самостоятельными выводами) изменяются в широком диапазоне: номинальное напряжение от 12 до 380 В, номинальная мощность от 0,05 до 20 кВт в единице, наружный диаметр от $4 \cdot 10^{-3}$ до $16 \cdot 10^{-3}$ м, развернутая длина от 0,25 до 6,3 м.

Трубки (оболочки) ТЭНов выполняют из углеродистой стали Ст. 10, Ст. 20, меди, латуни, нержавеющей стали 12Х18Н10Т. ТЭНами оборудуют электрические водонагреватели, калориферы, сушилки, излучатели и др. Благодаря высокой надежности и безопасности установки косвенного нагрева с ТЭНами широко распространены в системах децентрализованного электротеплоснабжения. Срок службы односпиральных ТЭНов при нормальной эксплуатации может достигать 10 тыс. ч.

Выбирают ТЭНы по расчетной площади поверхности нагрева (м^2)

$$A = 10^3 P / \sigma_{\text{доп}} \quad (17.49)$$

где P — расчетная мощность установки, кВт; $\sigma_{\text{доп}}$ — допустимая удельная поверхностная мощность для поверхности трубки (оболочки) ТЭНа, Вт/м². Значение $\sigma_{\text{доп}}$ зависит от целей и условий нагрева, материала трубки (табл. 17.2).

17.2. Предельно допустимые удельные мощности на поверхности оболочки ТЭНов

Нагреваемая среда	Характер нагрева	Материал оболочки ТЭНа	Удельная мощность, не более, 10^4 Вт/м ²
Вода, слабый раствор щелочей и кислот	Нагревание и кипение	Медь, латунь, нержавеющая сталь, углеродистая сталь	7...11
Воздух	Нагрев в спокойной воздушной среде до температуры оболочки ТЭНа от 450 до 700 °С (лучистый обогрев молодняка)	Нержавеющая сталь	5...6
	Нагрев в среде движущегося воздуха со скоростью не менее 6 м/с (электродкалориферы и др.) до температуры на оболочке ТЭНа 450 °С	Углеродистая сталь	5,5
	То же до температуры на оболочке ТЭНа от 450 до 600 °С	Нержавеющая сталь	6,5
Молоко	Нагрев в емкости до температуры на оболочке 150 °С	Нержавеющая сталь	1,5...2,0
Жиры пищевые	Нагрев в ваннах до температуры на оболочке ТЭНа 300 °С	Углеродистая сталь	3,0

Выбрав в таблице значение $\sigma_{\text{доп}}$ по формуле (17.49) определяют общую необходимую площадь поверхности нагрева, затем выбирают по каталогу наиболее подходящий ТЭН и по каталожным данным находят его активную поверхность A_1 . Необходимое число нагревателей $z = A/A_1$.

17.7. Электродуговой нагрев

Физическая природа и свойства электрической дуги. Электрическая дуга — это устойчивый самостоятельный электрический 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...12 000 °С и способна плавить и испарять самые тугоплавкие материалы. Плотность тока дуги достигает значений $10^6...10^8$ А/м².

Дуга возбуждается между двумя (в однофазной дуге) электродами — анодом и катодом (в дуге постоянного тока). Разогнанный в электрическом поле поток электронов на своем пути к аноду возбуждает и ионизирует молекулы газа и паров металла. Возбужденные молекулы, возвращаясь в нормальное 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:

1) большим выделением теплоты на электродах, на чем основана электросварочная техника, а также промышленные электродуговые печи прямого нагрева;

2) высокоинтенсивным инфракрасным излучением, что используется в электродуговых печах косвенного нагрева;

3) мощным потоком видимых излучений, что используется в установках прожекторного освещения;

4) 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 современной 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, потребляемой дугой из сети. Величина $\eta_{эф}$ зависит от материала электродов, изделия и условий сварки.

Источники сварочного тока. Источники питания для дуговой сварки должны обеспечить устойчивое горение дуги, стабильность режимов сварки, безопасность обслуживания установок. Эти требования выполняют надлежащим выбором параметров источников питания: напряжения 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 В, следовательно, напряжение холостого хода не может быть ниже этого значения. Верхний предел значений ограничивается условиями безопасности и составляет 65...80 В, а для сварочных трансформаторов на 1000...2000 А оно повышается до 120 В.

Зажигание дуги постоянного тока происходит при более низких напряжениях порядка 30...40 В. Напряжение холостого хода источников питания постоянного тока находится в пределах 45...90 В.

Внешняя характеристика источников сварочного тока — это зависимость напряжения на его выходных зажимах U_n от значения тока нагрузки I : $U_n = f(I)$. 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 внешняя 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 защитных газов (аргон, углекислый газ).

Сварочные трансформаторы. Сварка дугой переменного тока менее качественна, чем на постоянном токе, однако сварочные трансформаторы дешевле и проще в эксплуатации. Сварочные трансформаторы представляют собой одно- или трехфазные понижающие трансформаторы со вторичным напряжением холостого хода 60...120 В, рассчитанные на большие сварочные токи. Они могут быть однопостовыми — для питания только одного рабочего места и многопостовыми — для питания одновременно нескольких сварочных дуг. Однопостовые трансформаторы обычно имеют падающую внешнюю характеристику, а многопостовые — жесткую. Первичные обмотки однофазных трансформаторов выполняют чаще всего на 380 В, а трехфазные — на сетевое напряжение 380/220 В.

Падающая внешняя характеристика создается за счет включения в сварочную цепь большого индуктивного сопротивления в виде катушки с ферромагнитным сердечником (дросселя) или обеспечивается за счет усиленных магнитных потоков рассеяния в самом трансформаторе. Преимущественное распространение имеет второй способ, который реализуется в трансформаторах типа ТД, ТДМ и др. с подвижными вторичными обмотками и в трансформаторах типа ТДФ с неподвижными магнитными шунтами.

Трансформаторы типа ТД, ТДМ предназначены для ручной сварки и наплавки плавящимся электродом. На стержневом магнитопроводе трансформатора размещены разнесенные первичные w_1 и вторичные w_2 обмотки (рис. 17.4). Крутизну и значение сварочного тока регулируют изменением расстояния между ними. Магнитодвижущие силы первичной и вторичной обмоток создают результирующий основной поток Φ , замыкающийся через магнитопровод, и потоки рассеяния $\Phi_{\sigma 1}$ и $\Phi_{\sigma 2}$. Потоки рассеяния индуктируют в обмотках ЭДС рассеяния, действие которых проявляется как индуктивное сопротивление обмоток.

Следовательно, чем больше потоки рассеяния, тем больше индуктивность обмоток и меньше ток. Силовые линии потоков рассеяния Φ_{s1} и Φ_{s2} направлены встречно, поэтому при сближении обмоток потоки рассеяния ослабевают, а ток возрастает. При раздвижении обмоток магнитная связь между обмотками уменьшается, а потоки рассеяния и индуктивное сопротивление обмоток увеличиваются, следовательно, ток уменьшается. Крутизну характеристики и значение сварочного тока регулируют изменением расстояния между первичными и вторичными обмотками. Каждому положению вторичных обмоток соответствует своя внешняя характеристика. Ступенчатое регулирование тока осуществляют переключением обмоток с последовательного (диапазон малых токов) на параллельное (большие токи) соединение. Трансформаторы типа ТДМ являются усовершенствованной модификацией трансформаторов типа ТД.

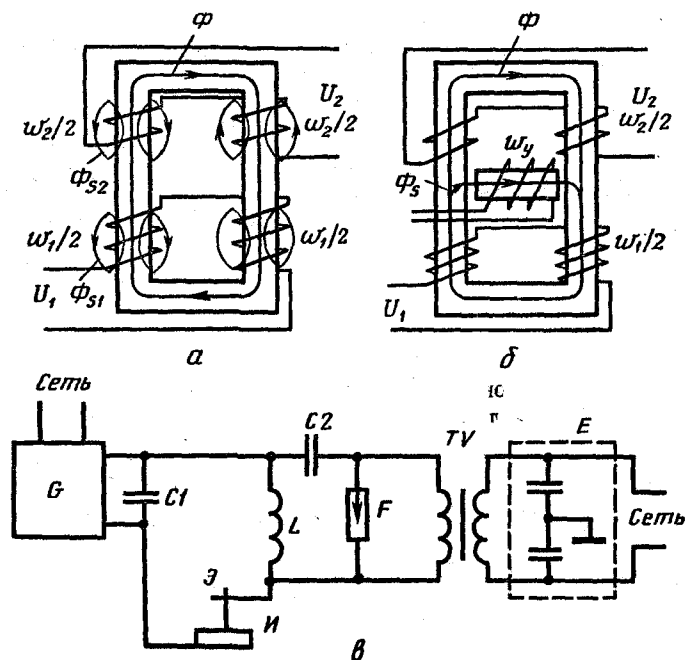


Рис. 17.4. Конструктивные схемы сварочных трансформаторов типа ТД (а), ТДФ (б), принципиальная электрическая схема осциллятора последовательного включения (в): Э — электрод; И — изделие.

В трансформаторах типа ТДФ (рис. 17.4, б) значения потока рассеяния Φ_s и, следовательно, вторичного тока зависят от степени намагничивания магнитного шунта с обмоткой управления w_y . Чем больше ток управления в обмотке w_y , тем больше сварочный ток. Технические данные некоторых сварочных трансформаторов приведены в таблице 17.3. Трансформаторы типа ТДФ рассчитаны на большие токи (до 2000 А) и предназначены для автоматической сварки под флюсом.

17.3. Основные данные некоторых источников питания для дуговой сварки

Тип источника питания	Напряжение питающей сети, В	Номинальный сварочный ток, А	Диапазон регулирования тока, А	Номинальное рабочее напряжение, В	Потребляемая мощность, кВт·А	Напряжение холостого хода, В	Масса, кг
ТД-102	220/380	160	55...175	26,4	11,4	80	38
ТД-306	220/380	250	90...300	30	19,4	80	71
ТДМ-317	220/380	315	55...350	32,6	21	80	130
ВД-306	220/380	315	45...315	32,6	21	70	170
ВДУ-505	380	500	50...500	22...40	40	90	300

Для многоступенчатой сварки используют однофазные или трехфазные трансформаторы с жесткой внешней характеристикой. При большом объеме сварочных работ на одном рабочем месте сварку проводят трехфазной дугой двумя электродами. Электроды подключают к двум фазам трехфазного трансформатора, а деталь — к третьей фазе.

Осцилляторы. Для облегчения зажигания и повышения устойчивости сварочной дуги переменного тока, особенно при сварке на малых токах, применяют специальные аппараты — осцилляторы. Осциллятор представляет собой маломощный (100...250 Вт) искровой генератор, преобразующий ток низкого напряжения промышленной частоты в знакопеременный ток высокой частоты (100...3000 кГц), высокого напряжения (2500...6000 В). Высокочастотные импульсы подводят к дуговой промежутку сварочного аппарата. Высокое напряжение способствует облегчению возбуждения и стабилизации дуги, а высокая частота делает этот ток безопасным для сварщика. Применяют осцилляторы последовательного и параллельного включения.

Принципиальная схема простейшего осциллятора последовательного включения приведена на рисунке 17.4, в. Осциллятор состоит из искрового колебательного контура, образованного

конденсатором $C2$, индуктивностью L и разрядником F . Контур получает питание от трансформатора TV . Возникающие в контуре колебания через индуктивность L подводятся к другому промежутку. Емкость $C1$ защищает источник питания G от импульсов высокого напряжения. Помехозащитный фильтр E защищает питающую сеть от высокочастотных колебаний.

Сварочные выпрямители. По сравнению с вращающимися сварочными генераторами сварочные выпрямители имеют более высокий КПД и меньшую массу, проще и надежнее в эксплуатации. Для выпрямления тока используют селеновые или кремниевые полупроводниковые вентили, включаемые по трехфазной мостовой схеме выпрямления, обеспечивающей высокую устойчивость горения сварочной дуги и равномерную загрузку фаз питающей сети. Сварочные выпрямители в зависимости от назначения могут иметь падающую или жесткую характеристику. В универсальных установках возможно получение обоих видов характеристик. Напряжение к выпрямителям подводится от понижающих трансформаторов. В выпрямителях с крутопадающими внешними характеристиками трансформаторы имеют повышенное магнитное рассеяние, обеспечивающее создание семейства падающих внешних характеристик.

На рисунке 17.5 приведена принципиальная электрическая схема сварочного выпрямителя ВД-306УЗ. Значение сварочного тока плавно регулируют изменением расстояния между обмотками трансформатора $TV1$, ступенчато — переключением обмоток со звезды (диапазон малых токов) на треугольник (диапазон больших токов). Выпрямитель имеет защиту от выхода из строя его диодов или повреждения изоляции вторичной обмотки трансформатора. Защита состоит из магнитного усилителя A , вспомогательного трансформатора $TV2$ и реле KV . В нормальном состоянии сердечники магнитного усилителя не насыщены и зна-

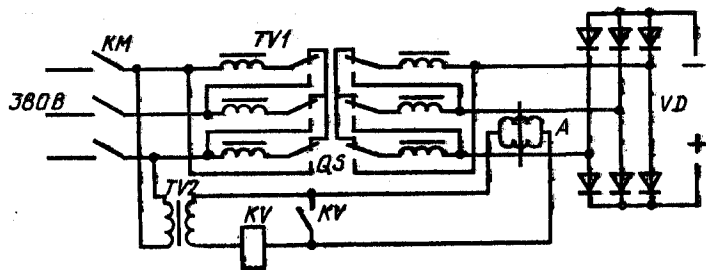


Рис. 17.5. Принципиальная электрическая схема сварочного выпрямителя ВД-306УЗ.

чение вторичного напряжения трансформатора $TV2$ недостаточно для срабатывания реле KV . При аварийной ситуации в фазных токах вторичной обмотки $TV1$ появляются постоянные составляющие, вызывающие насыщение сердечников усилителя A , что приводит к срабатыванию реле KV , которое снимает питание с катушки пускателя (на схеме не показан), отключающего трансформатор от сети.

17.8. Индукционный нагрев

Физические основы индукционного нагрева. Индукционный нагрев основан на поглощении электромагнитной энергии металлическими телами, помещенными в быстропеременное магнитное поле. По закону электромагнитной индукции в теле (заготовке, изделии) наводится ЭДС

$$e = -d\Phi/dt,$$

под действием которой в теле протекают так называемые вихревые токи, нагревающие тело.

В зависимости от целей нагрева, размера тел и свойств материала для индукционного нагрева применяют токи низкой (промышленной, 50 Гц), средней (до 10 кГц) и высокой (от 65 до 500 кГц) частоты. Физическая сущность нагрева и общие количественные закономерности для всех частот одинаковы.

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, а заготовка — вторичной. 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. Для нагрева плоских поверхностей используют плоские индукторы, цилиндрических заготовок — цилиндрические (соленоидные) индукторы и т. п. (рис. 17.6).

Для создания полей высокой напряженности по индукторам пропускают большие токи, исчисляемые сотнями и тысячами ампер. Для снижения потерь индукторы изготавливают из медных трубок круглого или прямоугольного сечения, внутри которых пропускают проточную воду для охлаждения.

Испускаемая индуктором электромагнитная волна падает на металлическое тело и, поглощаясь в нем, вызывает нагрев.

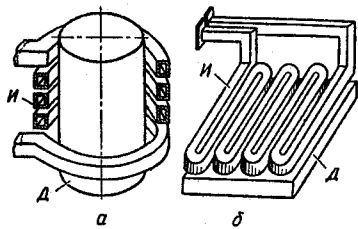


Рис. 17.6. Индукторы:
а — цилиндрический; б — петлевой для
нагрева плоских деталей; И — индук-
тор; Д — деталь.

Для плоской электромагнитной волны мощность потока энергии (Вт/м^2), протекающей через единицу поверхности тела, определяется формулой

$$\Delta P = 2 \cdot 10^{-3} (I \omega_0)^2 \sqrt{\rho \mu f}, \quad (17.50)$$

где I — ток индуктора, А; ω_0 — число витков индуктора на единицу его высоты; ρ и μ — удельное электрическое сопротивление ($\text{Ом} \cdot \text{м}$) и относительная магнитная проницаемость материала изделия; f — частота тока, Гц.

Величина $\sqrt{\rho \mu f}$ носит название коэффициента поглощения мощности. Таким образом, передаваемая в тело мощность пропорциональна квадрату ампервитков индуктора и коэффициенту поглощения мощности. Как видно, мощность пропорциональна частоте в степени $1/2$.

Электромагнитная волна, проникая в тело, затухает в нем по экспоненциальному закону. Плотность индуцируемого в теле тока на глубине z от поверхности тела равна

$$j_z = j_0 e^{-kz}, \quad (17.51)$$

где k — коэффициент затухания волны, м^{-1} ; j_0 — плотность тока на поверхности тела, А/м^2 ; e — основание натурального логарифма (2.71).

Величина, обратная коэффициенту затухания $z_a = 1/k$, носит название глубины проникновения токов в металл. В основной системе единиц она равна (м)

$$z_a = 503 \sqrt{\rho / \mu f}. \quad (17.52)$$

Глубина проникновения z_a — это расстояние от поверхности в глубь тела, на котором сила тока убывает в e (2.71) раз. Действительно, заменив в формуле (17.51) значения $k = 1/z_a$ и $z = z_a$, получим

$$j_{z=z_a} = j_0 e^{-\frac{1}{z_a} z_a} = j_0 \frac{1}{2.71} = 0.368 j_0$$

Из (17.52) следует, что глубина проникновения токов в металл уменьшается с увеличением частоты поля и магнитной

проницаемости металла и возрастает с увеличением его удельного сопротивления. В слое металла толщиной z_a выделяется основная (86 %) доля энергии, поступающей в тело с электромагнитной волной.

Режимы индукционного нагрева. Основными параметрами, характеризующими режимы индукционного нагрева, являются частота тока и КПД. В зависимости от применяемых частот условно различают два режима индукционного нагрева: глубокий и поверхностный.

Глубинный нагрев («малыми частотами») проводят при такой частоте f , когда глубина проникновения z_a примерно равна толщине нагреваемого (закаливаемого) слоя x_k . Нагрев проводят сразу на всю глубину слоя x_k , а скорость нагрева выбирают такой, чтобы передача теплоты теплопроводностью в глубь тела были незначительной.

Поверхностный нагрев («большими частотами») проводят на сравнительно высоких частотах, при которых глубина проникновения токов z_a значительно меньше толщины нагреваемого слоя x_k . Прогрев на всю толщину x_k происходит за счет теплопроводности металла.

Установки индукционного нагрева и их выбор. Основные элементы установок индукционного нагрева — это источник питания и рабочий орган (индуктор). В установках средней частоты в качестве источников питания используют машинные и статические (тиристорные) преобразователи.

В **машинных преобразователях** получают ток с частотой 1...10 кГц. Они представляют собой агрегаты из трехфазного асинхронного или синхронного электродвигателя промышленной частоты и установленного на одном с ним валу индукторного синхронного генератора средней частоты. В пазах статора генератора размещены обмотка возбуждения постоянного тока и обмотка, в которой наводятся (индуцируются) токи средней частоты. В ферромагнитном роторе, поверхность которого выполнена в виде зубцов, обмоток нет. Через него замыкаются силовые линии постоянного магнитного поля, создаваемого обмоткой возбуждения статора. При вращении ротора первичным двигателем зазор между статором и ротором изменяется: при совпадении зубцов статора и ротора он минимален, при совпадении зубца и паза — максимален. Вследствие этого магнитное поле, создаваемое обмоткой возбуждения становится пульсирующим и, пересекая обмотку переменного тока, наводит в ней ЭДС повышенной частоты $f = z_p \omega / 2\pi$, где z_p — число зубцов ротора; ω — его угловая скорость, с^{-1} .

Принципиальная электрическая схема силовых цепей машинного преобразователя приведена на рисунке 17.7, а. Первичный двигатель M вращает ротор генератора G . Напряжение средней частоты от генератора G подается на понижающий трансформатор $TV1$, от вторичной обмотки которого питается индуктор EK . Контакттор KM служит для отключения генератора при ремонте и наладке. Разрядник FV предназначен для предотвращения аварийного перенапряжения обмотки генератора: при разряде срабатывает токовое реле $KA2$, действующее на отключение питания обмотки возбуждения L . Защита от неаварийных перенапряжений осуществляется реле KV , от токов короткого замыкания в силовых цепях — токовым реле $KA3$, в цепи обмотки возбуждения — реле $KA1$.

Промышленность выпускает машинные преобразователи серии ВЭП на мощности 60...100 кВт и частоту 2,4...8 кГц и серии ОПЧ на мощности 250...500 кВт и частоту 1...8 кГц.

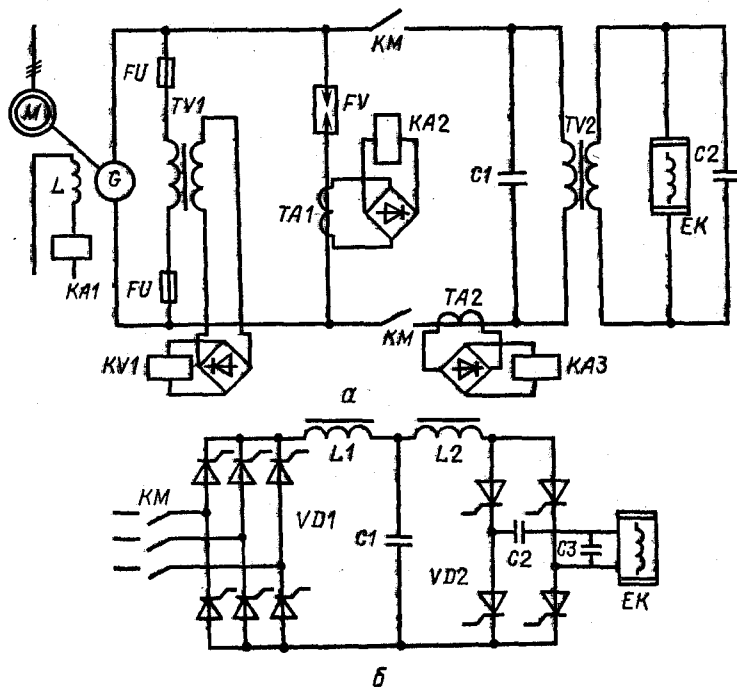


Рис. 17.7. Принципиальные электрические схемы машинного генератора средней частоты (а) и тиристорного преобразователя частоты (б).

Тиристорные преобразователи (рис. 17.7, б) не имеют вращающихся частей и являются более надежными и экономичными. Их выполняют с промежуточным звеном постоянного тока в виде тиристорного выпрямителя $VD1$ с фильтром $L1-C1$. Выпрямленный ток преобразуется инвертором $VD2$ с емкостной коммутацией ($C2-L2$) в ток средней частоты, который подается в индуктор EK . Тиристорные преобразователи серии СЧИ выпускаются на мощности 100 и 250 кВт с номинальной частотой 3 кГц и серии ТПЧ на мощность от 160 до 3200 кВт и номинальные частоты 0,5; 1,0; 2,4; 8 кГц.

Ламповые генераторы используют для получения частот от 60 кГц и выше. Нагревательные генераторы выполняют, как правило, с самовозбуждением (автогенераторы). Схемы ламповых генераторов для нагрева принципиально не отличаются от радиотехнических, но имеют некоторые особенности, в частности от них не требуется строгая стабильность частоты, что заметно их упрощает. Основным элементом схемы является генераторная лампа, чаще всего трехэлектродная. Нагрузкой лампы служит колебательный анодный контур, параметры которого — индуктивность L и емкость C — подбирают из условия работы контура в резонансе на собственной (рабочей) частоте $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$, для которой эквивалентное резонансное сопротивление $R_{\Sigma 0} = L/RC$ является чисто активным, где R — приведенное сопротивление потерь контура. Питание анодных цепей генераторных ламп осуществляется постоянным током от выпрямителей. Незатухающие колебания в автогенераторе возникают при наличии обратной положительной связи сетки с колебательным контуром, которая характеризуется коэффициентом обратной сеточной связи

$$k_c = \dot{U}_c / \dot{U}_k = -\dot{U}_c / \dot{U}_a$$

где \dot{U}_c , \dot{U}_k , \dot{U}_a — напряжение соответственно на сетке, колебательном контуре и аноде генераторной лампы.

Нормальный режим обеспечивается только при определенном значении k_c . Для обеспечения режима колебаний второго рода и, следовательно, высокого КПД на сетку подается постоянное отрицательное смещение, создаваемое падением напряжения на сопротивлении гридлика, включаемого в цепь постоянной составляющей сеточного тока. Оптимальный режим генератора достигается при соответствующем значении k_c и оптимальной нагрузке лампы $R_{\Sigma 0}$ равной ее внутреннему сопротивлению.

На рисунке 17.8 приведена принципиальная электрическая схема силовых цепей генератора ВЧИ4-10/0,44 номинальной

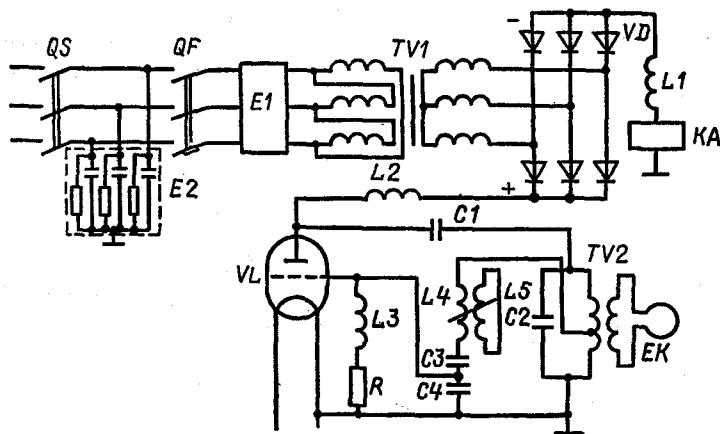


Рис. 17.8. Принципиальная электрическая схема силовых цепей генератора ВЧИ4-10/0,44 для индукционного нагрева.

колебательной мощностью 10 кВт и частотой 0,44 МГц. Схема включает блок питания, состоящий из анодного трансформатора $TV1$, тиристорного регулятора напряжения $E1$, выпрямителя VD . Генераторный блок представляет собой одноконтурный автогенератор с емкостной обратной связью, включающий генераторный триод VL , колебательный контур (емкость $C2$, понижающий трансформатор $TV2$, индуктор EK), сопротивление гридлика R , блокировочные дроссели $L1$, $L2$, $L3$ и разделительный конденсатор $C1$. Дроссель $L2$ и емкость $C1$ разделяют цепи постоянного и высокочастотного токов. Напряжение обратной сеточной связи снимается с емкости $C4$, являющейся элементом делителя напряжения ($L4$, $C3$, $C4$), подключаемого на часть витков индуктивности колебательного контура. Постоянный ток протекает от «плюса» выпрямителя на анод лампы с катода — через катушку реле максимального тока KA (защита генератора от перегрузки) и дроссель $L1$ — на «минус».

Высокочастотный ток протекает по контуру: анод — катод лампы — колебательный контур — емкость $C1$ — анод. Перемещением короткозамкнутой катушки $L5$ регулируют коэффициент обратной сеточной связи, устройство $E2$ (фильтр) служит для защиты сети от высокочастотных колебаний.

Высокочастотные установки индукционного нагрева имеют индексацию ВЧИ (высокочастотные индукционные). После букв 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 закалки поверхностей (НС — для сквозного нагрева, СТ — сварки труб и т. п.).

Выбирают установки индукционного нагрева по назначению (для закалки поверхностей, сквозного нагрева и др.), номинальной колебательной мощности и рабочей частоте.

Применение в сельскохозяйственном производстве. Установки индукционного нагрева распространены на ремонтных предприятиях объединений Госагропрома. 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.

Низкочастотный (50 Гц) индукционный нагрев находит применение в электрических водонагревателях (гл. 18).

17.9. Диэлектрический нагрев

Физические основы диэлектрического нагрева.

Нагрев диэлектриков осуществляется в быстропеременном электрическом поле (поле конденсатора) на частотах от 2 до 200 МГц. Нагрев при более высоких частотах относится к сверхвысокочастотному (СВЧ) нагреву. В основе диэлектрического нагрева лежит поляризация вещества в электрическом поле. В диэлектриках электроны и положительные ионы атомных ядер прочно связаны между собой внутриатомными и внутримолекулярными силами и свободные заряды практически отсутствуют (в $10^{15} \dots 10^{20}$ раз меньше, чем в проводниках).

Поляризация, сопровождающаяся смещением ионов, перестройкой или поворотом дипольных молекул, связана с затратами энергии на преодоление инерционных сил и межмолекулярного «трения». Эта энергия увеличивает тепловое колебание частиц, то есть превращается в теплоту. При поляризации с «трением» ток электрического смещения опережает вектор напряженности электрического поля \vec{E} на угол ϕ . Угол δ , допол-

няющий φ до значения $\pi/2$, носит название *угла диэлектрических потерь*.

Активная мощность, поглощаемая единицей объема диэлектрика, определяется по формуле

$$\Delta P = 0,555 \cdot 10^{-10} \epsilon \operatorname{tg} \delta f E^2, \quad (17.53)$$

где ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость материала; f — частота, Гц; E — напряженность электрического поля в диэлектрике, В/м.

Произведение $\epsilon \operatorname{tg} \delta$ отражает электрофизические свойства диэлектрика и носит название *фактора потерь*. Таким образом, мощность, поглощаемая диэлектриком в высокочастотном поле, пропорциональна фактору потерь, частоте и квадрату напряженности поля.

Установки диэлектрического нагрева. Токи высокой частоты (ТВЧ) в установках для нагрева диэлектриков и полупроводников в диапазоне 2...200 МГц получают при помощи ламповых генераторов, а более высокие частоты (СВЧ диапазона) — при помощи магнетронов. Ламповые генераторы для нагрева диэлектриков имеют много общего с генераторами индукционного нагрева, но в отличие от последних для ламповых генераторов нагрузкой является рабочий конденсатор, который загружается диэлектриком. Кроме того, на частотах выше 5...10 МГц на работу генераторов заметное влияние оказывают неучитываемые емкости и индуктивности монтажа, а также межэлектродные емкости лампы: катод — анод, сетка — катод, сетка — анод. В высокочастотных генераторах межэлектродные емкости используют в качестве элементов обратной сеточной связи.

На рисунке 17.9 приведена принципиальная электрическая схема генераторного блока установки ВЧД2-2,5/81, колебательной мощностью 2,5 кВт, номинальной частотой 81 МГц. Установка предназначена для нагрева пластмасс и других аналогичных материалов. Генератор имеет источник питания из трансформатора TV и полупроводникового выпрямителя VD . Генераторный блок выполнен на лампе VL по схеме с общим анодом и включает анодный колебательный контур ($L3-C3$), нагрузочный контур ($L4-C7$) с рабочим конденсатором ($C7$), сеточный контур ($L1-C1$), разделительный конденсатор $C4$ и элементы сеточного смещения ($R-L2-C2$). Значение анодного тока в процессе нагрева изменяется, поэтому для его стабилизации используется цепь $C5-C6$ с конденсатором регулируемой мощности $C5$.

Выбирают установки диэлектрического нагрева по номинальной колебательной мощности, частоте, допустимой (для нагрева-

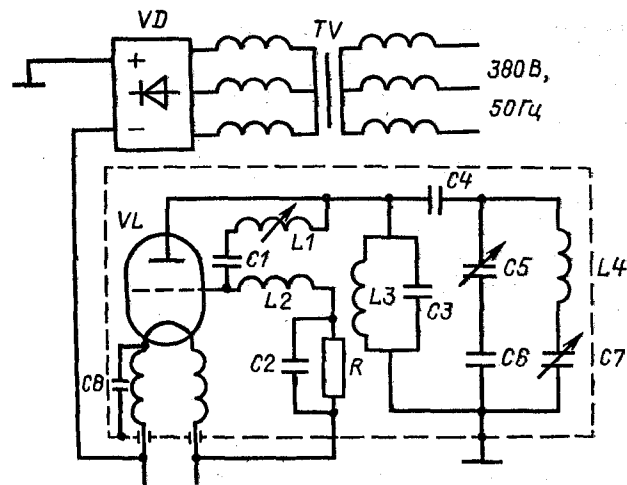


Рис. 17.9. Принципиальная электрическая схема генераторного блока установки ВЧД2-2,5/81 для диэлектрического нагрева.

емого материала) напряженности электрического поля рабочего конденсатора. Общий КПД установок диэлектрического нагрева низок (0,30...0,45), поэтому его применение экономически целесообразно там, где повышенный расход электроэнергии компенсируется коренным усовершенствованием технологии процессов, повышением качества и увеличением выхода продукции, значительным ростом производительности труда. Нагрев токами высокой частоты целесообразен для материалов с плохой теплопроводностью. В сельскохозяйственном производстве к ним относятся большинство продуктов и кормов, подлежащих сушке: зерно, чай, хмель, концентраты и др.

Установки для диэлектрического нагрева имеют индексацию ВЧД (высокочастотная диэлектрическая), например, ВЧД-40/5-СД — высокочастотная установка диэлектрического нагрева, колебательная мощность 40 кВт, частота 5 МГц, СД — для склеивания древесины (ПП — приготовление пищи, НП — нагрев пресспорошков, ДН — диэлектрический нагрев универсального применения и т. д.).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими технико-экономическими категориями оценивается эффективность применения электронного нагрева в тепловых процессах? 2. Что такое «приведенные затраты» и из каких составляющих они состоят? 3. Что

такое нормативный коэффициент эффективности капиталовложений? 4. Как исчисляются единовременные затраты по сравниваемым вариантам? 5. Как исчисляются затраты на топливо и электроэнергию? 6. Какие вы знаете способы электрического нагрева, что такое прямой и косвенный электронагрев? 7. Как определить полезную и установленную мощность ЭНУ? 8. Каковы физические основы электронагрева сопротивлением? 9. В чем состоит методика расчета электродных систем? 10. Как рассчитать электрический нагреватель сопротивления по рабочему току? 11. Расскажите об устройстве, применении и выборе ТЭНов. 12. Что представляет собой электрическая дуга и каковы ее технологические свойства? 13. Каков принцип устройства и работы сварочных трансформаторов и выпрямителей, как регулируют сварочный ток? 14. На каких физических явлениях основаны индукционный нагрев металлов и высокочастотный нагрев диэлектриков? 15. Назовите области применения в сельскохозяйственном производстве индукционного и диэлектрического нагрева. 16. Объясните принципиальные электрические схемы генераторов средней и высокой частоты.

Практическое занятие № 9. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Существует два варианта теплоснабжения коровника на 400 голов с потреблением тепловой энергии 2787 ГДж в год: 1) от топливной котельной (типовой проект 913—1—17, тип. 4), работающей на буром угле, приведенные затраты на тепловую энергию составляют 9 руб. на 1 ГДж; 2) при помощи электронагревательных установок (ЭНУ), включающих электрокалориферные установки типа СФОЦ, электроводонагреватели типа УАП, ВЭП-600, ЭПЗ-100 общей установленной мощностью 835 кВт. Суммарная стоимость ЭНУ — 12 580 руб., затраты труда на обслуживание ЭНУ — 79 ч в год, годовая зарплата одного работника 1850 руб. (1984 г.), годовое число часов рабочего времени 2107 (1984 г.).

Определим приведенные затраты на тепловую энергию по второму варианту (электротеплоснабжение — ЭТС) и сопоставим их с первым вариантом.

Капитальные вложения в ТГУ (ЭНУ) — по (17.4) $K_{о.в.о} = 12\,580$ руб.; $K_{тр.л} = 0,11K_{о.в.о} = 0,11 \cdot 12\,580 = 1384$ руб.; $K_c = 0$; $K_m = 0,25 \cdot K_{о.в.о} = 0,25 \cdot 12\,580 = 3145$ руб.; $K_{т.с} = 0$; $K_{ак} = 0$.

$$K_{ТГУ} = 12\,580 + 1384 + 3145 = 17\,109 \text{ руб.}$$

Ежегодные издержки на ТГУ определили по (17.6). Амортизационные отчисления I_a на электрооборудование примем в размере 8,2 %, тогда

$$I_{ТГУ} = 1,56 \cdot 17\,109 \cdot 0,082 + 1,3 \cdot \frac{79}{2107} = 2279 \text{ руб. в год.}$$

Приведенные затраты на ТГУ

$$З_{ТГУ} = 0,15 \cdot 17\,109 + 2279 = 4845 \text{ руб. в год.}$$

Годовой расход электроэнергии определим по формуле (17.10):

$$\mathcal{E} = \frac{2787}{3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95} = 814\,912 \text{ кВт} \cdot \text{ч в год.}$$

Приведенные затраты на электроэнергию при тарифе 1 коп. за 1 кВт·ч

$$З_{эл} = 0,01 \cdot 814\,912 = 8149 \text{ руб. в год.}$$

Суммарные приведенные затраты (без учета технологического эффекта $З_{тэ}$) по формуле (17.2)

$$З^0 = 4845 + 8149 = 12\,994 \text{ руб. в год.}$$

Приведенные затраты на единицу тепловой энергии

$$З_{уд}^0 = 12\,994 / 2787 = 4,66 \text{ руб. на 1 ГДж.}$$

Практическое занятие № 10. РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Задача 1. Определить полезную и установленную мощность проточного водонагревателя производительностью 0,12 м³/ч при начальной температуре воды 20 °С и конечной 90 °С.

Полезную тепловую мощность водонагревателя определим по формуле (17.14):

$$P_{пол} = \frac{0,12 \cdot 10^3 \cdot 1,419 (90 - 20)}{3600} = 9,76 \text{ кВт,}$$

где 1,419 кДж/(кг·°С) — удельная теплоемкость воды; 10³ кг/м³ — плотность воды.

Установленную мощность определим по (17.18), приняв $k_3 = 1,15$ и $\eta = 0,95$:

$$P_{уст} = \frac{1,15 \cdot 9,76}{0,95} = 11,8 \text{ кВт.}$$

По расчетным параметрам можно выбрать выпускаемый промышленностью проточный водонагреватель ВНС-600/0,2...0,9 (гл. 18).

Задача 2. Выбрать ТЭНы взамен вышедших из строя (тип нагревателя неизвестен для проточного водонагревателя ВНС-600/0,2...0,9 (ЭПВ-2А)).

Из таблицы 18.2 находим мощность водонагревателя $P = 12$ кВт, число ТЭНов — три, мощность — 4 кВт, питающее напряжение — 220 В (соединение «звезда»).

Учитывая, что ТЭНы работают в потоке воды, из таблицы 17.2 выбираем $\sigma_{доп} = 10^5$ Вт/м². Расчетная площадь поверхности ТЭНа по (17.49)

$$A_1 = \frac{4 \cdot 10^3}{10^5} = 0,04 \text{ м}^2.$$

По каталогу 12.15.04—75 «Трубчатые электронагреватели» выбираем нагреватель типа ТЭН-87 U-образного исполнения, номинальной мощностью 4 кВт, на 220 В, развернутая активная длина 0,927 м, что соответствует размерам рабочей камеры водонагревателя, диаметр трубки $13 \cdot 10^{-3}$ м.

Площадь активной поверхности ТЭНа

$$A_1 = 3,14 \cdot 13 \cdot 10^{-3} \cdot 0,927 = 0,038 \text{ м}^2,$$

что близко к расчетному значению.

Лабораторная работа № 8. ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Цель работы. 1. Изучить устройство, принцип действия, применение и технические данные электродных и элементных нагревателей.

2. Приобрести навыки экспериментального исследования нагрузочных характеристик трубчатых электронагревателей.

Программа работы. 1. Пользуясь стендом, изучить устройство, принцип действия, технические данные и применение электрических нагревателей сопротивления, сделать эскизы нагревателей.

2. На экспериментальной установке снять нагрузочные характеристики ТЭНа в виде зависимостей:

1) удельной мощности σ на поверхности ТЭНа от силы тока I и скорости обдувающего воздуха v : $\sigma = f_1(I, v)$;

2) температуры спирали и поверхности трубки от тех же величин $\Phi_{\text{сп}} = f_2(I, v)$ и $\Phi_{\text{тр}} = f_3(I, v)$.

Содержание отчета. В отчет включить эскизы и технические данные нагревателей, схему экспериментальной установки, графические зависимости $\sigma(I, v)$, $\Phi_{\text{сп}}(I, v)$, $\Phi_{\text{тр}}(I, v)$, выводы по работе.

Глава 18. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВОДОНАГРЕВАТЕЛИ И КОТЛЫ

18.1. Определение расчетной мощности электротеплогенерирующих установок

Электротеплогенерирующие (электротермические) установки (ЭТУ) выбирают по назначению, тепловой мощности, напряжению питания, частоте тока, производительности (или вместимости), параметрам теплоносителя (температуре воды, давлению пара и др.). Мощность отдельных ЭТУ по заданным технологическим условиям определяют по формулам главы 17.

При теплоснабжении разнородных потребителей от централизованной электрокотельной при расчете мощности и выборе ЭТУ пользуются суточными графиками тепловых нагрузок, кото-

рые строят для наиболее загруженных (обычно зимних) суток года. Графики нагрузок строят по категориям потребителей тепловой энергии: горячее водоснабжение, отопление и вентиляция, технологические нужды, санитарно-гигиенические нужды. Если все категории потребителей снабжаются от одной электрокотельной, строят совмещенный график тепловых нагрузок.

Расчетная мощность ЭТУ зависит от режима электропотребления. При электропотреблении по свободному графику расчетную мощность (кВт) определяют по формуле

$$P_{\text{св}} = \frac{k_p k_{\text{с.н}} \Sigma \Phi_{\text{max}}}{3600 \eta_{\text{ЭТУ}} \eta_{\text{т.с}}}, \quad (18.1)$$

где $\Sigma \Phi_{\text{max}}$ — расчетный (совмещенный) максимум тепловых нагрузок, определяемый максимальной ординатой суточного графика (кДж/ч); k_p — коэффициент резерва (1,1...1,25); $k_{\text{с.н}}$ — коэффициент собственных нужд (1,02...1,05); $\eta_{\text{ЭТУ}}$ — КПД теплогенерирующих установок (0,85...0,95); $\eta_{\text{т.с}}$ — КПД, учитывающий потери в тепловых сетях (0,90...0,94).

Электропотребление по свободному графику допускается лишь для небольших по мощности (до 10 кВт) установок в ответственных животноводческих и других помещениях. Работа сравнительно мощных установок и электрокотельных допускается лишь по режимному (принудительному) графику в часы, отведенные энергосистемой (обычно в ночное время). Для обеспечения непрерывного теплоснабжения в этом случае используют аккумуляционные ЭТУ или применяют специальные теплоаккумулирующие емкости для горячей воды или пара.

Расчетная мощность ЭТУ при режимном графике электропотребления (в аккумуляционных системах)

$$P_{\text{ак}} = \frac{k_p k_{\text{с.н}} \Phi_{\text{ак}}}{3600 \eta_{\text{ЭТУ}} \eta_{\text{т.с}}}, \quad (18.2)$$

где $\Phi_{\text{ак}}$ — расчетный тепловой поток ЭТУ (кДж/ч), работающих в аккумуляционной системе,

$$\Phi_{\text{ак}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Phi_{i,t_i}}{\sum t_{\text{ЭТУ}}} = \frac{Q_{\text{сут}}}{\sum t_{\text{ЭТУ}}}. \quad (18.3)$$

Здесь $\sum t_{\text{ЭТУ}}$ — общая суточная продолжительность работы ЭТУ.

18.2. Классификация электрических водонагревателей и котлов

Получение горячей воды и пара — одно из наиболее распространенных применений электрической энергии в сельскохозяйственном производстве, особенно в животноводстве. Не загрязняя воздуха и помещения продуктами и отходами сгорания, электронагрев в наибольшей степени отвечает зоотехническим и санитарно-гигиеническим требованиям к животноводческим предприятиям. Во многих случаях это и наиболее экономичный способ получения горячей воды и пара, не требующий затрат на транспортировку топлива, строительство и эксплуатацию котельных. Промышленность выпускает разнообразное оборудование для нагрева воды и получения пара, которое в условиях эксплуатации постоянно готово к действию, требует минимальных затрат на обслуживание.

Электрические водонагреватели и электродкотлы классифицируют по способу нагрева, принципу нагрева (прямой, косвенный), принципу действия (периодического, непрерывного), рабочей температуре, давлению, напряжению питания. Водонагреватели работают обычно под атмосферным давлением и предназначены для получения горячей воды с температурой до 95 °С. Водогрейные котлы работают под избыточным давлением (до 0,6 МПа) и позволяют получать воду с температурой выше 100 °С. Электрические паровые котлы производят насыщенный пар давлением до 0,6 МПа.

18.3. Электрические водонагреватели

Элементные водонагреватели работают по принципу косвенного электронагрева воды при помощи ТЭНов. Они обладают достаточной электробезопасностью в обслуживании и широко применяются для нагрева воды непосредственно в местах ее потребления. Основная особенность этих водонагревателей — сравнительно небольшая производительность при высокой электробезопасности и простоте обслуживания, доступной для неэлектротехнического персонала. В элементных водонагревателях электрический ток не влияет на качество воды, мощность водонагревателей за время нагрева практически не меняется. Недостатки элементных водонагревателей заключаются в сравнительно низкой эксплуатационной надежности из-за ограниченного срока службы ТЭНов и большом удельном расходе электроэнергии на нагрев воды (более низкий КПД).

Емкостные водонагреватели имеют значительную емкость

для воды, хорошо теплоизолированы. Они малопроизводительны, но, имея малую установочную мощность не перегружают подстанции и сети. Благодаря хорошей теплоизоляции, такие водонагреватели способны длительное время (8...10 ч) поддерживать температуру нагретой воды, поэтому их можно включать в ночное время, запасать горячую воду и затем отдавать ее потребителям по мере необходимости.

Емкостные электрические водонагреватели типа УАП, из которых наиболее распространен водонагреватель УАП-400/0,9-М1 (рис. 18.1), предназначены для нагрева воды на животноводческих фермах, в гаражах, мастерских, предприятиях бытового и коммунального назначения. В обозначении водонагревателя: 400 — вместимость резервуара в литрах, 0,9 — температура горячей воды (90 °С), М1 — модификация. Мощность водонагревателя 12 кВт (6 ТЭНов по 2 кВт), продолжительность нагрева воды до максимальной температуры 4 ч. Автоматическое поддержание температуры осуществляется при помощи температурного реле SK, которое через контакт промежуточного реле KV включает или обесточивает катушку электромагнитного пускателя KM, включающего или отключающего

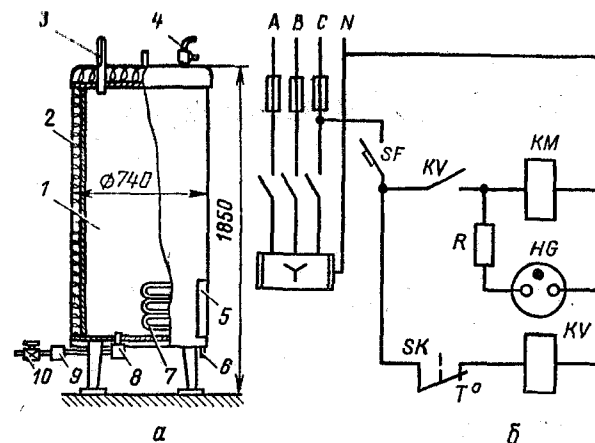


Рис. 18.1. Емкостный электроводонагреватель УАП-400/0,9 (а) и его электрическая схема (б):

1 — резервуар; 2 — теплоизоляция; 3 — термометр; 4, 8 — патрубки для горячей и холодной воды; 5 — нагревательный блок; 6 — трубка для питающих проводов; 7 — ТЭНов (6 нагревателей); 9 — обратный клапан; 10 — запорный вентиль.

ТЭНы водонагревателя. Свечение лампы *НГ* сигнализирует о включенном состоянии аппарата.

На базе водонагревателей типа УАП разработаны более совершенные емкостные водонагреватели типа САОС (табл. 18.1). Водонагреватель представляет собой металлический резервуар с расположенными внутри него ТЭНами. Они подключаются к водопроводной сети и работают под ее избыточным давлением. На входном патрубке водонагревателя нет запорного вентиля. Наличие вентиля на выходном патрубке позволяет осуществлять разбор горячей воды одновременно в нескольких точках. Для безопасности работы водонагреватель имеет два предохранительных клапана. По достижении заданной температуры водонагреватель автоматически отключается терморегулятором. Разбор горячей воды происходит из верхней части резервуара через выходной патрубок за счет вытеснения горячей воды холодной, поступающей в резервуар в нижнюю часть через входной патрубок. Наличие в резервуаре тепловой изоляции из пенопласта обеспечивает аккумуляционные свойства, позволяющие включать водонагреватель в ночные часы и длительное время сохранять в нем горячую воду.

18.1. Основные данные электрических водонагревателей типа САОС

Тип водонагревателя	Полезная вместимость, м ³	Номинальная мощность, кВт	Продолжительность нагрева до номинальной температуры не более, ч	Масса, кг
САОС-400/90-И1	0,40	12	3,5	128
САОС-800/90-И1	0,80	18	6	196
САОС-1600/90-И1	1,60	30	6	314

Примечание. Номинальное напряжение питающей сети 380/220 В; номинальная температура воды на выходе 90 °С.

Проточные (скоростные) водонагреватели компактны, позволяют получать горячую воду сразу после включения. Однако они не способны аккумулировать горячую воду, требуют свободного электропотребления и надежного электроснабжения. Основные данные их приведены в таблице 18.2.

Наиболее совершенны водонагреватели типа САЗС. Их устройство и технические данные аналогичны аппаратам типа САОС, но САЗС оборудованы циркуляционным насосом, что позволяет непрерывно подавать нагретую воду в трубопроводную систему (в автопоилки, для подмывания вымени коров и т. п.). Управление включением водонагревателя осуществляет-

18.2. Основные данные проточных электрических водонагревателей

Тип водонагревателя	Номинальная мощность, кВт	Рабочая температура, °С	Производительность при нагреве воды до 90 °С, м ³ /ч
ВНС-600/0,2...0,9 (ЭПВ-2А)	12	16...90	0,16
ВЭП-600	10,5	10...22	0,15
САЗС-400/90-И1	12	16...90	0,16
САЗС-800/90-И1	18	16...90	0,21
САЗС-1600/90-И1	30	16...90	0,40

Примечание. Напряжение питающей сети 380/220 В.

ся температурным реле *SK1* (рис. 18.2), а насосом — терморегулятором *SK2*, установленным в наиболее холодном месте подачи воды. Для этих же целей служит водонагреватель типа ВЭП-600.

Электродные водонагреватели работают по принципу прямого нагрева: вода нагревается протекающим по ней электрическим током, подводимым при помощи электродов. Электродные системы (электродные нагреватели) по сравнению с ТЭНами более просты, дешевы и долговечны. Электродные водонагреватели имеют более высокий КПД, и для них не опасен перегрев даже в отсутствие воды, что в элементных водонагревателях недопустимо.

В сельскохозяйственном производстве используются электродные водонагреватели типа ЭПЗ (электродный подогреватель с замкнутым контуром) и КЭВЗ (котел электродный водогрейный с замкнутым контуром), технические данные которых приведены в таблице 18.3.

Конструкция водонагревателя ЭПЗ-100/0,4-И2 (мощность 100 кВт, питающее напряжение 0,4 кВ, исполнение И2) приведена на рисунке 18.3. Водонагреватель состоит из стального цилиндрического корпуса 2, верхней крышки 14, фазных 6 и регулирующих 5 электродов, электроизоляционных экранов 4, 18, 22, бокового 3 и верхнего 12 кожухов и щита управления. В корпус вварены нижний (подводящий) 20 и верхний (отводящий) 15 патрубки для воды. К верхнему патрубку 15 крепится съемный патрубок (на рисунке не показан) с гнездами для установки предохранительного устройства, регулирующего и защитного датчиков температуры. На верхней крышке 14 смонтированы элементы подвода тока к подвешенной на ней электродной системе. Внутренняя поверхность корпуса и днище покрыты электроизоляционными экранами 4 и 22.

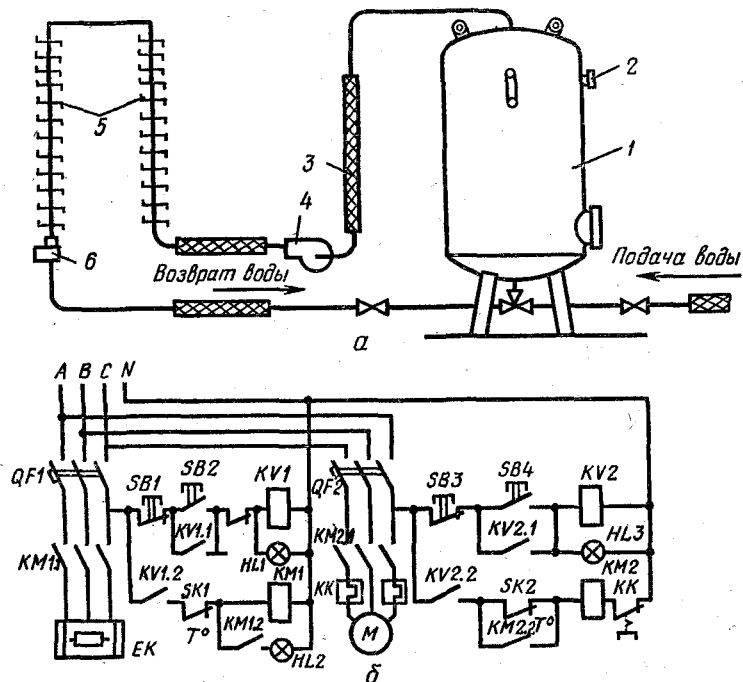


Рис. 18.2. Электроводонагреватель САЗС-400/90-II1 (а) и его электрическая схема (б):

1 — электроводонагреватель; 2 — термометр водонагревателя; 3 — изолирующая вставка; 4 — насос; 5 — трубопроводная система; 6 — термометр в трубопроводной системе.

Электродная система состоит из трех двухпластинчатых фазных 6 и трех однопластинчатых регулирующих 5 электродов. Пластины электродов выгнуты по дугам concentрических окружностей. Пары фазных электродов соединены между собой металлическими скобами 1, к верхним скобам приварены токоподводящие шпильки 7. Регулирующие электроды 5 укреплены между диэлектрическими траверсами — верхней и нижней 19, смонтированными на поворотной оси 17, снабженной рукояткой 8 для регулирования мощности.

Внутренний трехгранный диэлектрический экран 18 с радиальными пластинами делит внутреннее пространство корпуса на три фазных сектора.

18.3. Основные данные электродных водонагревателей

Тип водонагревателя	Номинальная мощность, кВт	Удельное электрическое сопротивление воды при 20 °С, Ом·м	Диапазон регулирования мощности, %	Масса, кг
ЭПЗ-25/0,4-И2	25	20	100...25	70
ЭПЗ-60/0,4-И2	60	20	100...25	80
ЭПЗ-100/0,4-И2	100	20	100...25	85
КЭВЗ-250/0,4	250	30	100...15	415
КЭВЗ-400/0,4	400	30	100...15	515
КЭВЗ-1000/0,4	1000	30	100...15	1326

Примечания. 1. Напряжение сети 380/220 В. 2. Температура воды на входе 70 °С, на выходе 95 °С. 3. Максимальная допустимая температура воды на выходе 130 °С. 4. Максимальное рабочее давление 0,6 МПа.

Вода нагревается электрическим током, протекающим от одного фазного электрода к другому через промежуточный регулирующий электрод 5. Значение тока (мощности) определяется

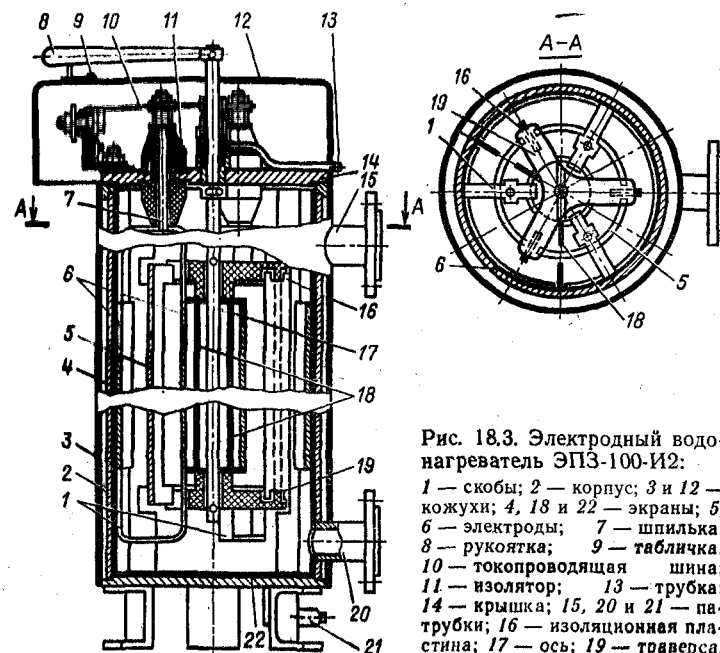


Рис. 18.3. Электродный водонагреватель ЭПЗ-100-II2:

1 — скобы; 2 — корпус; 3 и 12 — кожухи; 4, 18 и 22 — экраны; 5, 6 — электроды; 7 — шпилька; 8 — рукоятка; 9 — табличка; 10 — токопроводящая шина; 11 — изолятор; 13 — трубка; 14 — крышка; 15, 20 и 21 — патрубки; 16 — изоляционная пластина; 17 — ось; 19 — траверса.

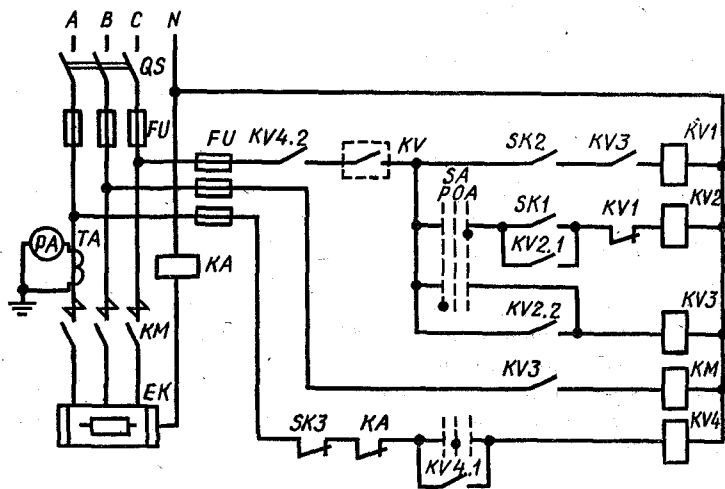


Рис. 18.4. Принципиальная электрическая схема электродного водонагревателя ЭПЗ-100-II2.

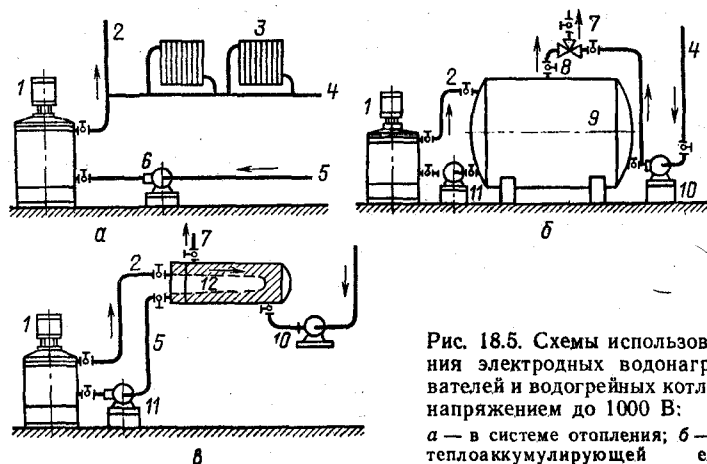
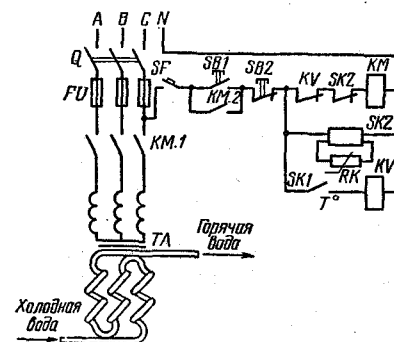


Рис. 18.5. Схемы использования электродных водонагревателей и водогрейных котлов напряжением до 1000 В:

а — в системе отопления; б — с теплоаккумулирующей емкостью; в — с теплообменником;

1 — электродный котел; 2 — главный поток; 3 — радиаторы; 4 — вспомогательная сеть; 5 — возвратная линия; 6 — насос (при необходимости); 7 — вторичный поток и возврат; 8 — смесительная задвижка; 9 — аккумулятор теплоты; 10 — насос вторичный; 11 — насос первичный; 12 — теплообменник (водо-водяной бойлер).

Рис. 18.6. Принципиальная электрическая схема индукционного водонагревателя О8ЧПВ-1.



углом поворота (от 0 до 60°) регулирующих электродов относительно фазных. При совмещении регулирующих электродов с фазными мощность минимальна (25 %), а при симметричном положении относительно соседних фазных электродов — максимальна (100 %). Электрическая схема (рис. 18.4) обеспечивает работу водонагревателя в ручном режиме (переключатель SA в положении «Р») или в автоматическом (положение «А»). Автоматическое двухпозиционное управление осуществляется по температуре выходящей воды, которая контролируется манометрическим термометром SK. Контакты SK1 замыкаются, когда температура воды ниже минимального значения, а SK2 — когда температура воды достигает максимальной уставки. Включение происходит через промежуточные реле KV2 — KV3 контактором KM, отключение — по цепочке KV1 — KV2 — KV3 — KM. В случае отказа регулирующего термометра SK1 — SK2 и повышения температуры выше заданной водонагреватель отключается при размыкании контакта аварийного реле SK3 (типа TP-200). Повторное включение возможно только вручную после устранения причины отказа.

При появлении в нулевом проводе тока, равного 25 % номинального тока фазы, или при коротком замыкании аппарат отключается контактом KA токового реле, включенного в нулевой провод.

Электроводонагреватели типа ЭПЗ и КЭВЗ предназначены для работы в первичном контуре теплообменников (рис. 18.5) во избежание быстрого образования накипи на электродах и изменения их мощности.

Разработаны и внедрены в производство более совершенные и экономичные электродные водонагреватели ЭПЗ-100-ИЗ, ЭПЗ-250-ИЗ, ЭПЗ-400-ИЗ с плавным регулированием мощности в пределах от 20 до 100 %.

Индукционный водонагреватель О8ЧПВ-1 проточного типа мощностью 30 кВт·А предназначен для нагрева воды, поступаю-

щей от водопровода. Максимальная температура на выходе 90 °С. Водонагреватель питается от трехфазной четырехпроводной сети переменного тока напряжением 380/220 В и представляет собой понижающий трансформатор с закороченной вторичной обмоткой, выполненной из труб, по которым протекает нагреваемая вода (рис. 18.6). Управление работой водонагревателя осуществляется по температуре воды при помощи манометрического термометра *SK1*, контакт которого включен в цепь промежуточного реле *KV*, питающего катушку электромагнитного пускателя *KM*. При несрабатывании *SK1* водонагреватель отключается от сети устройством температурной защиты *УВТЗ-4Б (SK2)*. Не допускается включение водонагревателя в сеть при отсутствии протока воды.

18.4. Электрические водогрейные и паровые котлы

Водогрейные и паровые электродкотлы выпускаются электродными. Электродный нагрев обеспечивает котлам простоту конструкции и регулирования мощности, высокую надежность и срок службы, высокие энергетические показатели. Котлы выпускаются на низкое (0,4 кВ) и высокое (6...10 кВ) напряжения и мощности от 25 до 10 000 кВт в единице.

Водогрейные котлы. По устройству и принципу действия электродные водогрейные котлы аналогичны электродным водонагревателям и отличаются от них лишь большей надежностью, так как работают под давлением. Как правило, они выпускаются на большие мощности и могут быть высоковольтными.

Наиболее распространены водогрейные котлы типа КЭВ (котел электродный водогрейный), выпускаемые на низкое (КЭВ-0,4) и высокое (КЭВ-6, КЭВ-10) напряжения (табл. 18.4). Котлы предназначены для отопления и получения горячей воды для технологических нужд. Номинальные значения температуры воды в котлах на выходе 95 °С, на входе 70 °С, максимально допустимая температура на выходе составляет 130 °С!

На рисунке 18.7 приведена конструктивная схема котла типа КЭВ с пластинчатыми электродами. Корпус 1 котла выполнен из стандартной трубы и имеет входной и выходной патрубки для нагреваемой воды. Внутри котла на изоляторах укреплены электродная система в виде пакета пластинчатых электродов 4, образующих соединение «двойной треугольник». Регулирование мощности достигается введением между электродами диэлектрических пластин 6.

18.4. Основные данные электродных водогрейных котлов типа КЭВ

Тип котла	Номинальная мощность, кВт	Напряжение сети, В	Расход воды, м³/ч	Минимальное рабочее давление, МПа	Удельное электрическое сопротивление воды при 20 °С, Ом·м	Диапазон регулирования мощности, %	Масса, кг
КЭВ-40/0,4	40	380	1,4	0,6	10...70	100...25	75
КЭВ-60/0,4	60	380	2,2	0,6	10...70	100...25	80
КЭВ-100/0,4	100	380	3,5	0,6	10...70	100...25	125
КЭВ-160/0,4	160	380	5,5	0,6	10...70	100...25	200
КЭВ-250/0,4	250	380	8,6	0,6	10...70	100...25	240
КЭВ-400/0,4	460	380	13,8	0,6	30...70	100...25	450
КЭВ-1000/0,4	1 000	380	34,4	1,0	30...70	100...25	600
КЭВ-2500/6	2 500	6 000	83,8	1,0	20...80	100...50	640
КЭВ-6000/6	6 000	6 000	206,4	1,0	20...70	100...50	790
КЭВ-10 000/6	10 000	6 000	350	1,0	20...70	100...50	835
КЭВ-10 000/10	10 000	10 000	350	0,6	13...170	100...50	1650

Примечание. Температура воды на входе в котел 70 °С, на выходе из котла 95 °С.

Пластинчатые электроды применяют при удельном сопротивлении воды выше 10 Ом·м, при более низком удельном сопротивлении, а также в высоковольтных котлах используют цилиндрические электроды.

Принципиальная электрическая схема котлов типа КЭВ-0,4 (рис. 18.8) предусматривает работу в автоматическом режиме (переключатель *SA* в положении «А») при включенном циркуляционном насосе (блок-контакт *KV5*). Для ручного опро-

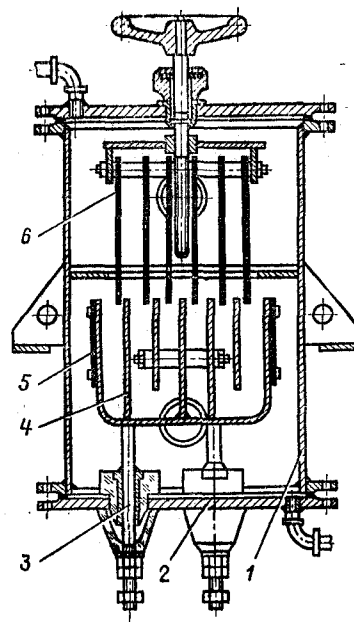


Рис. 18.7. Электродный водогрейный котел типа КЭВ-0,4:
1 — корпус; 2 — днище; 3 — тоководущий стержень; 4 — пластинчатые электроды; 5 — защитные диэлектрические пластины; 6 — регулирующие диэлектрические пластины.

бывания используют кнопку *SB* (переключатель *SA* в положении «*P*»). Двухпозиционное управление работой котла осуществляется по температуре воды на выходе из котла (электроконтактный термометр *SK1*) и температуре в системе (воздуха в отапливаемом помещении или воды в аккумулирующей емкости — температурное реле *SK2*). Верхний контакт *SK1* настроен на минимальное, а нижний — на максимальное значения температуры воды. При температуре в системе ниже заданной контакт *SK2* замкнут, а при температуре воды на выходе из котла ниже минимального значения замкнут верхний контакт *SK1*. При этом реле *KV1* включено, *KV2* отключено и своим контактом *KV2.2* через реле *KV3* запитывает катушку контактора *KM*, включающего котел под напряжение. Когда температура воды на выходе превысит минимальное значение, разомкнется верхний контакт *SK1*, обесточится реле *KV1* и своим размыкающим контактом подготовит к включению реле *KV2*. По достижении максимальной температуры сработает *KV2* и через *KV3* обесточит катушку контактора *KM*, который отключит котел от сети. Повторное включение произойдет, когда температура воды станет ниже минимальной и замкнется верхний контакт *SK1*. Нижняя цепь схемы предназначена для выносной сигнализации.

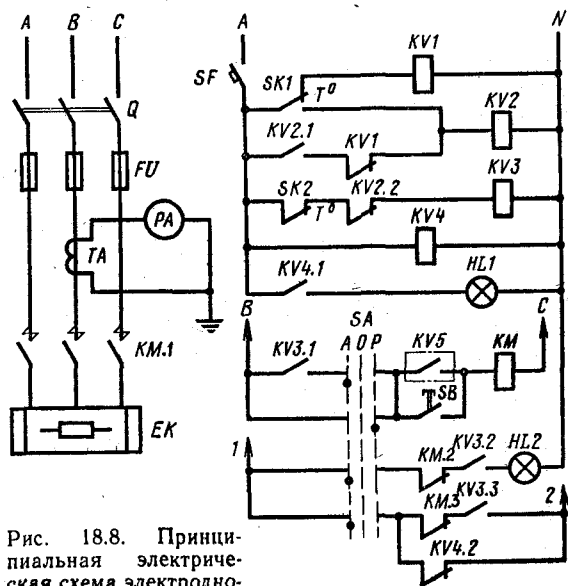


Рис. 18.8. Принципиальная электрическая схема электроподогревного котла типа КЭВ-0,4.

Как следует из таблиц 18.3 и 18.4, низковольтные электродные котлы и электродные водонагреватели имеют схожие технические данные и деление их достаточно условно.

Паровые котлы. Паровые электродкотлы более универсальны, чем водогрейные, и могут быть использованы для технологического пароснабжения и покрытия тепловых нужд горячего водоснабжения, отопления и вентиляции. Как и водогрейные котлы, они могут быть низковольтными и высоковольтными и по принципу работы мало отличаются от первых. Разница состоит лишь в том, что в паровых котлах нормальным режимом является кипение воды, а ее температура достигает 165 °С (табл. 18.5).

Табл. 18.5. Основные данные низковольтных электродных паровых котлов

Тип котла	Номинальная мощность, кВт	Максимальная паропроизводительность, кг/ч	Допустимые пределы изменения удельного сопротивления воды при 20 °С, Ом·м	Масса, кг
КЭПР-160/0,4	160	200	20...70	393
КЭПР-250/0,4	250	350	20...70	400
КЭП-25/0,4	25	30	16...64	360
КЭП-160/0,4	160	215	16...64	625
КЭП-250/0,4	250	334	16...64	690
КЭП-400/0,4	400	550	16...64	1050
КЭП-600/0,4	600	809	16...64	1115

Примечания. 1. Максимальное давление пара 0,6 МПа. 2. Максимальная температура 164,5 °С. 3. Диапазон регулирования мощности от 100 до 25 %.

Электродкотел КЭПР-160/0,4 (рис. 18.9) представляет собой сварной сосуд из стандартных стальных труб, размещенных соосно и образующих внутреннюю (парогенерирующую) 2 и внешнюю (вытеснительную) 3 камеры. Внутри парогенерирующей камеры размещена электродная система 4 в виде пакета плоских пластин, к которым подводится питание по токоведущим шпилькам через проходные изоляторы 1. Крайние пластины электродного пакета изолированы с наружной стороны диэлектрическими пластинами.

Верхние, не заполненные водой части парогенерирующей и вытеснительной камер являются паровым пространством котла. Отличительная особенность котлов — автоматическое регулирование мощности в зависимости от разбора пара. При давлении пара, не превышающем максимально-допустимое, регулирующий

клапан 7 регулятора температуры типа РТ-40 открыт и вода в обеих камерах находится на одинаковом уровне, полностью закрывая электроды и обеспечивая полную мощность. При уменьшении разбора пара давление и температура его возрастают, когда они превысят заданное значение, срабатывает регулятор 7 и перекрывает сообщение парогенерирующей и вытеснительной камер. Под действием возрастающего давления пара вода из камеры 2 вытесняется во внешнюю камеру 3, оголяя

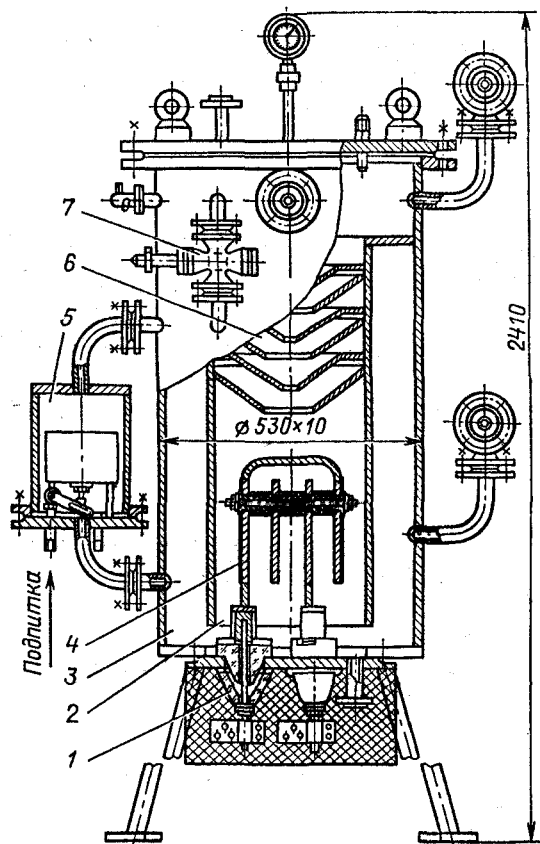


Рис. 18.9. Электродный паровой котел КЭПР-160/0,4:

1 — проходной изолятор; 2 — парогенерирующая камера; 3 — вытеснительная камера; 4 — электродная система; 5 — поплавковый регулятор подпитки; 6 — механический сепаратор пара; 7 — регулятор температуры пара.

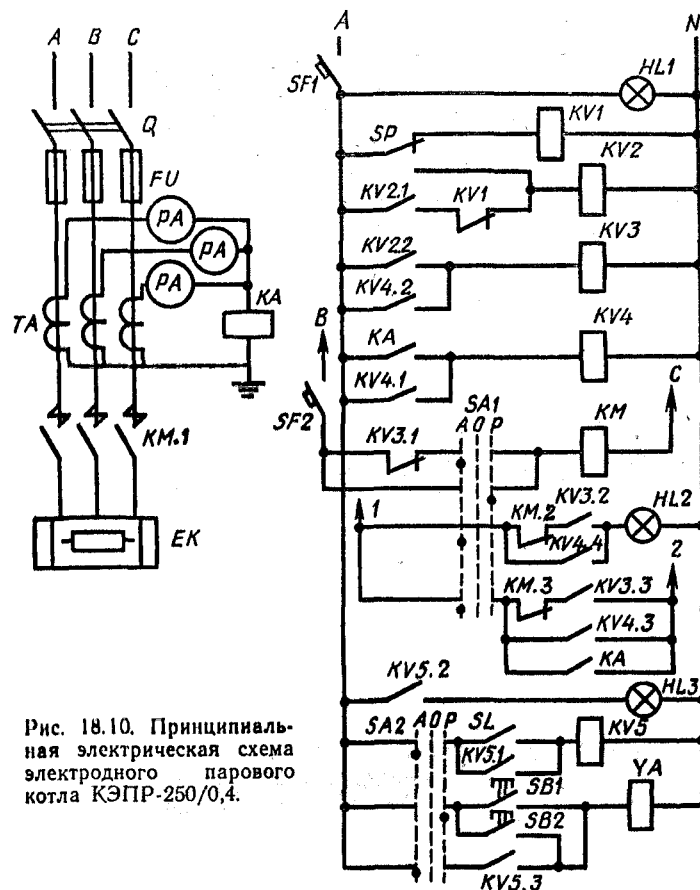


Рис. 18.10. Принципиальная электрическая схема электродного парового котла КЭПР-250/0,4.

электроды и уменьшая мощность. Этот принцип обеспечивает автоматическую работу не только при изменении интенсивности разбора пара, но и при изменении удельного сопротивления воды.

Питательная вода в электродкотел подается в вытеснительную камеру через поплавковый регулятор подпитки 5. Для уменьшения влажности пара в парогенерирующей камере установлен механический сепаратор пара. Котел снабжен двумя предохранительными клапанами для защиты от повышения давления, двумя водомерными колонками и манометром.

Электрической схемой котла (рис. 18.10) предусмотрено автоматическое и ручное управление (переключатели SA1 и SA2)

по давлению пара при помощи электроконтактного манометра *SP*. Контакт *SP* замыкается при давлении меньше заданного и размыкается при достижении максимально допустимого давления.

Элементы схемы *SP*, *KV1*, *KV2*, *KV3*, *KM* осуществляют двухпозиционное регулирование работой котла аналогично работе схемы водогрейного котла типа КЭВ (рис. 18.8). В схеме предусмотрен дополнительный контроль симметрии нагрузки по фазам, осуществляемый токовым реле *KA* (рис. 18.10). При заметной асимметрии реле *KA* через промежуточное реле *KV4* отключает котел от сети. Предусмотрена защита от переполнения водой парогенерирующей камеры. При повышении уровня воды до электрода датчика *SL* последний, замыкаясь, подает питание в катушку реле *KV5*, которое своим контактом включает электромагнит продувки *YA*. Продувку можно включать и вручную кнопками *SB1* и *SB2*. Схема имеет основную (*HL1*, *HL2*, *HL3*) и выносную (1—2) световые сигнализации о режимах работы котла.

18.5. Применение электрических водонагревателей и котлов

Электрические водонагреватели и котлы применяют в местных и централизованных системах горячего водоснабжения. В местных системах используют в основном элементные и реже — электродные водонагреватели малой (16...25 кВт) мощности. В централизованных системах горячую воду получают в электростанциях при помощи высокопроизводительных водогрейных котлов, а также паровых электростанций и бойлеров.

Наиболее целесообразно применять системы горячего водоснабжения с аккумулярованием горячей воды. Для этого используют емкостные водонагреватели или проточные водонагреватели в сочетании с хорошо теплоизолированными баками — аккумуляторами горячей воды. Такие системы наиболее надежны и экономичны. Включаемые в часы «провалов» в суточных графиках нагрузки аккумулярующие водонагреватели выполняют важную роль потребителей — регуляторов нагрузки энергосистем, повышая коэффициент использования трансформаторных подстанций и электрических сетей, снижая отклонения напряжения у токоприемников и улучшая коэффициент мощности $\cos \phi$. Аккумуляционные системы позволяют значительно увеличить потребление электроэнергии без повышения мощности трансформаторных подстанций и пропускной способности сетей.

Специфическими для животноводческих ферм являются ус-

тройства подогрева питьевой воды для животных. В зимнее время температура воды, подаваемой на фермы из буровых колодцев, составляет 4...6 °С, а из поверхностных источников — 1,5...2,0 °С. Необходимость подогрева воды обуславливается прежде всего физиологическими потребностями животных. По зоотехническим условиям оптимальная температура воды в поилках для КРС равна 12...14 °С и не должна снижаться ниже 5...7 °С, для свиней на откорме — 1...3 °С, для кур-несушек — 10...13 °С.

Холодную воду животные и птица пьют мало и неохотно, это сказывается на их продуктивности. При оптимальной температуре воды надои от коровы выше обычных на 0,5...1 л в день, сокращается потребность в кормах, яйценоскость кур возрастает на 10...15 % и т. д. Кроме того, потребление чрезмерно холодной воды чревато простудными заболеваниями, особенно для молодняка животных и птицы. Подогрев воды необходим и для предотвращения замерзания внутренних водопроводов и автопоилок, особенно в неотапливаемых помещениях и в ночные часы.

Способ подогрева поиловой воды зависит от способа содержания животных. При привязном содержании сеть автопоения объединяется в замкнутую систему с проточным электрическим нагревателем воды и насосом. Подпиточная вода из водопроводов поступает в нагреватель, где смешивается с подогретой, и направляется в сеть автопоения. Непрерывная принудительная циркуляция воды с подогревом обеспечивает постоянство ее температуры.

Для подогрева воды используют водонагреватели УАП-100/0,2; УАП-300/0,2; ВЭП-600; САЗС-400/90-И1 (рис. 18.2) и др. Аналогично подогревается вода в системах подмывания вымени коров перед дойкой, для полива растений в защищенном грунте и т. п.

Принципы использования водогрейных котлов и мощных электродных водонагревателей поясняются рисунком 18.5. В системах горячего водоснабжения котлы работают в первичном контуре теплообменника с аккумулятором горячей воды (рис. 18.5, б) или скоростного водо-водяного бойлера (рис. 18.5, в). Работа с теплообменником обеспечивает циркуляцию через котел несменяющейся воды, что значительно уменьшает отложение накипи на электродах. Открытый водоразбор из котлов возможен лишь при условии предварительного умягчения воды или если используется вода с температурой не выше 60 °С.

18.6. Электрокотельные

Электрокотельные оснащаются электрокотлами, водонагревателями и другим оборудованием, необходимым для получения пара и горячей воды и снабжения ими сельскохозяйственных потребителей. Котельные могут быть центральными и местными. Центральные электрокотельные предназначены для комплексного теплоснабжения значительного числа разнородных потребителей, а местные — для снабжения теплотой ограниченного круга потребителей обычно в пределах одного помещения. Местные электрокотельные чаще всего бывают специализированными: отопительными или горячего водоснабжения. Выработанные в электрокотлах горячая вода или пар подаются к потребителям по трубопроводам (тепловым сетям).

Для подсчета потребности в теплоте и выбора котлов строят суточные графики тепловых нагрузок. В графиках учитывают все потребители, снабжаемые теплотой от электрокотельной.

Наиболее целесообразны сравнительно небольшие по мощности (до 400...600 кВт) электрокотельные, не требующие больших капиталовложений в реконструкцию систем электроснабжения и сооружения дорогостоящих тепловых сетей.

Электрокотельные обязательно оборудуют устройствами аккумулирования теплоты (в виде горячей воды или пара), где она запасается в ночные часы работы электротепловой установки. В дневное время теплоснабжение осуществляется путем отбора теплоты из аккумулирующих емкостей.

На рисунке 18.11 приведена принципиальная теплотехническая схема простейшей электрокотельной с двумя водогрейными котлами для теплоснабжения животноводческой фермы на 200...400 голов. Вода, нагреваемая в котлах 8, циркулирует по замкнутой системе: котел 8 — теплоаккумулирующая емкость 6 — коллектор горячей воды 2 — система отопления — коллектор холодной воды 3 — грязевик 4 — котел.

Разборную горячую воду получают в скоростном водо-водяном подогревателе 1, где водопроводная вода подогревается горячей водой, подаваемой от коллектора 2.

Принципиальная электрическая схема электрокотельной приведена на рисунке 18.12. Питание в силовую цепь подается рубильником QS. Циркуляционные насосы (основной и резервный) включаются автоматическими выключателями QF2 и QF3, а котлы — QF4, QF5 и контактором KM. Котлы можно включать только в определенные часы суток, задаваемые моторным реле времени KT, имеющим две программы. Контроль температуры воды в аккумулирующей емкости осуществляет темпера-

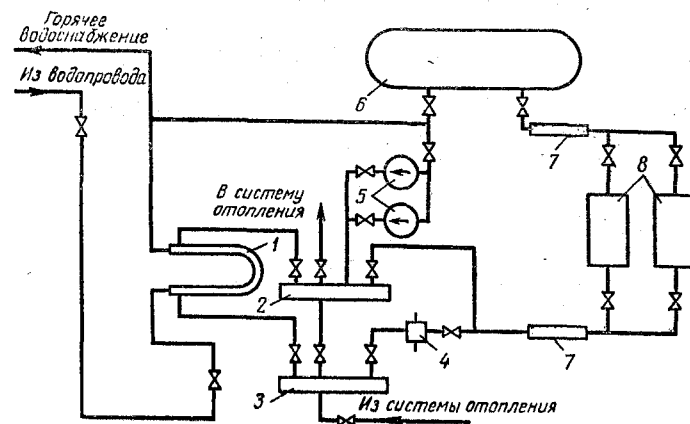


Рис. 18.11. Принципиальная теплотехническая схема простейшей электрокотельной:

1 — скоростной водонагреватель; 2 — коллектор горячей воды; 3 — коллектор холодной воды; 4 — грязевик; 5 — циркуляционные насосы; 6 — аккумулирующая емкость; 7 — изоляционная вставка; 8 — электроводонагреватели (котлы).

турное реле SK1. Верхний контакт SK1 замыкается при температуре воды ниже нормы, нижний — при достижении максимального значения. В аварийном режиме, когда температура воды на 3...4° превысит верхнюю уставку реле SK1, срабатывает реле SK2.

Блокировочный контакт SQ предотвращает возможность включения котлов при незакрытых дверях ограждения. Включение котлов происходит при замкнутом состоянии одного из контактов реле времени KT. Предварительно (включением QF2 или QF3) пускают в работу циркуляционный насос, включаются автоматические выключатели QF4, QF5 и QF1. Кнопкой SB2 подают питание в катушку реле KV2, которое через промежуточное реле KV3 включает контактор KM цепи питания котлов. При повышении температуры выше минимальной верхний контакт SK1 размыкается, но питание реле KV3 происходит через собственный контакт KV3.1. При достижении максимального значения температуры замыкается нижний контакт SK1, получает питание реле KV4, и через контакт KV3.3 промежуточное реле KV3 снимает напряжение с контактора KM, который отключает котлы. В аварийном режиме, если схема не сработает, замыкается контакт SK2, получает питание реле KV5, своим контактом запитывает реле KV6, которое подает напряжение в катушку независимого расцепителя

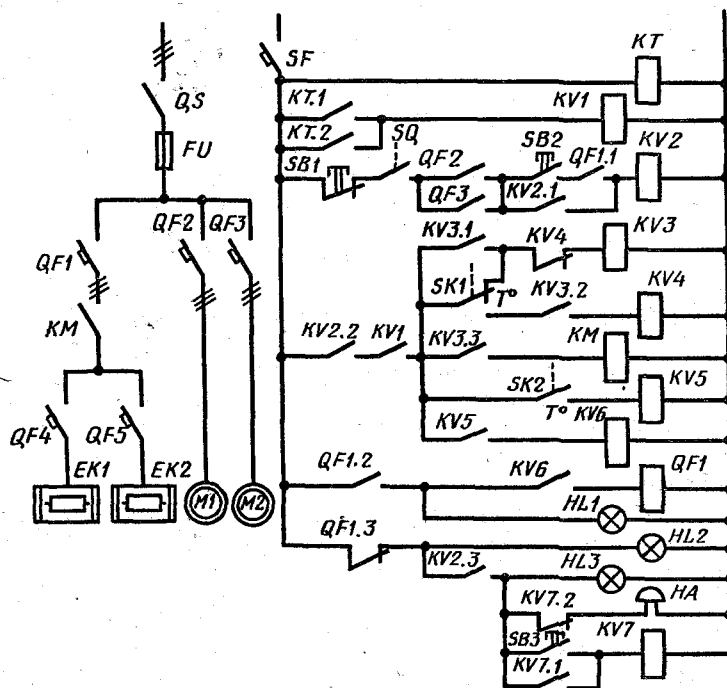


Рис. 18.12. Принципиальная электрическая схема электродной, приведенной на рисунке 18.11.

выключателя $QF1$, отключающего питание котлов. Блок-контакты $QF1.3$ включают аварийную световую ($HL2$) и звуковую (HA) сигнализацию. Снимают звуковой сигнал кнопкой $SB3$.

18.7. Особенности техники безопасности

Электротермическое оборудование, особенно электродные котлы и водонагреватели, представляют собой устройства повышенной электрической опасности. Их использование и эксплуатацию следует проводить в строгом соответствии с требованиями соответствующих руководящих материалов. Некоторые общие правила безопасной эксплуатации электродных котлов напряжением до 1000 В состоят в следующем.

1. Для эксплуатации разрешается использовать только электродные котлы и водонагреватели, изготовленные в соответствии с требованиями ГОСТ по техническим условиям, утвержденным

министерством, в ведении которого находится завод-изготовитель. Применять самодельные котлы и нагреватели запрещается.

2. Котлы, работающие под давлением, до ввода в эксплуатацию должны быть зарегистрированы в местных органах Госсельтехнадзора.

3. Электродные котлы необходимо устанавливать в отдельных помещениях (электродных), доступ в которые разрешается лишь специально инструктированным лицам.

4. Мощность работающих электродных котлов не должна превышать номинальную. Для этого удельное электросопротивление воды должно находиться в пределах, указанных в паспорте котла.

5. Корпус котлов напряжением до 1000 В и все металлические части, которые в результате повреждения изоляции могут оказаться под напряжением, должны быть присоединены к нулевому проводу. Нулевой провод повторно заземляют на вводе в помещение.

6. В сетях напряжением 380 В с глухо заземленной нейтралью, питающих животноводческие фермы, корпуса котлов не присоединяют к нулевому проводу, а для обеспечения безопасности обслуживания котлы изолируют от земли и ограждают металлической сеткой высотой не менее 1,7 м, которую надежно присоединяют к нулевому проводу. Выводы к трубопроводам холодной и горячей воды присоединяют через изолирующие вставки.

7. Трубопроводы тепловой сети заземляют не менее чем в двух точках, одна из которых должна быть в электродной. Общее сопротивление заземления трубопроводов (без учета заземления в электродной) должно составлять не более 4 Ом.

8. В помещениях с повышенной опасностью не допускается работа электродных котлов при неполнофазных режимах. Для предотвращения этого применяют специальные защиты или устройства выравнивания потенциалов, обеспечивающие напряжение прикосновения не выше 12 В.

9. Водогрейные котлы и водонагреватели следует присоединять к водопроводной сети и разборному трубопроводу только через изолирующие вставки. Сопротивление воды во вставке должно обеспечивать в аварийном режиме напряжение прикосновения не выше 12 В.

Длину вставки (м) определяют по формуле

$$l_{\text{вст}} = 1,4 \cdot 10^4 d^2 / \rho_{\text{в}}$$

где d — внутренний диаметр вставки, м; ρ_0 — удельное сопротивление воды при соответствующей температуре, Ом·м.

10. Все операции по обслуживанию аппаратов можно выполнять только при отключенном состоянии. Оперативный персонал, осуществляющий техническое обслуживание и эксплуатацию, должен иметь квалификационную группу по технике безопасности не ниже третьей.

11. Каждый котел должен быть снабжен табличкой с основными техническими данными, схемами электрического и тепло-механического оборудования и утвержденными инструкциями по эксплуатации.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определить расчетную мощность электротепловой установки для сельскохозяйственного объекта при свободном и принудительном графиках электропотребления? 2. Как устроены и по какому принципу действуют элементные и электродные водонагреватели? Где их применяют? 3. Как устроены и по какому принципу действуют электрические котлы? Где их применяют? 4. Как работают принципиальные электрические схемы водонагревателей типа ЭПЗ и САЗС? 5. Как работают принципиальные электрические схемы электрокотлов типа КЭВ и КЭПР? 6. Каково назначение электрокотельных? Назовите их основное электрооборудование. 7. Как работает принципиальная электрическая схема электрокотельной с двумя водонагревателями? 8. Каковы основные правила электробезопасности при эксплуатации электрических водонагревателей и котлов? 9. Как рассчитать длину изолирующей вставки для подключения электрических водонагревателей и котлов?

Практическое занятие № 11. ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Выбрать электрический водонагреватель для молочной фермы на 400 коров (без телят) для подогрева воды: 1) в системе автопоения при следующих исходных данных: суточная норма потребления воды на 1 голову $a = 0,065 \text{ м}^3$; температура воды $\theta_2 = 10^\circ\text{C}$; коэффициент суточной неравномерности потребления воды $k_c = 1,2$; коэффициент часовой неравномерности $k_h = 1,8$; потребление электроэнергии по свободному графику; 2) для обмывания вымени коров перед доением, мойки молочной посуды, доильной аппаратуры, молокопровода, расчетный тепловой поток системы с аккумулированием теплоты $\Phi_{\text{ак}} = 0,162 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч}$.

Температура воды в водопроводе в зимнее время $\theta_1 = +5^\circ\text{C}$.

Определяем суточный расход воды на поение:

$$m_1 = k_c k_h a N \rho = 1,2 \cdot 1,8 \cdot 0,065 \cdot 400 \cdot 1000 = 56\,160 \text{ кг в сутки,}$$

где $N = 400$ коров; $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ — плотность воды.

Здесь совмещенный максимум тепловых нагрузок Φ_{max} равен максимуму Φ_2 одного процесса — поения, а так как автопоение происходит круглые сутки, то

$$\Sigma \Phi_{\text{max}} = \Phi_2 = \frac{m_1 c (\theta_2 - \theta_1)}{24} = \frac{56\,160 \cdot 4,19 \cdot 5}{24} = 49\,700 \text{ кДж/ч.}$$

Мощность нагревателя определим по формуле (18.1), приняв $k_p = 1$ и $k_{\text{с.п}} = 1$:

$$P = \frac{49\,700}{3600 \cdot 0,9 \cdot 0,94} = 16,4 \text{ кВт.}$$

Принимаем к установке проточный водонагреватель САЗС-800/90-И1 номинальной мощностью 18 кВт (табл. 18.2).

Для аккумуляторной системы расчетную мощность водонагревателя определим по формуле (18.2):

$$P = \frac{1,1 \cdot 1,02 \cdot 0,162 \cdot 10^6}{3600 \cdot 0,9 \cdot 0,94} = 59 \text{ кВт.}$$

Выбираем два емкостных водонагревателя типа САОС-1600/90-И1, мощностью 30 кВт каждый.

Лабораторная работа № 9. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ ТИПА ЭПЗ

Цель работы. Изучить устройство, принцип действия, электрическую схему, основные правила безопасного обслуживания и приобрести навыки экспериментального исследования рабочих параметров водонагревателя.

Программа работы. 1. Изучить устройство, принцип действия, способ регулирования мощности, основы безопасного обслуживания электродного водонагревателя, выполнить его эскиз, изучить и зарисовать электрическую схему.

2. Пустить водонагреватель в работу и, регулируя расход водопроводной воды V_1 , установить температуру на выходе из теплообменника не выше 70°C . Записать потребляемую мощность и ток, температуру воды на входе θ_1 в водонагреватель и выходе θ_2 из него, на входе θ'_1 в теплообменник и выходе θ'_2 из него. Повышая подачу воды, снять 4...5 значений величин I , P , θ_1 , θ_2 , θ'_1 , θ'_2 , вычислить соответствующее им значение КПД и построить зависимости этих величин в функции подачи воды V_1 .

3. Исследовать работу водонагревателя в автоматическом режиме.

Содержание отчета. В отчет включить эскиз и технические данные водонагревателя, принципиальную электрическую схему, схему экспериментальной установки, данные приборов, таблицы измерений, графические зависимости.

19.1. Системы и виды электроотопления сельскохозяйственных помещений

Микроклимат как совокупность условий внешней среды играет огромную роль в жизнедеятельности животных и птиц, выращивании растений в защищенном грунте, в процессах хранения сельскохозяйственной продукции. Создание оптимальных условий микроклимата позволяет в животноводстве при одинаковом уровне кормления повысить прирост живой массы на откорме КРС на 20...25%, надой молока на 15...20%, сократить отход молодняка на 10...15%, повысить срок службы помещений, в защищенном грунте получать круглый год свежие овощи, в хранилищах на 10...20% снижать потери продукции.

Важнейший параметр микроклимата — температура, которая поддерживается в помещениях при помощи систем отопления и вентиляции или систем кондиционирования воздуха.

Системы электроотопления подразделяют по назначению (общего электроотопления, местного электрообогрева, смешанные), способу передачи теплоты (воздушного отопления, лучистого обогрева, кондуктивного обогрева), способности аккумулировать теплоту (аккумуляционные и не аккумуляционные). Виды электроотопления различают по применяемому оборудованию: электрокалориферное, электродотельное, электродечное и др.

Одни и те же условия микроклимата могут быть созданы различными системами отопления и видами оборудования, поэтому их выбор проводят на основе технико-экономических расчетов.

19.2. Оборудование и автоматизация систем общего электроотопления

Электрокалориферные установки. Электрические калориферы — это приборы для нагрева воздуха при помощи ТЭНов или открытых нагревателей. Электрокалориферные установки оснащаются центробежными или осевыми вентиляторами, устройствами регулирования мощности, подачи воздуха, управления, сигнализации и другими элементами. Установки предназначены для воздушного отопления помещений. Преимущество их состоит в том, что в одном агрегате сочетается воздушное отопление с приточной вентиляцией. Приток подогретого возду-

ха обеспечивает оптимальные параметры воздушной среды помещения по температуре, влажности и газовому составу в соответствии с требованиями санитарно-гигиенических норм.

В отопительно-вентиляционных системах сельскохозяйственных, производственных, культурно-бытовых и других помещений применяют электрокалориферные установки типа СФОЦ (С — установка сопротивления, Ф — индекс калорифера, О — работа в окислительной среде, Ц — укомплектована центробежным вентилятором). После буквенного обозначения, например, в установке СФОЦ-60/0,5-И2 (табл. 19.1) первая цифра означает мощность (кВт), вторая — предельную температуру нагретого воздуха (50 °С), И2 — исполнение. Воздух нагревается обреченными трубчатыми нагревателями или открытыми нагревателями из гофрированной (в установке СФОЦ-60/0,5-И2) ленты. Мощность электрокалориферов изменяют ступенчато в пределах от 100 до 33% номинальной путем изменения числа включенных трехфазных секций нагревателей или плавно при помощи тиристорных регуляторов. Подачу воздуха регулируют шиберной заслонкой, расположенной на выходном патрубке вентилятора. Для снижения вибрации вентилятор сочленен с калорифером при помощи мягкой вставки и установлен на виброизоляторах. Технические данные установок приведены в таблице 19.1, а общий вид — на рисунке 19.1. Установки рассчитаны на питание от сети трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 380/220 В. Максимальная температура выходного воздуха 50 °С, максимальная допустимая температура на поверхности обречения ТЭНов 180 °С.

19.1. Основные данные электрокалориферных установок

Тип установки	Установленная мощность, кВт		Подача воздуха, м³/ч	Масса, кг
	агрегата	нагревателей		
СФОЦ-25/0,5-И1	23,3	22,5	2500	200
СФОЦ-40/0,5-И1	47,2	45	3500	190
СФОЦ-60/0,5-И2	67,5	60	4500	190
СФОЦ-100/0,5-И1	97,5	90	5000	380
СФОЦ-16/0,4-И1	15,8	15	7000	58

Электрическая схема установок типа СФОЦ со ступенчатым регулированием мощности приведена на рисунке 19.2. Автоматическое управление работой установки осуществляется по температуре в помещении (температурные реле SK2, SK3). Термореле SK1 типа TP-200 служит для защиты нагревателей от перегрева. При включении установки в сеть работают

В системах отопления от топливных котельных электрокалориферные установки можно использовать в качестве резервных источников для покрытия пиков тепловой нагрузки при значительном снижении наружной температуры. Выпускаются специальные электрокалориферы — доводчики приточного воздуха, встраиваемые в распределительные воздуховоды. Они обеспечивают дополнительный подогрев воздуха в холодное время или в переходные периоды содержания молодняка, когда требуются повышенные температуры воздуха в помещении. Доводчики выпускают на мощности 2, 6 и 10 кВт, последние можно комплектовать самостоятельным вентилятором.

Выбирают электрокалориферные установки по тепловой мощности, необходимой подаче вентилятора. Эти параметры определяют при расчете отопления, вентиляции и аэродинамического сопротивления распределительных воздуховодов.

При известных подаче V_t ($\text{м}^3/\text{ч}$), температуре входящего в калорифер (холодного) воздуха θ_1 и температуре выходящего (нагретого) θ_2 воздуха тепловую мощность установки можно определить по формуле

$$P_2 = \frac{k_3 V_t \rho c (\theta_2 - \theta_1)}{3600 \eta}, \quad (19.1)$$

где k_3 — коэффициент запаса (1,05...1,10); ρ — плотность воздуха ($1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$); c — удельная теплоемкость воздуха ($1,0 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$); η — КПД установки (при размещении внутри помещения $\eta=1$).

В практических расчетах подачу воздуха определяют по удельным нормам расхода воздуха на голову скота (в системах отопления и вентиляции), на тонну продукта (в процессах сушки и активного вентилирования сельскохозяйственной продукции) и т. п. Удельные нормы подачи воздуха и его температура приводятся в ОНТП, СНиП и других руководящих материалах. Так, в системах приточной вентиляции необходимый воздухообмен (подача воздуха) для коров составляет $51...85 \text{ м}^3/\text{ч}$ на голову, телят — $11...26$, свиноматок — $35...70$, кур — $1,6...3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на голову, в установках активного вентилирования зерна и сена — $400...1000 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{т})$, при хранении картофеля и овощей — $50...250 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{т})$ и т. д.

Если условия работы выбранной установки отличаются от указанных в заводском паспорте, выполняют проверочный расчет. Задача проверочного расчета состоит в определении температуры воздуха на выходе из калорифера, которая не должна превышать 50°C , и температуры поверхности ТЭНов, допустимое значение которой 180°C .

Для электрокалориферных установок типа СФОЦ провероч-

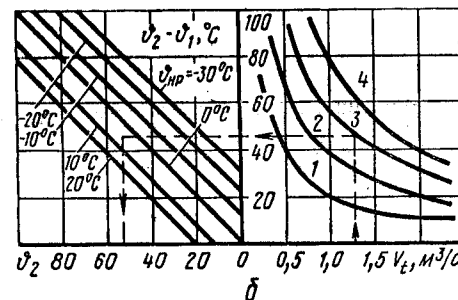
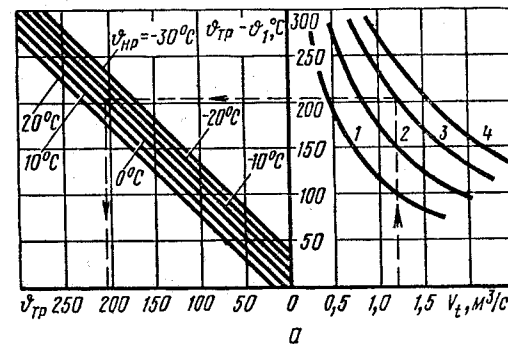


Рис. 19.3. Номограммы для определения температуры ТЭНов (а) и температуры выходящего воздуха (б) в электрокалориферных установках типа СФОЦ:

1 — СФОЦ-25/0,5-И1; 2 — СФОЦ-40/0,5-И1; 3 — СФОЦ-60/0,5-И1; 4 — СФОЦ-100/0,5-И1

ный расчет проводят по номограммам (рис. 19.3). По номограмме на рисунке 19.3, а по подаче воздуха V_t , типоразмеру выбранной установки и температуре наружного воздуха θ_{np} определяют температуру поверхности ТЭНов, а по номограмме на рисунке 19.3, б — температуру выходящего воздуха θ_2 . По этим графикам можно решать и обратную задачу: по подаче V_t и температуре нагретого воздуха θ_2 выбирать типоразмер электрокалориферной установки.

Приточно-вытяжные установки. В этих установках совмещены системы удаления загрязненного (внутреннего) воздуха, подачи и подогрева наружного (приточного) воздуха (рис. 19.4, а). Это достигается применением вентилятора 5 с двумя рядами лопаток, обеспечивающих движение воздуха в противоположных направлениях во внутреннем (вытяжном) 4 и наружном (приточном) кольцеобразном 3 воздуховодах. При необходимости приточный воздух подогревается электронагревателями 6. Смесительные заслонки 2 служат для регулирования степени рециркуляции воздуха. В холодный период заслонки открывают, и часть внутреннего воздуха, смешиваясь с наружным, вновь поступает в помещение через сопло 7.

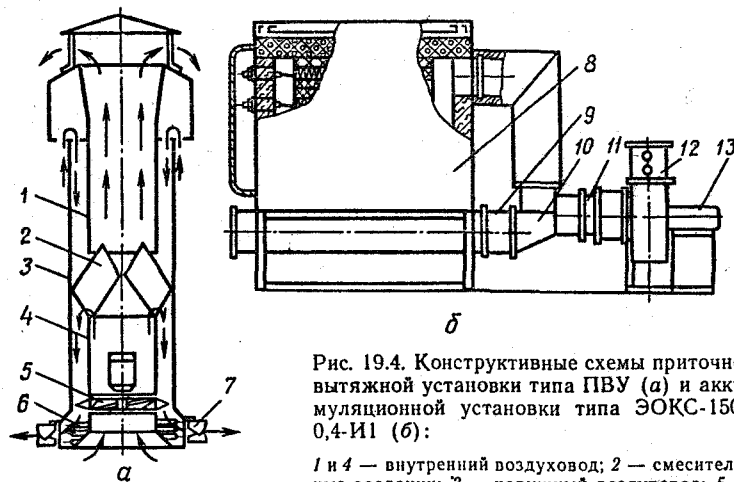


Рис. 19.4. Конструктивные схемы приточно-вытяжной установки типа ПВУ (а) и аккумуляторной установки типа ЭОКС-150/0,4-И1 (б):

1 и 4 — внутренний воздухопровод; 2 — смешительные заслонки; 3 — наружный воздухопровод; 5 — вентилятор с двумя рядами лопаток; 6 — электронагреватели; 7 — сопло; 8 — блок нагревателей; 9 — электрокалорифер; 10 — смеситель; 11 — патрубок; 12 — рукав; 13 — вентилятор.

Электрообогревательные печи и установки. Недостаток электрокалориферных установок состоит в том, что они не способны аккумулировать теплоту и могут работать только в режиме свободного электропотребления, что требует дополнительных мощностей энергосистем и надежного электроснабжения. Этих недостатков лишены электрические теплоаккумулирующие печи и установки. На рисунке 19.4, б приведена электрообогревательная установка ЭОКС-150/0,4-И1, предназначенная для подогрева вентиляционного воздуха в системах микроклимата животноводческих помещений при помощи теплоты, саккумулированной в часы «провалов» в суточном графике нагрузки энергосистем.

Внутри металлического корпуса расположены бетонные блоки (аккумулирующий сердечник) с каналами, в которых размещены нагреватели. Нагреватели включаются в основном в ночные часы и нагреваются до температуры 500...700 °С — происходит «зарядка» сердечника теплотой. Покрытый снаружи тепловой изоляцией теплоаккумулирующий сердечник способен длительное время сохранять запасенную теплоту. В состав установки входит электрокалорифер 2, который обеспечивает отопление в период «зарядки». В период «разрядки» воздух прогоняется по каналам в сердечнике, нагревается и подается в помещение. Установленная мощность нагревателей на аккумуляцию 105 кВт и на отопление в период зарядки 45 кВт, продолжительность «зарядки» 8 ч. Недостаток аккумулирующих печей —

повышенная установленная мощность нагревателей, в 2,5...4 раза превышающая мощность неаккумулирующих установок, что требует увеличения пропускной способности сетей и мощности трансформаторных подстанций.

Электроротельное отопление. Это отопление основано на использовании электроротлов как источников теплоты и обычных отопительных приборов (радиаторов, паровых или водяных калориферов и др.). Принципы электроротельного отопления были рассмотрены в п. 18.6.

19.3. Местный электрообогрев в животноводческих и птицеводческих помещениях

Системы общего отопления даже при высоком расходе энергии не всегда способны обеспечить 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 и др.). Рациональное решение этой проблемы находят в применении устройств местного (локального) электрообогрева, 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 подстильного материала, для высокоудойных коров и т. п.). При определенных условиях (работа в трудноотопляемых помещениях, например, цехах ремонтных и других производственных предприятий, на доильных площадках и т. п.) местный электрообогрев может оказаться необходимым для обеспечения нормальной производственной деятельности людей.

Применение местного электрообогрева позволяет решать две главные задачи: 1) экономить энергоресурсы, так как приближение источников теплоты непосредственно к зонам обитания животных позволяет использовать энергию более рационально; 2) повышать сохранность молодняка (в 3...4 раза) и продуктивность животных (на 10...15%) при неизменном уровне кормления.

Различают следующие виды (системы) местного электрообогрева: 1) лучистый; 2) конвективный; 3) конвективно-кондуктивный; 4) комбинированный, которые выполняют с использованием соответствующих устройств и поставляемых промышленностью установок.

Установки лучистого (инфракрасного) обогрева. Инфракрасные (ИК) лучи хорошо поглощаются влагой и поверхностями

ми **сл**оями тела животных, которые при этом быстро высушиваются и согреваются. Установки включают источники инфракрасных излучений — излучатели и арматуру для крепления излучателей, направленного концентрирования лучистого потока, подвода тока и др. Электрические излучатели подразделяют на «светлые» и «темные». В качестве «светлых» излучателей, имеющих температуру тела накала 1800...2200 °С, используют лампы-термоизлучатели ИКЗ-220-500, ИКЗК-220-250, ИКЗС-220-250, а также кварцевые лампы типа КИ, КГ и КГТ, а в качестве «темных» — ТЭНы с температурой оболочки 500...700 °С и керамические излучатели с замурованной спиралью или намотанной на керамические стержни оксидированной проволокой.

Источник излучения и арматура образуют облучатель, а при нескольких источниках в одном устройстве — установку инфракрасного обогрева. Промышленность выпускает широкий набор инфракрасных облучателей со светлыми излучателями (типа ССП-01-250, ОРИ, ОЭИ, «Латвиго» и др.), с ТЭНами (типа ОКБ), керамическими излучателями (ЭИ-1,0-И1, ЭИС-0,25-И1, ЭИС-11-И1, ИЭТ-40-И1 и др.), а также установки «Луч», «ИКУФ-1М» и др. со светлыми излучателями, брудер БП-1А с трубчатыми излучателями. В установке ИКУФ-1М инфракрасный обогрев (две лампы ИКЗК-220-250) совмещен с ультрафиолетовым облучением (эритемная лампа ЛЭ-15).

Облучатели и установки лучистого обогрева подробнее рассматриваются в разделе 5. К достоинствам этих средств относятся невысокие капитальные затраты, безынерционность действия, легкость перемещения с места на место, возможность применения практически в любых помещениях. Но им присущи и недостатки: малый срок службы ламп-термоизлучателей, повышенная пожароопасность, значительный расход электроэнергии из-за потерь в держателях и рассеяния в окружающую среду.

Применение обогрева только «сверху» не исключает простудных заболеваний из-за разницы температур облучаемой части тела животного и части, соприкасающейся с холодным полом.

Электрообогреваемые полы. Большими преимуществами обладает содержание животных, особенно молодняка, на теплом (обогреваемом) полу. При этом передача теплоты к телу животного осуществляется наиболее эффективным контактным (кондуктивным) способом, а также за счет конвекции воздуха от нагретой поверхности. Обогреваемые полы применяют в свиноматочниках, помещениях для поросят-отъемышей, в птичниках при напольном содержании, телятниках. В некоторых случаях

(отсутствие подстилки, частые маститы) их целесообразно применять в помещениях для дойных коров.

Для электрообогрева полов, а также почвы и воздуха в защищенном грунте, обогрева трубопроводов и других специфических объектов применяют специальные нагревательные провода марок ПОСХВ, ПОСХП, ПОСХВТ (провод обогревательный сельскохозяйственный с изоляцией соответственно из поливинилхлорида, полиэтилена и поливинилхлоридного пластика), технические данные которых приведены в таблице 19.2. Помимо нагревательных проводов, для обогрева полов иногда используют неизолированный оцинкованный стальной провод ПСО диаметром 4...6 мм. Более совершенными, но пока менее распространенными в устройствах обогрева полов являются нагревательные кабели марок ПНВСВ, КНРПВ и КНРПЭВ, которые имеют усиленную термостойкую изоляцию из кремнийорганической резины и поливинилхлоридного пластика, защитную оболочку из стальных оцинкованных проволочек.

19.2. Основные данные нагревательных проводов

Марка провода	Диаметр жилы, мм	Допустимая температура нагрева, °С	Линейное сопротивление жилы, Ом/м	Допустимая линейная мощность, Вт/м
ПОСХВ	1,1	70	0,174	7
ПОСХП	1,1	90	0,194	9
ПОСХВТ	1,4	105	0,120	11

Устройство электрообогреваемого пола показано на рисунке 19.5. В бетонное покрытие пола толщиной $(10...20) \cdot 10^{-2}$ м закладывают нагревательный провод в виде зигзага с определенным шагом h , определяемым расчетом. Над проводом размещают защитную металлическую сетку, служащую для предотвращения выхода потенциала на поверхность пола при повреждении изоляции провода. Сетку надежно соединяют с нулевым проводом питающей сети. Под бетонным покрытием устраивают тепло- и гидроизоляцию для уменьшения утечки теплоты в грунт и обратного проникновения грунтовой влаги.

Необходимая температура пола устанавливается зоотехническими нормами и зависит от вида и возраста животных: для поросят — от 22 до 28 °С, для свиноматок — 16...20 °С, для мясных цыплят — 35 °С и т. д. В одном и том же помещении могут содержаться взрослые животные и молодняк (например, свиноматки и поросята). Для создания в этом случае разных условий для животных (разной температуры пола) изменяют шаг укладки провода в пределах площадок для взрослых животных и мо-

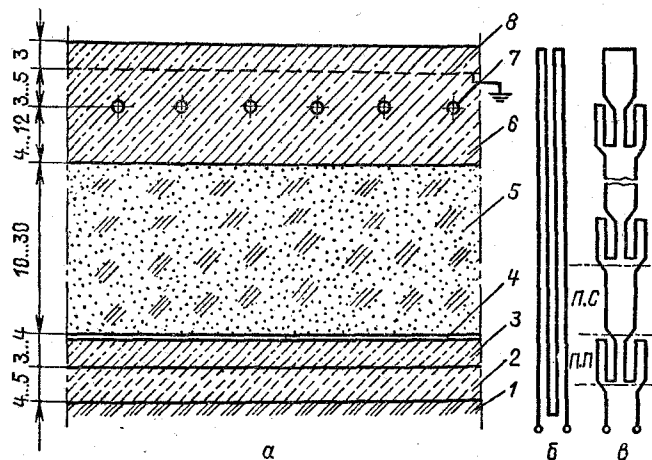


Рис. 19.5. Электрообогреваемый пол (размеры в см):

а — схематический разрез; *б, в* — способы укладки нагревательного провода; 1 — утрамбованный грунт; 2 — щебень; 3, 6 — бетон; 4 — гидроизоляция; 5 — теплоизоляция (котельный шлак); 7 — нагревательный провод; 8 — защитная сетка; П.С — площадка для свиноматок; П.П — площадка для поросят.

лодника (рис. 19.5, *в*). Чем гуще уложен провод (меньше шаг), тем температура пола выше, и наоборот.

Размер обогреваемых площадок принимают для поросят одного помета 1...1,4 м², для свиноматок — 2...2,8 м². В цыплятах при напольном содержании размер площадок устанавливают исходя из плотности посадки 60 голов на 1 м² для суточных цыплят и 80 голов на 1 м² для 30-дневных цыплят (ориентировочно ширина обогреваемой полосы составляет от 1/4 до 1/3 ширины помещения). Отрезки нагревательного провода, определяемые расчетом, распределяют равномерно по фазам и включают в звезду на сетевое или пониженное напряжение. Нагреватели всей обогреваемой площади разбивают на несколько трехфазных секций, каждая из которых имеет самостоятельное питание и регулятор температуры пола. Нагревательные элементы могут включаться вручную или автоматически.

Основные параметры обогреваемого пола определяют следующим образом. Поверхностная плотность теплового потока обогреваемого пола (Вт/м²)

$$\rho_0 = \frac{\alpha (\theta_{\text{п}} - \theta_{\text{в}})}{\eta}, \quad (19.2)$$

где α — коэффициент теплоотдачи от пола к воздуху (около 10 Вт/(м²·°С)); $\theta_{\text{п}}$ — температура поверхности пола, °С; $\theta_{\text{в}}$ — температура воздуха в помещении, °С; η — КПД обогреваемой полосы, равный 0,75...0,85 (меньшие значения — для поросят-сосунов, большие — для свиноматок).

Общая расчетная мощность обогреваемого пола

$$P = \rho_0 A. \quad (19.3)$$

Здесь A — общая обогреваемая площадь пола, м²,

$$A = N / \Delta N, \quad (19.4)$$

где N — общее поголовье животных; ΔN — плотность посадки, голов на 1 м².

Обогреваемый пол разбивают на самостоятельные трехфазные секции (обогреваемые участки). Мощность P_1 и обогреваемая площадь A_1 , приходящиеся на одну фазу одной секции,

$$P_1 = P / (3n), \quad A_1 = A / (3n), \quad (19.5)$$

где n — число секций.

Необходимая длина провода на одну фазу секции (м)

$$l_1 = P_1 / \Delta P, \quad (19.6)$$

где ΔP — линейная нагрузка провода (Вт/м), которая не должна превышать значений, указанных в таблице 19.2.

Шаг укладки

$$h = A_1 / l_1. \quad (19.7)$$

Число фазоветвей (параллельных отрезков провода в одной фазе)

$$z = \frac{P_1}{U_{\phi}} \sqrt{\frac{r}{\Delta P}}, \quad (19.8)$$

где U_{ϕ} — напряжение фазы, В; r — линейное сопротивление провода, Ом/м.

Электрообогреваемые полы могут оборудоваться из готовых элементов — бетонных или асфальтобетонных блоков (плит) с смонтированными нагревательными элементами и защитной сеткой. Блоки изготавливают централизованно и монтируют на месте. Например, плита бетонная электрообогреваемая ПБЭ-0,2-32 имеет размер 1,4 × 0,6 × 0,06 м, установленную мощность 220 Вт при питающем напряжении 32 В. На одну фазу последовательно включают три плиты, масса плиты 80 кг.

Переносные средства напольного обогрева. Недостаток электрообогреваемых полов — в сравнительно высоких единовременных затратах, трудностях с ремонтом поврежденных нагревательных элементов и с переоборудованием помещений. Переносные напольные средства обогрева, изготавливаемые промышленностью, обладают большой маневренностью. К ним относятся электрообогреваемые коврики ЭП-935, выполненные из двух слоев химвстойкой резины, между которыми заложен нагревательный провод. Мощность коврика 200 Вт, к сети его подключают через трехфазный понижающий трансформатор типа ТСЗ-2,5/1 с вторичным напряжением 36 В. Помимо ковриков, применяют бетонные электрообогреваемые панели, металлические панели с полупроводниковым пленочным нагревателем и другие устройства.

Системы местного комбинированного электрообогрева. В ряде случаев наибольший эффект в помещениях для молодняка достигается при комбинированном обогреве с использованием инфракрасных излучений и обогреваемого пола (так называемый

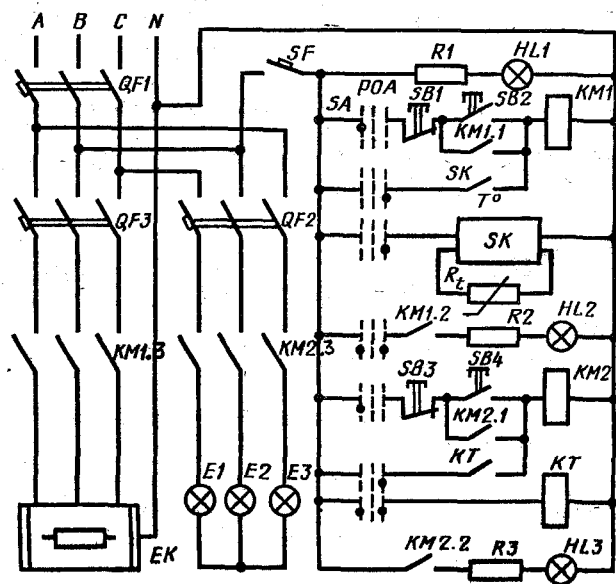


Рис. 19.6. Принципиальная электрическая схема местного комбинированного электрообогрева молодняка:
ЕК — нагревательные элементы обогреваемого пола; Е1...Е3 — источники ИК-обогрева.

ый обогрев «сверху» и «снизу»). При этом не исключается необходимость в системе общего отопления и вентиляции. Электрическая схема управления системой комбинированного обогрева приведена на рисунке 19.6. Включение ИК-ламп происходит по определенной программе, задаваемой реле времени КТ в соответствии с зоотехническими нормами, а управление работой пола осуществляется по его температуре при помощи терморегулятора SK. Электрообогревом можно управлять вручную, когда переключатель SA находится в положении P. Комбинированный обогрев может осуществляться переносными установками ЭИС-11-И1 «Комби» (для поросят-сосунков), размещаемых в станках (в комплект установки на 30 станко-мест входит 30 обогревательных устройств). Устройство состоит из ИК-облучателя ЭИС-0,25-И1 «Ирис» с керамическим излучателем мощностью 250 Вт, укрепляемого на керамической стойке, и расположенной на полу под облучателем электрообогреваемой панели мощностью 120 Вт. Автоматическое регулирование позволяет поддерживать температуру в диапазоне от 0 до 35 °С. Подобное по принципу действия устройство ЭИС-0,37-И1 «Руно» предназначено для комбинированного обогрева ягнят.

Системы комбинированного обогрева позволяют повысить суточный прирост живой массы молодняка при снижении расхода энергии на обогрев всего помещения на 30...40 %.

19.4. Электрические инкубаторы

Современное промышленное птицеводство немыслимо без искусственной инкубации яиц в электрических инкубаторах.

Для вывода полноценного молодняка птицы в инкубаторе должен быть создан строго определенный микроклиматический режим инкубации. Основными условиями, определяющими нормальное развитие эмбрионов яиц, являются температура воздуха в пределах 36...38 °С, относительная влажность воздуха от 45 до 70 %, достаточная вентиляция с кратностью воздухообмена от 6 до 36 в час и скоростью воздуха до 1,70 м/с. Кроме того, для нормального развития зародыша необходимо периодическое поворачивание яиц в лотках.

Современные инкубаторы типа ИКП-90 «Кавказ» вместимостью 91 728 яиц оснащены системами автоматического регулирования температуры и влажности. Диапазон автоматического регулирования температуры воздуха в инкубаторе от 36 до 39 °С при отклонении до $\pm 0,2...0,3^\circ$. Диапазон автоматического регулирования относительной влажности воздуха от 40 до 75 % при

отклонении до $\pm 3\%$. Инкубаторы имеют автоматическую систему охлаждения. Подогрев воздуха в инкубаторе осуществляется трубчатыми электронагревателями типа ЭТ-80 мощностью по 1 кВт (в одной камере находится 4 электронагревателя). Воздух увлажняется двухдисковым центробежным распылителем, вращающимся на валу электродвигателя. Система охлаждения воздушная. В камере располагаются три осевые вентилятора и один увлажнитель. Лотки с яйцами поворачиваются на угол 90° с частотой поворота 2 раза в час.

Инкубатор ИКП-90 «Кавказ» состоит из шести инкубационных камер и одной выводной камеры. Вместимость блока инкубационных камер — 78 624 яйцеместа, а выводной камеры — 13 104 яйцеместа. Установленная мощность инкубатора 34,2 кВт.

Электрооборудование обеспечивает создание и автоматическое поддержание необходимых параметров микроклимата. Все камеры имеют одинаковые электрические схемы (рис. 19.7). Режим в камере контролируется двумя терморегуляторами и одним влаготермостатом.

Автоматическое регулирование температуры в инкубаторе осуществляется следующим образом. Изменение температуры в камере ведет к изменению сопротивления установленного в ней платинового термометра (первичного преобразователя). Термометр включен в диагональ измерительного моста регулятора температуры SK1. Напряжение разбаланса моста, значение и знак которого зависят от сопротивления термометра (а значит и от температуры в камере), после усиления и соответствующих электрических преобразований, осуществляемых регулятором SK1, выдается в виде команд на пускатель KM1, включающий нагреватели EK1...EK4 на полную мощность, или на тиристор VS, включающий нагреватели EK1, EK2 на 50 % мощности, либо на тяговый магнит YA1, открывающий заслонки охлаждения. На принципиальной схеме показаны только выходные, входные цепи, а также цепи питания регулятора SK1.

Если температура в камере достигает значения $38,3^\circ\text{C}$, термоконтактор BK замыкает вход блока аварийной температуры SK2, который отключает промежуточное реле KV и включает лампу «авария» HL1.

В свою очередь, отключение реле KV приводит к отключению нагревателей EK1...EK4 (так как обесточивается катушка электромагнитного пускателя KM1 и отключается питание SK1) и включению электромагнита YA1, открывающего воздушную заслонку, включается звуковая сигнализация.

В качестве блока аварийного канала температуры в схеме

автоматики инкубатора используется терморегулятор, включающий в себя усилительное устройство УКТ-4, с ртутным контактным датчиком типа ТРК.

В качестве датчика влажности используется «увлажненный» термометр Sφ с магнитной регулировкой. Когда относительная влажность в камере выше заданного значения, контакты термометра Bφ замыкают вход регулятора влажности Sφ, который отключает соленоид увлажнения YA2 и сигнальную лампу HL6, показывающую, что влажность соответствует норме. Подача воды в камеру прекращается. Если влажность в камере ниже заданной, процесс протекает в обратном порядке.

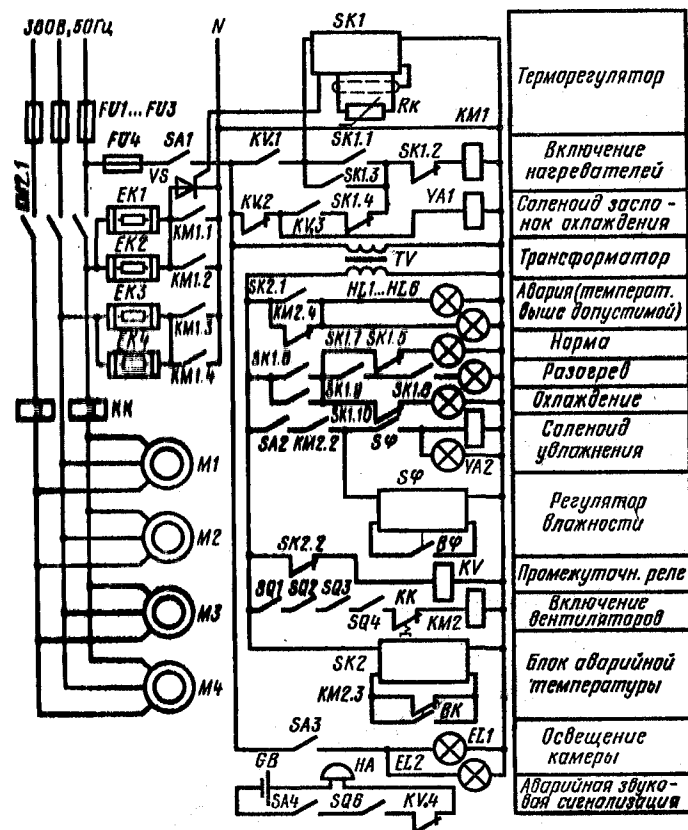


Рис. 19.7. Принципиальная электрическая схема инкубатора ИКП-90.

Электродвигатель *M4*, на валу которого закреплен диск распылителя, включается одновременно с электродвигателями вентиляторов (*M1...M3*) пускателем *KM2*.

При закрытых дверях и включенном тумблере *SA1* электродвигатели работают непрерывно. При открывании хотя бы одной двери размыкает контакты один из микропереключателей *SQ1...SQ4* и обесточивает катушку пускателя *KM2*, который, в свою очередь, отключает электродвигатели вентиляторов *M1...M3*. При этом загорается лампа *HL2* («Открытые двери»). Световая сигнализация (*HL1...HL6*) регистрирует тот или иной режим работы инкубатора. Освещение камеры осуществляется двумя лампами *EL1*, *EL2*. Освещение включается тумблером *SA3*.

19.5. Электрообогрев в парниках и теплицах

Виды и способы электрообогрева почвы и воздуха в парниках и теплицах. Для выращивания растений помещения защищенного грунта (парники и теплицы) оборудуют системами отопления, вентиляции, полива, добавочного освещения, предназначенными для создания надлежащих условий микроклимата, устанавливаемых агротехникой. Среди параметров микроклимата наиболее важный — температура внутри помещений.

Наиболее распространенные способы электрообогрева почвы и воздуха в парниках и теплицах — элементный и электрокалориферный.

Элементный обогрев почвы и воздуха осуществляют различными способами, отличающимися конструктивным выполнением нагревательных устройств, их размещением, значением питающего напряжения и др. В качестве нагревательных элементов используют нагревательные провода и кабели.

Для обогрева почвы нагревательные элементы размещают следующими способами: а) в асбоцементных или гончарных трубах, которые укладывают в слой песка под растительным слоем почвы (трубчатые нагревательные элементы); б) непосредственно в слое песка под почвой; в) в асфальтобетонном монолите под почвой. Частным случаем последнего способа является обогрев почвы асфальтобетонными нагревательными блоками.

Для обогрева воздуха нагревательные элементы подвешивают по конструкциям помещений (непосредственно или в асбоцементных трубах).

Для питания устройств почвенного и воздушного обогрева

используют сетевое (380/220 В) или пониженное (24...127 В) напряжение.

Для обогрева почвы трубчатыми нагревательными элементами (рис. 19.8,а) используют асбоцементные или гончарные трубы диаметром 100...150 мм, а для обогрева воздуха — трубы диаметром 50...75 мм. Для повышения электроизоляционных свойств асбоцементные трубы предварительно пропитывают в горячем битуме или трансформаторном масле. Стыки труб тщательно заделывают цементом, чтобы не попадала вода, в противном случае нагревательные элементы быстро выйдут из строя. Трубы защищают нагревательные элементы от механических повреждений, увеличивают безопасность обслуживания почвы. Увеличение диаметра почвенных труб способствует лучшему выравниванию температуры почвы.

Трубы почвенного и воздушного обогрева прокладывают с уклоном 0,002...0,003. Внутри труб на изолирующих опорных дисках протягивают нагревательный провод или голую оцинкованную проволоку. На выходе из труб провод крепят на изоляторах в монтажных каналах по торцам парника. При использовании голой проволоки питание осуществляют на пониженном напряжении, что требует применения понижающих трансформаторов и повышенного расхода материалов на подводящие провода и шины.

При обогреве в трубах достигается безопасность обслуживания, легкость смены перегоревшего провода, защита от механических повреждений. Однако это требует значительного числа труб. Так, на один стандартный двадцатиграмный парник (размеры по внутреннему обмеру 1,55×21,3 м, площадь поверхности остекления 32 м²) при двух почвенных и двух воздушных элементах требуется около 86 м асбоцементных труб. При непосредственной укладке в песок провод от повреждений защищают металлической сеткой с ячейками 30...50 мм, укладываемой в песок над проводом на расстоянии 50 мм (рис. 19.8,б), или бетонной стяжкой. Сетку заземляют, и она служит дополнительной мерой электробезопасности на случай повреждения изоляции провода. Шаг укладки провода в песок выбирают из условия, чтобы неравномерность температуры не превышала 3...4°. В среднем шаг принимают равным 100...150 мм. Для этого на 1 м² почвы требуется 4...6 м провода. В парниках шаг укладки у парубней меньше (100...110 мм), а посередине больше (150...160 мм). Для обогрева воздуха нагревательный провод подвешивают по строительным конструкциям или к несущему тросу при помощи специальных подвесок.

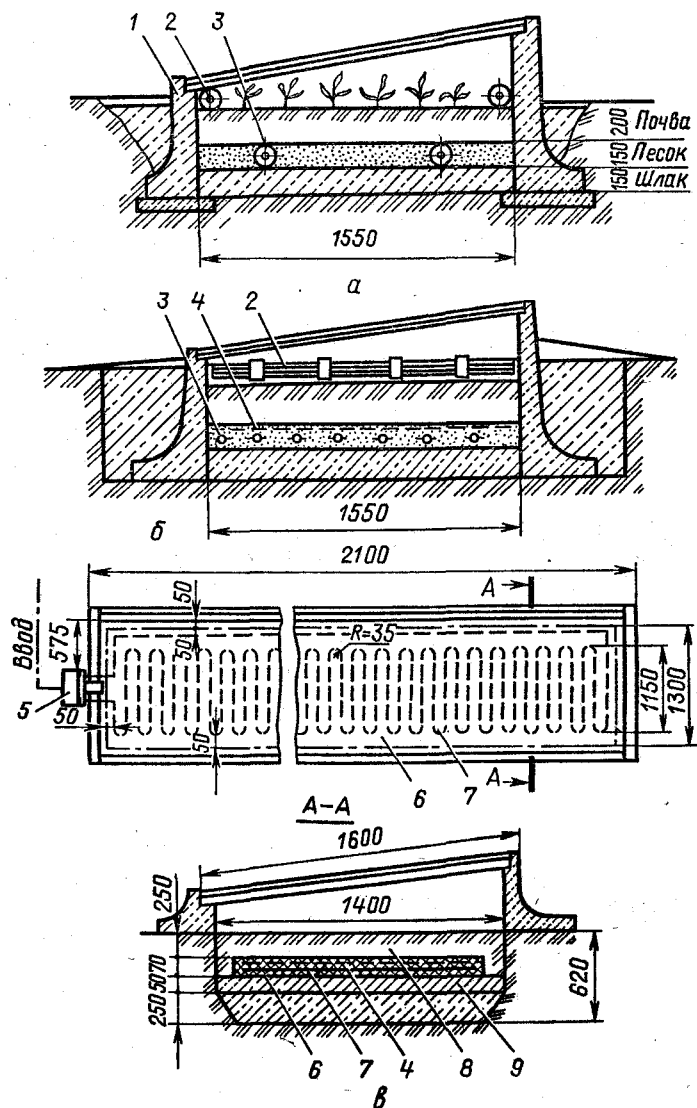


Рис. 19.8. Устройство электрообогрева почвы и воздуха в парниках:
 а — обогрев трубчатыми нагревательными элементами; б — обогрев нагревательным проводом в песке; в — обогрев асфальтобетонным монолитом;
 1 — парубки; 2 — элементы воздушного обогрева; 3 — элементы почвенного обогрева; 4 — защитная металлическая сетка; 5 — клеммная коробка; 6 — асфальтобетонный монолит с нагревательным проводом 7 и защитной металлической сеткой 4; 8 — почва; 9 — грунт.

Общую длину провода обогрева почвы и воздуха разбивают на ряд отдельных секций. Изменяя схему их включения, можно регулировать мощность обогрева.

Для обогрева почвы в парниках наиболее эффективно применять асфальтобетонный монолит размером $24 \times 1,1 \times 0,1$ м, в котором уложен нагревательный провод или голая оцинкованная проволока. Монолит закладывают под почвенный слой (рис. 19.8, в). Такой способ обеспечивает высокую теплоаккумулирующую способность устройств обогрева, безопасность обслуживания, а также равномерность распределения температуры. Аналогично выполняют обогрев почвы в теплицах. В стеллажных теплицах закрытые нагревательные элементы крепят под стеллажами.

Электрокалориферные установки применяют главным образом для обогрева воздуха в весенних пленочных теплицах, но их можно применять и для обогрева почвы по трубам, проложенным в подпочвенном слое.

Расчет нагревательных элементов. Мощность установок электрообогрева определяют из уравнения теплового баланса культивационного помещения. Она должна быть достаточной для компенсации потерь теплоты в окружающую среду в самом тяжелом — ночном режиме, когда отсутствует солнечная радиация, а расчетная наружная температура имеет минимальное значение. В практических расчетах мощность (Вт) установок для компенсации потерь теплоты определяют по приближенной зависимости

$$P = K(\Phi_n - \Phi_{\text{н}}) A_{\text{ост}}, \quad (19.9)$$

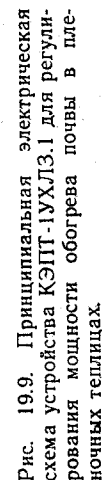
где K — приведенный коэффициент теплопередачи через остекления парников и теплиц, являющийся функцией скорости ветра, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. При изменении скорости ветра от 0 до 10 м/с значение K изменяется от 4 до 12 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $A_{\text{ост}}$ — площадь поверхности остекления, м^2 .

Возможные пределы удельной установленной мощности систем электрообогрева и расхода электроэнергии на обогрев парников весенних пленочных теплиц приведены ниже.

	Удельная установленная мощность систем электрообогрева, $\text{Вт}/\text{м}^2$	Удельный расход электроэнергии на обогрев, $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год
Парники	160...240	30...300
Теплицы	130...400	180...400

Расчетную мощность обогрева, определенную по (19.9), делят между почвой P_n и воздухом P_v в соотношении: для теплиц $P_n : P_v = 1:1$ или $1:2$, для парников $P_n : P_v = 1:1$ или $2:1$. Нагре-

При разогреве нагревательные элементы $EK1...EK3$ включаются на полную мощность P_n , а далее осуществляется двухпозиционное регулирование по программам реле времени KT , которое имеет две программы: на $0,5P_n$ (включенное и отключенное состояние по 20 мин) и на $0,25 P_n$ (включение составляет 15 мин, отключение 45 мин). Реле времени не позволяет включать нагрев в часы максимума нагрузки энергосистемы. Защиту устройства обогрева от токов утечки осуществляет реле утечки KA с датчиком TA . Сигнал с KA поступает в катушку независимого расцепителя автоматического выключателя QF , который отключает питание. При срабатывании A , а также при открывании двери теплицы (конечный выключатель SQ) подается световой сигнал «Авария» (лампа $HL1$). Снимают сигнал кнопкой SB . Вольтметр PV с переключателем $SA2$ служит для контроля целостности нагревательных проводов по фазам. Сигнальные лампы



HL3 предупреждают персонал о включении нагревательных элементов под напряжение и одновременно контролируют наличие питания на всех трех фазах. При выходе из строя тиристоров питание на нагрузку подается через *QF* после перевода переключателя *SA1* в положение 2.

19.6. Электрооборудование и автоматизация систем микроклимата в хранилищах сельскохозяйственной продукции

Хранение растениеводческой продукции (картофеля, овощей, корнеплодов, фруктов) в буртах, траншеях, не приспособленных помещениях приводит к потерям 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...5 °С, для корнеплодов +0,5...1 °С, лука 0...3 °С 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, расольные 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°. 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 электрическая схема шкафа приведена на рисунке 19.10.

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 *У*. 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 *КТ. 1*) 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 хранения (*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 обо-

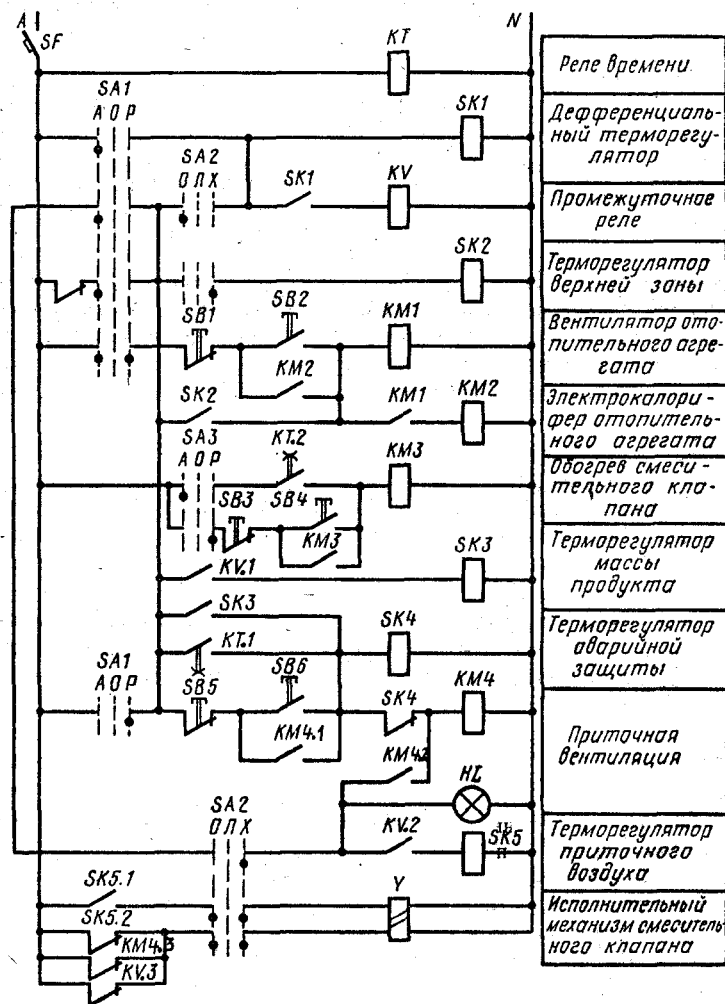


Рис. 19.10. Принципиальная электрическая схема автоматического управления температурным режимом в картофеле- и овощехранилищах.

дования, защиту компрессоров холодильных машин от аварийных режимов, сигнализацию, регулирование температуры и влажности воздуха в камерах, его циклическое перемешивание.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие вы знаете системы и виды отопления сельскохозяйственных помещений? 2. Каково устройство электрокалориферных установок в сельскохозяйственном производстве и где их применяют? 3. Как работает принципиальная электрическая схема электрокалориферной установки типа СФОЦ со ступенчатым регулированием мощности? 4. Как работает принципиальная электрическая схема тиристорного регулирования мощности электрокалориферной установки? 5. Как выбирают электрокалориферную установку и проводят проверочный расчет? 6. Что такое нагревательные провода и кабели, где их применяют, каковы их технические данные? 7. Устройство, применение и определение основных параметров электрообогреваемых полов. 8. Как работает принципиальная электрическая схема инкубатора ИКП-90? 9. Какие существуют способы и устройства электрообогрева почвы и воздуха в парниках и теплицах? 10. Какое оборудование применяют для регулирования микроклимата в хранилищах растениеводческой продукции? Объясните принципиальную электрическую схему шкафа управления ШАУ-АВ.

Практическое занятие № 12. ВЫБОР И ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ

Молочная ферма на 400 голов с родильным отделением на 30 телят имеет отопительно-вентиляционную систему на водяных калориферах, питаемых от топливной котельной. Расчетная температура наружного воздуха -25°C , но по многолетним наблюдениям возможно снижение наружной температуры до -30°C . Выбрать электрокалориферную установку в качестве резервного источника отопления, покрывающего пик тепловой нагрузки в случае снижения наружной температуры до -30°C для предотвращения потерь новорожденных телят.

Считая, что основные потери теплоты происходят с вентиляционным воздухом, определим подачу воздуха, приняв воздухообмен на одну голову для коров $70 \text{ м}^3/\text{ч}$, для телят $-20 \text{ м}^3/\text{ч}$:

$$V_t = 70 \cdot 400 + 20 \cdot 30 = 28600 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

В соответствии с ОНТП 1-77 температура воздуха в коровниках при привязном содержании поддерживается на уровне $+10^{\circ}\text{C}$.

Общую потребную мощность отопления при наружной температуре -30°C определим по формуле (17.18) с учетом (17.13):

$$P = \frac{k_s m_t c (\theta_2 - \theta_1)}{3600 \eta} = \frac{k_s V_{\text{ос}} (\theta_2 - \theta_1)}{3600 \eta} =$$

$$= \frac{1,1 \cdot 28600 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot [10 - (-30)]}{3600 \cdot 0,9} = 466 \text{ кВт},$$

где $m_t = \frac{V \cdot \rho}{3600}$ кг/с, ρ — плотность воздуха, $\eta = \eta_1$ — КПД системы отопления, который можно принять равным 0,9.

Мощность электрокалориферной установки $P_{\text{эку}}$ должна обеспечить подогрев внутреннего воздуха на 5° (при снижении наружной температуры от -25 до -30°C), то есть эта мощность должна составить $\frac{5}{40}$ общей потребной мощности:

$$P_{\text{эку}} = P \cdot \frac{5}{40} = 466 \cdot \frac{5}{40} = 58,5 \text{ кВт},$$

где 40°C — общий перепад температуры внутреннего и наружного воздуха.

Выбираем установку СФОЦ-60/0,5-И2 установленной мощностью 60 кВт (табл. 19.1).

Выполним проверочный расчет выбранной установки по температуре ТЭНов $\theta_{\text{тр}}$ и температуре выходящего воздуха θ_2 , используя номограммы на рисунке 19.3. Для номинальной подачи воздуха выбранной установки $V_1 = 4500 \text{ м}^3/\text{ч} = 1,2 \text{ м}^3/\text{с}$ при начальной температуре воздуха $\theta_{\text{тр}} = +5^\circ\text{C}$ (установка подогревает внутренний воздух от 5 до 10°C) из рисунка 19.3,а получим $\theta_{\text{тр}} = 200^\circ\text{C}$, а из рисунка 19.3,б $\theta_2 = 53^\circ\text{C}$.

Таким образом, $\theta_{\text{тр}} > 180^\circ\text{C}$, $\theta_2 > 50^\circ\text{C}$. Учитывая небольшие превышения $\theta_{\text{тр}}$ и θ_2 допустимых значений и небольшую продолжительность использования резервной установки, можно остановиться на выбранной установке или взять две установки: СФОЦ-40/0,5-И2 и СФОЦ-25/0,5-И1, которые по суммарной мощности отвечают расчетной и укладываются в нормативные требования по $\theta_{\text{тр}}$ и θ_2 .

Практическое занятие № 13. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАЕМОГО ПОЛА

Определить основные параметры электрообогреваемого пола для поросят в свинарнике-маточнике на 100 станков. Питание нагревательных элементов от сети 380/220 В, температура воздуха в помещении 14°C .

В соответствии с ОИТП-2-77 принимаем температуру пола $\theta_n = 24^\circ\text{C}$, размер обогреваемой площадки на один станок $1,2 \text{ м}^2$.

Мощность с 1 м^2 обогреваемого пола по (19.2)

$$P_0 = 10(24 - 14)/0,8 = 125 \text{ Вт/м}^2.$$

Общий размер обогреваемой площади $A = 100 \cdot 1,2 = 120 \text{ м}^2$.

Общая мощность пола

$$P = 125 \cdot 120 \cdot 10^{-3} = 25 \text{ кВт}.$$

Разбиваем обогреваемую площадь пола на 4 самостоятельные секции. Мощность P_1 и площадь обогреваемого пола A_1 , приходящиеся на одну фазу секции, по (19.5)

$$P_1 = 25/(3 \cdot 4) = 2,1 \text{ кВт}, A_1 = 120/(3 \cdot 4) = 10 \text{ м}^2.$$

Выбираем для обогрева провод ПОСХП и линейную нагрузку $\Delta P = 10 \text{ Вт/м}$. Необходимая длина провода на одну фазу секции

$$l_1 = 2,1 \cdot 10^3 / 10 = 210 \text{ м}.$$

Шаг укладки провода в пол по (19.7)

$$h = 10/210 = 0,048 \text{ м}.$$

При соединении в звезду число параллельных ветвей в фазе по (19.8)

$$z = \frac{2,1 \cdot 10^3}{220} \sqrt{\frac{0,194}{10}} = 1,4.$$

Принимаем $z = 1$.

Лабораторная работа № 10. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ ТИПА СФОЦ

Цель работы. Изучить устройство, электрическую схему, конструкцию электрических нагревателей, приобрести навыки обслуживания и экспериментального исследования рабочих характеристик электрокалориферной установки.

Программа работы. 1. Изучить конструкцию и выполнить эскизы установки, электрического нагревателя, подобрать необходимые приборы и собрать схему питания.

2. Исследовать зависимость температурного перепада воздуха, температуры поверхности ТЭНов, КПД, удельного расхода электроэнергии на нагрев воздуха от его подачи (4...5 значений).

3. Изучить и зарисовать принципиальную электрическую схему установки, исследовать ее работу в автоматическом режиме.

Содержание отчета. Включить в отчет эскизы установки и ТЭНа, электрическую схему установки, ее технические данные, табличные и графические зависимости исследования. Сделать выводы по работе.

Глава 20. ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ для СУШКИ и ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

20.1. Установки для активного вентилирования зерна и сена

Электрический нагрев можно использовать во всех современных способах тепловой сушки: конвективной, кондуктивной, терморadiационной. В электрических сушилках процесс сушки не имеет каких-либо принципиальных отличий от огневых сушилок, меняется только способ получения теплоты. Собственно электрическим способом сушки, имеющим свои особенности, является лишь сушка в электрическом поле высокой частоты.

Активное вентилирование с электроподогревом воздуха — наиболее эффективный и экономичный способ сушки. Он широко распространен. Чаще всего его применяют для зерна и сена.

Активное вентилирование зерна применяют для кратковременной консервации зерна перед сушкой в зерносушилках (для предупреждения самосогревания при хранении) и собственно для сушки.

Активное вентилирование зерна проводят в закромах или специальных вентилируемых бункерах (рис. 20.1).

Атмосферным воздухом без подогрева зерно сушат, если влажность воздуха не превышает 65%. Только при этих условиях влажность зерна можно довести до 13...15%. В противном случае воздух необходимо подогревать. Подогрев на один градус снижает влажность воздуха на 5%. Сушка без подогрева воздуха малопроизводительна и иногда приводит к ухудшению качества зерна. Поэтому всегда предпочтительнее использовать подогрев.

Большое значение имеет активное вентилирование сена, при котором значительно сокращаются потери ценных питательных веществ и в частности каротина. Предварительно скошенную траву провяливают на солнце до влажности 35...40%. После этого укладывают в сенохранилища или под навесы на специально устроенные воздухораспределители из перфорированных

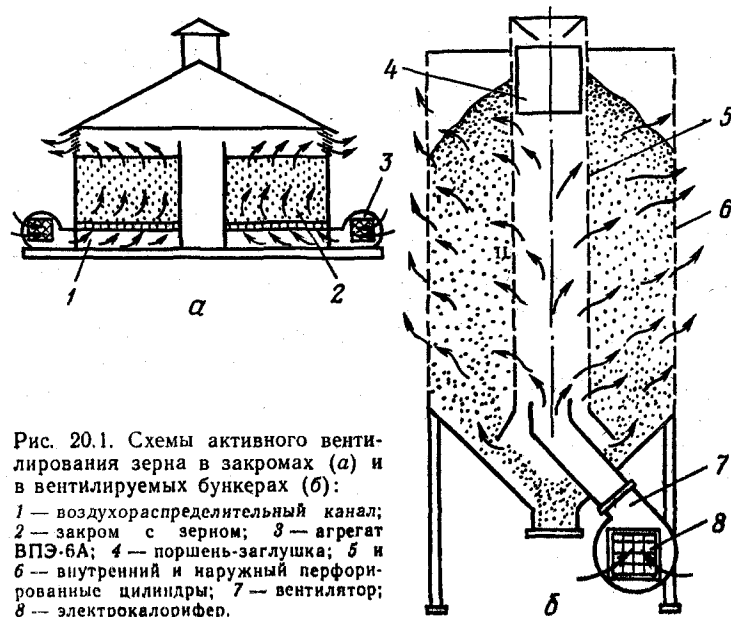


Рис. 20.1. Схемы активного вентилирования зерна в закромах (а) и в вентилируемых бункерах (б):

1 — воздухораспределительный канал; 2 — заком с зерном; 3 — агрегат ВПЭ-6А; 4 — поршень-заглушка; 5 и 6 — внутренний и наружный перфорированные цилиндры; 7 — вентилятор; 8 — электрокалорифер.

труб или коробов из досок, жердей и т. п. Сено укладывают и просушивают послойно толщиной 1...1,5 м. Каждый слой продувают воздухом от вентилятора в течение двух-трех дней до влажности 26...30%. Общая толщина слоя 4...6 м, влажность верхнего слоя должна быть 17...18%.

Прессованное сено, имеющее влажность более 25%, досушивают в штабелях с внутренними воздухораспределительными каналами, образованными из кип сена.

Для активного вентилирования зерна в закромах (рис. 20.1, а) используют агрегат ВПЭ-6А (воздухонагреватель электрический, подача воздуха 6 тыс. м³/ч), оборудованный высоконапорным вентилятором и ТЭНами. Агрегат устанавливают снаружи помещения и по мере обработки перемещают от одного закома к другому, присоединяя к воздухораспределительной сети. Установленная мощность агрегата ВПЭ-6А 26 кВт, в том числе нагревателей — 16 кВт. Регулирование подачи воздуха осуществляют при помощи жалюзи на входе в агрегат, а мощности — числом включенных групп ТЭНов.

В бункерах активного вентилирования (рис. 20.1, б) осуществляется более равномерная и качественная сушка. Бункер состоит из двух концентрических перфорированных цилиндров 5 и 6, образующих кольцеобразную камеру, в которую загружается влажное зерно. Центробежный вентилятор 7 забирает наружный воздух и нагнетает его в центральный цилиндр. Воздух пронизывает слой зерна от внутреннего цилиндра к наружному и отбирает излишнюю влагу. При влажности наружного воздуха более 65% включается электрокалорифер 8, в котором воздух подогревается на 5...6°.

Наиболее распространен в практике вентилируемый бункер БВ-25 (бункер вентилируемый вместимостью по пшенице 25 т). Установленная мощность бункера 41,5 кВт, в том числе подогревателей воздуха 36 кВт, подача воздуха 5600 м³/ч. Менее распространены бункеры БВ-6, БВ-12,5, БВ-40 вместимостью соответственно 6, 12,5 и 40 т и установленной мощностью 12, 23 и 64 кВт, а также аналогичный по устройству бункер К878 (производство ГДР) вместимостью 39 м³ и установленной мощностью 15,5 кВт.

Для досушивания рассыпного и прессованного сена применяют установку УДС-300. Она состоит из электрокалорифера с осевым вентилятором и системы распределительных воздухопроводов. Подогрев воздуха осуществляется ТЭНами, смонтированными в трубчатом кожухе. Температура воздуха повышается на 2,5°. Сезонная производительность установки 50...60 т высоко-

качественного сена. Электрическая мощность 19,5 кВт, в том числе воздухоподогревателей — 15 кВт, напряжение питания 220/380 В, подача вентилятора 20 тыс. м³/ч.

Установки активного вентилирования выпускают со шкафами управления и автоматизации. Принципиальная электрическая схема шкафа (ШАИ 5903-23АЗУЗ) для бункера БВ-25 приведена на рисунке 20.2. Бункер может быть включен в работу только после заполнения зерном, когда замкнется контакт датчика уровня *SL*. При этом включается световая *HL* и звуковая *HA* сигнализация. Звуковой сигнал снимают кнопкой *SB7*. Переключателем *SA* устанавливают режим управления работой бункера: *A* — автоматический, *P* — ручной.

Автоматическое управление сушкой зерна осуществляется при помощи влагорегуляторов *Sφ1*, *Sφ2*, *Sφ3*. Регулятор *Sφ3* контролирует относительную влажность воздуха φ на выходе из бункера. Контакт *Sφ3* размыкается при $\varphi > 65\%$ и остается замкнутым при $\varphi < 65\%$. В последнем случае зерно имеет влажность около 14% и находится в гигроскопическом равновесии с продуваемым воздухом. Регуляторы *Sφ1* и *Sφ2* измеряют

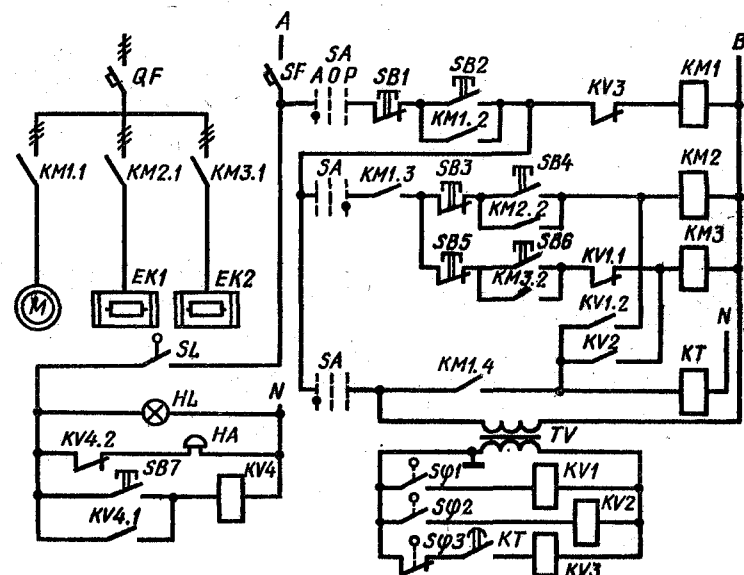


Рис. 20.2. Принципиальная электрическая схема управления бункером активного вентилирования.

влажность окружающего воздуха. Контакт *Sφ1* замыкается при относительной влажности воздуха более 70%, а *Sφ2* — при влажности воздуха более 80%. Пускают электродвигатель вентилятора кнопкой *SB2*. При замыкании блок-контакта *KM1.4* запускается реле времени *KT*, имеющее выдержку времени 200 с. По истечении этого срока замыкается контакт *KT* в цепи промежуточного реле *KV3*. Если зерно влажное, то выходящий воздух будет иметь $\varphi > 65\%$, и к моменту замыкания контакта *KT* контакт *Sφ3* разомкнется и вентилятор будет продолжать работать. При относительной влажности окружающего воздуха более 70% замкнется *Sφ1* и через пускатель *KM2* получит питание и включит первую секцию нагревателей *EK1*, а при $\varphi > 80\%$ замкнется *Sφ2* и включит вторую секцию нагревателей *EK2*. Когда влажность выходящего воздуха станет ниже 65%, разомкнется контакт *Sφ3* и отключит вентилятор и нагреватели.

Бункеры активного вентилирования выбирают по мощности электроподогревателей воздуха и подаче воздуха. Мощность определяют расчетом процесса конвективной сушки с использованием $h - d$ (энтальпия — влагодержание) диаграммы влажного воздуха. Подробно эти вопросы рассмотрены в курсе теплотехники.

Расчетную мощность электроподогревателей воздуха определяют по формуле

$$P = \frac{V_t (h_1 - h_0)}{3600\eta},$$

где V_t — подача воздуха; h_0, h_1 — энтальпии воздуха на входе и выходе из калорифера; η — КПД электрокалорифера (0,91...0,95).

20.2. Установки для инфракрасного и высокочастотного нагрева при сушке и тепловой обработке материалов

Нагрев инфракрасными излучениями отличается высокой интенсивностью подвода теплоты к материалу, возрастающей по сравнению с конвективной в десятки раз. Вследствие этого резко возрастает испарение влаги внутри материала.

Интенсивный радиационный нагрев возможен лишь для материалов, обладающих высокой поглощательной способностью к инфракрасным излучениям, при толщине нагреваемого слоя, не превышающей глубину проникновения излучений. В сельскохозяйственном производстве инфракрасный нагрев применяют для сушки и дезинсекции зерна, предпосевной обработки семян, обработки зернофуража, пастеризации молока, сушки электрической изоляции, окрашенных поверхностей и т. п.

Для сушки зерна используют длинноволновое излучение с длиной волны 3,7...5,5 мкм, что соответствует температуре излучателей 527...728 К. При постоянном облучении в зерне создаются большие градиенты температуры. Поэтому для зерна наиболее целесообразно прерывистое облучение с одновременным обдуванием холодным воздухом. При этом значительно ускоряется процесс и снижается расход электроэнергии.

Обработка кормового зерна инфракрасными излучениями повышает его усвояемость организмом животных. Однако этот процесс, называемый микронизацией, отличается высокой энергоемкостью и пока широкого практического применения не получил. Разработаны опытные образцы инфракрасных пастеризаторов молока и других пищевых жидкостей. Действие их основано на высокой поглощательной способности молока к инфракрасным излучениям. При облучении в тонком слое нагрев молока происходит очень быстро при сравнительно невысоких расходах электроэнергии. На пастеризацию 1 л молока требуется мощность 12...16 Вт, что в 2...3 раза меньше, чем при обычной тепловой пастеризации, в 1,5 раза возрастает сохранность молока. Пастеризацию проводят при температуре 76 °С, оптимальная длина волны инфракрасных излучений 2,9...3,2 мкм.

Большими преимуществами в процессах сушки и тепловой обработки сельскохозяйственных продуктов и кормов обладают токи высокой частоты (ТВЧ).

При ВЧ сушке можно допускать большие температуры внутри зерна, не опасаясь нарушения целостности оболочки. Это ускоряет процесс сушки и повышает производительность сушильных установок. Для сушки зерна используют частоты 10...12 МГц.

Применение ТВЧ позволяет во многих случаях значительно ускорить процесс сушки, особенно для материалов в толстом слое и с низкой проницаемостью к инфракрасным излучениям, для которых неприменима терморadiационная сушка.

Однако процессы сушки весьма энергоемки, имеют сравнительно низкий энергетический КПД, поэтому применение электронагрева в них связано со значительными расходами электроэнергии. Так, в конвективных сушилках зерна с электронагревом воздуха расход электроэнергии составляет 1,3...1,9 кВт·ч на 1 кг испаренной влаги, в терморadiационных — 1,4...2,2 кВт·ч, в высокочастотных — 1,8...3,5 кВт·ч. Поэтому электросушка экономически целесообразна главным образом в сочетании с другими видами сушки (гелиосушка, топливные сушилки).

Высокочастотная пастеризация молока отличается быстрым действием, равномерностью прогрева, обеспечивает минимальные изменения его качества и свойств. Наилучшие результаты

пастеризации достигаются при частотах 35...50 МГц и скорости нагрева 40 °С·с⁻¹. При высокочастотной пастеризации происходит прямой нагрев не только жидкостной части молока, но и, в частности, микроорганизмов, что позволяет осуществлять селективный нагрев и за счет этого снижать температуру пастеризации до 50 °С, подобрав частоту, наиболее губительную для микроорганизмов. Расход электроэнергии в высокочастотных пастеризаторах довольно высок и составляет 0,05...0,06 кВт·ч/л, что является основным их недостатком.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего применяется и как осуществляется активное вентилирование зерна и сена? 2. Как устроен бункер активного вентилирования зерна и как работает его принципиальная электрическая схема управления и автоматизации? 3. Какими параметрами определяется мощность электроподогревателей в установках активного вентилирования? 4. Где применяется инфракрасный и высокочастотный нагрев в процессах сушки и тепловой обработки сельскохозяйственных материалов?

Глава 21. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ И ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ

21.1. Компрессорные холодильные машины

Охлаждение — важнейший способ сохранения качества и удлинения сроков сохранности сельскохозяйственных продуктов, замедляющий протекание в них биологических процессов. Холодильные машины и установки широко применяются на прифермских молочных, предприятиях переработки сельскохозяйственной продукции, в хранилищах картофеля, овощей, фруктов. Охлаждение основано на переносе теплоты от охлаждаемой среды с нижним температурным уровнем T_n к окружающей среде с температурой T_o ($T_n < T_o$). Этот же принцип можно использовать для нагрева материалов и сред. В этом случае охлаждаемая среда, имеющая температуру T_n , служит низкотемпературным источником теплоты, которая переносится к нагреваемой среде с верхним температурным уровнем T_o ($T_n > T_o$).

В обоих случаях происходит изменение (трансформация) температурного потенциала предмета труда: при охлаждении — понижение, а при нагреве — повышение. Устройства, осуществляющие перенос теплоты от среды с более низкой температурой к среде с более высокой температурой, называют трансформаторами теплоты. В зависимости от целей процесса один и тот

же трансформатор теплоты может охлаждать рабочую среду, работая как холодильная машина, либо нагревать рабочую среду, работая как тепловой насос, либо одновременно охлаждать одну рабочую среду и нагревать другую (комбинированный режим). Последний режим наиболее эффективен в энергетическом и экономическом отношениях.

Согласно законам термодинамики, перенос теплоты от среды с более низкой к среде с более высокой температурой возможен только при потреблении трансформатором теплоты внешней энергии (электрической, механической и др.).

Трансформаторы теплоты (холодильные и теплонасосные установки) могут быть компрессионными (механическими), абсорбционными (термохимическими), полупроводниковыми (термоэлектрическими). Наибольшее распространение имеют компрессионные трансформаторы теплоты, а наиболее совершенные и перспективные термоэлектрические.

Принципиальная схема трансформатора теплоты компрессионного типа приведена на рисунке 21.1, а. Трансформатор включает компрессор 1, конденсатор 2, терморегулирующий вентиль 3, испаритель 4, которые объединены замкнутой герметической системой трубопроводов. В системе циркулирует рабочая жидкость (холодильный агент) с низкой температурой кипения. Чаще всего используются холодильный агент R12 (фреон-12) — дифтордихлорметан CF_2Cl_2 с температурой кипения $-29,7^\circ\text{C}$ и холодильный агент R717 — аммиак NH_3 с температурой кипения $-33,4^\circ\text{C}$.

На участке системы 4—1—2 фреон находится в парообразном состоянии, на участке 2—3—4 — в сжиженном. Компрессор создает и поддерживает на участке 1—2—3 высокое, а на участке 3—4—1 низкое давление. Работа протекает следующим образом. В испарителе 4 жидкий фреон, испаряясь, поглощает теплоту охлаждаемой среды или низкопотенциального источника (воздух, водопроводная вода, охлаждаемое молоко и др.), который подается в испаритель насосом (вентилятором) 5. Компрессор отсасывает из испарителя пары фреона, сжимает их до давления конденсации и подает в конденсатор 2, где они сжижаются, отдавая теплоту окружающей среде или приемнику теплоты (воздух, вода и т. п.), подаваемому в конденсатор насосом (вентилятором). В терморегулирующем вентиле 3 жидкий фреон дросселируется до давления кипения.

Холодильные установки характеризуются холодильным коэффициентом ε и холодопроизводительностью P_x . Холодильный коэффициент — это отношение количества теплоты, отбираемой от охлаждаемой среды за один цикл работы компрессора, к ко-

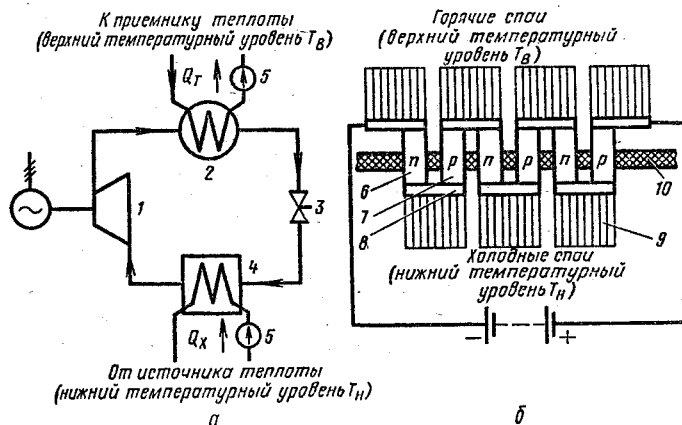


Рис. 21.1. Принципиальные схемы трансформаторов теплоты компрессионного типа (а) и термоэлектрического типа (б):

1 — компрессор; 2 — конденсатор; 3 — терморегулирующий вентиль; 4 — испаритель; 5 — насос (вентилятор); 6 и 7 — ветви термоэлементов с электронной (n) и дырочной (p) проводимостью; 8 — пластина спая термоэлементов; 9 — радиаторы; 10 — перегородка, изолирующая горячие и холодные спай.

личеству затраченной на это энергии, а холодопроизводительность — это количество теплоты, отбираемой от охлаждаемой среды в единицу времени. Приблизительно их можно определить следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{Q_x}{W \eta_k \eta_d}, \quad (21.1)$$

$$P_x = Q_x/t = mc (\phi_1 - \phi_2)/t = m (h_1 - h_2)/t, \quad (21.2)$$

где Q_x — количество теплоты, отбираемое от охлаждаемой среды за промежуток времени t (с), кДж; W — энергия, потребляемая электродвигателем компрессора за время t , кДж; η_k — КПД компрессора (0,6...0,7); η_d — КПД электродвигателя; m — масса охлаждаемой среды, кг; c — удельная теплоемкость охлаждаемой среды, кДж/(кг·°C); ϕ_1, ϕ_2 — начальная и конечная температура, °C; h_1, h_2 — начальная и конечная энтальпия охлаждаемой среды, кДж/кг.

В сельском хозяйстве используются различные по назначению, конструктивному исполнению, холодильным агентам холодильные машины и установки компрессионного типа (табл. 21.1.).

21.1. Некоторые холодильные машины и установки, применяемые в сельском хозяйстве

Наименование и тип машины (установки)	Холодо-производительность, кВт	Область применения
Холодильная установка МХУ-12Т	9,9	Охлаждение молока в молочных танках
Холодильная машина ИФ-56М	3,5	Охлаждение камер для хранения молочной продукции
Водоохлаждающая машина АВ-30	38,9	Охлаждение воды для охлаждения молока на фермах
Фреоновая автоматизированная холодильная машина ХМ 1-30	34,8	Охлаждение свежесобранного зерна
Холодильная машина Х-100	18,6	Создание микроклимата в фруктохранилищах

21.2. Термоэлектрические холодильники

В термоэлектрических холодильниках трансформатором теплоты является термоэлектрическая батарея, составленная из большого числа последовательно соединенных полупроводников (термоэлементов) с электронной n и дырочной p проводимостью (рис. 21.1, б). В основе работы термоэлектрических трансформаторов теплоты лежит явление Пельтье. При пропускании постоянного электрического тока от положительного p элемента к отрицательному n в месте их контакта (спая) происходит выделение теплоты, а при обратном направлении тока — поглощение. Таким образом, в термоэлектрической батарее чередуются горячие спаи, в которых выделяются теплота — верхний температурный уровень $T_в$ и холодные спаи, поглощающие теплоту, — нижний температурный уровень $T_н$.

Физическая сущность явлений термоэлектрического охлаждения и нагрева состоит в следующем. В месте спая двух разнородных проводников возникает внутренняя (контактная) разность потенциалов, обусловленная разной работой выхода электронов. При пропускании тока по цепи термоэлементов в одном контакте, где направление потока электронов совпадает с контактной разностью потенциалов, кинетическая энергия электронов возрастает и спай нагревается. В другом спая контактная разность потенциалов тормозит электроны (им необходимо преодолеть энергетический барьер, на что требуется энергия) и спай охлаждается. При перемене направления тока положение меняется на обратное.

Теплота, выделяемая горячими спаями или поглощенная холодными, носит название теплоты Пельтье и определяется по формуле

$$Q_p = PI, \quad (21.3)$$

где P — коэффициент Пельтье, В; I — сила тока в цепи термоэлементов, А.

Коэффициент Пельтье

$$P = (\alpha_1 - \alpha_2) T, \quad (21.4)$$

где α_1, α_2 — коэффициенты термо-ЭДС ветвей термоэлемента, В/К; T — температура соответствующего спая, К.

Поместив холодные спаи в холодильную камеру, а горячие — вне ее, получим термоэлектрический холодильник. В практике животноводства применяются небольшие по мощности переносные термоэлектрические холодильники, питающиеся от сухих элементов и предназначенные для быстрого охлаждения и хранения биологических объектов, используемых в селекционной работе и ветеринарии.

21.3. Электротепловые насосы

Тепловые насосы первоначально применялись для отопления зданий, поэтому их экономичность стали оценивать так называемым *отопительным коэффициентом*

$$\varphi = Q_1 / W, \quad (21.5)$$

где Q_1 — количество теплоты, сообщаемое тепловым насосом нагреваемой среде; W — затраченная на это работа.

В трансформаторах теплоты компрессионного типа

$$Q_1 = Q_2 + W,$$

так как потребителю теплоты сообщается не только теплота Q_2 , отнятая у низкопотенциального источника, но и теплота, эквивалентная затраченной в компрессоре работе W . Следовательно,

$$\varphi = (Q_2 + W) / W = \varepsilon + 1. \quad (21.6)$$

В современных электротепловых насосах коэффициент φ находится в пределах 2...4, то есть на единицу затраченной энергии можно получить 2...4 единицы теплоты.

Наибольший экономический эффект тепловые насосы дают при комбинированном производстве теплоты и холода (совместный цикл работы). В этом случае эффективность работы

тепловых насосов характеризуют коэффициентом преобразования энергии

$$\psi = (Q_x + Q_y) / W = 2\varepsilon + 1, \quad (21.7)$$

который может достигать значений 4...5. Выпускаются компрессионные фреоновые тепловые насосы НТ-25, НТ-40, НТ-80 тепловой мощностью от 11,6 до 128 кВт, термоэлектрические ТН-1,5, ТН-3, ТН-5, ТН-7,5 теплопроизводительностью от 2,9 до 14,5 кВт. Тепловые насосы применяют главным образом в системах кондиционирования воздуха жилых помещений южных районов страны, а также в крупных хранилищах сельскохозяйственной продукции.

Термоэлектрические трансформаторы теплоты представляют собой обратимые устройства. Они позволяют осуществить обратное преобразование тепловой энергии в электрическую. Нагревая одни спай и поддерживая температуру других неизменной, на зажимах термобатарей получают ЭДС (эффект Зеебека). На этом принципе основано применение измерительных термопар (термопара — элементарная термобатарея), термоэлектрических генераторов и др. Для электроснабжения небольших объектов в труднодоступных и отдаленных районах (юрт оленеводов, высокогорных баз чабанов и т. п.) применяют термоэлектрические генераторы «Север» мощностью 200 Вт, работающие на жидком топливе или газе. Генератор выполнен в виде вертикального цилиндра диаметром 0,55 и высотой 1 м. Одновременно с производством электроэнергии установка отапливает помещение.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое трансформаторы теплоты и где их применяют? 2. Каков принцип действия трансформатора теплоты компрессионного типа? 3. Каков принцип действия термоэлектрического трансформатора теплоты? 4. Какими энергетическими показателями характеризуют эффективность холодильных машин и тепловых насосов?

Лабораторная работа № 11. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Цель работы. Изучить устройство, работу, технологическую и электрические схемы холодильной компрессорной машины (установки) и экспериментально установить ее энергетические показатели.

Программа работы. 1. Изучить устройство, правила ввода установки в действие и ее обслуживания, технологическую и электрическую схемы.

2. Пустить установку в действие и проверить работу при ручном управлении и в автоматическом режиме.

3. Экспериментально определить холодопроизводительность и холодильный коэффициент установки, измерив массу воды в баке и воспользовавшись формулами (21.1) и (21.2). КПД электродвигателя принять из заводского паспорта.

Содержание отчета. Включить в отчет принципиальные технологическую и электрическую схемы, результаты измерений и вычислений.

Глава 22. ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА РЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ И В БЫТУ

22.1. Электротермическое оборудование ремонтных предприятий

Ремонтно-механические мастерские хозяйств и ремонтных предприятий Госагропрома оснащаются разнообразным электротермическим оборудованием: электрическими печами, электросварочными и высокочастотными установками, соляными и щелочными ваннами и др.

Электрические печи. Сельскохозяйственные ремонтные предприятия оснащаются в основном камерными электропечами сопротивления с металлическими нагревателями. Печи рассчитаны на работу в окислительной (воздушной) среде (типа СНО) или с защитной газовой средой (типа СНЗ). Камерные печи сопротивления — простейшие из выпускаемых промышленностью, и в то же время они наиболее универсальны и применяются для нагрева деталей под закалку, отпуск, отжиг, нормализацию, цементацию, пайку твердыми припоями, нагрев заготовок под ковку, штамповку, прессование. Печи сопротивления с металлическими нагревателями подразделяются на низкотемпературные (до 700 °С), среднетемпературные (до 1200 °С) и высокотемпературные (до 1300 °С). При более высоких температурах применяются печи с нагревателями из дисилицида молибдена, карборунда и других неметаллических материалов.

На небольших ремонтных предприятиях наиболее распространены однозонные камеры печи типа СНО (С — сопротивление, Н — нагревательная, О — нагрев в окислительной среде). Печи выпускаются на мощность от 12 до 125 кВт, максимальная температура в рабочей камере 1000 °С. Конструкция печи (рис. 22.1) включает рабочую камеру, сложенную из огнеупоров и тепловой изоляции, заключенную в металлический кожух. На внутренних огнеупорных стенках камеры смонтированы открытые электрические нагреватели из нихрома круглого или прямоугольного сечения.

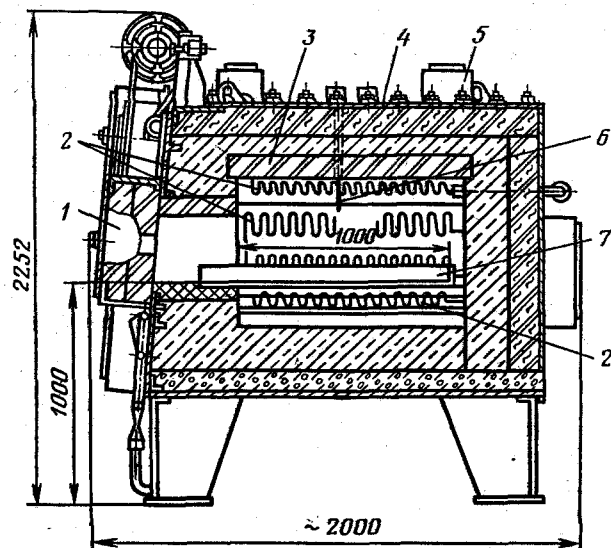


Рис. 22.1. Камерная электропечь:

1 — дверца; 2 — нагреватели; 3 — футеровка; 4 — кожух; 5 — коробка выводов; 6 — термопара; 7 — подовая плита.

Электрические печи типа СНО подключают к сети непосредственно или через автотрансформаторы. Для управления печами выпускаются щиты управления типа ИЗР (измерение, запись и регулирование температуры) или более простые (для маломощных печей) типа ИР (рис. 22.2). Нагреватели печи *ЕК* питаются через автотрансформатор *ТВ*, который включается в сеть контактором *КМ1*. Дверца печи поднимается и опускается электродвигателем *М*, управляемым реверсивным пускателем *КМ2*. В верхнем и нижнем положениях электродвигатель отключается конечными выключателями *SQ1* и *SQ2*. В отключенном состоянии электродвигатель затормаживается электромагнитом *У*. Нагреватели могут включаться и отключаться вручную (переключатель *SA* в положении *Р*) или автоматически (положение *А*) при помощи терморегулятора *СК*.

Датчиком температуры терморегулятора служит термопара *ВК*, устанавливаемая в верхней зоне рабочей камеры печи. Благодаря высокой тепловой инерции печи двухпозиционное регулирование температуры осуществляется только одним контактом *СК2*. Контакт *СК1* замыкается при превышении темпера-

туры в печи выше максимального значения. При этом загорается сигнальная лампа *HL1*, обращая внимание персонала на ненормальный режим. Автоматическое включение нагревателей возможно только при закрытой дверце, когда замыкается блокировочный контакт *SQ2.2*. Лампы *HL2* (красная) и *HL3* (зеленая) сигнализируют о включенном и отключенном состоянии нагревателей.

Срок службы открытых нагревателей печей сопротивления составляет до 10 000 ч.

Электродные соляные ванны предназначены для жидкостной химико-термической обработки изделий (цементация, цианирование), нагрева под закалку, пайку твердыми припоями. Нагрев осуществляется в расплаве солей, находящихся в сварном металлическом тигле. Теплота в ванне выделяется при прохождении тока по расплаву между электродами. Рабочая температура достигает 850 °С. Питание к электродам подается от понижающих трансформаторов.

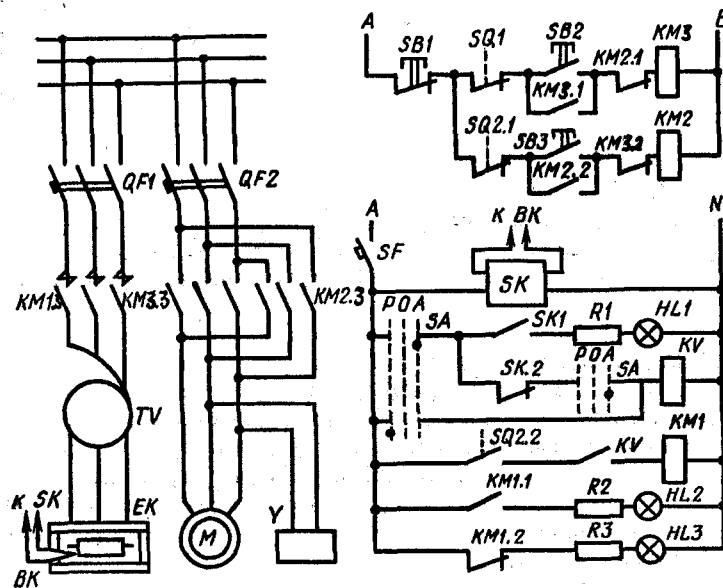


Рис. 22.2. Принципиальная электрическая схема управления камерной электропечью:

ЕК — электронагреватели печи; *М* — электродвигатель привода дверцы; *У* — электромагнит привода дверцы.

Электрические масляные и щелочные ванны предназначены для отпуска деталей и инструмента после закалки. Рабочая температура составляет 200...250 °С. Обогрев осуществляется ТЭНами.

Преимущества нагрева в жидкостных ваннах состоят в более быстром и равномерном нагреве, особенно деталей сложной формы. Недостаток ванны: большой расход электроэнергии, длительность разогрева, тяжелые условия труда, особенно при обслуживании соляных ванн.

Электросварочное оборудование и высокочастотные установки. Операции сварки, наплавки, резки металлов являются одними из самых распространенных при ремонте сельскохозяйственной техники. На ремонтных предприятиях сварочные работы отличаются разнообразием свариваемых деталей по толщине и различными видами материалов, поэтому одним из основных требований к сварочному оборудованию является его универсальность.

Для ручной дуговой сварки, резки и наплавки используются сварочные трансформаторы, выпрямители (гл. 17), вращающиеся преобразователи типа ПСО-300, ПСО-500, ПД-303, ПСТ-500 и др. В хозяйствах и на предприятиях распространены передвижные сварочные агрегаты (АСБ-300М, АДД-305, ПАС-400 и др.) с приводом от двигателей внутреннего сгорания, представляющие собой сочетание сварочного генератора и бензинового или дизельного двигателя, установленных на прицепе. На ремонтных предприятиях применяют также установки электроконтактной сварки, агрегаты вибродуговой наплавки, металлизации и др.

Установки средней и высокой частоты применяют в процессах ремонта техники для поверхностной закалки деталей и инструмента, плавки металлов, сквозного нагрева заготовок, подогрева деталей перед наплавкой при высокочастотной металлизации и т. п. Особенно важна роль поверхностной закалки деталей. Сочетание твердой износостойкой поверхности и вязкой сердцевины обеспечивает высокий срок службы деталям, подвергающимся поверхностному износу в сочетании с ударными нагрузками. Поверхностная закалка инструмента повышает его эксплуатационную стойкость в 4...5 раз по сравнению с термообработкой в печах.

Низкотемпературные установки. Моечные машины и ванны с электроподогревом моющего раствора используют для мойки узлов тракторов и автомобилей перед разборкой, мойки и очистки деталей, реконсервации подшипников и т. п. Для подогрева моющих растворов до температуры 85...95 °С используют труб-

чатые нагреватели, встраиваемые непосредственно в ванны. В некоторых машинах детали после мойки подсушивают встроенными электросушилками (калориферами). По техническому исполнению устройства для подогрева растворов мало отличаются от устройств для электронагрева воды (гл. 18). Удельный расход электроэнергии находится в пределах от 0,20 до 0,25 кВт·ч на 1 кг деталей.

Электровулканизаторы применяют для местного ремонта резиновых камер, покрышек, а также различных резиновых и прорезиненных изделий. Вулканизаторы выполняют стационарными или переносными с элементным или электропаровым обогревом в различном конструктивном оформлении. Изделие зажимают между двумя электронагреваемыми металлическими поверхностями, повторяющими форму изделия, и нагревают до температуры 130...150 °С. Необходимая температура поддерживается терморегулятором, а выдержка — при помощи реле времени. Достоинства электровулканизаторов — точность поддержания температуры, небольшие масса и размеры.

22.2. Бытовые электронагревательные установки и приборы

Типовые устройства электронагрева в бытовых электроприборах. Бытовые электронагревательные приборы по принципу действия не отличаются от производственных электротермических установок соответствующего назначения и выполняются с соблюдением тех же норм и правил. Наиболее распространены в быту электронагревательные приборы сопротивления: электрические плиты, водонагреватели, чайники, кофейники, самовары, утюги, отопительные приборы и др. Номенклатура их непрерывно расширяется, охватывая все новые тепловые процессы быта. В бытовых приборах наиболее распространены трубчатые электронагреватели (ТЭНы), которые применяют в напольных электроплитах, жарочных шкафах, водонагревателях, утюгах, самоварах и т. д. В электрических плитах применяют также закрытые нагревательные элементы в виде спиралей, запрессованных в металлическом корпусе, заполненном порошкообразной изоляционной массой.

В некоторых приборах (утюги, чайники и др.) применяют нагревательные элементы в виде спиралей с напаянными на них керамическими бусами. Спираль могут быть уложены в каналы керамического основания. Такие элементы недостаточно надежны из-за боя бус, низкой механической прочности керамических конструкций, быстрого окислительного разрушения спиралей,

особенно в местах контактов. В электрических каминах применяют открытые нагревательные элементы из спиралей на керамических стержнях. Недостаток их в отсутствии защиты от механических повреждений, возможности попадания и сгорания на них пыли, большей пожарной опасности.

Температуру в бытовых электронагревательных приборах регулируют либо ступенчато путем переключения схемы соединения нагревательных элементов (для чего в приборе предусматривают не менее двух элементов), либо плавно. Для регулирования температуры чаще всего применяют биметаллические терморегуляторы.

Бытовые электроприборы бывают обычно однофазными и питаются напряжением 127 или 220 В от розеток квартирной электросети, куда подключаются двух-, трехпроводным многожильным проводом, заключенным в резиновую оболочку.

Электрические плиты и другие приборы для приготовления пищи. Напольные электрические плиты — наиболее мощные и универсальные установки для приготовления пищи. Плиты могут быть стационарными и переносными на мощности 3,2...8 кВт с 2...4 конфорками, жарочными шкапами, шкафами для сушки кухонной посуды. Конструкция электроплит по композиции аналогична традиционной конструкции газовых плит. Конфорки представляют собой круглые (диаметром 145...180 мм) закрытые прессованные или литые нагревательные элементы (со спиралью или ТЭНами), имеющие 5...7 ступеней регулирования мощности. Регулирование выполняют переключателями, ручки которых установлены на передней стенке плиты. Жарочные шкафы (духовки) оборудуют ТЭНами. Промышленность выпускает электроплиты ЭБЧШ-6-4-7/220 «Электра 1002», ЭБЧШ-6-4-7/220 «Электра-люкс», ЭБЧШ-6-4-8/220 «Электра 1001», ЭБЧШ-5-3-5,8/200 «Томь» размером 0,85×0,6×0,6 каждая с диапазоном регулирования температуры в жарочном шкафу от 50 до 300 °С. Вторая после букв цифра в марке означает число конфорок, третья цифра — номинальную мощность (кВт).

Все большее распространение получают бытовые электроплиты, основанные на сверхвысокочастотном (СВЧ) нагреве. Это плиты прямого действия, в них пищевые продукты нагреваются электромагнитными волнами частотой 2300...2500 МГц. В СВЧ-плитах продолжительность приготовления блюд сокращается в десятки раз при значительном повышении их качества, исключено подгорание продуктов, угар масла при жарении и т. д., работа их полностью автоматизирована. Источником питания СВЧ-плит являются магнетроны непрерывного генерирования. Промышленность выпускает СВЧ-плиты «Волна», «Славянка»,

«Волжанка» колебательной мощностью соответственно 0,5; 1,0 и 2,2 кВт, а также другие типы плит. Плиты работают на специально выделенных частотах, чаще всего 2375 МГц. В стране работает около 5 млн. таких плит. Экономистами подсчитано, что с учетом всех факторов это наиболее экономичный способ приготовления пищи в условиях села.

Электрические плитки относятся к переносным приборам. Они выпускаются одно- или двухконфорочными мощностью 600...2000 Вт с 3...4 ступенями регулирования мощности. Распространены электроплитки «Нева-1» (ТС-1/1,0-Н), «Нева-2» (ТС-2/2,0-Н), «Экран-1» (ШС-1/0,8-Н) мощностью соответственно 1000, 2000 и 800 Вт и др. Помимо этого, в широком ассортименте выпускаются электрические чайники, самовары, кофеварки, шашлычницы, сковороды, печи для выпечки кондитерских изделий и другие приборы.

Электрические водонагреватели. Воду в быту нагревают при помощи кипятильников и водонагревателей. Кипятильники представляют собой ТЭНы, свитые в петлю или спираль и оборудованные шнуром и вилкой. Их выпускают на мощность 300...1200 Вт. Кипятильники допустимо включать в сеть только тогда, когда они погружены в жидкость.

Электроводонагреватели могут быть быстросействующими (проточными), аккумуляционными и комбинированными. Значительное распространение получили аккумуляционные водонагреватели серии УНС (УНС-10, УНС-40, УНС-60, УНС-100 вместимостью соответственно 10, 40, 60 и 100 л). Мощность водонагревателя УНС-100 составляет 2,5 кВт, вода до 85 °С нагревается в течение 4 ч. Благодаря теплоизоляции вода сохраняется горячей в течение длительного времени. Водонагреватели отключаются от сети термоограничителем при достижении температуры 85 °С.

Электрические утюги. Утюги выпускаются трех типов: без регулирования температуры нагрева (УЭ-2А, УЭ-54, ЗУ-5 и др.), с терморегулятором (УТ-1000-1,2, УВСМ-100-0,4, УЭ-12 и др.) и с терморегулятором и пароувлажнителем (УТП-1000-2, УТАП-1000-1,8 и др.). Мощность находится в пределах от 300 до 1000 Вт. В большинстве случаев нагрев осуществляется встроенными ТЭНами. При помощи терморегуляторов температуру подошвы утюга можно изменять от 80 °С (глажение капроновых тканей) до 240 °С (льняных тканей).

Приборы микроклимата. Оптимальные параметры микроклимата в жилых помещениях достигаются главным образом при помощи обогревательных приборов и бытовых кондиционеров. Обогревательные приборы, предназначенные для дополнитель-

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что относится к основному электротермическому оборудованию ремонтного производства и в каких процессах его применяют? 2. Как устроена электрическая печь сопротивления, где применяют электрические печи, соляные и масляные ванны? 3. Как работает принципиальная электрическая схема камерной печи сопротивления? 4. Какова социальная и экономическая значимость электрификации быта сельского населения? 5. Каковы принципы электронагрева в бытовых электроприборах и какие есть типовые электронагревательные устройства? 6. Вследствие каких причин возникают пожары при использовании бытовых электроприборов? 7. Какие основные меры обеспечивают безопасное использование бытовых электронагревательных приборов?

Глава 23. МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

23.1. Применение электрических полей

Электрические поля применяют для воздействия на заряженные мелкодисперсные частицы с целью придания им упорядоченного движения, необходимого для осуществления определенных технологических процессов. В сельскохозяйственном производстве получили распространение методы очистки, сортирования и предпосевной обработки семян, осаждения ядохимикатов, окраски в электрическом поле, очистки воздуха и др.

Электрические сепараторы зерна. Электрическую очистку и сортирование семян проводят в электрических сепараторах зерна. По сравнению с механическими машинами они позволяют получать семена более высоких кондиций, с лучшими посевными качествами, дающими более высокую урожайность. Электросепараторы зерна различают по способу зарядки частиц (электростатические, электрокоронные, диэлектрические, трибоэлектрические) и по конструктивному выполнению (камерные, барабанные, транспортные, решетные).

Наиболее простой по принципу действия электрокоронный сепаратор камерного типа (рис. 23.1, а). Зерно поступает из бункера в поле коронирующих проводников и получает отрицательный заряд. Разные по размерам, форме и свойствам частицы приобретают разные заряды. Траектория движения заряженных частиц определяется значением и направлением результирующей силы F_z , представляющей собой геометрическую сумму силы тяжести $P = mg$ и электрической силы $F_e = QE$.

Коронирующие электроды выполняют в виде тонких

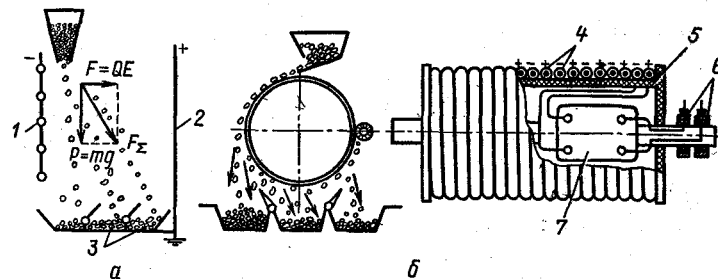


Рис. 23.1. Схемы электрических сепараторов зерна:

а — электрокоронный камерный; б — диэлектрический барабанный; 1 — коронирующие проводники; 2 — осадительный электрод; 3 — сепарационные отсеки; 4 — проводники-электроды; 5 — диэлектрический барабан; 6 — кольца со щетками; 7 — трансформатор.

(0,2...0,3 мм) горизонтально натянутых проволок, к которым подводят напряжение порядка 40...50 кВ.

Перспективны диэлектрические сепараторы. Сепаратор (рис. 23.1, б) представляет собой барабан из диэлектрического материала, на котором расположена бифилярная обмотка из изолированного провода, образующая систему электродов. Напряжение электропитания (1...5 кВ) подается от трансформатора, расположенного внутри барабана, питаемого от сети через кольца и щетки. Между электродами образуется неоднородное электрическое поле, под действием которого зерновки, попавшие на барабан, поляризуются.

Возникающая при этом электрическая сила прижимает зерновки к электродам. Угол отрыва зерновок (и других частиц) от поверхности барабана зависит от свойств частиц. В электрических сепараторах не только более полно разделяются зерновые смеси по фракциям, очищаются их поверхности от пыли, спор и микроорганизмов, но и происходит их предпосевная обработка, возбуждающая жизнедеятельность семян. При этом урожайность зерновых повышается на 10...24 %, особенно при неблагоприятных условиях.

Устройства для электроосаждения аэрозолей. Для повышения эффективности использования аэрозолей (распыленных жидких удобрений, ядохимикатов, краски и т. п.) частицы аэрозолей заряжают. Зарядка может быть индукционная, в поле коронного разряда, контактная. Заряженные частицы аэрозолей осаждаются на предметах (растениях, семенах, окрашиваемых деталях и т. п.), имеющих противоположный знак потенциала. Осаждение в электрическом поле обеспечивает более равномер-

ное и плотное покрытие, экономит расход аэрозолей. При электроаэрозольной обработке семян урожайность повышается на 12...18%, при электроокраске расход краски снижается в 3...4 раза.

Электрические ионизаторы. Концентрация легких отрицательных ионов в воздухе — важный параметр микроклимата. Ионизаторы служат для искусственной ионизации воздуха в животноводческих и птицеводческих помещениях.

В птичниках и инкубаторах используют электрокоронные ионизаторы с системой металлических острий (игл длиной 10...25 мм), к которым подводится высокое (10...30 кВ) постоянное напряжение. При высокой напряженности поля у острий возникает электрическая корона — микроразряды, в результате которых молекулы воздуха ионизируются. Положительные ионы захватываются иглами-электродами, а легкие отрицательные ионы отталкиваются от электродов и рассеиваются в воздухе. При искусственной ионизации яйценоскость кур возрастает на 10%, сокращается расход кормов.

Источники питания установок электронно-ионной технологии. Для питания установок электронно-ионной технологии требуются небольшие по мощности источники постоянного тока с высоким выходным напряжением — от 10 до 100 кВ. Наибольшее распространение получили выпрямители с умножением напряжения (рис. 23.2). В полупериод, когда потенциал точки *a* выше, чем точки *b*, вентиль *VD1* открыт и конденсатор *C1* заряжается до напряжения U_{2m} , где U_{2m} — амплитуда напряжения вторичной обмотки трансформатора. При перемене полярности вентиль *VD1* закрывается, а *VD2* открывается. Напряжение U_2 , суммируясь с напряжением U_{2m} конденсатора *C1*, через вентиль *VD2* заряжает конденсатор *C2* до напряжения $2U_{2m}$. При заперении вентиля *VD2* конденсатор *C2* разряжается на нагруз-

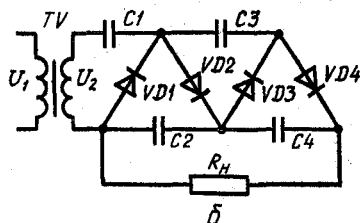
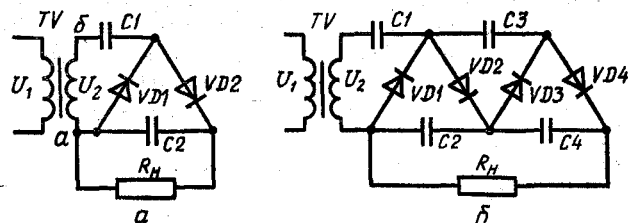


Рис. 23.2. Принципиальные схемы однополупериодных выпрямителей с умножением напряжения:

a — удвоение напряжения; *б* — учетверение напряжения.

ку R_H . В схеме с двумя каскадами (рис. 23.2, *б*) источником энергии для второго каскада является конденсатор *C2*. При открытых вентилях *VD1* и *VD3* конденсатор *C3* заряжается до напряжения $2U_{2m}$ а при открывании вентилях *VD2* и *VD4* конденсатор *C4* также заряжается до $2U_{2m}$. В результате на нагрузке оказывается напряжение $4U_{2m}$. При *n* каскадах общее напряжение на нагрузке $U = 2nU_{2m}$. На рисунке 23.2 приведена схема однополупериодного выпрямителя; более эффективны двухполупериодные выпрямители.

23.2. Обработка электрическим током

Предпосевную обработку семян проводят током низкой (50 Гц) и высокой (1...2 МГц) частоты в плоско-параллельных электродных системах при напряженности поля 10^4 В/м на высокой и $(2...3) \cdot 10^5$ В/м на низкой частоте и экспозиции 10...180 с (в зависимости от вида семян). Обработку проводят за 25...30 суток до посева. В результате обработки возбуждается жизнедеятельность семян, урожайность пшеницы повышается на 24...27 %, ячменя на 9 % и т.д., сокращается вегетационный период.

Обработка влажных кормовых материалов повышает их кормовое достоинство и эффективность использования. Электрообработку измельченной и увлажненной раствором химикатов (2 % хлорида натрия и 4 % кальцинированной соды) соломы проводят в электродных камерах током низкой частоты в течение 6...8 мин при плотности тока $(0,1...0,3) \cdot 10^4$ А/м². В результате обработки содержание кормовых единиц повышается в 1,5...2 раза, во столько же раз сокращается бактериальная загрязненность.

Обработка электрическим током фуражного зерна повышает его переваримость и усвояемость на 10...15 %. Экономический эффект обработки соломы и зерна составляет 10...12 руб. на 1 т. При помощи электрического тока можно запаривать картофель, обрабатывать пищевые отходы, кормосмеси и т. п.

Обеззараживание почвы и навоза имеет важное экономическое и экологическое значение. Парниковую почву обрабатывают током низкой частоты при напряженности поля $(0,5...0,7) \cdot 10^4$ В/м в течение 1,5...4 мин до температуры 60...65 °С. Расход электроэнергии 25...30 кВт·ч/м³. Обеззараживать (дегельминтизировать) навоз и сточные воды можно термическим (на переменном токе) или электрохимическим (на постоянном токе) способами. В последнем случае расход элек-

троэнергии существенно сокращается и составляет 3...4 кВт·ч/м³.

Электропросоление почв проводят путем пропускания через засоленную почву постоянного тока. Для этого в увлажненную почву заглубляют параллельными рядами соединенные в рядах стержневые электроды. Расстояние между электродами в ряду 10...20 м, между рядами — 20...40 м. Ряды электродов поочередно являются анодами и катодами, к которым подводят постоянное напряжение 75 В. Аноды погружают на глубину 1 м, катоды — 5 м. При протекании тока в результате электролиза соли разлагаются и вследствие электрокинетических явлений и гравитации вытесняются в нижележащие слои почвы, где отводятся подпочвенными водами. По сравнению с обычной технологией при электропросолении в 5...6 раз сокращается расход пресной воды и в 6...8 раз продолжительность обработки. Расход электроэнергии составляет около 6000 кВт·ч/га, экономический эффект — 200...400 руб. на 1 га.

23.3. Электроимпульсная техника

Электроимпульсная технология основана на воздействии на предметы труда импульсов электрического тока. В отличие от традиционных технологий, основанных на непрерывном потреблении электроэнергии, электроимпульсная технология позволяет повысить параметры электрических воздействий (напряженность поля, плотность тока, мгновенную мощность) и, следовательно, существенно интенсифицировать процессы, снизить их энергоемкость, осуществить такие процессы, которые вообще невозможно выполнить другими методами (управление поведением животных, изготовление сложных по форме деталей и др.).

Техническую основу электроимпульсной технологии составляют генераторы импульсов. Простейшие из них — это зависимые релаксационные конденсаторные генераторы типа RC (рис. 23.3, а). При подаче постоянного напряжения ток протекает по зарядному контуру и заряжает конденсатор (накопительную емкость) C до напряжения начала разряда U_p , определяемого электрической прочностью межэлектродного промежутка. При пробое конденсатор C разряжается на межэлектродный промежуток (сопротивление нагрузки R_n). В генераторах независимого типа параметры импульсов не зависят от нагрузочного сопротивления R_n .

Электрические изгороди — устройства чисто сельскохозяйственного назначения. Они предназначены для загонной пастбы

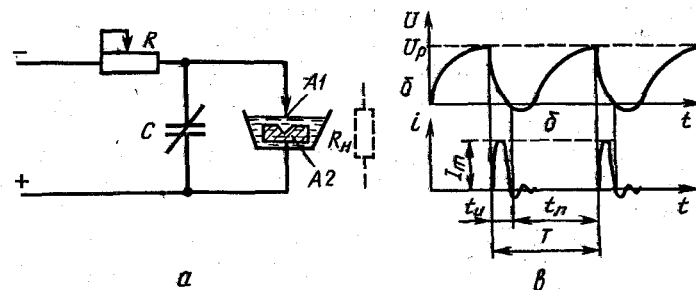


Рис. 23.3. Схема генератора импульсов типа RC (а), кривые изменения напряжения на конденсаторе (б) и тока в разрядном контуре (в):

R_n — эквивалентное сопротивление нагрузки; A1 — электрод-инструмент; A2 — деталь.

скота, управления движением животных по определенному маршруту, защиты животных от хищников и др.

Электроизгородь состоит из стальной мягкой проволоки диаметром 1,5...2 мм, которой ограждается участок выпаса животных, объект охраны и т. п. Проволоку подвешивают на изоляторах, укрепленных на стойках. Число проводов может быть 1...3, высота подвеса 0,3...0,9 м, расстояние между стойками 10...20 м. Провод образует изолированную от земли токоведущую линию, на которую поступают импульсы высокого напряжения от генератора импульсов. Прикоснувшись к изгороди, животное замыкает цепь тока и получает удар, не опасный для здоровья животного, но неприятный. Через 2...3 дня у животных вырабатывается безусловный рефлекс, и они уже не подходят к ограждению. Параметры электроизгородей устанавливают по условиям эффективности ограждения и безопасности для животных: частота импульсов 1...2 Гц, амплитудное значение тока не более 150 мА, количество электричества в импульсе не более 2,5 мКл, длительность импульса не более 5 мс, амплитудное значение напряжения на изгороди 2...10 кВ.

Основной узел электроизгороди — генератор импульсов. Генераторы могут быть разные по схемным решениям, но все они относятся к независимым генераторам релаксационного типа. Рассмотрим схему генератора импульсов типа ГИЭ-1 (рис. 23.4). Питание генератора осуществляется от внутренней батареи сухих элементов GB1... GB12 или от сети переменного тока 220 В через понижающий трансформатор TV1 со вторичным напряжением 12 В. Генератор может работать в автоколебательном (автоматическом) режиме, непрерывно пода-

вая импульсы на токоведущую линию, или в ждущем, когда импульс на токоведущую линию подается только в момент прикосновения животного. Схема содержит:

блок питания (батарея *GB1... GB12* или трансформатор *TV1* и выпрямитель *A1*);

стабилизатор напряжения (стабилитрон *VD3*, транзисторы *VT2*, *VT4*, *VT5*, резистор *R6*);

преобразователь постоянного тока (элементы схемы *C5*, *R13*, *R14*, *VT8*, *VT9*, *TV2*, выпрямитель *A2*);

емкостный накопитель энергии (конденсаторы *C7* и *C8*);

коммутирующее устройство (тиратрон *VL* с холодным катодом);

повышающий трансформатор (*TV3* с конденсатором *C9*);

датчик порогового устройства (*R1*);

пороговое устройство (*VT1—VT3*);

исполнительный элемент (*VT6—VT7*).

Режим работы избирается переключателем *SA2*. В автоколебательном режиме *SA2* ставят в верхнее положение. Питание со стабилизатора напряжения подается в преобразователь постоянного тока, и через выпрямитель *A2* заряжается накопитель *C7—C8*. Одновременно через резистор *R17* заряжается конденсатор *C6*. Когда напряжение на *C6* достигает порогового значе-

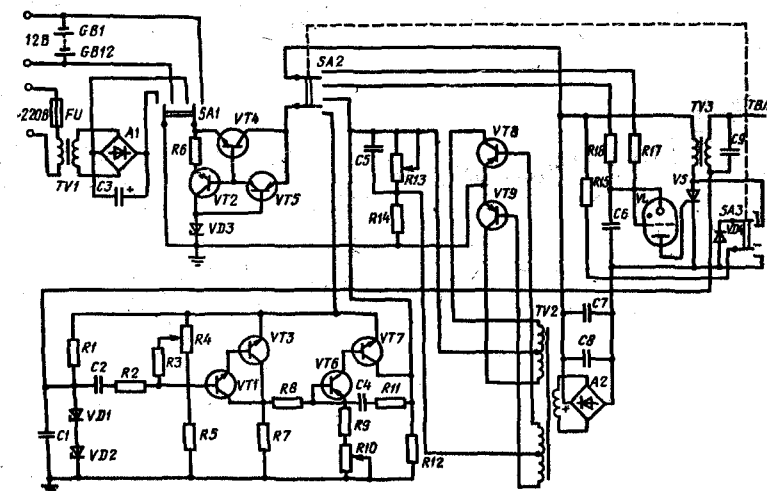


Рис. 23.4. Принципиальная электрическая схема генератора импульсов ГИЭ-1.

ния, открывается тиратрон *VL*, и через него разряжается *C6* по цепи управляющего электрода тиристора *VS*. Тиристор открывается и емкостной накопитель *C7—C8* разряжается на первичную обмотку повышающего трансформатора *TV3*. На вторичной обмотке *TV3* возникает импульс высокого напряжения, поступающий на токоведущую линию электроизгороди. Когда животное прикасается к изгороди, импульс тока замыкается по цепи: нижний вывод вторичной обмотки *TV3* — стабилитроны *VD1—VD2* — тело животного — токоведущая линия — верхний вывод вторичной обмотки *TV3*. Конденсатор *C9* повышает эффективность работы трансформатора *TV3*, диод *VD4* защищает тиристор *VS* от обратного перенапряжения.

При переводе генератора в ждущий режим переключатель *SA2* ставят в нижнее положение. В этом положении напряжение на преобразователе постоянного тока может быть подано только при открытом состоянии транзистора *VT7*, которое наступает при определенном (выше порогового значения) падении напряжения на резисторе *R1*. Если животное не касается изгороди, то протекающий через *R1* от стабилизатора ток практически равен нулю (стабилитроны *VD1—VD2* не проводят ток обратного направления). При прикосновении животного к изгороди ток через *R1* и падение напряжения на нем резко возрастают. Сигнал усиливается в пороговом устройстве *VT1—VT3* и подается на несимметричный мультивибратор *VT6—VT7*. Транзистор *VT7* открывается и подключает источник питания к преобразователю постоянного тока. Далее процесс протекает, как и в автоколебательном режиме. Стабилитроны *VD1...VD4* защищают датчик *R1* от высоковольтных импульсов, во время которых они открываются и замыкают на землю нижний вывод вторичной обмотки трансформатора *TV3*.

Электрогидравлические установки основаны на использовании электрогидравлического эффекта, возникающего при кратковременном ($10^{-5}...10^{-6}$ с) электрическом разряде в жидкости. Эффект сопровождается ударной (прямой и обратной) волной, образованием газового пузыря из продуктов разложения воды, кавитацией, высокой (несколько тысяч градусов) температурой в зоне разряда. Возникающее давление (в десятки мегапаскалей) используется для механических воздействий на предметы труда (штамповка, восстановление формы деталей, подъем воды из артезианских скважин, разрушение валунов, обработка и обеззараживание кормов, пищевых отходов, мойка шерсти и т. д.). Таким образом, в основе действия электрогидравлических установок лежит метод прямого преобразования электрической энергии в механическую с КПД, достигающим 50 %.

Электроимпульсная обработка растительного сырья применяется для ускорения сушки трав, при механическом обезвоживании, для увеличения выхода соков из фруктов и овощей и т. п. Под воздействием электрических импульсов нарушается целостность клеточных оболочек растительной ткани, что облегчает выход и удаление внутриклеточного содержимого (сока). Импульсная обработка ускоряет сушку трав в 2...2,5 раза при таком же уменьшении расхода энергии, сокращает потери питательных веществ. В процессах получения соков выход их возрастает на 15...20 %.

Проводились успешные опыты по использованию электрических искровых разрядов для ускорения созревания подсолнечника, обмолота зерновых, уничтожения сорняков, рыхления почвы (без нарушения ее структуры) и др. Электрическая искра в этих процессах играет роль рабочего органа сельскохозяйственных машин.

23.4. Ультразвуковые установки

Ультразвук — это периодические механические колебания в твердых, жидких и газообразных упругих средах с частотой выше верхнего порога слышимости человеческого уха. Диапазон частот ультразвука $16 \cdot (10^3 \dots 10^{10})$ Гц.

Ультразвуковые колебания возбуждаются при помощи специальных вибраторов (преобразователей) и распространяются в средах в виде ультразвуковых волн. Частицы среды колеблются около некоторого положения равновесия, испытывая периодические сжатия и (через полупериод) расширения (продольные волны).

Ультразвуковое поле в среде характеризуется частотой и интенсивностью ультразвука. Условно различают ультразвуковые колебания низкой (до 100 кГц) и высокой (выше 100 кГц) частоты, слабой (до 10^3 Вт/м²) и высокой (до $10^6 \dots 10^7$ Вт/м²) интенсивности.

Распространение ультразвука в средах сопровождается акустическим, механическим, термическим и биологическим проявлениями. Генерирование ультразвука осуществляется при помощи магнитострикционных или пьезоэлектрических преобразователей (рис. 23.5), основанных на использовании известных из физики магнитострикционного и обратного пьезоэлектрического эффектов. К преобразователям подводится ток высокой частоты, энергия которого преобразуется в механические ультразвуковые колебания. Питание к преобразователям подводят от генерато-

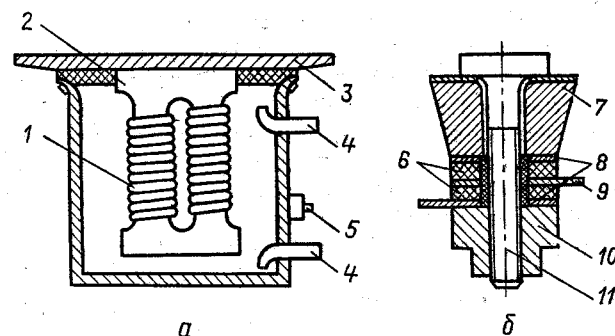


Рис. 23.5. Ультразвуковые преобразователи:

а — магнитострикционный; б — пьезоэлектрический; 1 — обмотка; 2 — магнитострикционный пакет; 3 — излучающая пластина; 4 — вход и выход охлаждающей воды; 5 — выводы обмотки; 6 — керамические пластины; 7 и 10 — накладки; 8 — прокладки из фольги; 9 — электрод; 11 — стяжной болт.

ров ТВЧ ультразвукового диапазона частот, которые выполняют на лампах, транзисторах, тиристорах.

Принципиальные схемы ламповых генераторов мало отличаются от генераторов для высокочастотного нагрева (гл. 17). Ультразвуковые генераторы на транзисторах наиболее надежны и экономичны. Они предназначены для работы с пьезоэлектрическими преобразователями. На рисунке 23.6 приведена принципи-

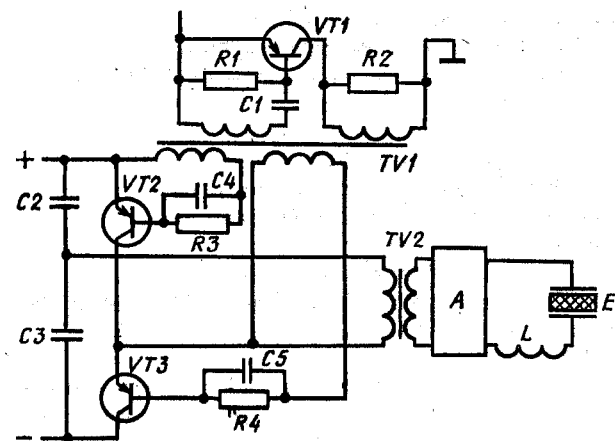


Рис. 23.6. Принципиальная электрическая схема ультразвукового генератора на транзисторах.

альная электрическая схема генератора на транзисторах, выполненная по полумостовой схеме. Схема включает задающий генератор на транзисторе VT1. Вторичные обмотки трансформатора TV1 подают возбуждение на транзисторы VT2 и VT3 в противофазе. Транзисторы образуют первый каскад усиления и работают в режиме переключения, периодически изменяя направление тока в первичной обмотке выходного трансформатора TV2. Устройство А состоит из второго каскада усиления и корректирующего фильтра. На выходе генератора подключен пьезоэлектрический преобразователь Е.

В сельскохозяйственном производстве ультразвук высокой интенсивности имеет широкие перспективы применения в процессах очистки и мойки деталей и узлов в ремонтном производстве, мойки доильной аппаратуры, молочной посуды, пастеризации и гомогенизации молока, стерилизации парниковой почвы, предпосевной обработки семян и др. Слабые ультразвуковые колебания используются в измерителях влажности сельскохозяйственных материалов, толщины сального покрова у свиней и т. п.

23.5. Магнитная обработка материалов

Магнитные семеочистительные машины предназначены для очистки семян культурных растений (льна, многолетних трав) от семян сорняков (плевела, горчака, повилики и др.). Машины оборудуют постоянными магнитами или электромагнитами. Семена предварительно увлажняют, смешивают с магнитным порошком и подают на вращающийся немагнитный барабан, внутри которого неподвижно установлен магнитный сектор. Семена культурных растений не удерживаются на своей поверхности магнитный порошок и поэтому к барабану не притягиваются. При вращении барабана они скатываются с него, попадая в первый сепарирующий отсек. Семена сорняков, покрытые мелкими ворсинками, удерживают порошок, притягиваются к барабану и переносятся им за пределы внутреннего магнитного сектора, а затем, отрываясь от барабана, попадают в другие отсеки. Магнитная семеочистительная машина СМЩ-0,4 оборудована постоянными магнитами, имеет производительность по клеверу 0,4 т/ч, по льну 0,5 т/ч. Степень очистки семян достигает 98%.

Аппараты магнитной очистки кормов от металлических частиц оснащены постоянными магнитами или электромагнитами. Аппараты устанавливают над наклонной плоскостью, по которой тонким слоем пропускают корм. Значение этой операции можно понять из такого примера: на откормочной ферме КРС на

10 тыс. голов за год из кормов удаляют до 180 кг железных частиц, размер которых достигает 100 мм.

Аппараты магнитной обработки воды применяют для обеспечения ей противонакипных свойств. Обработанная вода не образует накипи на стенках огневых котлов, на электродах электрических котлов, в запорниках, двигателях внутреннего сгорания с водяным охлаждением и на другом теплоэнергетическом оборудовании. Аппарат магнитной обработки воды представляет собой трубу, внутри которой размещен керн с электромагнитами. Между керном и трубой образуется кольцевой зазор, по которому пропускают воду. Силовые линии магнитов замыкаются по трубе через зазор. Направление тока в обмотках магнитов выбирают так, чтобы направления магнитных силовых линий в зазоре периодически чередовались по пути движения воды. Длина пути воды в магнитном поле 0,15...0,35 м, скорость воды 0,4...1,0 м/с, напряженность магнитного поля 120...150 кА/м. Обработанная вода не образует накипи на стенках или электродах котлов, а выпадает на дно в виде шлама, легко удаляемого продувкой. Вода сохраняет свои свойства в течение 6...8 ч после обработки.

«Омагниченная» вода обладает и другими полезными свойствами. При поливе такой водой повышаются энергия всхожести и урожайность сахарной свеклы, риса, гороха, овощей и других культур. При ее использовании для рассоления почв эффективность возрастает в 1,5...2 раза и т. д.

Сильные электромагниты в виде стержней используют в ветеринарии для удаления из желудков животных железных частиц, поступивших с кормом. Опытами ученых-зоотехников установлено существенное влияние сильных магнитных полей на изменение наследственных признаков животных и возможность использования этого явления для выведения пород животных с заданными качествами.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каков принцип действия электрокоронного и диэлектрического сепараторов зерна? 2. Как работает принципиальная электрическая схема выпрямителя с умножением напряжения? 3. В каких процессах и для обработки каких материалов применяют электрический ток? 4. Какие установки сельскохозяйственного назначения основаны на применении электрических импульсов? 5. Как работает принципиальная электрическая схема генератора импульсов ГИЭ-1? 6. Как работает принципиальная электрическая схема генератора ультразвука на транзисторах? 7. Каковы назначение и принцип действия магнитной семеочистительной машины и аппарата магнитной обработки воды?

Лабораторная работа № 12. ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗГОРОДИ

Цель работы. Изучить устройство, принцип действия, применение электрических изгородей, электрическую схему генератора импульсов, экспериментально определить параметры импульсов.

Программа работы. 1. Изучить устройство, принцип действия и применение электрических изгородей.

2. Изучить принципиальную электрическую схему генератора импульсов.

3. Настроить генератор импульсов на работу в соответствии с заводской инструкцией и определить частоту следования импульсов в автоматическом режиме.

4. Иммитируя животное резистором с сопротивлением 1000 Ом, проверить работу изгороди в ждущем режиме.

5. Зарисовать с экрана осциллографа форму импульса тока, соблюдая масштаб, и определить амплитудное значение тока и количество электричества в импульсе путем графического интегрирования площади, ограниченной кривой тока и осями координат.

Содержание отчета. Включить в отчет технические данные и электрическую схему генератора импульсов изгороди, графическое изображение импульса тока с указанием параметров, результаты измерений и расчетов.

Раздел пятый

УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ И ОБЛУЧЕНИЯ

Глава 24.

ОСНОВНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

24.1. Оптическая область спектра электромагнитных колебаний

Между телами в природе постоянно происходит обмен энергией, существующей в различных формах — тепловой, механической, электрической, химической и т. д. Одна из форм энергии известна под названием лучистой.

Лучистая энергия передается в пространстве электромагнитными волнами и состоит из фотонов — элементарных частиц излучения. Значение энергии фотона определяется частотой волны

$$\epsilon = h\nu,$$

где ϵ — значение энергии фотона, Дж; h — постоянная Планка, равная $6,624 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; ν — частота электромагнитных колебаний, Гц.

Частота электромагнитных колебаний и длина волны излучения взаимосвязаны следующей математической зависимостью:

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

где λ — длина волны излучения, м; c — скорость распространения излучения, равная $\approx 3 \cdot 10^8$ м·с⁻¹.

Электромагнитное излучение характеризуется чрезвычайно широким интервалом длин волн (рис. 24.1). Лишь небольшую часть этого интервала, лежащую в области между рентгеновскими лучами и радиоизлучением, составляет оптическое излучение. Излучение оптической области электромагнитного спектра (от 1 нм до 1 мм), в свою очередь, делится на видимое, ультрафиолетовое и инфракрасное.

Видимым называется такое излучение, которое может непосредственно вызывать зрительное ощущение. Излучение этого диапазона (от 380 до 780 нм) применяют для создания необходимого уровня освещенности, ускорения реакции фотосинтеза

* Длину волны оптического излучения принято измерять в нанометрах (1 нм = 10^{-9} м) или микрометрах (1 мкм = 10^{-6} м).

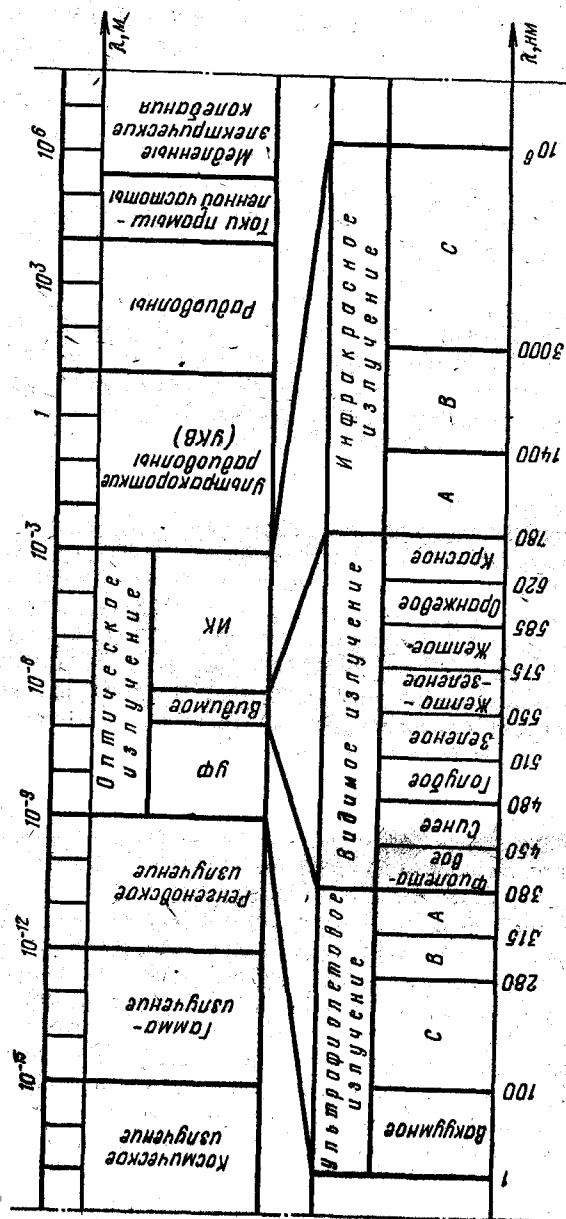


Рис 24.1. Спектральное распределение электромагнитного излучения.

у зеленых растений, увеличения продуктивности и регулирования биологических ритмов сельскохозяйственных животных и птицы.

Видимый свет представляет собой сочетание семи основных цветов: красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего и фиолетового. Перед красными излучениями в оптической области спектра находятся инфракрасные, а за фиолетовыми — ультрафиолетовые (по латыни «инфра» означает «вперед», а «ультра» — «за»). Инфракрасные и ультрафиолетовые излучения невидимы для человеческого глаза.

Диапазон ультрафиолетового излучения лежит в пределах от 1 до 380 нм. Свойства ультрафиолетовых излучений различны в зависимости от длины волны. Поэтому все ультрафиолетовое излучение имеет следующее условное деление: ультрафиолетовые излучения зоны А — от 315 до 380 нм; ультрафиолетовые излучения зоны В — от 280 до 315 нм; ультрафиолетовые излучения зоны С — от 100 до 280 нм. Ультрафиолетовые излучения короче 100 нм интенсивно поглощаются воздухом и в сельскохозяйственном производстве не используются.

Длинноволновое ультрафиолетовое излучение обладает сравнительно небольшой фотобиологической активностью, но способно вызвать пигментацию кожи человека, оказывает положительное влияние на организм животных и птицы, определяет формативный эффект у растений. Излучение этого поддиапазона способно вызывать свечение некоторых веществ, поэтому его используют для люминесцентного анализа химического состава и биологического состояния продуктов.

Средневолновое ультрафиолетовое излучение оказывает тонизирующее и терапевтическое действие на живые организмы. Оно способно вызывать эритему и загар, превращать в организме животных необходимый для роста и развития витамин D в усвояемую форму, обладает мощным антираhitным действием. Излучения этого поддиапазона вредны для большинства растений.

Коротковолновое ультрафиолетовое излучение отличается бактерицидным действием, поэтому его широко используют для обеззараживания воды и воздуха, дезинфекции и стерилизации различного инвентаря и посуды.

Инфракрасное излучение занимает самую большую часть оптического спектра (от 780 до $1 \cdot 10^6$ нм). Оно также имеет условное деление на зоны: инфракрасные излучения зоны А — от 780 до 1400 нм; инфракрасные излучения зоны В — от 1400 до 3000 нм; инфракрасные излучения зоны С — от 3 мкм до 1 мм. Глубоко проникая в поверхностные слои тканей живого организма, инфракрасные излучения большую часть энергии

своих фотонов расходуют на образование теплоты. Глубина их проникновения в тело животного составляет 2,5 мм, в зерно — до 2 мм, в сырой картофель — до 6 мм, в хлеб (при выпечке) — до 7 мм, в слой воды — 30...45 мм. Инфракрасные излучения практически не поглощаются воздухом.

В сельскохозяйственном производстве инфракрасные излучения используют в основном для обогрева молодняка животных и птицы, сушки и дезинсекции сельскохозяйственных продуктов (зерно, фрукты, чай, хмель и др.), пастеризации молока, сушки лакокрасочных и пропиточных покрытий.

24.2. Основные понятия и определения

К основным величинам, характеризующим оптическое излучение, относят поток и силу излучения, облученность, экспозицию.

Потоком излучения называется количество лучистой энергии, излучаемой источником в единицу времени:

$$\Phi = Q/t,$$

где Φ — поток излучения, Вт; Q — энергия излучения, испускаемая за время t , Дж; t — время, с.

Сила излучения характеризует распределение потока излучения в пространстве. Сила излучения I (Вт·ср⁻¹) определяется отношением потока излучения $\Delta\Phi$ к телесному углу $\Delta\omega$ с вершиной в точке расположения источника, в пределах которого этот поток распространяется и равномерно распределяется, то есть $I = \Delta\Phi/\Delta\omega$.

Энергетическая облученность характеризует распределение потока излучения по облучаемой плоскости. Облученность представляет собой отношение потока излучения, падающего на облучаемую поверхность и равномерно распределяющегося по ней, к площади этой поверхности:

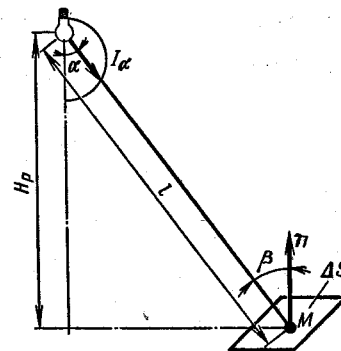
$$E = \Delta\Phi/\Delta S,$$

где E — энергетическая облученность, Вт·м⁻²; $\Delta\Phi$ — поток излучения, равномерно распределившийся по поверхности ΔS , Вт; ΔS — площадь облучаемой поверхности, м².

Облученность в какой-либо точке M , лежащей на горизонтальной облучаемой поверхности ΔS , можно определить и через значение силы излучения точечного источника в направлении рассматриваемой точки (рис. 24.2):

$$E_M = I_\alpha \cos \beta / l^2 = I_\alpha \cos^3 \alpha / H_p^2 \quad (24.1)$$

Рис. 24.2. Определение облученности в точке при известном распределении силы излучения источника.



где I_α — сила излучения точечного источника в направлении облучаемой точки M , Вт·ср⁻¹; β — угол между нормалью к облучаемой поверхности и направлением силы излучения, град; α — угол между направлением силы излучения и осью симметрии источника, град; l — расстояние между источником и облучаемой точкой, м; H_p — высота подвеса источника, м.

Результат воздействия оптического излучения на объект определяется не только облученностью и спектральным составом излучения, но и продолжительностью облучения. Чем дольше поток излучения падает на облучаемую поверхность, тем большее количество энергии излучения может быть ею поглощено при одной и той же облученности. Величина, определяющая общее количество энергии излучения, приходящейся на единицу площади облучаемой поверхности в течение времени действия излучения, называется **лучистой экспозицией** или **количеством облучения**, Дж·м⁻² (Вт·с·м⁻²):

$$H = Et,$$

где t — продолжительность облучения, с.

24.3. Величины и единицы измерения эффективного действия оптического излучения

Энергия излучения, попавшая на поверхность какого-либо тела, частично отражается от этой поверхности, частично пропускается сквозь тело и частично поглощается самим телом. Из всей энергии излучения только та часть может быть преобразована в другой вид (биологическую, тепловую и т. д.), которая поглощается. Тела, в которых происходит преобразование энергии излучения в биологическую, электрическую и другие виды энергии, называют приемниками.

Большинство приемников энергии оптического излучения (лист растения, фотоэлемент и т. д.) обладают избирательной чувствительностью. Избирательная чувствительность к монохро-

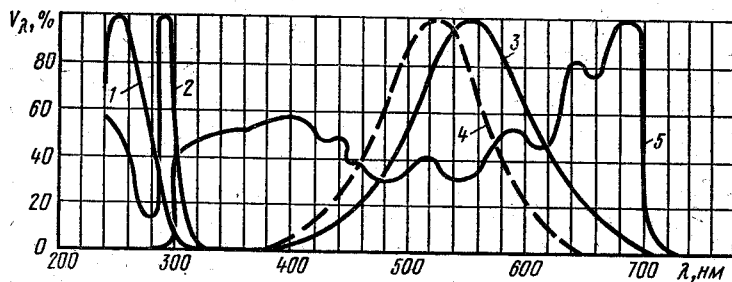


Рис. 24.3. Относительная спектральная чувствительность образцовых приемников в функции длины волны излучения: кожи человека для витального (1) и бактерицидного (2) действия ультрафиолетового излучения, усредненного глаза человека при дневном (3) и ночном (4) зрении, среднего листа растений (5).

матическим * излучениям различных длин волн называется *спектральной чувствительностью* приемника (рис. 24.3).

Поскольку излучения, поглощенный приемником и преобразованный в нем в полезную мощность другого вида энергии, принято называть **эффективным потоком**. Определяя эффективный поток по уровню реакции образцового приемника, можно построить систему эффективных величин и единиц их измерения, облегчающую количественную оценку процесса преобразования энергии излучения и упрощающую расчеты, связанные с ее использованием. В зависимости от действия оптического излучения на приемники различают следующие системы эффективных величин: световую, витальную (эритемную), бактерицидную и фотосинтетическую.

Величины и единицы измерения видимого излучения. Для количественной оценки способности потока оптического излучения создавать видимость окружающих нас предметов введена система световых величин и единиц их измерения. В качестве образцового приемника в этой системе принят усредненный человеческий глаз.

Эффективным потоком в системе световых величин является световой поток. За единицу светового потока принят **люмен** (лм). Установлено, что при воздействии монохроматическим излучением с длиной волны 555 нм и мощностью 1 Вт на светоадаптированный глаз стандартного фотометрического наблюдателя создается 683 лм светового потока.

Пространственную плотность светового потока называют **силой света** I_c и определяют отношением светового потока точечного источника $\Delta\Phi_c$, расположенного в вершине телесного угла, к телесному углу $\Delta\omega$, в пределах которого равномерно распределен этот поток, то есть $I_c = \Delta\Phi_c / \Delta\omega$. За единицу силы света принята **кандела** (кд), одна из основных единиц системы Си. Кандела равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматические излучения частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, сила излучения которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт \cdot ср $^{-1}$. Силу света в 1 кд излучает в перпендикулярном направлении элемент черного тела площадью $1/600\,000$ м 2 при температуре затвердевания платины (2045 К) и давлении 101 325 Па. Из определения силы света следует, что $1 \text{ кд} = 1 \text{ лм} \cdot \text{ср}^{-1}$ или $1 \text{ лм} = 1 \text{ кд} \cdot \text{ср}$.

Отношение светового потока $\Delta\Phi_c$, падающего на поверхность и равномерно по ней распределяющегося, к площади этой поверхности называется **освещенностью** E_c , то есть $E_c = \Delta\Phi_c / \Delta S$. За единицу освещенности принят **люкс** (лк), равный освещенности поверхности площадью 1 м 2 , на которой равномерно распределен световой поток в 1 лм ($1 \text{ лк} = 1 \text{ лм} \cdot \text{м}^{-2}$).

Величины и единицы измерения витального излучения. Принято считать, что общее благоприятное действие ультрафиолетового излучения на животных и птиц пропорционально его витальному действию.

Исходной величиной в системе витальных величин служит **витальный поток**. За единицу измерения витального потока принято воздействие монохроматического лучистого потока с длиной волны 297 нм и мощностью 1 Вт на образцовый приемник — кожу человека (рис. 24.3). Этой единице присвоено название **вит** (тысячная доля этой единицы милливит, или сокращенно мвит).

Силой витального излучения I_v называется пространственная плотность витального потока, равная отношению витального потока $\Delta\Phi_v$, источника, расположенного в вершине телесного угла, к телесному углу $\Delta\omega$, в котором равномерно распределено излучение, то есть $I_v = \Delta\Phi_v / \Delta\omega$. Единицей измерения силы витального излучения является вит \cdot ср $^{-1}$ или мвит \cdot ср $^{-1}$.

Плотность витального потока по поверхности облучаемого объекта называется витальной облученностью, или вита-облученностью E_v , которая определяется как $E_v = \Delta\Phi_v / \Delta S$. Единицей измерения витальной облученности служит вит \cdot м $^{-2}$ или мвит \cdot м $^{-2}$.

* Под монохроматическим понимают излучение одной длины волны.

Витальная экспозиция (количество витального облучения) H_v , характеризующая количество энергии витального излучения, упавшего на единицу облучаемой поверхности за время t , определяется по формуле $H_v = E_v t$. Единица измерения витальной экспозиции вит·с·м⁻² или мвит·с·м⁻².

Величины и единицы измерения бактерицидного излучения.

В бактерицидной системе величин эффективным потоком, определяемым по бактерицидному действию коротковолнового ультрафиолетового излучения на различные виды бактерий, является бактерицидный поток Φ_b . Наибольшим бактерицидным действием, то есть способностью вызывать гибель бактерий, обладает ультрафиолетовое излучение с длиной волны 254 нм (рис. 24.3). Поэтому за единицу бактерицидного потока — бакт (бк) — принято разрушающее действие на бактерии монохроматического излучения с длиной волны 254 нм и мощностью 1 Вт. Тысячная доля бакта (бк) называется миллибактом (мбк).

Остальные величины и единицы этой системы образованы аналогично вышеприведенным (световой и витальной) системам.

Единицей измерения силы бактерицидного излучения I_b является бк·ср⁻¹ или мбк·ср⁻¹. Бактерицидную облученность E_b принято выражать в бк·м⁻² (мбк·м⁻²), а бактерицидную экспозицию (количество бактерицидного облучения) H_b — в бк·с·м⁻² (мбк·с·м⁻²).

Фотосинтетическая система величин и единиц измерения. В основе построения этой системы лежит понятие фитопотока. Фитопоток Φ_f количественно определяет содержание в интегральном потоке излучения энергии, потенциально доступной растениям для осуществления реакции фотосинтеза. За единицу фитопотока принят фит, численно равный монохроматическому потоку оптического излучения мощностью 1 Вт с длиной волны 680 нм.

В качестве производных величин в рассматриваемой эффективной системе используются: сила фитоизлучения I_f (пространственная плотность фитопотока), фит·ср⁻¹; фитооблученность E_f , фит·м⁻²; фитоэкспозиция H_f (количество фитооблучения), фит·м⁻²·с.

Величины и единицы измерения действия инфракрасного излучения. Эффективное тепловое действие инфракрасных излучений оценивают в абсолютных единицах энергетической системы величин: поток инфракрасного излучения, Вт; сила инфра-

красного излучения, Вт·ср⁻¹; инфракрасная облученность, Вт·м⁻²; экспозиция (количество облучения) инфракрасного излучения, Дж·м⁻².

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими свойствами обладают ультрафиолетовые (по зонам А, В и С на рисунке 24.1), видимые и инфракрасные излучения оптической области спектра электромагнитных колебаний? 2. В каких технологических процессах сельскохозяйственного производства используются видимое, ультрафиолетовое и инфракрасное излучения? 3. Что означают понятия «поток излучения», «сила излучения», «облученность» и «лучистая экспозиция»? В каких единицах их измеряют? 4. Какие существуют системы эффективных величин и на основании спектральной чувствительности каких приемников они построены? 5. Что такое «световой поток», «сила света» и «освещенность»? Напишите формулы зависимости между силой света и освещенностью. 6. Какие основные величины витальной, бактерицидной и фотосинтетической систем и в каких единицах их измеряют?

Глава 25. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Электрическим источником оптического излучения называется устройство, преобразующее электрическую энергию в лучистую энергию оптического спектра. Электрические источники подразделяют на пять классов: 1) источники теплового излучения (лампы накаливания); 2) газоразрядные источники оптического излучения низкого, высокого и сверхвысокого давления (люминесцентные лампы, лампы ДРЛ, ДРИ, ДНАТ и др.); 3) источники смешанного (теплового и газоразрядного) излучения (лампы ДРВЭД, ДРВ и др.); 4) источники люминесцирующего действия (электролюминесцентные панели); 5) лазеры (жидкие, газовые и твердотельные).

25.1. Лампы накаливания общего назначения

Лампы накаливания — самые массовые источники оптического излучения. Это объясняется их сравнительной простотой устройства и надежностью в эксплуатации, возможностью непосредственного включения в сеть, отработанностью технологии и дешевизной. Несмотря на многообразие типоразмеров ламп накаливания, отличающихся номинальным напряжением, мощностью и родом тока, все они объединены единым физи-

ческим принципом получения видимого излучения (нагрев электрическим током вольфрамовой нити до температуры 2200...2800 °С) и сходством применяемых во всех конструкциях основных составляющих элементов.

Лампы накаливания отличаются между собой электрическими, светотехническими и эксплуатационными характеристиками. К электрическим характеристикам относят номинальное напряжение питающей сети (В), номинальную электрическую мощность (Вт), род тока (постоянный или переменный). Основная светотехническая характеристика ламп накаливания — излучаемый ими световой поток (лм), который зависит от электрической мощности, питающего напряжения и температуры нити накала. Нормированный в каталогах световой поток лампы накаливания должна излучать в первые часы работы при ее включении в сеть на номинальное напряжение. В процессе эксплуатации лампы световой поток из-за распыления тела накала, снижения его рабочей температуры и прозрачности колбы уменьшается. Для ламп, проработавших 75 % номинального срока службы (средней продолжительности горения), допускается уменьшение светового потока на 72...85 % в зависимости от типа ламп, мощности и категории изготовления.

Эксплуатационными характеристиками, определяющими экономические показатели работы ламп накаливания, являются световая отдача и номинальный срок службы. За прошедшие более 100 лет существования ламп накаливания их световая отдача возросла в 5...8 раз и достигла 7,5...19,1 лм·Вт⁻¹. Номинальный срок службы ламп накаливания (средняя продолжительность горения) достигает 1000 ч.

Отклонение питающего напряжения от номинального значения существенно влияет на характеристики ламп накаливания (рис. 25.1). При изменениях напряжения в пределах $\pm 10,0$ % можно приближенно считать, что отклонение напряжения на ± 1 % от номинального изменяет световой поток лампы примерно на $\pm 4...5$ %, а среднюю продолжительность горения — до $-6...7$ и $+13...25$ %.

Учитывая повышенную чувствительность ламп накаливания к колебаниям питающего напряжения и допустимые отклонения напряжения в электрических сетях, промышленность выпускает лампы накаливания на различные диапазоны напряжения 125...135, 215...225, 220...230, 225...235, 230...240, 235...245 и 245...255 В мощностью от 15 до 1000 Вт (табл. 25.1). У таких ламп за номинальное (расчетное) напряжение принимают значение напряжения середины диапазона, например, 220 В для диапазона 215...225 В, 225 В для диапазона

220...230 В и т. д. Для номинального значения напряжения приводит все справочные светотехнические и эксплуатационные параметры, в том числе и номинальный срок службы.

Обозначение ламп накаливания общего назначения состоит из букв (от одной до четырех): В — вакуумная, Г — газонаполненная (аргон 86 % и азот 14 %); Б — биспиральная и БК — биспиральная с криптоновым (криптон 86 % и азот 14 %) наполнителем, МТ — с матированной колбой, МЛ — в колбе молочного цвета, О — с опаловой колбой и т. д. После буквенного обозначения следуют цифры, показывающие диапазон напряжения питания в вольтах, на который рассчитана лампа, через дефис — номинальная мощность лампы в ваттах и далее — порядковый номер доработки. Пример условного

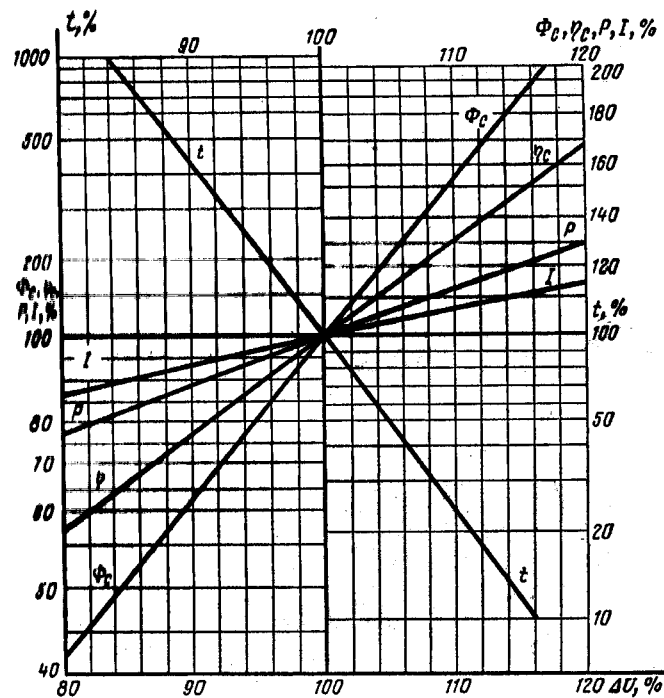


Рис. 25.1. Зависимости светотехнических, электрических и эксплуатационных параметров ламп накаливания общего назначения от изменения напряжения питающей сети ΔU :

t — средняя продолжительность горения; Φ — световой поток; η — световая отдача; P — потребляемая мощность; I — ток.

25.1. Основные параметры ламп накаливания общего назначения

Тип источника	Мощность источника, Вт	Значение светового потока (лм) при диапазоне напряжений питания источников, В,				
		215...225	220...230	230...240	235...245	245...255
		и расчетном напряжении питания источников, В				
		220	225	235	240	250
В	15	105	105	100	115	110
	25	220	230	225	225	215
БК	37	—	415	—	240	—
Б		415	415	410	410	410
БК	40	460	460	450	—	—
БК	56	—	715	—	710	—
Б		715	715	705	700	695
БК	60	790	790	775	—	—
Б		950	950	935	—	—
БК	75	1020	—	—	—	—
БК	95	—	1350	—	1330	—
Б		1350	1350	1335	1330	1320
БК	100	1450	1450	1430	—	—
Б		2100	—	—	2060	—
Г	150	2090	2090	2065	2060	2040
Б		2920	—	—	—	—
Г	200	2920	2920	2890	—	2860

обозначения ламп накаливания: Г220-230-200 — лампа накаливания газонаполненная на диапазон напряжений 220...230 В номинальной мощностью 200 Вт при расчетном напряжении питания 225 В.

25.2. Газоразрядные источники видимого излучения

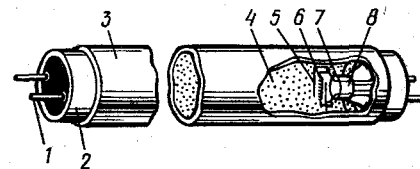
Газоразрядным источником лучистой энергии называется устройство, в котором оптическое излучение возникает в результате электрического разряда в газах, парах металлов или их смесях. Из всех газоразрядных источников видимого излучения в сельскохозяйственном производстве наиболее распространены люминесцентные лампы и лампы типа ДРЛ.

Люминесцентные лампы низкого давления благодаря высокой световой отдаче, улучшенному спектральному составу излучения и значительному сроку службы нашли широкое применение для общего освещения производственных и общественных помещений.

Люминесцентная лампа — это длинная стеклянная трубка (колба), внутренняя поверхность которой покрыта слоем люми-

Рис. 25.2. Устройство люминесцентной лампы:

1 — ножки-штырьки; 2 — цоколи; 3 — стеклянная трубка (колба); 4 — люминофор; 5 — проволоочный экран; 6 — оксидированная моноспираль; 7 — электроды; 8 — ножка.



нофора (рис. 25.2). В герметически закрытых торцах колбы 3 на молибденовых электродах 7, прикрепленных к стеклянной ножке 8, смонтирована вольфрамовая оксидированная моноспираль 6. К электродам спирали припаяны штырьки 1, изолированные от цоколя 2 лампы специальной мастикой. Из колбы лампы через отверстия в стеклянных ножках откачивают воздух и вводят в нее инертный газ (аргон) и небольшое количество ртути. Электрический разряд в такой лампе начинается в атмосфере инертного газа, а затем по мере испарения ртути продолжается в ее парах.

Преобразование электрической энергии в видимое излучение в люминесцентных лампах имеет две фазы: электрический разряд в парах ртути сопровождается коротковолновым излучением (первая фаза); возникающая ультрафиолетовая радиация, воздействуя на люминофор, вызывает его фотолюминесценцию (вторая фаза). Люминофор преобразует ультрафиолетовое излучение газового разряда в видимое.

Люминесцентные лампы различают по форме и размерам колбы, мощности и спектральному составу или цветности излучения. Выпускаемые промышленностью люминесцентные лампы типов ЛБ, ЛД, ЛТБ и ЛХБ, ЛЕ, ЛБЕ, ЛХЕ и др. отличаются только составом люминофора, а следовательно, и спектральным составом излучения. Буквы, входящие в наименование этих типов ламп, означают: Л — люминесцентная, Б — белая, Д — дневная, ТБ — тепло-белая, ХБ — холодно-белая, Е — естественная, БЕ — белая естественная, ХЕ — холодная естественная, УФ — ультрафиолетовая, Ф — фотосинтетическая, Р — рефлекторная, У — U-образная, К — кольцевая, А — амальгамная. Среди ламп указанных цветностей различают еще лампы с улучшенным спектральным составом излучения, обеспечивающим хорошую цветопередачу освещаемых предметов. В обозначении этих ламп после букв, характеризующих цветность излучения, добавляют букву Ц (ЛДЦ, ЛХБЦ, ЛЕЦ и т. д.). Сразу после буквенного обозначения следуют цифры, указывающие на номинальную мощность лампы в ваттах, и через тире — порядковый номер разработки.

Люминесцентные лампы выпускают мощностью 15, 18, 20, 30, 36, 40, 58, 65, 80, 125 и 150 Вт. Средняя продолжительность горения люминесцентных ламп — не менее 12 000 ч, световая отдача 25...67,5 лм·Вт⁻¹ (табл. 25.2). Лампы рассчитаны таким образом, что оптимальным условиям их работы соответствует температура 18...25 °С (от 5 до 55 °С) и относительная влажность воздуха не более 70 %.

25.2. Основные параметры некоторых люминесцентных ламп низкого давления

Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Ток, А	Размеры, мм		Световой поток после 100 ч горения (лм) для ламп* типов	
			полная длина	диаметр	ЛБ	ЛТБ
15	127	0,330	451,6	27	760/820	700/820
20	127	0,37	604,0	40	1180/1200	975/1100
30	220	0,365	908,8	27	2100/2180	1880/2020
40	220	0,43	1213,6	40	3000/3200	2780/3100
65	220	0,67	1514,2	40	4550/4800	4200/4650
80	220	0,87	1514,2	40	5220/5400	4720/5200

Продолжение

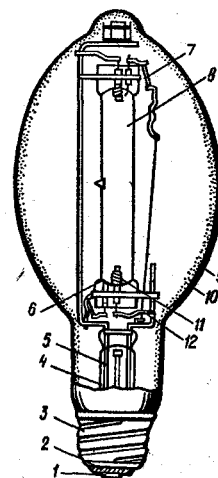
Мощность, Вт	Световой поток после 100 ч горения (лм) для ламп* типов				
	ЛХБ	ЛД	ЛЕ	ЛБЕ	ЛХЕ
15	680/800	590/700	—	390/420	—
20	950/1020	920/1000	800/820	—	—
30	1800/1940	1640/1800	1350/1460	—	—
40	2780/3000	2340/2500	1900/2100	—	1900/1930
65	4100/4400	3570/4000	3050/3400	—	—
80	4600/5040	4070/4300	—	—	—

* Для ламп 1-й категории/для ламп с государственным Знаком качества.

Лампы типа ДРЛ — ртутные люминесцентные лампы высокого давления с исправленной цветностью — широко распространены для освещения производственных территорий, строительных площадок, проезжей части дорог, а также промышленных предприятий, не требующих высокого качества цветопередачи.

Лампа (рис. 25.3) представляет собой прямую ртутно-кварцевую горелку 8 высокого давления, заключенную во внешнюю стеклянную колбу 9, то есть как бы лампу в лампе. На внутреннюю поверхность внешней колбы нанесен люминофор 10, пред-

Рис. 25.3. Четырехэлектродная лампа типа ДРЛ: 1 — контактная шайба; 2 — электроизоляционная стекломасса; 3 — стакан цоколя; 4 — стеклянная ножка лампы; 5 и 12 — проводники; 6 — поджигающие электроды; 7 — омические сопротивления; 8 — горелка; 9 — стеклянная колба; 10 — люминофор; 11 — основные электроды.



назначенный для преобразования ультрафиолетового излучения горелки в видимое. Колба горелки выполнена из кварцевого стекла в виде цилиндрической трубки, в торцы которой впаяны вольфрамовые оксидированные электроды 11. Внутри колбы горелки находится аргон и дозированное количество ртути.

Период разгорания лампы типа ДРЛ продолжается 3...7 мин. За это время происходят нагревание горелки и испарение ртути. Давление паров ртути повышается, вместе с тем изменяются электрические (ток, мощность и др.) и светотехнические (световой поток, световая отдача и др.) параметры лампы. Например, после зажигания в лампе электрического разряда начальное напряжение на ней составляет 25...30 В и по мере разгорания повышается до 115...145 В. В момент зажигания ток лампы в 2...2,6 раза превышает номинальный, но по мере разогрева горелки и испарения в ней ртути он постепенно уменьшается. Мощность и световой поток лампы возрастают до номинальных значений. После разгорания лампы наблюдается устойчивый режим работы и происходит стабилизация всех характеристик. Повторно зажечь погасшую лампу можно лишь после того, как она остынет (примерно через 10...15 мин).

Промышленность выпускает восемь типоразмеров ламп ДРЛ мощностью 50, 80, 125, 250, 400, 700, 1000 и 2000 Вт для включения в сеть переменного тока номинальным напряжением 220 и 380 В. Световая отдача ламп 40...58,5 лм·Вт⁻¹. Средняя продолжительность горения 6...15 тыс. ч. Для ламп характерен относительный недостаток излучения красного цвета, что вызывает искажение цветовых ощущений при освещении (прил. 9).

Разновидностью ламп ДРЛ являются ртутно-вольфрамовые лампы типа ДРВ, в которых свечение газового разряда дополнительно свечением вольфрамовой спирали, одновременно используемой в качестве активного балластного сопротивления. В лампе ртутно-кварцевая горелка и вольфрамовая спираль смонтированы на общей стеклянной ножке в общей стеклянной колбе.

Последовательное соединение вольфрамовой спирали и ртутно-кварцевой горелки позволяет включать лампу непосредственно в сеть переменного тока напряжением 220 В без каких-либо дополнительных пускорегулирующих аппаратов. Световая отдача таких ламп $18...28 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, средняя продолжительность горения 3...5 тыс. ч.

Металлогалогенные лампы типа ДРИ по конструкции в общих чертах подобны двухэлектродным лампам типа ДРЛ. Их отличительная особенность заключается в том, что полость их горелки заполнена аргоном и дозированными компонентами в виде ртути и галогидных соединений (чаще всего йодитов) редкоземельных металлов (индия, тулия, таллия, скандия, тория и др.).

В обозначении ламп ДРИ буквы означают: Д — дуговая, Р — ртутная, И — с излучающими добавками, З — зеркальная. Первое число после буквенного обозначения указывает номинальную мощность в ваттах, а второе после дефиса — номер разработки или модификации. Промышленность изготавливает лампы типа ДРИ шести типоразмеров: на 250, 400, 700, 1000, 2000, 3500 Вт. Световая отдача ламп ДРИ достигает $68...95 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, средняя продолжительность горения 0,6...10 тыс. ч.

Натриевые лампы высокого давления (ДНаТ) имеют самую большую световую отдачу среди всех газоразрядных ламп и отличаются незначительным снижением излучаемого светового потока на протяжении всего срока эксплуатации. Тонкостенную трубчатую горелку ламп типа ДНаТ изготавливают из поликристаллической окиси алюминия и заполняют парами натрия и амальгамы натрия, ксеноном, парами ртути и амальгамы ртути.

Промышленность выпускает лампы типа ДНаТ мощностью 250, 400, 700 и 1000 Вт. Световая отдача этих ламп составляет $100...125 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, но до 70 % излучения лампы сосредоточено в желто-оранжевой области спектра (560...610 нм). Такое излучение обеспечивает хорошее различие положения и формы объектов, но цветопередача предметов оценивается как едва удовлетворительная. Последнее и определяет назначение ламп ДНаТ — для освещения улиц, перекрестков и территорий промышленных объектов, декоративного и архитектурного освещения.

Лампы ДНаТ характеризуются хорошей стабильностью светового потока в течение всего срока службы. Спад потока — не более 15...20% на 10 тыс. ч горения.

25.3. Схемы включения газоразрядных источников видимого излучения

Особенность электрического разряда в среде большинства инертных газов, паров металлов и их смесей — падающая вольтамперная характеристика. Поэтому для стабилизации режима электрического разряда газоразрядных источников оптического излучения необходимо последовательно с ними включать балластное сопротивление. В качестве балластного сопротивления в цепях переменного тока принципиально можно применить активное, индуктивное, емкостное сопротивления или их комбинацию, однако наибольшее распространение на практике получили индуктивное и индуктивно-емкостное сопротивления, отличающиеся сравнительно незначительными потерями электрической энергии и пульсацией потока излучения источников.

Схема включения газоразрядных источников оптического излучения должна обеспечивать необходимый режим зажигания и разгорания, стабилизацию электрического разряда, подавление радиопомех, возникающих при зажигании и работе, а также улучшение коэффициента мощности и снижение пульсации светового потока. Совокупность всех элементов схемы включения, обеспечивающая выполнение вышеуказанных функций и конструктивно оформленная в виде единого устройства или нескольких отдельных блоков, называется пускорегулирующим аппаратом (ПРА). В сеть люминесцентные лампы включают при помощи ПРА импульсного зажигания с предварительным подогревом электродов и использованием полупроводникового или тлеющего стартера, ПРА горячего зажигания с постоянным подогревом электродов, ПРА мгновенного зажигания при холодных электродах лампы.

Основные элементы схемы включения с использованием стартера тлеющего разряда — это люминесцентная лампа, дроссель в качестве балластного сопротивления и стартер (рис. 25.4, а).

Стартер тлеющего разряда представляет собой миниатюрную газоразрядную лампу с биметаллическими (одним или двумя) электродами, заполненную смесью инертных газов (аргона, неона, гелия и др.). Стеклообразная колба лампы стартера помещена в металлический корпус цилиндрической формы. В одном корпусе со стартером расположен конденсатор $C1$ (10 000...12 000 пФ), предназначенный для подавления радиопомех. Напряжение зажигания разряда в миниатюрной лампе стартера составляет не менее 70 В для стартера 20С-127 и 130 В для стартера 80С-220. Обозначение стартера

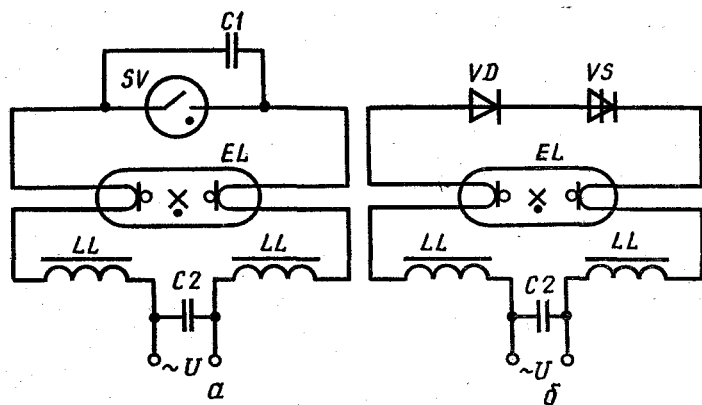


Рис. 25.4. Схемы включения люминесцентной лампы в сеть с использованием стартеров тлеющего разряда (а) и полупроводникового (б): LL — дроссель; EL — люминесцентная лампа; SV — стартер; C1 и C2 — конденсаторы; VS — динистор; VD — диод.

включает: С — стартер; 20 и 80 — предельные значения мощности люминесцентных ламп, для которых предназначен стартер (Вт); 127 и 220 — номинальные напряжения стартера (В).

При подаче напряжения на схему ток через люминесцентную лампу не проходит, так как газовый промежуток в достаточной степени не ионизирован и является изолятором. В таком состоянии для его пробоя необходимо напряжение, превышающее напряжение сети в несколько раз. В стартере же возникает тлеющий разряд, сопровождающийся протеканием тока (20...50 мкА) в электрической цепи, образованной дросселем, нитями накала электродов люминесцентной лампы и самим стартером. Тлеющий разряд нагревает биметаллические электроды стартера, и они, изгибаясь, накоротко соединяются один с другим и замыкают цепь накала электродов люминесцентной лампы через дроссель на напряжение сети. Проходящий при этом ток, равный 0,9...2,0 номинального тока люминесцентной лампы, обеспечивает интенсивный подогрев электродов. Тлеющий разряд в стартере прекращается, так как разность потенциалов на его электродах равна нулю.

За 1...2 с электроды люминесцентной лампы разогреваются до 800...1000 °С, вследствие чего увеличивается электронная эмиссия, ионизируется газовый промежуток и облегчаются условия его пробоя. После прекращения тлеющего разряда в стартере его электроды охлаждаются и, возвращаясь в исходное

положение, разрывают цепь накала электродов люминесцентной лампы. В момент разрыва цепи возникает электродвижущая сила (ЭДС) самоиндукции в дросселе. Образовавшийся за счет ЭДС самоиндукции импульс повышенного напряжения (700...1000 В) прикладывается к электродам, обеспечивает пробой межэлектродного промежутка люминесцентной лампы и ее зажигание. К стартеру, включенному параллельно работающей люминесцентной лампе, прикладывается приблизительно половина напряжения сети, которого недостаточно для возникновения в нем тлеющего разряда, и поэтому он автоматически отключается. Однако если люминесцентная лампа по какой-либо причине не зажглась, то весь процесс зажигания повторяется.

В рассмотренной схеме самый ненадежный элемент — стартер тлеющего разряда с подвижными биметаллическими электродами. Надежность схем можно повысить путем использования различного рода полупроводниковых стартеров или бесстартерных ПРА. Пример фрагмента простейшей схемы с полупроводниковым стартером приведен на рисунке 25.4, б. Во время зажигания люминесцентной лампы в один полупериод изменения переменного напряжения электроды разогреваются, а в другой — подается импульс напряжения. Динистор подбирают таким образом, чтобы напряжение его включения было меньше номинального напряжения сети, но больше амплитудного значения рабочего напряжения на лампе. Диод защищает динистор по обратному напряжению.

В четырехэлектродных лампах ДРЛ зажиганию основного разряда между рабочими электродами предшествует возникновение тлеющего разряда между рабочими и поджигающими электродами, который затем переходит на основные электроды. Для четырехэлектродных ламп ДРЛ электрический разряд в кварцевой горелке может быть зажжен от сетевого напряжения 220 или 380 В. В схему включения таких ламп (рис. 25.5) последовательно с лампой включают одно- или двухобмоточный дроссель. Так как при индуктивном балласте коэффициент мощности ПРА составляет 0,45...0,6, то для его повышения до требуемого значения при инди-

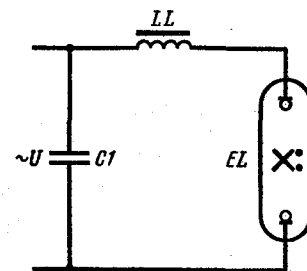


Рис. 25.5. Принципиальная схема включения четырехэлектродных ламп типа ДРЛ в сеть:

LL — дроссель; C1 — конденсатор; EL — лампа.

видуальной компенсации в схему вводят конденсатор С1. Емкость конденсатора определяется мощностью лампы.

Металлогалогенные лампы типа ДРИ и натриевые лампы высокого давления типа ДНаТ включают в сеть переменного тока частотой 50 Гц напряжением 220 и 380 В с соответствующим ПРА и импульсным зажигающим устройством типа ИЗУ или универсальным импульсным зажигающим устройством типа УИЗУ.

Каждому ПРА присваивается шифр условного обозначения, который характеризует его назначение, устройство, исполнение и параметры. Структура условного обозначения ПРА такова:

1 2 3-4 5 / 6-7 8 9-10-11

где 1 — цифра, указывающая число одновременно присоединяемых к ПРА ламп;

2 — буквы, обозначающие состав и назначение входящих в аппарат балластных элементов (ДБ — дроссели балластные, УБ — устройства стартерные, АБ — аппараты бесстартерные горячего зажигания, МБ — аппараты мгновенного зажигания и т. д.);

3 — буква, характеризующая коэффициент мощности потребляемого из сети тока (И — индукционный, Е — емкостной, К — компенсированный);

4 — цифры, указывающие мощность присоединенной лампы в ваттах;

5 — буква, указывающая тип лампы в случае непрямых люминесцентных ламп и ламп высокого давления (К — кольцевые, У — U-образные, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ — соответственно лампы типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ и т. д.);

6 — цифры, указывающие напряжение сети, на которое включается ПРА (127, 220 и 380 В);

7 — буква, характеризующая наличие (ставится буква А) или отсутствие (не обозначается) сдвига между токами многолампового аппарата;

8 — буква, характеризующая конструктивное использование аппарата (В — встроенные в осветительный прибор, Н — независимые);

9 — буквы, характеризующие уровень шума, создаваемого аппаратом (П — с пониженным уровнем шума, ПП — с особо низким уровнем шума и аппараты с нормальным уровнем шума — не обозначаются);

10 — трехзначная цифра, указывающая номер серии разработки ПРА;

11 — буква и цифры, указывающие климатическое исполнение и категорию размещения.

Пример условного обозначения ПРА: 2УБИ-30У/220-АВПП/928-У3 — устройство балластное стартерное индукционное для двух U-образных ламп мощностью 30 Вт каждая на напряжение 220 В с элементами для сдвига фаз

между токами ламп и особо низким уровнем шума, серии разработки 928, встраиваемое в осветительный прибор, для эксплуатации в умеренном климате в закрытых неотапливаемых помещениях.

25.4. Источники для облучения и обогрева

В сельскохозяйственном производстве для электротехнологического воздействия оптическим излучением на живые организмы и растения широкое распространение получили специальные источники излучения в областях ультрафиолетовой (100...380 нм) и инфракрасной ($780...1 \cdot 10^6$ нм) частей спектра, а также фотосинтетически активной радиации (400...700 нм).

По распределению потока оптического излучения между различными областями ультрафиолетового спектра различают источники общего ультрафиолетового (100...380 нм), преимущественно бактерицидного (100...280 нм) и витального (280...315 нм) действия.

К источникам общего ультрафиолетового излучения относятся дуговые ртутные трубчатые лампы высокого давления типа ДРТ. Лампа ДРТ представляет собой трубку из кварцевого стекла, в концы которой впаяны вольфрамовые самокалящиеся электроды (рис. 25.6). В лампу вводится дозированное количество ртути и аргона. Для удобства крепления к арматуре лампы ДРТ снабжены металлическими хомутиками 2 и держателем 3, которые соединены между собой металлической полоской 5, используемой для облегчения зажигания лампы. К сети питания лампу присоединяют через ПРА посредством выступающих наружу концов молибденовых вводов 1. В качестве ПРА используются балластные устройства, аналогичные балластным устройствам ламп типа ДРЛ соответствующей мощности и номинального напряжения сети.

Схема включения ламп ДРТ в сеть содержит балластный дроссель, замыкающий ключ и два конденсатора. Если подать на схему напряжение и замкнуть ключ SB, то в электрической цепи LL — SB — C1 появится ток, значение которого ограничивается сопротивлением дросселя и конденсатора. Резкий разрыв цепи ключом В вызывает индуктирование в дросселе ЭДС самоиндукции, которая прикладывается к лампе и пробивает газовый промежуток. Металлическая полоска облегчает пробой лампы. Конденсатор C2 предназначен для повышения коэффициента мощности цепи.

В качестве источников ультрафиолетового излучения в основном применяют лампы ДРТ мощностью 230, 400 и 1000 Вт (табл. 25.3). Средняя продолжительность горения ламп

ДРТ230 и ДРТ1000 составляет 2000 ч, ДРТ400—2700 ч. В конце срока службы ультрафиолетовое излучение ламп составляет не менее 60 % номинальных значений.

Витальные люминесцентные лампы типа ЛЭ выполнены в виде цилиндрических трубок из увиолевого стекла, внутренняя поверхность которых покрыта тонким слоем люминофора, излучающего в ультрафиолетовой области спектра с длиной волны 280...380 нм (максимум излучения в области 310...320 нм). Кроме сорта стекла, диаметра трубки и состава люминофора, трубчатые витальные лампы конструктивно не отличаются от трубчатых люминесцентных ламп низкого давления. Трубчатые витальные лампы включают в сеть при помощи тех же ПРА, что и люминесцентные лампы соответствующей мощности.

Лампы ЛЭ выпускают мощностью 15 и 30 Вт соответственно на напряжение 127 и 220 В. Кроме этого, разработаны витально-осветительные люминесцентные лампы ЛЭО15 и ЛЭО30, витальные рефлекторные люминесцентные лампы ЛЭР30 и ЛЭР40 и витально-осветительные рефлекторные люминесцентные лампы типа ЛЭОР.

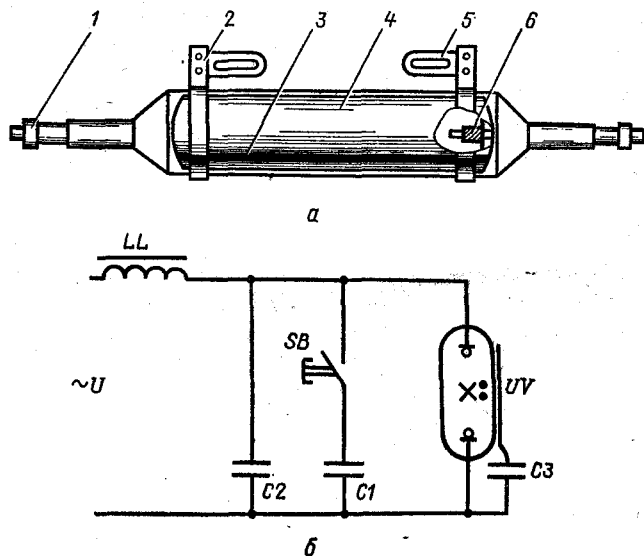


Рис. 25.6. Конструкция лампы ДРТ (а) и схема включения ее в сеть (б): 1 — ввод; 2 — металлические хомуты; 3 — металлическая полоска; 4 — трубка из кварцевого стекла; 5 — держатель; 6 — самокалящиеся электроды; LL — дроссель; SB — замыкающий ключ; UV — лампа ДРТ; C1, C2 и C3 — конденсаторы.

25.3. Основные параметры источников ультрафиолетового излучения

Тип лампы	Мощность	Номинальное напряжение сети, В	Ток лампы, А	Световой поток, лк	Витальный поток, мвт	Бактерицидный поток, мбк	Срок службы, тыс. ч	Габаритные размеры, мм	
								длина	диаметр
ЛЭ15	15	127	0,33	40	300	55	5	451,6	30
ЛЭО15	15	127	0,33	650	110	—	5	451,6	30
ЛЭ30-1	30	220	0,36	110	750	125	5	908,8	30
ЛЭР40	40	220	0,43	120	1 600	150	3	1213,6	40
ДБ30-1	30	220	0,36	140	35	6 600	5	908,8	30
ДБ60	60	220	0,7	180	41	8 000	5	908,8	30
ДРТ230	230	127	3,8	4400	2 800	6 700	2	190	20
ДРТ400	400	220	3,25	8000	4 750	10 500	2,7	265	22
ДРТ1000	1000	220	7,5	3300	16 500	39 500	2	350	32

Бактерицидные лампы — источники коротковолнового ультрафиолетового излучения, большая часть которого (до 80 %) приходится на линию с длиной волны около 254 нм. Конструкция бактерицидных ламп принципиально не отличается от трубчатых люминесцентных ламп низкого давления, но увиолевоое стекло с легирующими присадками, применяемое для их изготовления, хорошо пропускает излучение в диапазоне спектра менее 280 нм. Кроме этого, колба бактерицидных ламп не покрыта люминофором и имеет несколько уменьшенные размеры (диаметр и длину) по сравнению с аналогичными люминесцентными лампами общего назначения одинаковой мощности.

В СССР изготавливают бактерицидные лампы трех типов: ДБ15; ДБ30-1 и ДБ60 номинальной мощностью 15, 30 и 60 Вт (табл. 25.3). В сеть бактерицидные лампы так же, как и люминесцентные общего назначения, включают при помощи ПРА, причем лампу ДБ15 — на номинальное напряжение 127 В, а остальные — на 220 В.

Специальные лампы с повышенной фотосинтетически активной радиацией применяют при искусственном облучении растений. К ним относятся люминесцентные фотосинтетические лампы низкого давления типа ЛФ и ЛФР (Р — рефлекторная), дуговые ртутные люминесцентные фотосинтетические высокого давления типа ДРЛФ, металлогалогенные дуговые ртутные высокого давления типа ДРФ, ДРИ, ДРОТ, ДМЗ и ДМ4, дуговые ртутные вольфрамовые типа ДРВ.

Люминесцентные фотосинтетические лампы низкого давления типа ЛФ и ЛФР по конструкции аналогичны люминесцентным лампам низкого давления и отличаются от последних только составом люминофора, а следовательно, и спектром излучения.

В лампах ЛФ относительно высокая плотность излучения лежит в диапазоне длин волн от 400 до 450 нм и от 600 до 700 нм, на которые приходятся максимумы спектральной чувствительности зеленых растений. Лампы типа ЛФ изготавливают мощностью 40 Вт трех модификаций (ЛФ40, ЛФ40-1 и ЛФ40-2), а лампы с направленным распределением лучистого потока ЛФР — мощностью 150 Вт.

Конструктивно лампы ДРЛФ сходны с лампами ДРЛ соответствующей мощности. Но в отличие от последних у ламп ДРЛФ изменением состава люминофора увеличена доля излучения в красной части спектра, под слоем люминофора есть отражающее покрытие, обеспечивающее требуемое распределение лучистого потока в пространстве и отсутствует люминофор примерно на третьей части стороны колбы, противоположной цоколю. Изготавливают лампы ДРЛФ мощностью 400 Вт.

Инфракрасные зеркальные лампы-термоизлучатели отличаются от обычных осветительных ламп параболической формой колбы и более низкой температурой тела накала. Относительно низкая температура биспирального тела накала ламп-термоизлучателей (1900...2300 °С) позволяет сместить спектр их излучения в инфракрасную область и увеличить среднюю продолжительность горения до 5000 ч.

Внутренняя часть колбы ламп-термоизлучателей, прилегающая к цоколю, покрыта зеркальным слоем, что позволяет перераспределять и концентрировать в заданном направлении излучаемый инфракрасный поток. Равномерность распределения потока инфракрасного излучения зависит от формы колбы лампы. Для снижения интенсивности видимого излучения нижнюю часть колбы некоторых инфракрасных ламп-термоизлучателей покрывают красным (лампы ИКЗК) или синим (лампы ИКЗС) термостойким лаком.

Отечественная промышленность выпускает специальные электрические инфракрасные зеркальные лампы-термоизлучатели типов ИКЗ220-500, ИКЗ220-500-1, ИКЗК220-250 и др. (табл. 25.4). В написании типа ламп буквы обозначают: ИК — инфракрасная, З — зеркальная, К или С — цвет окрашенной колбы. Цифры, стоящие после букв, — напряжение сети в вольтах и мощность источника излучения в ваттах.

Перспективными источниками инфракрасных излучений для сельскохозяйственного производства являются галогенные лампы накаливания, характеризующиеся высокой стабильностью потока излучения на протяжении всего срока службы, малыми габаритными размерами и массой, нечувствительностью к кратковременному повышению питающего напряжения, к резким

25.4. Основные параметры некоторых источников инфракрасного излучения

Тип лампы	Номинальные значения		Габаритные размеры, мм		Средняя продолжительность горения, тыс. ч	Тип цоколя по ГОСТ 17100—79
	напряжение, В	мощность, Вт	диаметр колбы	длина лампы		
ИКЗК 127-250	127	250	130	195	6	Е 27/30
ИКЗС 127-250-1	127	250	130	195	6	Е 27/30
ИКЗ 127-250	127	250	130	215	6	Е 40/45
ИКЗ 127-500-1	127	500	130	215	6	Е 40/45
ИКЗ 127-500	127	500	180	267	6	Е 40/45
ИКЗК 220-250	220	250	130	195	6	Е 27/30
ИКЗС 220-250-1	220	250	130	195	6	Е 27/30
ИКЗ 220-250	220	250	130	215	6	Е 40/45
ИКЗ 220-500-1	220	500	130	215	6	Е 40/45
ИКЗ 220-500	220	500	180	267	6	Е 40/45
КГТ 220-1000	220	1000	12	500	10	Специальный
КГТ 220-1000-1	220	1000	12	375	10	То же
КГТ 220-1500	220	1500	10,75	400	2,4	То же

перепадам температуры и условиям окружающей среды. Применение вольфрамогалогенного цикла в таких лампах позволило повысить удельную плотность излучения и уменьшить осаждение вольфрама на стенки колбы лампы, сохраняя их чистыми и прозрачными на протяжении всего срока службы.

Галогенная лампа накаливания представляет собой цилиндрическую трубку из кварцевого стекла диаметром 8...36 мм и длиной 132...1230 мм (диаметр и длина определяются назначением и мощностью лампы). Тело накала лампы выполнено в виде вольфрамовой спирали, смонтированной по оси трубки на вольфрамовых держателях. Трубку наполняют аргоном и вводят небольшое количество галогенных соединений (бромистый и иодистый метил или метил).

Отечественная промышленность выпускает для освещения лампы ИК, КГ и КГМ преимущественно на напряжение 220 В мощностью 500, 1000, 1500, 2000, 5000, 10 000 и 20 000 Вт, а для инфракрасного нагрева — лампы-термоизлучатели КГ, КГТ, КГТО, КГТД на напряжение 127, 220 и 380 В мощностью 400, 600, 1000, 2200, 2500, 3300 и 3550 Вт. Буквы, входящие в наименование типов таких ламп, означают: К — кварцевая, И — иодная, Г — галогенная, Т — термоизлучатель, О — с отогнутыми концами, Д — дифференцированное тело накала, М — малогабаритная. Далее следуют: первая группа цифр — номи-

нальное напряжение (В), вторая группа цифр — номинальная мощность (Вт) и последняя цифра — порядковый номер разработки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличаются лампы типов В, Г, Б и БК? 2. Расскажите об электрических, светотехнических и эксплуатационных характеристиках ламп накаливания. Как влияет отклонение напряжения на срок службы ламп? 3. Как устроена люминесцентная лампа низкого давления? 4. Чем конструктивно отличаются лампы высокого давления ДРЛ, ДРВ, ДРИ и ДНаТ? 5. Как работает схема импульсного зажигания люминесцентных ламп с предварительным подогревом электродов и использованием стартера тлеющего разряда? 6. Начертите схемы включения в сеть газоразрядных источников высокого давления. 7. Как расшифровать обозначение пуско-регулирующих аппаратов 2УБИ-30 У/220-АВПП-800-УЗ и 1ДБИ-700ДРЛ/220-В-432-У2? 8. Каковы особенности устройства источников ультрафиолетового излучения ЛЭ, ДРТ и ДБ? 9. Каковы особенности устройства инфракрасных ламп накаливания, в том числе галогенных?

Лабораторная работа № 13. ВКЛЮЧЕНИЕ В СЕТЬ И ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СХЕМ С ИСТОЧНИКАМИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы. Изучить устройство и схемы включения источников оптического излучения. Исследовать условия их пуска и определить основные технические характеристики.

Программа работы. 1. По натурным образцам изучить устройство исследуемых источников и зарисовать схемы включения в сеть, ознакомиться с процессами зажигания и работы.

2. Собрать схему лабораторной установки. При номинальном напряжении питания схемы определить силу тока и мощность, потребляемую лампой и всей схемой, напряжение на лампе и балластном сопротивлении, освещенность, создаваемую лампой на расстоянии 0,1 м от светового центра лампы.

3. Для газоразрядных ламп высокого давления попутно исследовать изменение указанных параметров при разгорании и до момента стабилизации режима электрического разряда в горелке.

4. Рассчитать полную мощность, потребляемую схемой, значение коэффициента мощности схемы и потери электрической мощности на балластном сопротивлении. Проанализировать полученные результаты, обратив особое внимание на продолжительность разгорания источников, относительное изменение освещенности в исследуемой точке, относительные потери электрической энергии на балластном сопротивлении и значения коэффициента мощности схемы.

Содержание отчета. В отчет по работе включить описание и технические характеристики исследуемых источников, схемы их включения

в сеть, таблицу экспериментальных данных, зависимости, характеризующие изменение параметров газоразрядных ламп высокого давления при разгорании. Проанализировать полученные результаты исследований и расчетов, сделать выводы по работе.

Глава 26. УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

26.1. Осветительные приборы

Осветительный прибор — это совокупность источников света и арматуры, предназначенной для рационального перераспределения светового потока источника, защиты глаз от чрезмерной его яркости, крепления источника света и предохранения его от механических повреждений и загрязнения. Все осветительные приборы принято делить на три группы: осветительные приборы ближнего действия (до 20...30 м) — светильники, осветительные приборы дальнего действия (более 30 м) — прожекторы и комплексные осветительные устройства на основе щелевых и плоских световодов.

Светильники. Общие элементы устройства светильников: корпус, источник (источники), оптическая система, ламподержатели (патроны), встроенные ПРА (для газоразрядных источников) и другие вспомогательные приспособления. Оптическая система светильников состоит из отражателей, рассеивателей, защитных стекол, экранирующих решеток и колец. Все светильники отличаются один от другого характером светораспределения, формой кривой силы света, типоразмером источника, способом установки и особенностями эксплуатации, классом защиты от поражения электрическим током, степенью защиты от пыли и воды, климатическим исполнением и категорией размещения, степенью пожаро- и взрывозащиты, способом питания источников и целевым назначением.

В основу классификации светильников по светораспределению положены два независимых признака — соотношение световых потоков, излучаемых светильниками в нижнюю $\Phi_{\text{ниж}}$ и верхнюю $\Phi_{\text{верх}}$ полусферы окружающего пространства, и формы кривой силы света. По ГОСТ 17677—82 все светильники подразделяются на пять классов в зависимости от того, какую долю всего светового потока светильника составляет поток в нижнюю полусферу. Светильники относятся к классу прямого света (П), если эта доля больше 80 %, преимущественно прямого света (Н), если она составляет 60...80 %, рассеянного света (Р) — 40...60 %, преимущественно отраженного света (В) —

20...40 % и отраженного света (О) — менее 20 %. Тот же ГОСТ устанавливает семь типовых кривых силы света, одну из которых может иметь каждый из светильников.

ГОСТ 17677—82 регламентирует виды светильников по защите от таких основных факторов окружающей среды, как пыль и вода, оказывающих большое влияние на надежность осветительных приборов, их безопасность для людей и пожарную безопасность. Защита от пыли, воды и агрессивных сред обеспечивается выбором соответствующих конструкционных и светотехнических материалов, а также различной степенью герметизации внутреннего объема светильников или отдельных его полостей, в которых размещаются источники, патроны или лампы-поддержатели, пускорегулирующая аппаратура, электроустановочные изделия и вспомогательное оборудование. По ГОСТ 17677—82 все светильники делятся на шесть классов по степени защиты от пыли и на девять по степени защиты от влаги.

Каждому светильнику присваивают шифр. Структура условного обозначения светильников по ГОСТ 17677—82 такова:

1 2 3 4-5 × 6-7-8,

где 1 — буква, обозначающая источник света (Н — лампы накаливания общего назначения, И — кварцевые галогенные лампы накаливания, Л — прямые трубчатые люминесцентные лампы, Ф — фигурные люминесцентные лампы, Э — витальные лампы, Р — ртутные лампы типа ДРЛ, Ж — натриевые лампы, Г — металлогалогенные лампы);

2 — буква, обозначающая способ установки светильников (С — подвесные, П — потолочные, Б — настенные, Н — настольные, Т — вешающиеся, К — консольные, Р — ручные сетевые);

3 — буква, обозначающая основное назначение светильника (П — для промышленных предприятий, О — для общественных зданий, Б — для жилых (бытовых) помещений, У — для наружного освещения);

4 — двухзначное число (01...99), обозначающее номер серии;

5 — цифра (цифры), обозначающая число ламп в светильнике (если одна лампа, не указывается);

6 — цифры, обозначающие мощность лампы, Вт;

7 — трехзначное число (000...999), обозначающее номер модификации;

8 — буква и цифра, обозначающие климатическое исполнение и категорию размещения светильников по ГОСТ 15150—69.

Наряду с условными обозначениями светильникам могут быть присвоены условные наименования (собственные или фирменные имена), например, «Астра», «Бирюза», «Орфей», «Лада» и др., которые должны указываться только после условного обозначения и без последнего применяться не могут. Пример условных обозначений светильников в соответствии с ГОСТ

17677—82: ННБ02-2×40-005-У4 «Орфей» — светильник с двумя лампами накаливания мощностью 40 Вт, общего назначения, настольный, для жилых (бытовых) помещений, серии 02, модификации 005, климатическое исполнение У, категории размещения 4.

Из всего многообразия выпускаемых промышленностью светильников в сельскохозяйственном производстве получили распространение немногие. Это светильники серии НСП01 «Астра...» и пришедшие им на смену НСП21 «Бирюза...», НСП02 и НСП03, НСП11, пришедшие на смену светильникам ППР и ППД, светильники ПСХ, ПВЛ, ПВЛМ, ПВЛП, ЛСХ10, серии ЛСП09, ЛСП15 «Лада...», ЛСП18, ЛСП21, ЛСП23, РСП05 и др.

Прожекторы получили распространение для освещения больших открытых пространств при невозможности или нежелательности установки опор. При освещении прожекторами облегчается эксплуатация осветительной установки за счет резкого сокращения числа мест, требующих обслуживания, числа опор или мачт, протяженности электрических сетей, а также улучшаются условия освещения вертикальных поверхностей. Однако усиливается слепящее действие прожекторов, появляются резкие тени от крупных предметов, расположенных на освещаемой территории, возникает необходимость квалифицированного ухода за прожекторами.

Для освещения открытых пространств применяются прожекторы типов ПСМ, ПЗС, ПЗР, ПЗМ, ПФР, ПФС, ПГП, ПГЦ и др. В качестве источника света в них используют лампы ДРЛ мощностью 250, 400, 700 Вт, лампы накаливания общего назначения 200, 500 и 1000 Вт, прожекторные лампы накаливания 500 и 1000 Вт, галогенные лампы накаливания 1000, 1500 и 2000 Вт и металлогалогенные газоразрядные лампы 400, 700, 1000 и 2000 Вт.

Комплексные осветительные устройства (КОУ) на основе световодов являются принципиально новыми осветительными приборами, позволяющими эффективно работать в производственных помещениях с большим содержанием пыли, дыма, копоти и влаги, в том числе во взрывоопасных и пожароопасных зонах, и снижающими металлоемкость осветительных установок в 5...6 раз. Принцип действия КОУ заключается в том, что для освещения используют малое число мощных источников света, световой поток которых при помощи специальных оптических систем вводят в торец шелевого световода. При этом обеспечивается равномерная освещенность широкой полосы рабочей поверхности освещаемого помещения, а светотехнические и эк-

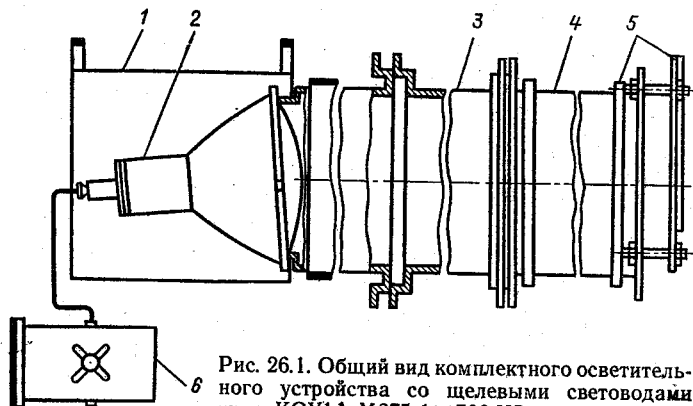


Рис. 26.1. Общий вид комплектного осветительного устройства со щелевыми световодами типа КОУ1А-М275-1×700-УЗ:

1 — камера; 2 — вводная цассета с источником света; 3 — переходный элемент с двумя прозрачными термостойкими стеклами; 4 — канал щелевого световода; 5 — торцевое устройство; 6 — блок ПРА и защитно-коммутирующей аппаратуры.

сплуатационные характеристики КОУ практически не зависят от воздействия окружающей среды.

КОУ состоит из следующих основных узлов: щелевого световода, камеры с источником света и блоком ПРА, торцевого и переходного (для некоторых исполнений КОУ) элементов (рис. 26.1). Канал щелевого световода представляет собой полый удлиненный цилиндр из полиэтилентерефталатной пленки. Внутренняя поверхность канала, за исключением продольной светопропускающей полосы оптической щели, покрыта зеркально отражающим слоем. Вводное устройство с источниками света и блоком ПРА смонтировано в специальной камере, которая обеспечивает их механическую защиту, электрическое питание и защиту от воздействия окружающей среды. Переходной элемент служит для изоляции камеры от освещаемого помещения. КОУ со щелевыми световодами поставляются полностью укомплектованными всем необходимым для монтажа и эксплуатации.

26.2. Проектирование осветительных установок

Правильно спроектированная установка должна обеспечивать оптимальную освещенность рабочей поверхности при наименьших затратах денежных средств и электроэнергии. При разработке проекта осветительной установки придерживаются следующего порядка рассмотрения вопросов: выбирают

источники света, систему и вид освещения, нормируемую освещенность и коэффициент запаса, осветительные приборы (тип светильника); размещают светильники в освещаемом пространстве; определяют мощность источников света, устанавливаемых в светильники, или число светильников.

Выбор источников света в общем случае определяется показателями экономической целесообразности и эффективности. Учитывая более высокую световую отдачу газоразрядных источников и сравнительно большой срок их службы, Строительные нормы и Правила (СНиП II—4—79 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования») и Отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений рекомендуют применять эти источники для общего освещения всех производственных помещений, и только в случаях невозможности или технико-экономической нецелесообразности применения газоразрядных ламп, а также для обеспечения архитектурно-художественных требований допускается использовать лампы накаливания. Лампы накаливания следует применять для освещения вспомогательных (санузлы, лестницы, коридоры и т. д.) и складских помещений.

При выборе источников света следует помнить, что расход электрической энергии при замене ламп накаливания на газоразрядные уменьшается при лампах ДРЛ до 40 %, при люминесцентных лампах — до 55 %, при металлогалогенных лампах высокого давления типа ДРИ — до 65 % и при натриевых лампах высокого давления — до 70 %.

Выбор системы и вида освещения. СНиП различают две системы освещения: общего и комбинированного освещения. Система комбинированного освещения характеризуется наличием местных светильников, установленных непосредственно на рабочих местах. Эти светильники дополняют освещенность рабочих мест, создаваемую светильниками общего освещения. Применение одного местного освещения внутри зданий не допускается.

Систему комбинированного освещения применяют тогда, когда на рабочей поверхности необходимо создать освещенность 200 лк и более. При этом освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составить 10 % нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения, но не менее 150 и не более 300 лк при газоразрядных лампах и соответственно не менее 50 и не более 100 лк при лампах накаливания.

Независимо от принятой системы общее освещение может

быть выполнено с равномерным или локализованным размещением светильников.

Искусственное освещение делится на следующие виды: рабочее, аварийное, эвакуационное (аварийное освещение для эвакуации) и охранное освещение территорий. В сельскохозяйственных помещениях для содержания животных из рабочего освещения обычно выделяют дежурное, предназначенное для периодического контроля в нерабочее время за состоянием животных и безопасного движения дежурного персонала в проходах и коридорах. Светильники дежурного освещения выделяют из числа светильников общего освещения: в помещениях, предназначенных для содержания животных, они должны составлять 10 %, а в родильных отделениях — 15 % общего числа светильников. Светильники дежурного освещения следует распределять равномерно по проходам животноводческого помещения. К дежурному освещению иногда относят и наружное освещение входов.

Выбор нормируемой освещенности осуществляют по отраслевым нормам освещения производственных, административных, общественных, бытовых помещений, сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений. Они разработаны на основе СНиП II—4—79 и представляют собой расписание значений минимальной освещенности рабочих поверхностей основных технологических операций производственного процесса в рассматриваемом помещении.

При эксплуатации осветительной установки освещенность на рабочих местах уменьшается. Основные причины снижения освещенности — уменьшение светового потока источников света в процессе горения и загрязнение осветительной арматуры, стен и потолка освещаемого помещения. Уменьшение освещенности в расчетах установленной мощности источников учитывается коэффициентом запаса k_z , значение которого зависит от наличия пыли, дыма и копоти в рабочей зоне помещения, от типа источников света, конструкции и периодичности чисток светильников. Коэффициент запаса по СНиП II—4—79 для ламп накаливания равен 1,15...1,7, а для газоразрядных ламп — 1,3...2,0.

Выбор светильников определяется характером окружающей среды, требованиями к светораспределению и ограничению слепящего действия, экономической целесообразностью и эксплуатационной группой.

Светильники по условиям окружающей среды чаще всего выбирают по справочным таблицам и различного рода информационным материалам, где указаны рекомендуемые решения по применению светильников для различных категорий помещений. При выборе необходимо, чтобы степень защиты светильников

соответствовала характеру окружающей среды в помещении. Следует помнить, что для сырых, особо сырых помещений и помещений с химически активной средой предпочтительны светильники с корпусами и отражателями из влагостойкой пластмассы, фарфора или покрытые силикатной эмалью.

Требования к характеру светораспределения при выборе светильников учитывают следующим образом: для производственных помещений обычно принимают светильники прямого или преимущественно прямого светораспределения с типовыми кривыми света К, Г или Д; для административных, общественных и жилых помещений, и особенно когда предъявляются высокие требования к качеству освещения, — светильники рассеянного, преимущественно отраженного или отраженного светораспределения с типовыми кривыми света М, Л или Ш.

Экономическую целесообразность принимаемого решения следует учитывать путем сопоставления технико-экономических показателей равноценных по светотехническому эффекту вариантов по критерию минимума приведенных затрат. Основные составляющие приведенных затрат — это стоимость электроэнергии, зависящая от установленной мощности источников, капитальные вложения, включающие стоимость светильников, их монтаж и один комплект ламп, и затраты на обслуживание осветительной установки. Поскольку стоимость электроэнергии обычно преобладает в общей сумме затрат, то в практике проектирования на стадии выбора светильников часто ограничиваются только сопоставлением установленной мощности осветительной установки и капитальных затрат на приобретение светильников.

Размещение светильников в освещаемом пространстве. При равномерном размещении светильники распределяют по углам прямоугольника или вершинам ромба с учетом доступа к светильникам для обслуживания (рис. 26.2). Расстояние между светильниками в ряду L_A и расстояние между рядами светильников L_B определяют по формуле

$$L_{A,B} \approx \lambda_c H_p \quad (26.1)$$

где λ_c — светотехнически наилучшее относительное расстояние между светильниками (табл. 26.1); H_p — расчетная высота установки светильников, м.

Светотехнически наилучшее относительное расстояние λ_c обеспечивает такое расстояние между светильниками, при котором распределение освещенности на рабочей поверхности наиболее равномерное. Увеличение λ_c сверх рекомендуемого

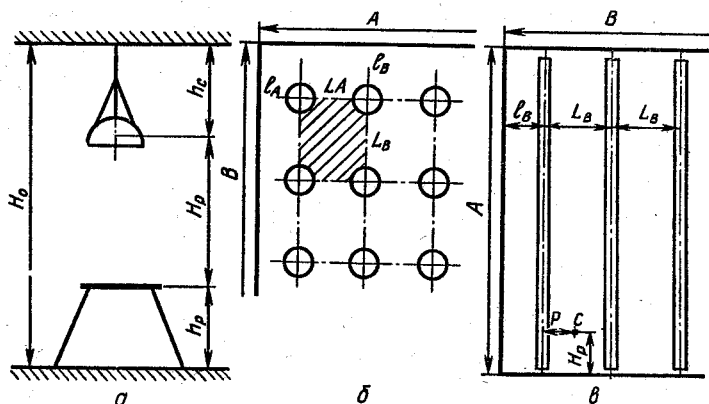


Рис. 26.2. Размещение светильников в разрезе (а) и на плане помещения с круглосимметричным светораспределением по углам прямоугольника (б) и в линию для светильников с люминесцентными лампами (в).

26.1. Рекомендуемые значения λ для светильников с типовыми кривыми силы света по ГОСТ 17677—82

Типовая кривая	λ_c	λ_s
Концентрированная	0,4...0,7	0,6...0,9
Глубокая	0,8...1,2	1,0...1,4
Косинусная	1,2...1,6	1,6...2,1
Равномерная	1,8...2,6	2,6...3,4
Полуширокая	1,4...2,0	1,8...2,3

значения ухудшает равномерность освещения рабочих поверхностей, но уменьшает установленную мощность источников. При $\lambda_c = \lambda_s$ (λ_s — энергетически наиболее выгодное относительное расстояние) мощность источников минимальная. Увеличение относительного расстояния между светильниками сверх λ_s ухудшает качество освещения и повышает мощность источников.

Расчетную высоту установки светильников H_p определяют по формуле

$$H_p = H_0 - h_c - h_p \quad (26.2)$$

где H_0 — высота помещения, м; h_c — высота свеса светильников (расстояние от светового центра светильников до перекрытия), м; h_p — высота расчетной поверхности над полом, на которой нормируется освещенность, м.

В помещениях, относящихся по степени опасности поражения электрическим током к помещениям с повышенной опасностью и особо опасным, высота установки светильников над полом ($H_p + h_p$) должна быть, как правило, более 2,5 м.

При равномерном размещении светильников по углам прямоугольника рекомендуется, чтобы $L_A : L_B \leq 1,5$ (рис. 26.2). Расстояние от стены до ближайшего ряда светильников l_B или до ближайшего светильника в ряду l_A принимают в пределах (0,3...0,5) $L_{A,B}$.

По известным $l_{A,B}$ и $L_{A,B}$ длине A и ширине B помещения можно определить число рядов светильников

$$N_2 = (B - 2l_B) / L_B + 1, \quad (26.3)$$

число светильников в одном ряду

$$N_1 = (A - 2l_A) / L_A + 1 \quad (26.4)$$

и общее число светильников в помещении $N_\Sigma = N_1 N_2$. Значения N_2 и N_1 округляют до целого числа.

Светильники размещают на плане с учетом строительного модуля помещения и определяют действительные расстояния от стены до ближайшего ряда светильников и до ближайшего светильника в ряду, расстояния между рядами и светильниками в ряду.

Следует отметить, что при проектировании осветительных установок с люминесцентными лампами первоначально намечают только число рядов светильников N_2 . При этом светотехники наиболее выгодное относительное расстояние λ_c определяют по поперечной кривой силы света светильников.

26.3. Расчет установок электрического освещения

Светотехнический расчет осветительной установки проводят с целью определения установленной мощности (при освещении лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ) или числа (при освещении люминесцентными лампами) источников, обеспечивающих заданные условия видения окружающих предметов. В практике расчета общего электрического освещения помещений наиболее распространены следующие методы расчета: точечный метод, подразделяемый в зависимости от вида излучателей на методы простраиваемых (лампы накаливания, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ) и линейных (люминесцентные лампы)

изолукс, метод коэффициента использования светового потока осветительной установки и метод удельной мощности.

Точечный метод расчета позволяет определить световой поток и число источников, необходимые для создания требуемой освещенности в любой точке произвольно расположенной плоскости при известном расположении светильников и условии, что отраженный от стен, потолка и рабочей поверхности световой поток не создает существенной освещенности в рассматриваемой точке. Метод применяется при расчете общего равномерного и локализованного освещения, местного освещения, освещения вертикальных и наклоненных к горизонту плоскостей, наружного освещения.

Точечный метод расчета осветительных установок, выполненных светильниками с люминесцентными лампами (метод линейных изолукс), применяют только в том случае, когда длина каждого из отдельно расположенных светильников l_c превышает половину их расчетной высоты установки H_p , то есть $l_c \geq 0,5H_p$. При этом перед началом расчета известны мощность, число и световой поток ламп в светильнике, а также число рядов светильников в освещаемом помещении.

Излучатели, длина которых превышает половину расчетной высоты установки светильников H_p в этом методе расчета рассматривают как светящиеся линии с линейной плотностью светового потока источников Φ' (лм·м⁻¹). Линейная плотность светового потока Φ' определяется делением суммарного потока ламп в линии Φ_Σ на длину линии L . Линии с равномерно распределенными по длине разрывами l_p между светильниками рассматриваются по методу линейных изолукс как непрерывные, если соблюдается условие $l_p \leq 0,5H_p$. В этом случае под L понимают габаритную длину линии, а линейную плотность светового потока определяют как

$$\Phi' = \Phi_\Sigma / (\Sigma l_p + \Sigma l_c),$$

где Φ_Σ — световой поток ламп в сплошном элементе светящейся линии, лм; Σl_p — суммарная длина разрывов в линии, м; Σl_c — суммарная длина элементов светящейся линии, м.

При заданных параметрах светящейся линии освещенность в точке зависит от трех величин: расчетной высоты установки H_p , длины линии L и кратчайшего расстояния r от контрольной точки C до проекции светящейся линии на горизонтальную поверхность с рассматриваемой точкой C . Для облегчения расчетов по методу линейных изолукс получены справочные графики, позволяющие при известных значениях H_p , L и r определить

условную освещенность e в контрольной точке рабочей поверхности с учетом допущений о том, что рассматриваемая точка расположена против конца светящейся линии, условная линейная плотность светового потока которой равна $\Phi' = 1000$ лм·м⁻¹, а $H_p = 1$ м (рис. 26.3). Освещенность других точек определяется путем деления светящейся линии на части или дополнения их воображаемыми отрезками, освещенность от которых затем суммируется или вычитается (рис. 26.4).

При использовании кривых линейных изолукс (рис. 26.3) по плану обмеряют размеры L и r , определяют отношение $r' = r/H_p$ и $L' = L/H_p$, по кривым находят значения условной освещенности e при координатах r' и L' путем интерполирования между ближайшими линейными изолуксами.

Суммирование значений e от ближайших рядов или их частей, освещающих точку, дает Σe . Необходимая линейная плотность светового потока

$$\Phi' = \frac{1000 E_{\min} k_3 H_p}{\mu \Sigma e}, \quad (26.5)$$

где E_{\min} — нормированное значение освещенности рабочей поверхности, лк; k_3 — коэффициент запаса; μ — коэффициент добавочной освещенности, учитывающий воздействие удаленных светильников и отра-

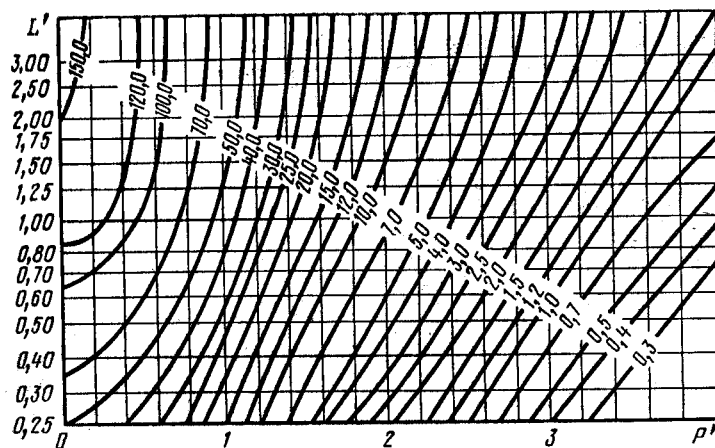
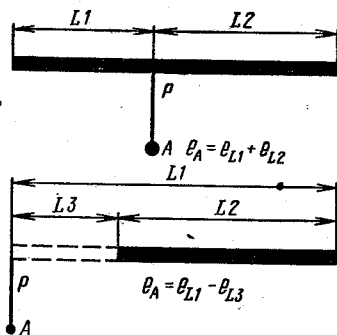


Рис. 26.3. Кривые равной освещенности для светящихся линий со светильниками с люминесцентными лампами типа ЛСП15 «Лада 1 и 3» и ПВЛМ.



женных световых потоков на освещаемую поверхность (принимается равным 1,1...1,2); Σe — сумма условной освещенности, создаваемая рядами светильников в рассматриваемой точке, лк.

По известному значению Φ' komponуют линию: вначале определяют необходимый световой поток ламп в линии как произведение $\Phi' L$, а затем число светильников в ряду

$$N_1 = \Phi' L / (n_c \Phi_{\lambda}),$$

где n_c — число ламп в светильнике; Φ_{λ} — световой поток одной лампы.

Рис. 26.4. К определению условной освещенности в точке, не лежащей против конца светящейся линии.

Значение N_1 округляют в сторону увеличения и определяют действительные расстояния между светильниками и суммарное число светильников в помещении N_{Σ} .

Контрольную точку в методе линейных изолюкс, как правило, принимают в середине между светящимися линиями на расстоянии примерно H_p от конца светящейся линии при условии, что линии доводят до торцевых стен помещения, несмотря на то, что у торцевых стен обычно отсутствует рабочая поверхность (точка C на рис. 26.2, в).

Метод коэффициента использования светового потока осветительной установки применяют при расчете общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей в помещении при отсутствии крупных затеняющих предметов и с учетом отраженных от стен и потолка световых потоков. Метод нельзя применять при расчете локализованного освещения, освещения наклонных поверхностей и местного освещения.

Основная расчетная формула по методу коэффициента использования светового потока

$$\Phi_p = \frac{E_{\min} k_z S z}{n_c N_{\Sigma} \eta}, \quad (26.6)$$

где Φ_p — расчетный световой поток каждой лампы рассматриваемой осветительной установки, лм; S — площадь освещаемого помещения, m^2 ; z — коэффициент минимальной освещенности (отношение средней освещенности к минимальной); η — коэффициент использования светового потока в долях единицы.

Формулой в представленном виде пользуются для расчета освещения от светильников с лампами накаливания, ДРИ,

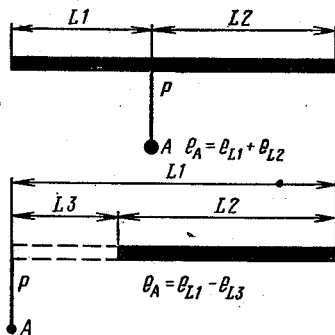
ДНАТ и ДРЛ, когда до расчета известно число светильников, но не известна мощность источников. Поэтому, определив расчетный световой поток источника Φ_p и сопоставив его с нормированными значениями световых потоков Φ_{λ} выпускаемых промышленностью ламп, находят тип и мощность источника, световой поток которого не отличается от расчетного более чем на $-10...+20\%$, то есть $0,9\Phi_p \leq \Phi_{\lambda} \leq 1,2\Phi_p$.

Если невозможно выбрать лампу, соответствующую указанному условию, то изменяют число светильников в освещаемом помещении с таким расчетом, чтобы расстояние между светильниками незначительно отличалось от наиболее выгодного расстояния $\lambda H_p \dots \lambda_2 H_p$.

Неизвестными величинами в формуле (26.6) являются коэффициент использования светового потока η и коэффициент минимальной освещенности z . Коэффициент использования светового потока указывает ту часть светового потока источников, которая достигает рабочей поверхности с учетом различных потерь. Его значение определяют по справочным таблицам (табл. 26.2). В таблицу по определению коэффициента использования светового потока входят индекс помещения i и коэффи-

26.2. Коэффициенты использования светового потока осветительных установок со светильниками ЛСП 15, ЛСП 21, ЛСХ 10 и ПВЛМ без решетки с лампами ЛБР

Индекс помещения i	Коэффициенты использования η (%) при коэффициентах отражения потолка, стен и рабочей поверхности $\rho_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{с}} \cdot \rho_{\text{р}}$, %				
	70-50-30	70-50-10	50-30-10	30-10-10	0-0-0
0,5	28	27	20	13	11
0,6	33	32	22	17	14
0,7	38	36	27	20	17
0,8	42	40	30	23	20
0,9	47	44	34	26	22
1,0	51	47	37	29	25
1,1	54	50	39	31	27
1,25	57	53	42	34	29
1,5	63	57	47	38	33
1,75	67	61	50	42	36
2	70	63	53	44	38
2,25	73	66	55	47	40
2,5	76	68	57	49	42
3	80	71	60	52	44
3,5	82	73	62	54	46
4	85	75	64	56	48
5	90	79	69	61	52



женных световых потоков на освещаемую поверхность (принимается равным 1,1...1,2); Σe — сумма условной освещенности, создаваемая рядами светильников в рассматриваемой точке, лк.

По известному значению Φ' komponуют линию: вначале определяют необходимый световой поток ламп в линии как произведение $\Phi' L$, а затем число светильников в ряду

$$N_1 = \Phi' L / (n_c \Phi_{\lambda}),$$

Рис. 26.4. К определению условной освещенности в точке, не лежащей против конца светящейся линии.

где n_c — число ламп в светильнике; Φ_{λ} — световой поток одной лампы.

Значение N_1 округляют в сторону увеличения и определяют действительные расстояния между светильниками и суммарное число светильников в помещении N_{Σ} .

Контрольную точку в методе линейных изолукс, как правило, принимают в середине между светящимися линиями на расстоянии примерно H_p от конца светящейся линии при условии, что линии доводят до торцевых стен помещения, несмотря на то, что у торцевых стен обычно отсутствует рабочая поверхность (точка C на рис. 26.2, в).

Метод коэффициента использования светового потока осветительной установки применяют при расчете общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей в помещении при отсутствии крупных затеняющих предметов и с учетом отраженных от стен и потолка световых потоков. Метод нельзя применять при расчете локализованного освещения, освещения наклонных поверхностей и местного освещения.

Основная расчетная формула по методу коэффициента использования светового потока

$$\Phi_p = \frac{E_{\min} k_s S z}{n_c N_{\Sigma} \eta}, \quad (26.6)$$

где Φ_p — расчетный световой поток каждой лампы рассчитываемой осветительной установки, лм; S — площадь освещаемого помещения, m^2 ; z — коэффициент минимальной освещенности (отношение средней освещенности к минимальной); η — коэффициент использования светового потока в долях единицы.

Формулой в представленном виде пользуются для расчета освещения от светильников с лампами накаливания, ДРИ,

ДНАТ и ДРЛ, когда до расчета известно число светильников, но не известна мощность источников. Поэтому, определив расчетный световой поток источника Φ_p и сопоставив его с нормированными значениями световых потоков Φ_{λ} выпускаемых промышленностью ламп, находят тип и мощность источника, световой поток которого не отличается от расчетного более чем на $-10...+20\%$, то есть $0,9\Phi_p \leq \Phi_{\lambda} \leq 1,2\Phi_p$.

Если невозможно выбрать лампу, соответствующую указанному условию, то изменяют число светильников в освещаемом помещении с таким расчетом, чтобы расстояние между светильниками незначительно отличалось от наиболее выгодного расстояния $\lambda_c H_p \cdot \lambda_s H_p$.

Неизвестными величинами в формуле (26.6) являются коэффициент использования светового потока η и коэффициент минимальной освещенности z . Коэффициент использования светового потока указывает ту часть светового потока источников, которая достигает рабочей поверхности с учетом различных потерь. Его значение определяют по справочным таблицам (табл. 26.2). В таблицу по определению коэффициента использования светового потока входят индекс помещения i и коэффи-

26.2. Коэффициенты использования светового потока осветительных установок со светильниками ЛСП 15, ЛСП 21, ЛСХ 10 и ПВЛМ без решетки с лампами ЛБР

Индекс помещения i	Коэффициенты использования η (%) при коэффициентах отражения потолка, стен и рабочей поверхности $\rho_a \cdot \rho_c \cdot \rho_p$, %				
	70·50·30	70·50·10	50·30·10	30·10·10	0·0·0
0,5	28	27	20	13	11
0,6	33	32	22	17	14
0,7	38	36	27	20	17
0,8	42	40	30	23	20
0,9	47	44	34	26	22
1,0	51	47	37	29	25
1,1	54	50	39	31	27
1,25	57	53	42	34	29
1,5	63	57	47	38	33
1,75	67	61	50	42	36
2	70	63	53	44	38
2,25	73	66	55	47	40
2,5	76	68	57	49	42
3	80	71	60	52	44
3,5	82	73	62	54	46
4	85	75	64	56	48
5	90	79	69	61	52

коэффициенты отражения потолка $\rho_{\text{п}}$, стен $\rho_{\text{с}}$ и рабочей поверхности $\rho_{\text{р}}$. Приблизительные значения коэффициентов отражения определяют по справочной литературе [9], индекс помещения — по формуле

$$i = \frac{AB}{H_p(A+B)}, \quad (26.7)$$

где A и B — длина и ширина освещаемого помещения, м.

При расчете освещения от светильников с лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ и ДНАТ коэффициент минимальной освещенности принимают равным $z=1,15$, с люминесцентными лампами $z=1,1$, а для светильников отраженного света $z=1,0$.

При расчете освещения от люминесцентных ламп неизвестные параметры осветительной установки — число светильников в освещаемом помещении N_{Σ} и в одном ряду N_1 — определяют по следующим формулам:

$$N_{\Sigma} = \frac{E_{\text{min}} k_3 S z}{\pi \Phi_{\lambda} \eta}, \quad (26.8)$$

$$N_1 = N_{\Sigma} / N_2, \quad (26.9)$$

Число N_1 округляют в сторону увеличения.

Методом удельной мощности пользуются для приближенного расчета осветительных установок помещений, у которых отсутствуют существенные затенения рабочих поверхностей и к освещению которых не предъявляются особые требования, например вспомогательные и складские помещения, кладовые, коридоры.

В основу метода удельной мощности положены результаты многочисленных расчетов средних значений мощности источников, приходящихся на 1 м^2 освещаемой поверхности. На основе подобных результатов составлены справочные таблицы (табл. 26.3), позволяющие при соответствии всех параметров осветительной установки паспортным данным таблиц определить необходимую удельную мощность источников $P_{\text{уд}}$, обеспечивающую требуемые условия освещения.

Таблицы удельной мощности при лампах накаливания составлены с учетом типа светильника, нормируемой освещенности, коэффициента запаса (при его значениях, отличных от указанных в таблицах, допускается пропорциональный пересчет значений удельной мощности), коэффициентов отражения поверхностей помещения (таблицы рассчитаны для коэффициентов отражения потолка $\rho_{\text{п}}=50\%$, стен $\rho_{\text{с}}=30\%$ и рабочей поверх-

26.3. Значение удельной мощности общего равномерного освещения осветительными установками со светильниками НСП02, НСП03, НБО07, НПО20, НБО16 (учтены значения $\rho_{\text{п}}=50\%$; $\rho_{\text{с}}=30\%$; $\rho_{\text{р}}=10\%$; $k_3=1,3$; $z=1,15$)

$H_p, \text{ м}$	Площадь помещения, м^2	Удельная мощность ($\text{Вт}/\text{м}^2$) при освещенности, лк						
		5	10	20	30	50	75	100
1,5...2	10...15	3,4	6,7	13,3	20	33,2	50	66,5
	15...25	2,9	5,8	11,6	17,4	29	43,5	58
	25...50	2,4	4,8	9,6	14,4	24	36	48
	50...150	2	4	7,9	11,8	19,8	29,6	39,5
	150...300	1,6	3,1	6,2	9,3	15,5	23,3	31
2...3	>300	1,4	2,7	5,4	8,1	13,5	20,2	27
	10...15	5	10	20	30	50	75	100
	15...25	3,8	7,5	15	22,5	37,5	56,3	75
	25...50	2,8	5,7	11,4	17,1	28,5	42,7	57
	50...150	2,3	4,5	9	13,5	22,5	33,8	45
	150...300	1,9	3,8	7,5	11,3	18,8	28,1	37,5
	>300	1,5	3	6	9	15	22,5	30

ности $\rho_{\text{р}}=10\%$; допускается при более светлых поверхностях уменьшать, а при более темных — увеличивать $P_{\text{уд}}$ на 10%), напряжения питания источников света (для ламп накаливания принято напряжение 220 В). Для ламп типа ДРЛ и люминесцентных ламп введены дополнительные данные: таблицы приводятся только для освещенности 100 лк в предположении, что имеет место прямая пропорциональность между E_{min} и $P_{\text{уд}}$; таблицы составлены без учета напряжения сети, к которому подключают источник; для люминесцентных ламп учтены тип и мощность лампы, а также соответствующие им световой поток и световая отдача.

Расчет по методу удельной мощности проводят в следующем порядке.

1. По расчетной высоте подвеса и площади освещаемого помещения для выбранного типа светильника по справочной таблице определяют табличное значение удельной мощности источника $P'_{\text{уд}}$, которое затем корректируют для приведения в соответствие всех параметров осветительной установки с данными таблиц. После корректировки получают расчетное значение удельной мощности источников. Таким образом,

$$P_{\text{уд}} = P'_{\text{уд}} k_1 k_2 k_4, \quad (26.10)$$

где k_1 — коэффициент приведения коэффициента запаса к табличному значению; k_2 — коэффициент приведения коэффициентов отражения поверхностей помещения к табличному значению; k_4 — коэффициент приведения напряжения питания источников к табличному значению.

Для удлиненных помещений ($A > 2,5 B$) табличную удельную мощность $P'_{\text{уд}}$ находят для условной площади $2 B^2$.

времени суток их рычаги скользят по поверхности барабана или находятся в вырезе. В первом случае контакты микровыключателей замкнуты, во втором — разомкнуты. Длительность светового дня определяется длиной невырезанной части поверхности барабана, а так как микровыключатели смещаются вдоль барабана, то продолжительность их включения изменяется ежесуточно. Ступенчатое включение и отключение достигается тем, что замыкание и размыкание контактов обоих микровыключателей происходит с промежуточным интервалом (от 2 до 8 мин). Продолжительность светового дня контролируется по суточной шкале.

Программные реле времени наиболее часто используют в схемах погруппового включения и отключения равномерно размещенных в помещении источников. Принципиальная электрическая схема регулирования светового потока осветительной установки указанным способом приведена на рисунке 26.5. При автоматическом управлении катушка программного реле времени *KT* (типа 2РВМ) находится под напряжением, а переключатели *SA1...SA4* — в положении 1. В заданное время контакты реле времени *KT* замыкаются, получает питание промежуточное реле *KV4* и своими контактами подает питание на катушку электромагнитного пускателя *KM1*.

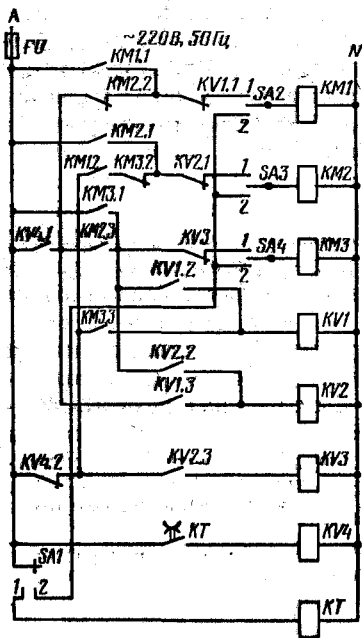


Рис. 26.5. Принципиальная схема изменения светового потока групповым включением и отключением равномерно размещенных в помещении источников.

точников. Освещенность становится максимальной, а контакты реле времени *KT* остаются замкнутыми.

Отключаются источники также ступенчато. В определенный момент контакт реле времени *KT* размыкается и обесточивается реле *KV4*, включается реле *KV1* и отключает первую группу ламп. Далее, через некоторое время замыкается контакт *KT*, срабатывает реле *KV2* и отключает электромагнитный пускатель *KM2*, а следовательно, и вторую группу ламп. При следующем размыкании контактов *KT* срабатывает реле *KV3* и освещение отключается полностью, схема возвращается в исходное положение.

По приведенной схеме можно получить не только имитацию искусственного рассвета и заката, но и обеспечить три уровня освещенности рабочей поверхности, что, например, задается зоотехническими требованиями к осветительным установкам птичников. Для обеспечения иных уровней освещенности достаточно переключатель *SA4* или *SA3* перевести в нейтральное положение, обесточив соответствующий электромагнитный пускатель.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как классифицируются светильники по характеру светораспределения и способу защиты от окружающей среды?
2. Как расшифровать условное обозначение светильников ЛСП15-2×40-001-УХЛЗ; ГСП18-400-004-УЗ, НСП21-200-002-УЗ и НСБ03-100-002-У4?
3. Как определить необходимое число светильников в помещении?
4. Какие виды и системы освещения вы знаете?
5. Для чего учитывают коэффициент запаса и от каких параметров он зависит?
6. В каких случаях применяют точечный метод расчета осветительных установок, метод коэффициента использования светового потока и метод удельной мощности?
7. Каков принцип расчета освещенности методом коэффициента использования светового потока?
8. Каковы преимущества и недостатки расчета освещения методом удельной мощности?
9. Как устроены и по какому принципу действуют известные вам программные приборы и схемы управления продолжительностью светового дня в птичниках?

Практическое занятие № 14. РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Задача 1. Определить необходимое число светильников серии НСП02 для освещения складского помещения размерами 27,0×9,0×3,0 м. Поверхность, на которой нормируется освещенность, горизонтальная на полу.

Высоту свеса светильников примем равной $h_c = 0,5$ м. Тогда расчетная высота установки светильников по (26.2)

$$H_p = 3,0 - 0,5 = 2,5 \text{ м.}$$

Светильник НСП02 имеет равномерную кривую силы света, поэтому светотехнически наиболее выгодное относительное расстояние принимаем равным $\lambda_c = 2,0$ (табл. 26.1).

Рекомендуемое расстояние между светильниками из формулы (26.1)

$$L_{A,B} = 2,0 \cdot 2,5 = 5,0 \text{ м.}$$

Число рядов светильников в помещении по (26.3)

$$N_2 = \frac{9,0 - 2,0 \cdot 5,0}{5,0} + 1 \approx 2,$$

а число светильников в ряду по (26.4)

$$N_1 = \frac{27,0 - 2,0 \cdot 5,0}{5,0} + 1 \approx 5.$$

Необходимое число светильников в помещении

$$N_{\Sigma} = N_1 N_2 = 10.$$

Расстояние между рядами $L_B = 5,0$ м, от стены до ближайшего ряда светильников $l_B = 2,0$ м, между светильниками в ряду $L_A = 5,5$ м, от светильника до стены $l_A = 2,5$ м.

Задача 2. Методом удельной мощности рассчитать мощность источников света осветительной установки помещения, для которого в задаче 1 определяли число светильников. Нормируемую освещенность принимать равной $E_{\min} = 20$ лк, коэффициент запаса $k_z = 1,15$, коэффициенты отражения потолка, стен и рабочей поверхности соответственно $\rho_n = 30\%$, $\rho_c = \rho_p = 10\%$, диапазон изменения напряжения питающей сети 215...225 В.

Для указанных данных при $S = 2 \text{ Б}^2 = 162 \text{ м}^2$ по таблице 26.3 находим $p_{уд} = 7,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$. Расчетное значение удельной мощности по формуле (26.10)

$$p_{уд} = 7,5 \cdot 1,1 \cdot 0,885 \cdot 1,0 \approx 7,3 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}.$$

При расчете учтено, что $K_1 = 1,15/1,3 = 0,885$, $K_2 = 1,1$, $K_4 = 1,0$.

Расчетная единичная мощность лампы по (26.11)

$$P_p = \frac{7,3 \cdot 9,0 \cdot 27,0}{10,1} \approx 177 \text{ Вт.}$$

Принимаем лампу Г215-225-200 мощностью 200 Вт, что удовлетворяет требованию $0,9 \cdot 177 \leq 200 \leq 1,2 \cdot 177$.

Глава 27. УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

27.1. Тепличные облучатели и установки

Осенью, зимой и ранней весной выращивание свежих овощей в климатических условиях СССР возможно только в защищенном грунте — теплицах и других специальных

культивационных сооружениях. Снижение доли естественной освещенности и сокращение продолжительности светового дня в это время экономически целесообразно компенсировать дополнительным искусственным облучением. Применение дополнительного облучения в тепличном овощеводстве позволяет на 20...40% увеличить урожай огурцов, на 15...20% — томатов, на 50...70% — салата и зеленого лука, на 3...4 недели ускорить выход овощей, получить первые плоды томатов в апреле, а огурцов — в феврале, сократить сроки выращивания рассады (полноценную рассаду томатов получить за 40...50 суток вместо 60, огурцов — за 20...25 суток вместо 35...40), на 15...20% снизить себестоимость выпускаемой продукции. Искусственное облучение растений в теплицах не может быть заменено каким-либо другим агротехническим приемом. Только под действием оптического излучения протекает реакция фотосинтеза, при которой энергии оптического излучения в присутствии молекул воды и углекислого газа трансформируется в химическую энергию органических соединений растений с выделением кислорода.

Для установок искусственного облучения растений промышленность изготавливает стационарные тепличные облучатели ОТ-400 с лампой ДРЛФ400, ОТ-1000 с лампой ДРФ1000, ОТ-2000 и КОРТ-2000 с лампой ДРОТ2000, ОТ-3000 и КОРТ-3000 с лампой ДМ43000, ОТ-6000 с лампой ДМ40000, РС1115-2000 с лампой ДРЛ2000, ССП03-750 с лампой ДРП750, ЖСП118-400 с лампой ДНТ400, ГСП26 с лампами ДРП400 и ДРП1000, серии ОГС01 «Фотос» с лампами ДРП1000, 2000, 3500 и ДМ33000 и другие. Указанные облучатели совместно со шкафами управления входят в состав установок типов УОРТ, УОРТУ и СОРТ и поставляются со всем необходимым для монтажа оборудованием.

27.2. Расчет установок для облучения растений

Полноценное развитие растений возможно только при обеспечении требуемого уровня искусственной облученности, обязательно учитывающего условия естественной освещенности. При выращивании рассады овощных культур уровень искусственной облученности принимают равным 6,5 тыс.лк или 8,5 фит.м⁻² для огурцов и 7,5 тыс.лк или 10 фит.м⁻² для томатов, а продолжительность облучения — 12...16 ч в сутки. Уровень облученности растений в фазе плодоношения несколько выше: для огурцов — 10 тыс.лк или 13,7 фит.м⁻², для тома-

тов — 12 тыс.лк или 16,4 фит.м⁻². Продолжительность облучения огурцов 12...14, томатов — 14...16 ч в сутки.

Как видим, при искусственном облучении растений требуются весьма высокие уровни облученности. Для обеспечения подобной облученности необходимо правильно разместить облучатели по высоте и в плане стеллажа или теплицы. При этом облученность должна достаточно равномерно распределяться по поверхности, а облучатели не должны перегревать растения и мешать уходу за ними. Расчеты по размещению облучателей в установках светокультуры растений принципиально не отличаются от общепринятых в светотехнике. Для подобных расчетов в справочной литературе приведены кривые силы света выпускаемых промышленностью облучателей. Рекомендуемые значения высоты подвеса облучателей над верхушками растений составляют: ОТ-400, ССП03-750—0,8...1,2 м; ОТ-1000, РСП05-2000, ЖСП18-400—1,6...2,2 м; ОГС01 «Фотос», ОТ-2000—1,8...2,4 м.

Достаточно точные результаты по определению расстояния между облучателями при заданной высоте подвеса дает графоаналитический метод расчета, заключающийся в следующем. Вначале в прямоугольной системе координат строят зависимость облученности в точках на расчетной поверхности E от расстояния r между проекцией оси симметрии облучателя на поверхность и рассматриваемой точкой (рис. 27.1). Облученность определяют по формуле (24.1) с использованием справочной кривой силы света принятого типа облучателя.

По предварительному расположению облучателей на плане теплицы или стеллажа (рис. 27.2) намечают контрольные точки, в которых облученность может оказаться минимальной, например точки A , B и C . Расстояние l от кромки облучаемой поверхности до крайнего ряда облучателей и расстояние между облучателями $L_{1,2}$ определяют из условия, что облученность в любой точке расчетной поверхности

$$E_{A,B,C} \geq zE_{\text{доп}}$$

где $E_{\text{доп}}$ — требуемая облученность растений заданного вида и возраста, лк; $z = E_{\text{min}}/E_{\text{max}}$ — коэффициент неравномерности облучения, значение которого принимают равным 0,8.

Для отыскания l предполагают, что на значение облученности в точке A максимальное воздействие оказывает один «ближайший» облучатель. Находят облученность в точке A по формуле $E_A = zE_{\text{доп}}$ и по кривой $E = f(r)$ определяют расстояние r_A , при котором обеспечивается облученность E_A , равное по

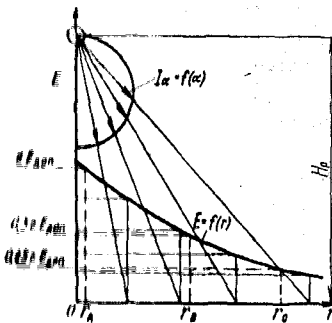


Рис. 27.1. К расчету облучательной установки с точечными круглосимметричными излучателями.

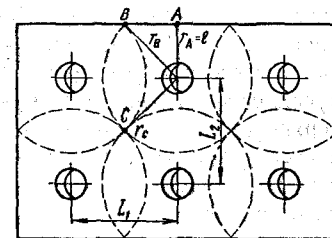


Рис. 27.2. Фрагмент плана размещения тепличных облучателей над облучаемой поверхностью.

значению l (рис. 27.1). При определении расстояния $L_{1,2}$ по кривой $E = f(r)$ находят расстояние r_B , при котором облученность $E_B = 0,5zE_{\text{доп}}$ предполагая, что облученность в точке B суммируется от двух источников. Аналогично находят расстояние r_C для точки C , в которой облученность суммируется от четырех облучателей. При этом требуемое значение облученности от одного облучателя должно быть равно $E_C = 0,25zE_{\text{доп}}$ (рис. 27.1).

Значение L определяют из решения прямоугольных треугольников со сторонами r_A , r_B и r_C , то есть $L_1 = 2\sqrt{r_B^2 - r_A^2}$ и $L_2 = 2\sqrt{r_C^2 - r_B^2 + r_A^2}$ и принимают равным меньшему из двух полученных результатов. Зная l и L , komponуют облучательную установку, рассчитывая требуемое число облучателей и установленную электрическую мощность. Подобные расчеты можно выполнить в световой или фотосинтетической системах величин.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С какой целью искусственно облучают растения в условиях защищенного грунта? 2. Какие источники оптического излучения применяют для облучения растений в теплицах? 3. Какие вы знаете тепличные облучатели? 4. В какой последовательности ведут расчет установок искусственного облучения растений с точечными круглосимметричными излучателями?

28.1. Установки для ультрафиолетового облучения животных и птицы

Ультрафиолетовое излучение с длиной волны 240...380 нм в малых дозах положительно воздействует на рост, развитие, обмен веществ, продуктивность и воспроизводительные функции сельскохозяйственных животных и птицы. Недостаток естественного ультрафиолетового излучения, явственно ощущаемый в осенне-зимний период и ранней весной, часто бывает первопричиной нарушения обмена веществ, понижения защитных функций организма и его устойчивости к различным заболеваниям. Чтобы этого не допустить, в системах зоотехнических и ветеринарных мероприятий предусматривается искусственная компенсация ультрафиолетовой недостаточности, в результате чего на 5...13% повышаются удои коров, возрастают на 4...20% среднесуточные приросты массы поросят, свиней на откорме, телят, ягнят и птицы, на 10...15% увеличивается яйценоскость кур.

Для ультрафиолетового облучения сельскохозяйственных животных и птицы применяют различного рода облучатели и установки: стационарные облучатели типов ЭО1-30М, ЭНП1-30*, ОЭ-1, ОЭ-2 и ОЭСП02-2 × 40 (ЭСП01-40), переносные облучатели типов ОРК-2 и ОРКШ, подвижные облучательные установки типов УО-4 и УОК-1.

Витальный облучатель ЭО1-30М (ЭНП01-30) выполнен в пылевлагозащищенном исполнении в виде отражателя из тонколистовой стали, покрытого антикоррозийной краской с достаточно высоким коэффициентом отражения ультрафиолетовых излучений. На отражателе при помощи ламподержателей брызгозащищенного исполнения укреплены защищенная металлической сеткой витальная лампа ЛЭ30-1 и пускорегулирующая аппаратура. К потолочному перекрытию или тросу облучатель крепят при помощи двух подвесок.

Светильник-облучатель ОЭСП02-2 × 40/ПБ'Х-01 (ЭСП01-40) предназначен для одновременного общего освещения животноводческих помещений и облучения сельскохозяйственных животных и птицы. Он рассчитан на работу с одной рефлекторной люминесцентной и одной рефлекторной витальной лампами

* Облучатели ЭНП01-30 и ЭСП01-40 будут выпускаться взамен ЭО1-30М и ОЭСП02-2 × 40 соответственно.

мощностью по 40 Вт (типов ЛБР40 и ЛЭР40). Схема включения ламп — стартерная, независимая для разных типов ламп.

Светильник-облучатель состоит из стального штампованного корпуса с панелью, узлов подвеса, допускающих индивидуальную установку светильника-облучателя на крюках или тресе, и экранирующей решетки. Внутренняя полость корпуса защищена от попадания пыли и влаги уплотнительной прокладкой по периметру корпуса, сальником для уплотнения ввода сетевых проводов и заглушкой. В корпусе установлена розетка штепсельного разъема, на панели — пускорегулирующая аппаратура, патроны брызгозащищенного исполнения и вилка штепсельного разъема.

Электромеханизированная подвесная облучающая установка УО-4 предназначена для ультрафиолетового облучения животных и птицы в стационарных условиях при содержании в клетках или станках. Установка состоит из четырех облучателей с лампами ДРТ400, шкафа управления, приводной станции

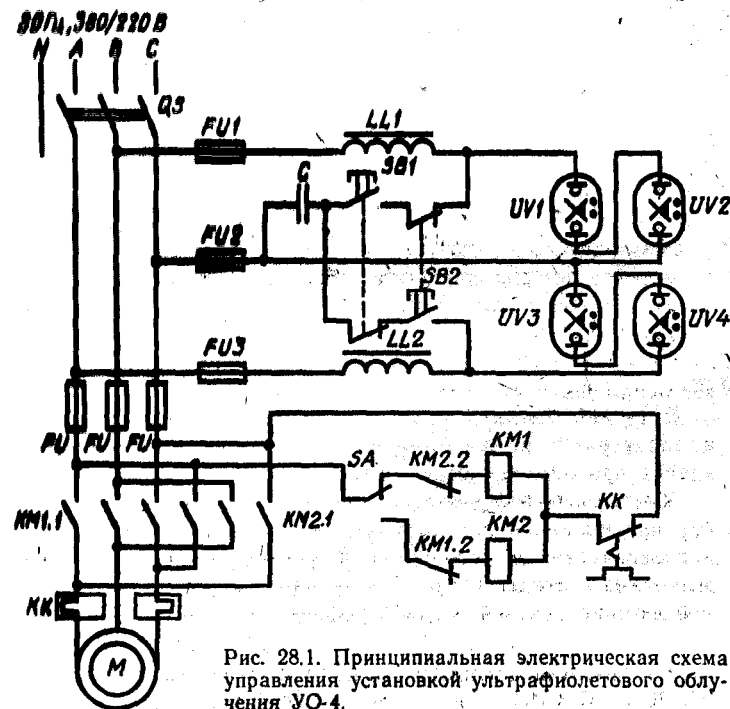


Рис. 28.1. Принципиальная электрическая схема управления установкой ультрафиолетового облучения УО-4.

и несущей конструкции. Несущую конструкцию выполняют из стальной оцинкованной проволоки, которую закрепляют вдоль помещения при помощи натяжных болтов, заделанных в торцевых стенах. Облучатели в помещении совершают возвратно-поступательное движение при помощи троса, смонтированного на натяжных роликах и приводящегося в движение от электродвигателя мощностью 0,27 кВт. Длина несущей проволоки и троса рассчитана на помещение длиной до 90 м. Каждый облучатель может перемещаться со скоростью 0,3 м·мин⁻¹ на расстояние 35...42 м. Требуемая экспозиция облучения обеспечивается изменением высоты подвеса облучателей и количества проходов над животными или птицей. Максимальная зона обслуживания одной установки — 90×6 м.

В шкафу управления установлены пакетный выключатель, предохранители, магнитные пускатели, два дросселя, конденсатор и две пусковые кнопки. Особенность принципиальной электрической схемы установки УО-4М заключается в последовательном включении каждой двух ламп ДРТ400 через общий дроссель на линейное напряжение 380 В (рис. 28.1). Позиционным переключателем SA изменяют направление вращения вала электродвигателя. Заземление корпусов облучателей обеспечивается третьей жилой гибкого кабеля.

28.2. Расчет установок для ультрафиолетового облучения

Расчет стационарных установок для ультрафиолетового облучения сводится к определению числа облучателей, облученности и продолжительности облучения, за которую облучаемый объект получит необходимую суточную экспозицию H_{Σ} (табл. 28.1). Для определения облученности принципиально можно применить известные методы расчета осветительных установок, несколько измененные с учетом особенностей ультрафиолетового облучения.

Метод коэффициента использования эффективного потока применим при относительно равномерном размещении объектов облучения на горизонтальной поверхности. Порядок расчета этим методом будет такой: 1) облучатели над облучаемой поверхностью размещают с учетом светотехнически наивыгоднейшего относительного расстояния; 2) определяют коэффициент использования эффективного потока облучательной установки и среднюю облученность; 3) вычисляют продолжительность работы установки для обеспечения суточной нормированной экспозиции облучения.

28.1. Рекомендуемая суточная витальная экспозиция облучения сельскохозяйственных животных и птицы

Вид животного и птицы	Витальная экспозиция, мвит·ч·м ⁻²	Допустимая витаоблученность, мвит·м ⁻²
Коровы и быки-производители	270...290	930
Телята в возрасте:		
старше 6 месяцев	160...180	570
до 6 месяцев	120...140	430
Телки и нетели	180...210	570
Поросыта-сосуны	20...25	83
Поросыта-отъемыши	60...80	230
Поросыта на откорме и свиноматки	60...80	—
Куры несушки при содержании:		
на полу	20...25	—
в клетках	40...50	150
Цыплята при содержании:		
на полу	15...20	58
в клетках	20...25	58

Светотехнически наивыгоднейшее относительное расстояние L_r для облучателей с лампами ДРТ и ЛЭ в стандартной арматуре равно 1,4. При этом коэффициент неравномерности облученности α не превышает 1,15...1,25, а размещение облучателей над поверхностью определяется по формулам (26.1...26.4).

Основная расчетная формула метода коэффициента использования эффективного потока

$$E_{\text{пр}} = \Phi_{\text{н}} N_{\Sigma} \eta_{\text{э}} K_{\text{ф}} / (k_{\text{з}} S), \quad (28.1)$$

где $E_{\text{пр}}$ — средняя облученность объекта, мвит·м⁻²; $\Phi_{\text{н}}$ — витальный поток излучателя, мвит; N_{Σ} — суммарное число источников в установке ультрафиолетового облучения; $\eta_{\text{э}}$ — коэффициент использования эффективного потока; $K_{\text{ф}}$ — коэффициент формы животных, равный 0,5...0,64; $k_{\text{з}}$ — коэффициент запаса, равный 1,5...2,0; S — площадь облучаемой поверхности, м².

Коэффициент использования эффективного потока определяют по справочным таблицам с учетом индекса установки, который рассчитывают по формуле

$$i = S / [H_{\text{р}} (a + b)], \quad (28.2)$$

где a , b — размеры облучаемой поверхности, м; $H_{\text{р}}$ — расчетная высота установки облучателей, м.

Высота подвеса горелок над облучаемой поверхностью $H_{\text{р}}$ должна удовлетворять требованию $E_{\text{пр}} k_{\text{з}} \leq E_{\text{доп}}$, где $E_{\text{доп}}$ — допустимая витаоблученность, зависящая от вида и возраста животных и птицы (табл. 28.1). При выполнении указанного

требования исключаются местные ожоги ультрафиолетовыми лучами поверхности тела животного.

При известной суточной витальной экспозиции облучения H_{Σ} и средней витаоблученности поверхности $E_{\text{ср}}$ продолжительность облучения t равна $t = H_{\Sigma} / E_{\text{ср}}$.

Ориентировочно продолжительность работы установок ультрафиолетового облучения можно определить и приближенным путем, исходя из значения витальной облученности $E_{\text{в}}$, создаваемой источником на поверхности облучения (табл. 28.2), высоты

28.2. Витальная облученность на поверхности, отстоящей на различном расстоянии от новых источников ультрафиолетового излучения

Тип источника	Витальная облученность (мвт·м ⁻²) при высоте подвеса источников над облучаемой поверхностью, м			
	1,0	1,5	2,0	2,5
ДРТ400	720	319	180	114
ЛЭ30	42	18,6	10,6	6,7
ЛЭ15	20	8,9	5,0	3,2

подвеса источника и нормируемой суточной витальной экспозиции облучения H_{Σ} . То есть

$$t = H_{\Sigma} / (E_{\text{в}} K_a), \quad (28.3)$$

где $K_a = 1,2 \dots 1,4$ — коэффициент, учитывающий влияние арматуры на перераспределение лучистого потока в нужном направлении.

Последний метод прост, но пригоден лишь для ориентировочного расчета облученности от единичного облучателя, когда рядом находящиеся облучатели не создают суммарный витальный поток, направленный на облучаемую поверхность.

Расчет подвижных установок ультрафиолетового облучения сводится к определению дозы облучения за один проход облучателей и числа проходов при известной расчетной высоте подвеса и скорости перемещения горелок.

Экспозицию облучения, получаемого животными за полный проход облучателей, определяют по формуле

$$H_1 = 2K_{\phi} I_n \sin \alpha_k / (K_2 H_p v), \quad (28.4)$$

где I_n — сила витального излучения при $\alpha = 0$ для кривой $I_a = I_n \cos \alpha$, аппроксимирующей кривую распределения силы витального излучения облучателя, мвт·ср⁻¹; v — скорость передвижения облучателей, м·ч⁻¹.

В формуле (28.4) угол α_k определяется защитными свойствами арматуры облучателя или расстоянием, при котором объект

облучения попадает в тень. Если объект не затеняется различного рода стенками и защитный угол арматуры облучателя невелик, то

$$\sin \alpha_k = L' / \sqrt{L'^2 + 4H_p^2} \quad (28.5)$$

где L' — длина полного хода облучателей, м.

Зная нормированную суточную витальную экспозицию облучения животного или птицы H_{Σ} , можно определить расчетное число проходов облучателя $m = H_{\Sigma} / H_1$ или расчетную продолжительность работы облучателей $t = mL' / v$, при которых действительная витальная экспозиция облучения животного или птицы будет соответствовать нормированной. При определении длины хода горелки L' необходимо, чтобы облучатели не доходили до центра и края площадки на расстояние, равное $0,58H_p$. В противном случае животное, находящееся в центре или на краю площадки, получит двойную дозу облучения.

Кроме того, программу в начале облучения животных или птицы следует задавать долями от полной расчетной продолжительности с перерывами в несколько суток. К полной норме можно переходить через 7...15 дней после начала облучения. Это вызвано тем, что организм животных и птицы, особенно молодняка, медленно адаптируется к ультрафиолетовому излучению.

28.3. Применение бактерицидных излучений в сельскохозяйственном производстве

Ультрафиолетовые излучения зоны С оказывают губительное действие на различного рода бактерии и микроорганизмы. Проходя через воду и воздух, они избирательно действуют на рассеянные в них бактерии, и в результате биохимических реакций последние погибают. Способность ультрафиолетовых излучений убивать бактерии используют для обеззараживания воды и воздуха, стерилизации посуды и тары, пастеризации молока.

Для обеззараживания питьевой воды коротковолновым ультрафиолетовым излучением в системе сельскохозяйственного водоснабжения применяют установки открытого и закрытого типа. В установках открытого типа излучатель с отражателем располагают над металлической прямоугольной ванной. Вода из источника подается по подводящему патрубку, тонким слоем протекает по дну ванны и вытекает по отводящему патрубку в обработанном виде. Ультрафиолетовые излучения от лампы

и отражателя попадают на медленно протекающую в ванне воду и обеззараживают ее. Установки с непогруженными источниками наиболее просты и дешевы, их можно изготовить в условиях хозяйства.

В установках закрытого типа источники закрепляют в кварцевых чехлах внутри труб, по которым под давлением протекает вода. Промышленность изготавливает установки для обеззараживания воды с закрытыми источниками типа ОВ-ЛКХ-1; ОВ-1П; ОВ-1П-РКС; ОВ-ЗП; ОВ-ЗП-РКС; ОВ-ПК-РКС производительностью до $3000 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$, источниками оптического излучения у которых являются лампы ДБ (30 и 60 Вт) и ДРТ (400, 1000 и 2500 Вт). Расход электрической энергии на обеззараживание воды в таких установках равен $20 \dots 80 \text{ Вт} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^{-3}$.

Бактерицидными излучениями воздух обеззараживают в продуктовых складах, фруктоовоохранилищах, молочных отделениях, профилакториях, пунктах искусственного осеменения, животноводческих и птицеводческих помещениях, инкубаториях. Источники излучений равномерно распределяют по всему помещению и устанавливают стационарно, обычно на стенах на высоте $1,8 \dots 2,0 \text{ м}$ от пола выходным отверстием отражателей вверх. В качестве источника ультрафиолетовых излучений применяют лампы ДБ (15 и 30 Вт), помещенные в арматуру специальных облучателей серии ОБУ (ББП01), ОБП и ОБШ. Удельная мощность установки от $0,3$ до $2,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-3}$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего сельскохозяйственных животных и птицу облучают ультрафиолетовыми лучами? 2. Какие облучатели и установки используют для ультрафиолетового облучения животных и птицы? Каково их устройство?
3. По каким методикам рассчитывают стационарные и подвижные ультрафиолетовые облучательные установки? 4. Как работает схема автоматизации подвижной установки ультрафиолетового облучения типа УО-4?
5. Чем объясняется обеззараживающее действие ультрафиолетового излучения? Какие источники излучения используют в установках обеззараживания воды и воздуха?

Практическое занятие № 15. РАСЧЕТ СТАЦИОНАРНЫХ И ПОДВИЖНЫХ УСТАНОВОК УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Задача 1. Определить продолжительность облучения поросят-отъемышей витальной лампой ЛЭ30, подвешенной в арматуре облучателя ЭФ1-30М на высоте $H_p = 1,5 \text{ м}$ от спины животных. Во сколько раз сократится продолжительность облучения, если облучатель подвесить на высоту $H_p = 1,0 \text{ м}$?

Из таблицы 28.1 находим рекомендуемую суточную витальную экспозицию для этого вида животных $H_{\Sigma} \approx 70 \text{ мвит} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^{-2}$, а из таблицы

28.2 — витальную облученность для лампы ЛЭ30 при высоте подвеса $H_p = 1,5 \text{ м}$ $E_b \approx 18,6 \text{ мвит} \cdot \text{м}^{-2}$. Примем коэффициент, учитывающий влияние арматуры облучателя на перераспределение лучистого потока, $K_a = 1,3$.

Продолжительность работы облучателя определим по формуле (28.3)

$$t_{1,5} = \frac{70}{18,6 \cdot 1,3} \approx 3 \text{ ч.}$$

При высоте подвеса облучателя $H_p = 1,0 \text{ м}$ $E_b \approx 42 \text{ мвит} \cdot \text{м}^{-2}$ продолжительность облучения

$$t_{1,0} = \frac{70}{42 \cdot 1,3} \approx 1,5 \text{ ч.}$$

Продолжительность облучения при высоте подвеса облучателя $H_p = 1,0 \text{ м}$ примерно в 2 раза меньше, чем при высоте $H_p = 1,5 \text{ м}$.

Задача 2. Рассчитать число проходов облучателей установки УО-4 при облучении телят старше шести месяцев. Исходные данные: расчетная высота подвеса облучателей над спинами животных $H_p = 1,5 \text{ м}$, длина полного хода облучателей $L' = 27 \text{ м}$, размеры облучаемой площадки $60 \times 6 \text{ м}^2$, сила витального излучения облучателя $I_a = 0,95 \text{ вт} \cdot \text{ср}^{-1}$.

Из таблицы 28.1 находим рекомендуемую суточную витальную экспозицию для телят старше шести месяцев: $H_{\Sigma} = 170 \text{ мвит} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^{-2}$. Используем одну облучательную установку.

Рассчитываем экспозицию облучения, получаемую животными за полный проход облучателей, по формуле (28.4):

$$H_1 = \frac{2 \cdot 0,64 \cdot 0,95 \cdot 10^3 \cdot 0,98}{2,0 \cdot 1,5 \cdot 18} \approx 42,9 \text{ мвит} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^{-2},$$

$$\sin \alpha_k = \frac{27}{\sqrt{27^2 + 4 \cdot 1,5^2}} \approx 0,98.$$

В расчетах принято $K_a = 2,0$, $K_{\Phi} = 0,64$, $v = 18 \text{ м} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Число проходов облучателей $m = H_{\Sigma} / H_1 = 170 / 42,9 \approx 4$. Продолжительность работы облучательной установки $t = mL' / v = 4 \cdot 27 / 18 \approx 6 \text{ ч}$.

Глава 29. УСТАНОВКИ ДЛЯ ИНФРАКРАСНОГО ОБОГРЕВА

29.1. Облучатели и установки для инфракрасного обогрева молодняка животных и птицы

Применение инфракрасного излучения для обогрева молодняка животных и птицы основано на проникновении его в кожу и подкожные ткани, поглощении и превращении

в тепловую энергию. Поглощение инфракрасного излучения — сложный биологический процесс, в котором принимает участие весь организм с его нервной системой и терморегуляционными аппаратами. Инфракрасное излучение в отличие от других средств обогрева не только предохраняет молодняк от переохлаждения, но и усиливает биологические процессы в его организме, способствует повышению тонуса и естественных защитных сил, положительно влияет на состояние, развитие, прирост массы, а также способствует сохранению животных и птицы.

Использование установок инфракрасного обогрева позволяет в 1,4...1,8 раза увеличить рождаемость поросят от одной свиноматки, на 8...15 % повысить среднесуточный прирост массы поросят и довести их сохранность до 96...99 %. При обогреве телят их среднесуточный прирост массы возрастает на 16...24 %, на 30 % сокращаются желудочно-кишечные заболевания, повышается сохранность, достигая показателей 95...98 %. Аналогичные показатели получают при инфракрасном обогреве ягнят, крольчат и птицы, что указывает на высокую эффективность эксплуатации облучателей и установок.

Особенно перспективно использовать инфракрасный обогрев совместно с ультрафиолетовым облучением. Исследования показывают, что совместное действие инфракрасного и ультрафиолетового излучений на сельскохозяйственных животных и птицу позволяет значительно повысить их сохранность и продуктивность, получить результаты, недостижимые при использовании каждого из этих участков оптического спектра в отдельности.

Для местного обогрева молодняка животных и птицы широко применяются инфракрасные облучатели ССП01-250, ОРИ-1, ОРИ-2, «Латвик», ОЭИ-500, ОВИ-1 и др., а также установки инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения ИКУФ-1, ИКУФ-1М, «Луч», ЭРИКО и СОЖ-1.

Облучатель ССП01-250-001-УЗ разработан на базе светильника серии НСП01 X 200 «Астра 12» и модифицирован применительно к лампе ИКЗК220-250. Он состоит из штампованного и покрытого силикатной эмалью металлического отражателя и пластмассового корпуса с фарфоровым патроном Е27, клеммной колодкой, крепежными и уплотнительными деталями. Снизу на отражателе укреплена защитная сетка, предохраняющая лампу ИКЗК220-250 от механических повреждений. Горловина лампы плотно охватывается резиновым диском, благодаря чему патрон и клеммная колодка надежно уплотнены. На корпусе облучателя имеется закрывающееся пластмассовым щитком отверстие, где расположена клеммная колодка, позволяющая под-

соединить медные или алюминиевые провода или кабель площадью сечения жил до 4 мм². Облучатель крепят на крюке при помощи подвесок.

Установки ИКУФ-1, ИКУФ-1М и «Луч» предназначены для местного обогрева поросят-сосунов до 45...60-дневного возраста, молодняка птицы (цыплят, индюшат, утят, гусят) до 20...30-дневного возраста и их ультрафиолетового облучения в течение всего времени содержания. Установки состоят из блока программного управления и 20, 40, 60 или 80 облучателей. Каждый облучатель содержит две инфракрасные ИКЗК220-250 и одну ультрафиолетовую (витальную ЛЭ-15 или витально-осветительную ЛЭО-15) лампы.

Облучатели установок ИКУФ-1 и ИКУФ-1М незначительно отличаются по конструктивному выполнению и представляют собой жесткую металлическую коробку, на обоих концах которой размещены инфракрасные лампы ИКЗК220-250, а между ними — ультрафиолетовая лампа ЛЭ-15 (ЛЭО-15) с отражателем. В облучателях пылевлагозащищенной установки ИКУФ-1М используются герметические патроны и держатели стартера, а также применены резиновые сальниковые уплотнения. На облучателях установки ИКУФ-1М отсутствуют переключатели, предназначенные для индивидуального управления инфракрасным обогревом и ультрафиолетовым облучением молодняка.

В универсальной автоматизированной установке «Луч» облучатель представляет собой жесткую стальную конструкцию овальной формы. В облучателе на кронштейнах смонтированы две инфракрасные лампы ИКЗК220-250 и одна витальная лампа ЛЭ-15 или ЛЭО-15 с отражателем. На облучателе патроны инфракрасных ламп уплотнены специальными резиновыми манжетами, ламподержатели ультрафиолетовой лампы выполнены в брызгозащищенном исполнении.

Конструкция крепления инфракрасных ламп позволяет устанавливать их под углом 45, 68 и 90° к обогреваемой поверхности, что дает возможность более эффективно использовать инфракрасный поток и более равномерно его распределять по обогреваемой поверхности. Для изменения температурного режима по мере роста молодняка животных или птицы в установке «Луч» используются регуляторы напряжения питания инфракрасных ламп — трансформаторы АТ-10. Для этой же цели может быть использован простейший тиристорный регулятор напряжения, однако при этом для питания витальных ламп предусматривается специальный понижающий трансформатор 220/127 В, аналогичный используемому в установке ИКУФ-1.

Принципиальная электрическая схема установки «Луч»

с использованием автотрансформатора типа АТ-10 показана на рисунке 29.1. Управление работой инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения осуществляется в двух режимах — ручном и автоматическом. При ручном режиме переключатель SA2 устанавливают в положение P, и напряжение подается на катушку электромагнитного пускателя KM1, который срабатывает и включает инфракрасные лампы на напряжение,

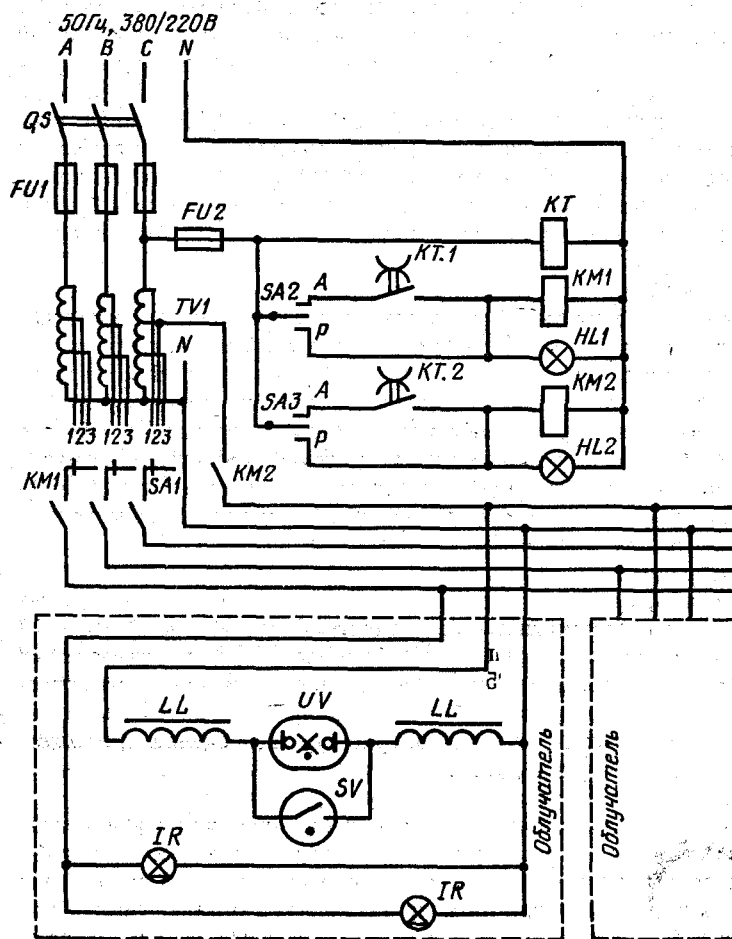


Рис. 29.1. Принципиальная электрическая схема управления установкой «Луч» с использованием автотрансформатора типа АТ-10.

заданное переключателем SA1 и трансформатором TV1. Для отключения инфракрасных ламп переключатель SA2 переводят в нейтральное положение. В этом же положении переключателя SA2 осуществляется изменение напряжения на лампах ИКЗК220-250, для чего переключатель SA1 устанавливают в положение 1, 2, 3 и т. д. в зависимости от требуемого напряжения. Лампы ЛЭ-15 (ЛЭО-15) включают и отключают переключателем SA3, устанавливая его в положение P и нейтральное соответственно. В этом случае ультрафиолетовые (витальные) лампы ЛЭ-15 (ЛЭО-15) подключаются через электромагнитный пускатель KM2 на отпайку трансформатора TV1 с напряжением 127 В.

В автоматическом режиме (переключателя SA2 и SA3 в положении А) управление работой инфракрасных и ультрафиолетовых ламп осуществляется от реле времени KT (типа 2РВМ), где контакты промежуточного реле первой программы KT.1 включают инфракрасные, а второй программы KT.2 — витальные лампы. Суточная программа длительности пауз и включения инфракрасных и ультрафиолетовых ламп задается на реле времени 2РВМ в соответствии с технологическими и биологическими ритмами жизни животных (кормление, отдых).

Установка типа СОЖ-1 состоит из 60 облучателей и пульта управления. Облучатель установки СОЖ-1 включает две лампы ИКЗК220-250 для инфракрасного обогрева, лампу ДРТ2-100 для ультрафиолетового облучения и лампу ДРТ100 для обеззараживания мест содержания животных и птицы. Лампы типа ИКЗК220-250 размещены в конических кожухах, которые могут отклоняться от вертикального положения на угол $\pm 30^\circ$, что позволяет совмещать зоны инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения. В целях отказа от балластных дросселей и понижающих трансформаторов 220/127 В принята схема включения ламп ДРТ2-100 и ДРТ100 с использованием ламп типа ИКЗК220-250 в качестве балластных сопротивлений.

29.2. Расчет установок для инфракрасного обогрева

Установки инфракрасного обогрева и режимы их эксплуатации выбирают по нормативным рекомендациям, в которых в зависимости от вида животного или птицы, условий содержания, температуры окружающей среды в помещении приводятся наиболее целесообразные решения по выбору обогревателей, установленной мощности источников, высоты подвеса, напряжения питания.

При расчете установок инфракрасного обогрева животных и птицы температуру в микроне расположении молодняка θ_0 определяют как результат суммарного воздействия температуры воздуха в помещении $\theta_{\text{в}}$ и температуры $\theta_{\text{нк}}$ создаваемой инфракрасными источниками:

$$\theta_0 = \theta_{\text{в}} + k_1 \theta_{\text{нк}}$$

где k_1 — коэффициент «восприятия» инфракрасного излучения организмом животного.

Так как требуемая температура в микроне расположения молодняка θ_0 обычно задается зооветеринарными нормами, то температура $\theta_{\text{нк}}$ зависит от значения температуры воздуха в помещении $\theta_{\text{в}}$:

$$\theta_{\text{нк}} = (\theta_0 - \theta_{\text{в}}) / k_1$$

Зная $\theta_{\text{нк}}$ по кривым зависимости максимальной температуры $\theta_{\text{нк}}$ под источником от высоты подвеса, напряжения и угла наклона по справочным данным находят высоту подвеса облучателя, напряжение на источнике и угол наклона источника. Если одного источника недостаточно для создания необходимого значения температуры $\theta_{\text{нк}}$ в микроне, то применяется облучатель с несколькими источниками.

Требуемое значение инфракрасной облученности $E_{\text{нк}}$ для обеспечения заданной температуры $\theta_{\text{нк}}$ можно приближенно определить по формуле

$$E_{\text{нк}} = \theta_{\text{нк}} / k$$

где $k = 0,04 \text{ К} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Вт}^{-1}$ — коэффициент, определяющий связь инфракрасной облученности и температуры, ощущаемой телом животного или птицы под воздействием этой облученности.

Если для увеличения площади и равномерности обогрева инфракрасные источники располагают под углом β в вертикали, то инфракрасную облученность в точке определяют как

$$E_{\beta} = E_{\text{нк}} \cos \beta$$

где $E_{\text{нк}}$ — инфракрасная облученность в рассматриваемой точке при $\beta = 0$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими преимуществами обладает инфракрасный обогрев молодняка животных и птицы? 2. Какие вы знаете облучатели и установки для инфракрасного обогрева молодняка животных и птицы? Опишите их конструкцию. 3. Как работает схема управления установкой «Луч»? 4. Каким методом рассчитывают облучатели и установки инфракрасного обогрева?

Раздел шестой

МОНТАЖ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Глава 30.

МОНТАЖ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

30.1. Способы монтажа и соединений проводов

Современный монтаж внутренних электрических сетей выполняют индустриальными методами и проводят в две стадии.

В первой стадии проводят подготовительные и заготовительные работы: разметку трассы, прокладку электропроводок и кабельных линий, разметку мест установки электродвигателей, светильников, выключателей, щитков, выполнение проходов через стены, полы и потолки, выполнение обходов конструкций и различных препятствий, установку опорных деталей и конструкций.

Во второй стадии после окончания строительных и отделочных работ выполняют установочные работы.

При открытой электропроводке применяют различные способы монтажа проводов и кабелей: на изоляторах, роликах, тропках, в лотках, коробах, трубах, непосредственно по стенам или конструкциям зданий (прил. 10).

Открытые, не защищенные от механических повреждений провода нужно прокладывать на высоте не ниже 2,5 м от пола. Провода, прокладываемые ниже, должны быть защищены от механических повреждений. В помещениях без повышенной опасности допускается прокладывать провода на высоте 2 м от пола. Расстояние от проводов до стены должно быть не менее 10 мм.

На изоляторах провода монтируют в сырых помещениях с использованием в основном недефицитных материалов. На промежуточных изоляторах провод укладывают на шейку или на головку, на угловых — только на шейку. Расстояние между изоляторами должно быть не более 2 м.

Монтаж проводов на роликах несовершенен и требует значительной площади. Поэтому его стараются заменить другими способами. На роликах же провода прокладывают в сельских жилых домах, иногда в производственных помещениях с использованием марок АПР, АППВ, АПРВ, АПН.

Электропроводку непосредственно по кирпичным, бетонным или другим негорючим стенам или перегородкам выполняют плоскими проводами марок АППВ, ППВ, АППП, ППП. Непосредственно по деревянным основаниям жилых зданий и производственных помещений в сельской местности разрешается прокладывать только провод АППР.

Плоские провода крепят к основанию при помощи крепежных изделий из полистирола специальными скобами, а провода с разделительным основанием — гвоздями. Диаметр гвоздей должен быть 1,4...1,8 мм, длина — 20...25 мм, а диаметр шляпок — не более 3 мм. Гвозди забивают в середину разделительного основания провода на расстоянии 250...300 мм один от другого. Во избежание повреждения изоляции провода под шляпки гвоздей подкладывают эластичные шайбы.

Плоские провода крепят также при помощи металлических и пластмассовых деталей, прикрепленных к опорным поверхностям различными скобами. Для крепления проводов можно использовать также быстросохнущий клей.

В животноводческих комплексах и других сельскохозяйственных предприятиях, когда приходится прокладывать по одной и той же трассе большое число проводов или кабелей, разместить их на стенах или в трубах бывает трудно. В этих случаях электропроводку монтируют на стальных лотках или в коробах (рис. 30.1). Для таких проводок разрешается применять провода АПВ, АПП и кабели АВРГ, АСРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ.

Лотки выпускают сварные и перфорированные. Сварные секции имеют длину 2 м и ширину 50, 100, 200 и 400 мм. Перфорированные лотки штампуют из листовой стали. Длина их также 2 м, а ширина 50 и 105 мм.

Короба представляют собой гнутые конструкции, выполненные из оцинкованной или окрашенной листовой стали толщиной 1...2 мм.

Кабели на лотках укладывают в один ряд без зазора между ними или пучками в 2...3 слоя. Наружный диаметр пучка не должен превышать 100 мм.

Провода укладывают, как и кабели, в один ряд или пучками. В пучке может быть до 12 проводов. Пучки проводов и кабелей скрепляют бандажами из перфорированной полихлорвиниловой ленты и кнопок. На горизонтальных прямолинейных участках расстояние между бандажами не должно превышать 4,5 м, на вертикальных — 1 м. Если лотки установлены горизонтально, то на прямолинейных участках провода и кабели не крепят к ним. При установке лотков вертикально крепление выполняют через 1 м. При поворотах трассы, ответвлениях провода и кабели

необходимо закреплять на расстоянии не более 0,5 м до и после места поворота или ответвления.

Провода и кабели в начале и в конце лотков и коробов, на поворотах трассы, на ответвлениях и в точках подключения к оборудованию маркируют. Лотки и короба зануляют в начале и в конце магистрали, а также дополнительно на всех ответвлениях.

Электропроводки на тросах получили в сельском хозяйстве самое широкое распространение. Это наиболее удобный и экономичный способ прокладки проводов.

Стальной трос диаметром 1,95...6,5 мм или оцинкованную проволоку 5...8 мм при помощи анкерных и натяжных приспособлений натягивают вдоль помещения. Стрела провеса в пролетах между креплениями должна составлять от $1/40$ до $1/60$ дли-

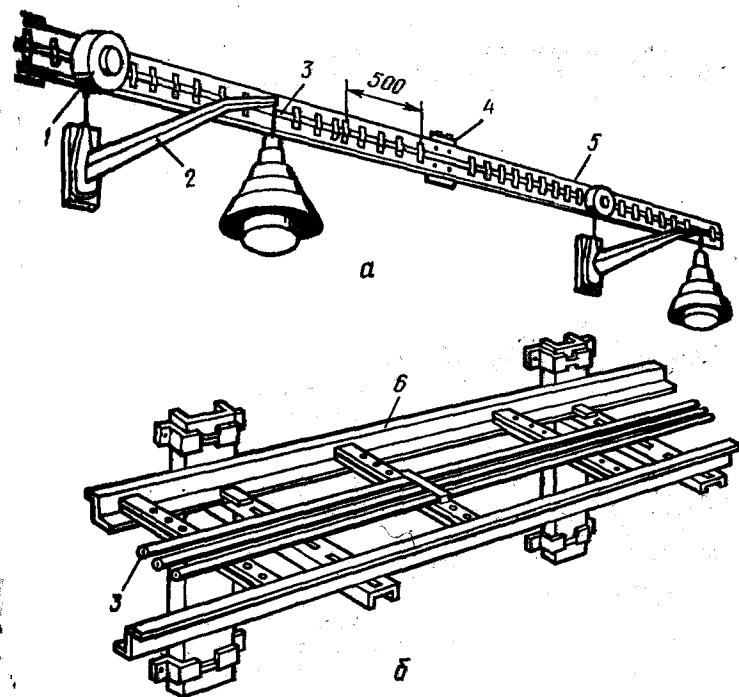


Рис. 30.1. Электропроводка в лотках:

а — перфорированных; б — сварных; 1 — ответвительная коробка; 2 — крошитель со светильником; 3 — кабель; 4 — крепление; 5 — лоток штампованный; 6 — лоток сварной; 7 — конструкции.

ны пролета. Если длина проводки составляет более 6 м, то устанавливают промежуточное крепление троса на струнах из оцинкованной проволоки диаметром от 1,5 до 3 мм.

К тросу подвешивают провода и кабели при помощи изоляционных клиц. Расстояние между клицами 1,5 м. Провода и кабели с пластмассовой изоляцией в помещениях с несгораемыми покрытиями допускается крепить непосредственно к тросу, установив предварительно изоляционные прокладки толщиной 0,5...1 мм. Расстояние между точками крепления проводов к тросу 0,5...0,6 м. Схемы тросовых проводок приведены на рисунке 30.2.

Для тросовых проводок наиболее часто используют провода марок АПВ, АПРВ, а также кабели марок АБВГ, АВРГ, АНРГ. Для осветительных сетей применяют специальные провода АВТУ, АВТ, АВТВ, АСВ с несущим тросом в их конструкции. Для светильников несущий трос может служить рабочим заземлением. Если его длина превышает 30 м, его заземляют с двух сторон.

Электропроводки в стальных трубах применяют только в обоснованных проектом случаях при необходимости защиты проводов и кабелей от механических повреждений или влияния неблагоприятных условий среды. Во всех случаях, когда это возможно, стальные трубы следует заменять пластмассовыми. Трубы крепят хомутами, скобами таким образом, чтобы они не могли смещаться при изменениях температуры.

Скрытые проводки применяют в жилых, административных, общественных зданиях и в бытовых помещениях животноводческих предприятий. Эти проводки выполняют проводами АПП, АППВ, АППВС как по сгораемым, так и по несгораемым строительным конструкциям.

На сгораемых (деревянных) основаниях под провод подкладывают слой листового асбеста толщиной не менее 3 мм или делают намет шту-

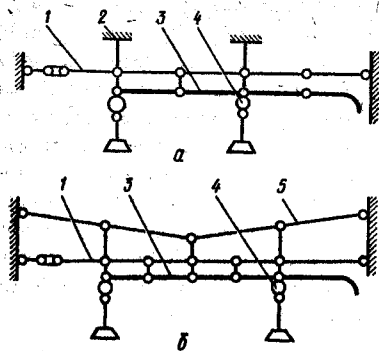


Рис. 30.2. Схемы тросовых проводок:

а — продольная подвеска на одном тросе; б — продольная подвеска на двух тросах; 1 — несущий трос; 2 — анкерное крепление; 3 — провод (кабель); 4 — ответвленная коробка; 5 — разгрузочный трос.

катушки толщиной не менее 5 мм. Полученная изоляционная подкладка должна выступать с каждой стороны провода не менее 5 мм. Поверх провода кладут штукатурку.

По несгораемым конструкциям стен или перегородок провод прокладывают непосредственно под слоем сухой или мокрой штукатурки, а также в трубах, в заштукатуриваемых бороздах, в зазорах кирпичной кладки или между плитами, заделывая его алебастровым раствором, в щелях и пустотах железобетонных конструкций.

Соединяют провода только в изоляционных или металлических коробках с изолирующими прокладками.

Надежность работы электроустановок зависит от качества соединений. Соединять провода и жилы кабелей можно следующими способами: электросваркой переменным током методом контактного разогрева, термитной сваркой жил в специальном патроне с применением втулок из алюминия, газовой сваркой, опрессовкой, пайкой, зажимами. Выбор способа соединений зависит от площади поперечного сечения проводов и кабелей и конструкции их жил.

30.2. Монтаж электроприводов, электронагревательных, осветительных и облучательных установок

Электродвигатель — один из основных элементов электропривода. Монтаж электродвигателей начинается с их транспортировки и приемки.

При приемке под монтаж электродвигатель осматривают, очищают от пыли и грязи. Убеждаются в том, что ротор вращается свободно. При необходимости заменяют смазку в подшипниках, измеряют сопротивление изоляции обмоток между фазами и между обмотками и корпусом.

Сопротивление изоляции при рабочей температуре двигателя должно быть не менее 0,5 МОм. При температуре 20 °С сопротивление изоляции колеблется в пределах от 5 до 100 МОм. Если сопротивление изоляции обмоток меньше допустимого значения, изоляцию обмоток можно сушить теплым воздухом от калорифера, лампами накаливания, методом потерь в стали или током короткого замыкания. Температуру воздуха в сушильном шкафу поддерживают от 70 до 100 °С. При токовом способе сушки по обмоткам пропускают электрический ток пониженного напряжения (15...20 %) U_n . Сушить изоляцию обмоток можно однофазным или трехфазным током. Сушку обмотки прекращают, когда сопротивление изоляции, превысив минимальное значение, больше не возрастает.

В зависимости от назначения механизма, мощности и массы электродвигателя двигатель может устанавливаться на корпусе машины или механизма, на раме или салазках, на кронштейнах или консолях, на фундаменте.

Вал установленного электродвигателя выверяют с валом рабочей машины. Взаимное расположение электродвигателя и рабочей машины определяется видом передач. Электродвигатель с рабочей машиной соединяют ременной, клиноременной, зубчатой передачами, либо напрямую соединительной муфтой. Для каждого вида передач применяют различные способы выверки.

Наиболее трудно выверять соединения валов электродвигателя и рабочей машины при помощи муфт. Валы соединяемых машин устанавливают в такое положение, при котором торцевые поверхности полумуфт параллельны, а оси валов расположены на одной прямой линии.

Центровку выполняют при помощи специальных скоб 1, закрепленных на ступицах 2 обеих полумуфт (рис. 30.3). Щупами измеряют осевые и радиальные зазоры *a* и *b* в четырех точках окружности через 90°. Добиваются равенства одноименных зазоров при любом угле поворота вала.

После того, как электродвигатель выверен, его надежно закрепляют болтами. Затем еще раз проверяют точность центровки, так как при затяжке болтов выверка может быть нарушена.

При подключении электродвигателя на напряжение 380 В выводы статорной обмотки *C1*, *C2*, *C3* или *C4*, *C5*, *C6* при помощи разъемных зажимов присоединяют к электрической сети. Оставшиеся три вывода соединяют вместе. Места соединения изолируют двумя-тремя слоями изоляционной ленты.

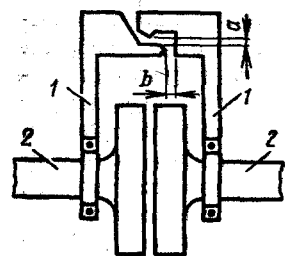


Рис. 30.3. Скобы для центровки валов соединяемых машин.

Для защиты людей и животных от поражения электрическим током корпуса электродвигателей и металлические конструкции, на которых они установлены, соединяют с нулевым проводом.

Нагревательные электроустановки используют на животноводческих предприятиях для нагрева воды, обогрева полов и воздуха, отопления помещений. Промышленность выпускает водогрейные и паровые котлы типов ЭПЗ, КЭВ, КЭПР, ЭКП, ЧПВ. Монтаж электрокотла выполняют в соот-

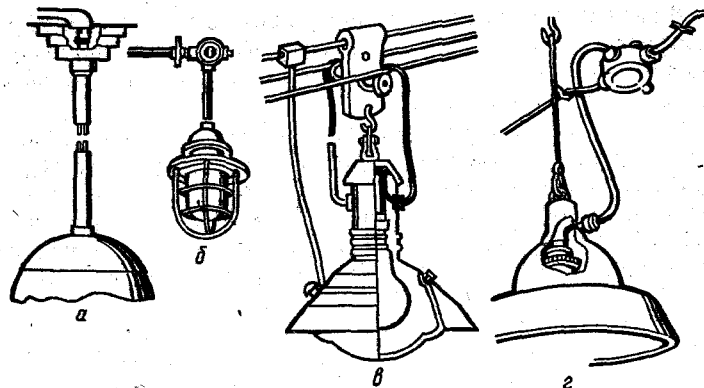


Рис. 30.4. Способы установки светильников:

a — при скрытой проводке; *б* — при прокладке проводов в трубах; *в* — при тросовой проводке; *г* — при прокладке кабелем.

ветствии с инструкцией завода-изготовителя, прилагаемой к каждому электрокотлу.

Осветительные и облучательные установки представляют собой совокупность источников света или облучения и устройств для их крепления, включения в сеть, защиты от механических повреждений и агрессивной среды.

Светильники можно монтировать на стенах и потолках при помощи специальных крюков. При тросовой электропроводке светильники подвешивают к крюкам, прикрепленным к обоям тросовой подвески.

При проводке в стальных трубах светильники иногда подвешивают к трубам при помощи крюков и хомутов. При этом несущие трубы дополнительно крепят к перекрытиям или фермам здания. На рисунке 30.4 показаны различные способы установки светильников.

В животноводческих помещениях рекомендуется устанавливать светильники с пластмассовым корпусом и фарфоровым патроном с отдельным вводом проводов. Светильники располагают по линиям проходов и кормушек так, чтобы они не мешали работе транспортных средств. В помещениях, где хранятся грубые корма, светильники устанавливать не рекомендуется. В помещениях для животных предусматривают дежурное освещение, которое должно составлять 15...20 % общего.

Если в светильнике установлена специальная лампа, предназначенная для облучения животных или птицы, то его называют облучателем.

Монтировать облучательные установки нужно так, чтобы их поток излучения был направлен на объект облучения или на заданную площадь. Высоту подвеса облучателей приходится изменять в зависимости от возраста животных. Поэтому облучатели целесообразно монтировать на передвижных подвесках, цепях, тросах, позволяющих менять высоту подвеса. Во всех случаях при монтаже облучательных установок необходимо строго руководствоваться заводскими и ведомственными инструкциями.

Аппаратура управления предназначена для включения и отключения различных электрических установок. К ней относятся рубильники, пакетные выключатели, переключатели, магнитные выключатели, реле, автоматические выключатели и т. п.

Перед монтажом аппаратуру внимательно осматривают, проверяют комплектность, удаляют защитную смазку. В сеть аппаратуру включают таким образом, чтобы напряжение подавалось на верхние контакты, а снималось с нижних. Распоразгать аппаратуру управления и защиты следует так, чтобы оператор при коммутационных переключениях мог наблюдать за работой установки.

На всех шкафах и щитах делают надписи в соответствии с наименованиями, указанными в рабочих чертежах.

Современное животноводство характеризуется высокой степенью автоматизации технологических процессов. Средства автоматизации также монтируют на заводах и размещают в шкафах, пультах, на щитах, панелях.

На группы №3, 4, 5

24 ПБЛМ $\frac{2 \times 40}{3,0}$

183 / 3,0

НСПО2 $\frac{100}{3,0}$

Тамбур

АВВГ-2,5

10 ПЛК

Помещение для подстилки 10 ПЛК 60 / НСПО2 2,5

3

2

60 / НСПО2 2,5

Столовая

Химическая активная среда

АВВГ-2,5 На тропе

183 / 3,0

50 ПЛК

Инвентарная

2-НСПО2 7,5 / 2,5

АВВГ-2,5

50 ПЛК

АВВГ 3x25+1x10

Т-50 l=50м

Рис. 30.5. Пример установки силовых и осветительных щитков в животноводческом помещении:

1 — силовой шкаф ШР11-7301-22УЗ; 2 — осветительный щиток ЩО $\frac{2,24}{0,05}$ ОП-6;
3 — щиток дежурного освещения.

и кабелей она должна быть не менее 1 мм^2 , у алюминиевых — не менее $2,5 \text{ мм}^2$. Небронированные кабели, а также трубы из цветных металлов и пластмассы, подводимые к щитам и пультам снизу, должны быть защищены от механических повреждений.

Монтаж вводных и распределительных шкафов, ящиков, пунктов, щитков выполняют аналогично монтажу щитков и шкафов с аппаратурой управления и защиты. При этом труповые щитки устанавливают в центре нагрузки и в стороне от предметов, которые могут оказывать на щитки механические воздействия. В качестве примера на рисунке 30.5 показано размещение силовых и осветительных щитков в животноводческом помещении.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие вы знаете способы монтажа проводов и кабелей? 2. Какими способами соединяют провода? 3. Как монтируют электродвигатели? 4. Что относится к аппаратуре управления и защиты и как выполняют ее монтаж?

Лабораторная работа № 14. МОНТАЖ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Цель работы. Приобрести практические навыки по монтажу электрического двигателя с рабочей машиной.

Программа работы. 1. Осмотреть электродвигатель и проверить пригодность его к монтажу.

2. Измерить сопротивление изоляции обмоток.

3. Установить электродвигатель, отцентрировать валы и закрепить его.

4. Заземлить электродвигатель.

5. Подключить электродвигатель к сети и провести его пробный пуск.

6. Составить отчет.

Содержание отчета. В отчете изложить цель и программу работы. Привести данные измерений сопротивления изоляции и результаты измерений зазоров в центровочных скобах для четырех положений. Нарисовать эскиз, иллюстрирующий монтаж электродвигателя к рабочей машине и присоединение питающих проводов к клеммам вводной коробки.

Глава 31. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

31.1. Неисправности и диагностика электрооборудования

Наиболее часто встречаемые неисправности асинхронных электродвигателей в процессе эксплуатации, причины их вызывающие и способы выявления приведены в таблице 31.1.

31.1. Характерные неисправности электродвигателей

Признак неисправности	Причины неисправности	Способы определения и устранения неисправности
Электродвигатель при пуске не разворачивается	На одной из фаз отсутствует напряжение Обрыв одной из фаз обмотки при соединении в звезду Пониженное напряжение сети Неисправное соединение начал и концов обмоток статора	Измерить напряжение. Устранить разрыв цепи (проверить целостность предохранителей, подводящих проводов) Проверить наличие цепи при помощи омметра. Устранить обрыв Изменить напряжение. Устранить причину Проверить и пересоединить концы
Работающий электродвигатель останавливается	Резкое понижение напряжения или исчезновение его, перегрузка или заклинивание электродвигателя	Замерить напряжение, выяснить причину и устранить
При вращении электродвигатель перегревается и гудит	Межвитковое замыкание	Измерить силу тока в питающих проводах. Сдать электродвигатель в капитальный ремонт
Пониженное сопротивление изоляции обмоток	Обмотки загрязнены или отсырели	Измерить сопротивление изоляции мегомметром на 500 В. Разобрать электродвигатель, прочистить, продуть, высушить обмотку
Повышенный нагрев подшипников	Неотцентрирован электродвигатель с рабочей машиной Недостаточно или слишком много масла в подшипниках	Проверить центровку, устранить несоосность валов Проверить количество масла в подшипниках. При необходимости добавить или уменьшить масло
	Приводной ремень сильно натянут Подшипники повреждены или изношены	Отрегулировать натяжение ремня Заменить подшипники
Повышенная вибрация электродвигателя	Фундамент недостаточно жесткий или двигатель плохо прикреплен Неотцентрирован электродвигатель с валом машины Плоский ремень сшит грубо Неуравновешены детали, закрепленные на валу Неисправность в цепи ротора	Устранить причину Проверить центровку и устранить несоосность валов Перешить ремень Устранить неуравновешенность Заменить ротор

Характерные неисправности аппаратуры управления и защиты приведены в таблице 31.2.

31.2. Неисправности аппаратуры управления и защиты

Наименование аппаратуры	Неисправности
Автоматические выключатели	Окисление и обгорание контактов; коррозия металлических частей; неисправность теплового или электромагнитного расцепителя; подгорание или окисление зажимов для подсоединения токоведущих проводов; нарушение целостности корпуса, крышки, дугогасительных камер, решеток
Магнитные пускатели	Окисление или подгорание силовых контактов; витковые замыкания или сгорание катушки; неисправность теплового реле; обрыв выводов катушки; коррозия магнитной системы и всех металлических частей; перекосы магнитной системы или заедание ее подвижной части; подгорание или срыв резьбы в отверстиях под винты крепления проводов неподвижных контактов; нарушение целостности короткозамкнутого витка в магнитной системе; образование наклепа на поверхности сердечника и якоря; трещины или пробойны в кожухе
Предохранители	Окисление и подгорание контактных поверхностей, неплотный контакт ножей и губок, сколы и трещины в патроне
Рубильники	Обгорание контактных поверхностей ножей и губок; неплотный контакт ножей и губок; срыв резьбы в отверстиях под винты крепления проводов; срыв резьбы в отверстиях под винты крепления контактов к панели; механические повреждения рукоятки, валика, дугогасительных камер, корпуса
Пакетные выключатели и переключатели	Окисление и обгорание контактов; поломка рукоятки, пружины или лепестков фиксирующей шайбы; обугливание искрогасительных шайб; срыв резьбы стяжных шпилек; трещины или сколы корпуса

Неисправности аппаратуры управления и защиты вызываются плохими условиями хранения, транспортировки, низким качеством монтажа и эксплуатации. Они выявляются при осмотре и устраняются в процессе обслуживания или ремонта.

Затраты труда на устранение неисправностей в аппаратуре управления и защиты значительно меньше, чем на проведение профилактики и ремонта электродвигателей животноводческих объектов.

Значительно сократить затраты на обслуживание электродвигателей и улучшить их использование можно путем применения технической диагностики и прогнозирования остаточного

ресурса. При этом сроки предупредительных ремонтов планируют по необходимости в зависимости от остаточного ресурса их узлов.

Сущность технической диагностики заключается в получении и обработке информации о значениях эксплуатационных характеристик и оценке технического состояния электродвигателя. Оценка технического состояния заключается в сравнении полученных значений эксплуатационных характеристик с предельно допустимыми.

Прогнозирование остаточного ресурса электродвигателя заключается в определении периода эксплуатации, в течение которого эксплуатационные характеристики достигнут предельно допустимых значений, а дальнейшая эксплуатация окажется невозможной по техническим причинам или нецелесообразной по экономическим. Прогнозирование остаточного ресурса проводят на основании результатов периодически проводимой диагностики.

В связи с тем что разные узлы электродвигателя изнашиваются в разные сроки, техническую диагностику и прогнозирование остаточного ресурса проводят по отдельным узлам.

Обмотка — один из наиболее важных узлов электродвигателя. До 80...95 % отказов электродвигателя связано с пробоем изоляции обмотки. Трудоемкость текущего ремонта обмотки составляет 40...60 % общей трудоемкости ремонта. Поэтому необходимо тщательно проводить техническую диагностику обмотки.

При технической диагностике обмотки оценивают техническое состояние витковой, междупазной изоляции и изоляции обмотки по отношению к корпусу.

Дефекты в витковой изоляции определяют при помощи приборов типа СМ, ЕЛ-1 или ВЧФ5-3. К зажимам аппаратов СМ или ЕЛ-1 подключают две фазы статорной обмотки и подают на них импульс напряжения высокой частоты. При исправной обмотке на экране электроннолучевой трубки видна одна кривая. Если кривая раздваивается, то это свидетельствует о том, что в обмотке есть витковое замыкание.

Прибор ВЧФ5-3, кроме дефекта в витковой изоляции, позволяет определить также и пробивное напряжение изоляции в месте дефекта.

Диагностику витковой изоляции новых электродвигателей следует проводить не реже одного раза в год, а двигателей, работающих более трех лет или бывших в ремонте, не реже одного раза в два месяца (или через 250 ч работы).

Техническое состояние междупазной изоляции и изоляции

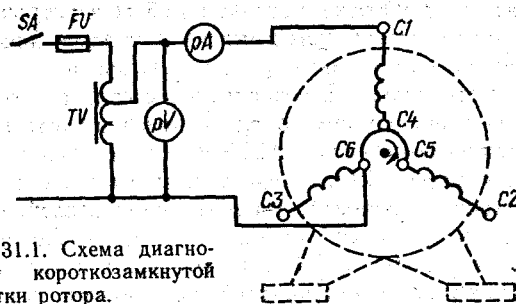


Рис. 31.1. Схема диагностики короткозамкнутой обмотки ротора.

обмотки по отношению к корпусу электродвигателя оценивают по значению сопротивления изоляции постоянному току и коэффициенту абсорбции. Коэффициент абсорбции представляет собой отношение сопротивления изоляции, измеренного через 60 с после начала измерения, к сопротивлению изоляции, измеренному через 15 с ($k_{60} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$). Сопротивление изоляции должно быть не ниже 0,5 МОм, а коэффициент абсорбции — не ниже 1,3.

Техническое состояние короткозамкнутой обмотки ротора определяют следующим способом. На одну фазную обмотку статора, а при отсутствии нулевого вывода на две подают пониженное переменное напряжение 10...15 % номинального (рис. 31.1). Медленно поворачивают ротор и следят за значением тока, протекающего по обмотке. Изменение тока говорит об отрыве стержней ротора. Допускается эксплуатация электродвигателя без ремонта или замены ротора, если

$$\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max}} \leq 0,1,$$

где I_{\max} , I_{\min} — соответственно максимальное и минимальное значения тока.

Техническую диагностику электродвигателей и прогноз остаточного ресурса проводят по графику. Результаты диагностики заносят в журнал наблюдений.

31.2. Система планово-предупредительного ремонта и обслуживания электрооборудования

Электрооборудование в процессе эксплуатации и хранения подвергается воздействию различных факторов, которые приводят к преждевременному выходу его из строя или

старению. Возникновению отказа в работе электрооборудования обычно предшествует появление тех или иных неисправностей. Своевременное устранение причин, вызывающих неисправности, позволяет предупредить возникновение большинства отказов.

Система планово-предупредительного ремонта и обслуживания электрооборудования (ППРЭсх) представляет собой совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта, а также исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделий, входящих в эту систему. Система ППРЭсх, благодаря комплексу организационно-технических мероприятий, проводимых энергетическими службами в плановом порядке, позволяет поддерживать электрооборудование и электрические сети в состоянии полной работоспособности, предупреждать их преждевременный выход из строя и износ. Эта система предусматривает также совершенствование организации технического обслуживания и ремонта, сокращение эксплуатационных затрат.

Система ППРЭсх определяет:

- 1) состав работ по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования;
- 2) трудоемкость технического обслуживания и ремонта электрооборудования;
- 3) периодичность проведения технического обслуживания и ремонта;
- 4) нормы расхода материалов и запасных частей на техническое обслуживание и ремонт;
- 5) организацию, планирование и учет работ по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования.

В соответствии с ГОСТ 18322—78 система ППРЭсх предусматривает два вида профилактических мероприятий: техническое обслуживание и ремонт.

Техническое обслуживание включает в себя комплекс работ по поддержанию исправного состояния и работоспособности электрооборудования в процессе эксплуатации. Состав работ по техническому обслуживанию зависит от вида электрооборудования. Техническое обслуживание проводят без разборки электрооборудования на рабочем месте в период перерывов в работе, в нерабочие смены или в выходные дни.

Ремонт представляет собой комплекс мероприятий по восстановлению работоспособности электрооборудования. В процессе эксплуатации отдельные узлы электрооборудования изнашиваются, приходят в негодность. Поэтому необходима не только периодическая смазка, регулировка, но и ремонт или замена отдельных деталей.

По системе ППРЭсх предусматривается два вида ремонта: текущий и капитальный.

Текущий ремонт — это основной профилактический вид ремонта. Его цель — обеспечить работоспособность, долговечность и безотказность работы электрооборудования. Он состоит в замене или восстановлении отдельных частей. Текущий ремонт может быть проведен на месте установки электрооборудования или в ремонтной мастерской. Объем его зависит от технического состояния электрооборудования.

Капитальный ремонт — это наиболее полный по объему и наиболее сложный вид ремонта. Его выполняют для восстановления исправности электрооборудования. При капитальном ремонте электрооборудование полностью разбирают, ремонтируют или заменяют отдельные, даже базовые, узлы. Капитальный ремонт силового электрооборудования проводят на специализированных ремонтных предприятиях.

Промежутки времени между данным видом технического обслуживания или ремонта и последующим таким же или более сложным видом определяет периодичность технического обслуживания или ремонта. Период между двумя плановыми капитальными ремонтами называется ремонтным циклом.

31.3. Организация и учет работ по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования

Организация эксплуатации электрооборудования на животноводческих предприятиях в зависимости от вида и объема работ и от того, как они выполняются, может принимать различные формы. Одна из форм — эксплуатация электрооборудования непосредственно энергетической службой самих хозяйств или предприятий (инженерно-технический персонал и электромонтеры). Электрическая служба проводит техническое обслуживание и текущий ремонт электрооборудования, ликвидирует аварии в электростанциях, организует капитальный ремонт электрооборудования и участвует в его выполнении, выполняет монтажные работы и пр.

Для того, чтобы вести плановую эксплуатацию электрооборудования, необходим строгий его учет. В связи с этим на каждую единицу оборудования на основании инвентаризации составляют карту, в которую записывают технические данные оборудования и сведения о проводимых плановых или аварийных работах или заменах. Записи в картах делают регулярно

в хронологическом порядке на основании ведомостей работ, аварийных актов, данных о проведенных ремонтах или заменах.

На основании карт учета электрооборудования и нормативов, приведенных в ППРЭсх, составляют годовой график технического обслуживания и ремонта. Он представляет собой основной документ для организации эксплуатации, определения потребности в рабочей силе, материалах, запчастях, составления сметы расходов на обслуживание и ремонт.

Необходимую численность электромонтеров для выполнения работ по эксплуатации электрооборудования определяют по формуле

$$Ч = T / \Phi,$$

где T — суммарные годовые затраты труда на эксплуатацию электрооборудования; Φ — годовой фонд рабочего времени одного электромонтера.

Годовую потребность в материалах и запасных частях по каждому виду электрооборудования планируют исходя из норм их расхода, приведенных в ППРЭсх. Кроме того, каждое хозяйство или предприятие должно иметь резервный запас электрооборудования, объем которого зависит от категории надежности электроснабжения и численности оборудования одинакового типоразмера, находящегося в эксплуатации.

31.4. Техническое обслуживание электрооборудования

Силовые и осветительные электропроводки. При техническом обслуживании очищают электропроводку, наружную часть труб, осветительные коробки, выключатели и розетки от пыли и грязи, проверяют их состояние и надежность крепления. Замеченные дефекты устраняют. Если проводка имеет провисы, их устраняют. Вскрывают ответвительные коробки и осматривают состояние соединений проводов. Пересохший или обуглившийся изоляционный слой снимают и накладывают новую изоляцию. Проверяют состояние заземления металлических защитных конструкций.

Асинхронные электродвигатели. Очищают корпус электродвигателя от пыли и грязи. Проверяют исправность заземления. Если контакт ослаблен, то его разбирают, зачищают до блеска, смазывают техническим вазелином и опять собирают. Подтягивают болты крепления электродвигателя к фундаменту или рабочей машине, а также крепление подшипниковых щитов и коробки выводов. Проверяют плотность посадки шкива или

звездочки на валу двигателя, соосность двигателя с рабочей машиной, надежность контактных соединений. Измеряют сопротивление изоляции. Включают электродвигатель и проверяют степень нагрева, убеждаются в отсутствии вибрации и посторонних шумов.

Пускозащитная аппаратура. Отключают напряжение, снимают крышку и удаляют пыль, грязь и копоть. Проверяют надежность крепления аппарата к основанию, степень затяжки винтовых соединений, при необходимости подтягивают. Снимают дугогасительные камеры, осматривают состояние контактов, одновременность их замыкания, плотность прилегания. При необходимости контакты регулируют, очищают от нагара. После выполнения всех работ подают напряжение и проверяют действие аппаратуры.

Электроводонагреватели. Очищают электроводонагреватель снаружи от пыли и грязи. Осматривают его и убеждаются в отсутствии течи бака и трубопроводов. Обнаруженные места течи заваривают. Снимают крышку блока нагревательного устройства и проверяют крепление контактов. Ослабленные крепления подтягивают. Устанавливают крышку, проверяют исправность заземления. Включают электроводонагреватель и проверяют соответствие его параметров заданным значениям.

Электрокалориферные установки. Очищают установку от пыли и грязи. Снимают боковые крышки и проверяют надежность крепления контактов. Ослабленные контакты подтягивают и монтируют крышки. Проверяют исправность заземления, регулятора температуры и целостность изоляции нагревательных элементов. Включают установку и проверяют соответствие температуры воздуха на выходе электрокалорифера заданному значению.

Светильники и облучатели. Обтирочным материалом, смоченным 5 %-ным раствором каустической соды, удаляют пыль и грязь. Снимают стекла светильников, моют и вытирают насухо. Стекла с трещинами и сколами заменяют. Перегоревшие лампы заменяют. Снимают корпус патрона и проверяют состояние его частей. Окислившиеся и перегоревшие контакты зачищают. Подтягивают ослабевшие зажимы. Проверяют состояние изоляции проводов, пуско-регулирующей аппаратуры, состояние уплотняющих элементов, надежность присоединения нулевого провода к зажиму на корпусе светильника или облучателя.

Силовые сборки и осветительные щитки. Очищают силовые сборки и осветительные щитки от пыли и грязи. Проверяют контакты в местах соединения шин между собой, а также в местах подсоединения проводов и кабелей. При необходимости контакты подтягивают. Проверяют состояние контактов рубиль-

ников, предохранителей, контакторов между губками и ножами. Проверяют соответствие токов плавких вставок расчетным значениям. Проверяют состояние заземления корпуса.

31.5. Текущий ремонт электрооборудования

При текущем ремонте выполняют все операции технического обслуживания. Кроме того, выполняют комплекс работ, относимый системой ППРЭсх к текущему ремонту.

Силовые и осветительные электропроводки. Заменяют дефектные участки электропроводки, муфты, воронки, выключатели, розетки. Проверяют сопротивление изоляции мегомметром, красят кронштейны и другие крепежные металлические конструкции.

Асинхронные электродвигатели. Отъединяют электродвигатель от питающих проводов и заземления. Разъединяют его с рабочей машиной и разбирают. Чистят обмотки, измеряют сопротивление изоляции. Осматривают активную сталь статора и ротора. Места, покрытые коррозией, зачищают и покрывают слоем лака воздушной сушки. При необходимости покрывают лаком и лобовые части обмотки. Проверяют состояние подшипников, заменяют смазку. Проверяют состояние изоляции выводных проводов. Собирают электродвигатель и проводят пробный запуск.

Пускозащитная аппаратура. Текущему ремонту подлежат контакты, дугогасительные камеры, магнитопроводы, катушки, механические части, **изоляционные детали** и корпуса.

Демонтируют аппарат. Проверяют состояние контактов. Ослабевшие контакты подтягивают, потемневшие — зачищают, подгоревшие — заменяют. Зачищают шабером внутренние части дугогасительной камеры. Удаляют на магнитной системе следы коррозии. Катушки с обуглившейся или осыпавшейся изоляцией заменяют. Проверяют состояние изоляционных деталей и корпуса. Настраивают тепловое реле. Окрашивают кожухи и корпуса. Собирают аппарат, устанавливают на место и проверяют в работе.

Электроводонагреватели. Убеждаются в отсутствии течи в баке и трубопроводах. Очищают от накипи нагреватели, бак и трубопроводы. Промывают и протирают крепежные детали, изоляторы, изолирующие вставки. Проверяют исправность регулирующей аппаратуры и измерительных приборов. Измеряют сопротивление изоляции. Окрашивают корпус. Включают в работу и проверяют его параметры.

Электрокалориферы. Промывают и протирают крепежные детали и окрашивают дефектные места. Проверяют исправность нагревательных элементов и регуляторов температуры. При необходимости меняют. Измеряют сопротивление изоляции электронагревателей. При сопротивлении менее 1 МОм сушат их и герметизируют выводные концы.

Светильники и облучатели. Очищают от пыли и грязи, разбирают, осматривают все детали. Дефектные детали ремонтируют или заменяют новыми. Ржавчину удаляют. Выпрямляют вмятины и погнутости деталей корпуса, красят его. Собирают схему светильника (облучателя). Измеряют сопротивление изоляции проводов. Подключают светильник к электрической сети и проверяют его работоспособность.

Силовые сборки и осветительные щитки. Меняют отдельные дефектные шины, рубильники, контакторы, коммутационные аппараты, предохранители. Проверяют состояние изоляции токоведущих частей, цепей коммутации. Проверяют надежность крепления пускозащитной аппаратуры. Ослабленные соединения подтягивают. Окрашивают кожух и восстанавливают предупредительные надписи.

31.6. Периодичность проведения технического обслуживания и текущего ремонта электрооборудования

Периодичность проведения технического обслуживания и текущего ремонта электрооборудования регламентирована системой ППРЭсх и зависит от вида помещения и наименования электрооборудования.

Животноводческие предприятия по условиям окружающей среды относятся к особо сырým и особо сырým с химически активной средой категориям помещений. В таблицах 31.3 и 31.4 периодичность проведения технического обслуживания

31.3. Периодичность проведения технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР) электрооборудования

Электрооборудование	Вид помещения	Периодичность, мес	
		ТО	ТР
Электропроводка, выполненная кабелем в трубах, коробах, лотках по стенам, фермам и т. п.	Сухие и влажные	6	24
	Пыльные и сырые	6	24
	Особо сырые с химически активной средой	4	18

Продолжение

Электрооборудование	Вид помещения	Периодичность, мес	
		ТО	ТР
Электропроводка, выполненная изолированными проводами в трубах, коробах, лотках по стенам, фермам и т. п.	Сухие и влажные	4	18
	Пыльные и сырые	4	18
	Особо сырые с химически активной средой	3	12
Скрытая проводка сети освещения	Все виды помещений	6	24
Силовые сборки и щитки освещения	Сухие, влажные, пыльные и сырые	3	24
	Особо сырые с химически активной средой	1,5	12
Пуско-защитная аппаратура	Сухие и влажные	3	24
	Сырые и пыльные	2	18
	Особо сырые с химически активной средой	1	12
Электротермическое оборудование	Все виды помещений	3	12
Светильники и облучатели	Сухие и влажные	6	24
	Сырые и особо сырые	3	24
	Особо сырые с химически активной средой	3	12

31.4. Периодичность технического обслуживания и текущего ремонта электродвигателей

Категория помещений	Типы и назначения помещений	Примерный перечень сельскохозяйственных машин, используемых в помещениях	Типы установленных электродвигателей	Периодичность, мес	
				ТО	ТР
Особо сырые (влажность превышает 98 %)	Кормоприготовительные цехи ферм и комплексов	Дозаторы, смесители, транспортеры	АО2 4А,Д	1,5 3	18 24
		Измельчители кормов, прессы	АО2 4А,Д	1 1,5	12 24
	Доильные залы, молочные отделения	Молочные насосы, сепараторы, вакуум-насосы, пастеризаторы	АО2 4А,Д АО2СХ	1 2 2	9 18 18
		Транспортеры, загрузчики и разгрузчики, оборудование электро-стригальных цехов	АО2 4А,Д	1,5 3	18 24
	Неотапливаемые склады, силосные и сенажные башни				

Продолжение

Категория помещений	Типы и назначения помещений	Примерный перечень сельскохозяйственных машин, используемых в помещениях	Типы установленных электродвигателей	Периодичность, мес	
				ТО	ТР
Особо сырые с химически активной средой (влажностью 80...100 %)	Животноводческие и птицеводческие помещения	Кормораздатчики, дозаторы, транспортеры уборки навоза, насосы, вентиляторы, оборудование клеточных батарей	АО2	1,5	18
			4А,Д АО2СХ	3	24

живания и текущего ремонта электрооборудования приведены для этих категорий помещений.

Техническое обслуживание погружных насосов проводят один раз в месяц. Текущий ремонт при наработке электродвигателя до 5 ч в сутки проводят один раз в три года, при наработке 8...10 ч в сутки — один раз в 2 года и при наработке 16 ч и более — один раз в год.

31.7. Капитальный ремонт электрооборудования

В капитальный ремонт сдают электрооборудование, работоспособность которого при текущем ремонте восстановить невозможно.

Капитальный ремонт воздушных сетей и внутренних электропроводок выполняют энергетические службы колхозов и совхозов. При капитальном ремонте меняют более 50 % электропроводок.

Капитальный ремонт электрических машин наиболее сложный, и его следует проводить на специализированных предприятиях.

При сдаче в капитальный ремонт электрические машины должны быть укомплектованы, собраны, очищены от пыли и грязи. С валов должны быть сняты шкивы, полумуфты, звездочки, шестерни. Электрические машины, у которых разбиты корпуса, значительно повреждена активная сталь или отбито более двух лап, в капитальный ремонт не принимаются.

В процессе капитального ремонта электрическую машину

полностью разбирают. При необходимости ремонтируют вал, меняют подшипники.

Продолжительность ремонтного цикла для электродвигателей, установленных на животноводческих предприятиях, до первого капитального ремонта составляет 3,5 года, между последующими капитальными ремонтами — 1,5 года. Периодичность капитального ремонта электропроводок, выполненных кабелем, — 8 лет, изолированным проводом — 3,5 года, скрытых — 10 лет.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие основные неисправности асинхронных электродвигателей?
2. Какие бывают неисправности у аппаратуры управления и защиты?
3. Из каких операций состоит технологический процесс технической диагностики электродвигателей?
4. Что представляет собой система ППРЭСх?
5. Что является целью текущего обслуживания, текущего и капитального ремонтов электрооборудования?

Лабораторная работа № 15. ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Цель работы. Изучение методики получения информации о значениях эксплуатационных характеристик и оценка технического состояния электродвигателей.

Программа работы. 1. Определить техническое состояние витковой изоляции.

2. Определить техническое состояние межфазной и корпусной изоляции.

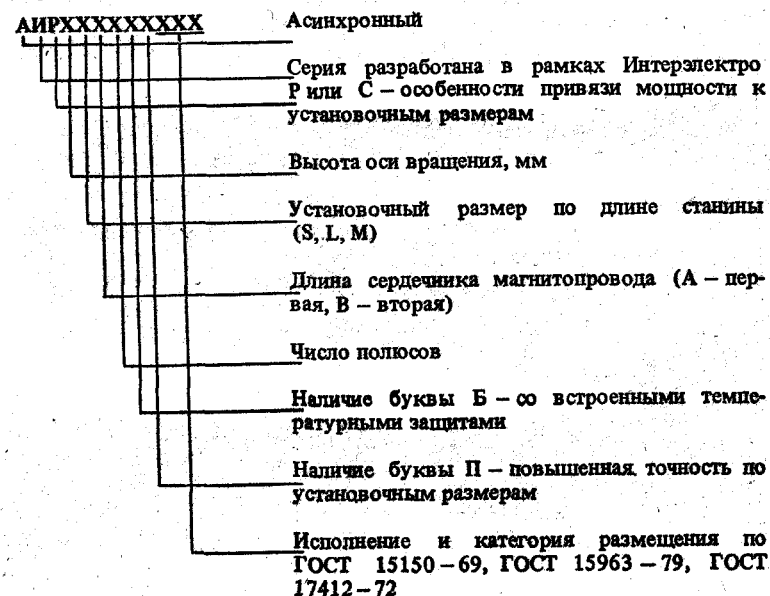
3. Определить техническое состояние короткозамкнутых обмоток ротора.

4. Оформить отчет.

Содержание отчета. В отчете привести схемы опытов и данные измерений. Сравнить экспериментальные данные с допустимыми значениями. Сделать вывод о техническом состоянии электродвигателя.

Приложение 1

Структура обозначения двигателей серии АИ



Например, АИР80А4БХУ2 — асинхронный двигатель, разработанный в рамках Интерэлектро, привязка мощности по РС 3031-71, с высотой оси вращения 80 мм, первой длины сердечника магнитопровода, четырехполюсный, со встроенными датчиками, химстойкий, для умеренного климата, второй категории размещения.

Таблица мощностей электродвигателей серии АИ основного исполнения (степень защиты IP54, IP44) в зависимости от высоты оси вращения

Высо- та оси вра- щения	Устано- вочный размер по длине станины	Мощность, кВт							
		Вариант Р				Вариант С			
		2р=2	2р=4	2р=6	2р=8	2р=2	2р=4	2р=6	2р=8
71	—	0,75	0,55	0,37	—	0,37	0,25	0,18	0,09
	—	1,1	0,75	0,55	0,25	0,55	0,37	0,25	0,19
80	—	1,5	1,1	0,75	0,37	0,75	0,55	0,37	0,18
	—	2,2	1,5	1,1	0,55	1,1	0,75	0,55	0,25
90	S	—	—	—	—	1,5	1,1	0,75	0,37
	L	3,0	2,2	1,5	0,75	—	—	—	—
100	S	4,0	3,0	—	—	—	—	—	—
	L	5,5	4,0	2,2	1,5	3	2,2	1,5	0,75
112	M	7,5	5,5	3,0	2,2	4,0	4,0	2,2	1,5
	S	—	7,5	5,5	4,0	5,5	5,5	3,0	2,2
132	M	11	11	7,5	5,5	—	7,5	5,5	3,0
	S	15	15	11	7,5	11	—	—	4,0
160	M	18,5	18,5	15	11	15	11	7,5	7,5
	L	—	—	—	—	18,5	15,5	11	7,5
180	S	22	22	—	—	—	—	—	—
	M	30	30	18,5	15	22	18,5	—	—
200	L	—	—	—	—	—	22	15	11
	M	37	37	22	18,5	—	—	—	—
225	L	45	45	30	22	30	30	22	15
	S	—	—	—	—	—	37	—	18,5
250	M	55	55	37	30	45	45	30	22
	S	75	75	45	37	—	—	—	—
	M	90	90	55	45	55	55	37	30

Приложение 3

Структура обозначения и основные технические данные пускателей ПМЛ
Код для расшифровки типов электромагнитных пускателей серии ПМЛ
ПМЛ-XXXXXXX Серия

Номинальный ток: 1 – 10 А; 2 – 25 А; 3 – 40 А;
4 – 63 А; 5 – 80 А; 6 – 125 А; 7 – 200 А

Исполнение пускателей по назначению и наличию
теплового реле: 1 – нереверсивный пускатель
без теплового реле; 2 – нереверсивный пуска-
тель с тепловым реле; 5 – реверсивный пуска-
тель без теплового реле с электрической и ме-
ханической блокировками; 6 – то же, но с теп-
ловым реле; 7 – пускатель звезда – треуголь-
ник

Исполнение пускателя по степени защиты и на-
личию кнопок: 0 – IP00; 1 – IP54 с кнопкой
"Реле"; 2 – IP54 с кнопками "Пуск" и "Стоп";
3 – IP54 с кнопками "Пуск" и "Стоп" и сиг-
нальной лампой

Исполнение пускателей по числу и исполнению
контактов (замыкающих и размыкающих)
вспомогательной цепи:

0 – 1з (на 10...25 А); 1з + 1р (на 40...63 и
80...200 А);

1 – 1р (на 10...25 А); 2з + 2р (на 80...200 А);

2 – 3з + 3р (на 80...200 А);

3 – 3з + 1р (на 80...200 А);

4 – 5з + 1р (на 80...200 А)

Климатическое исполнение и категория раз-
мещения по ГОСТ 15150-69

Область применения: Н – для нечастых вклю-
чений; без буквы – для частых включений.

Например, пускатель электромагнитный серии ПМЛ на номинальный ток
10 А, нереверсивный с тепловым реле и кнопками "Пуск" и "Стоп"
исполнения по степени защиты IP54 с одним замыкающим блокировоч-
ным контактом, климатического исполнения и категории размеще-
ния 02 по ГОСТ 15150-69, для частых включений записывается так:
ПМЛ-122002.

Приложение 4

Структура обозначения и основные технические данные пускателей ПМА
Структура обозначения типа электромагнитных пускателей серии ПМА
ПМА-XXXXXXX Серия

Величина: 3 – 40; 4 – 63; 5 – 100; 6 – 160 А

Исполнение по реверсивности, наличию теплового
реле и аппаратов защиты: 1 – без реле, нереве-
рсивные; 2 – с реле, нереверсивные; 3 – без реле,
реверсивные, с электрической блокировкой; 4 –
с реле, реверсивные, с электрической блокировкой;
5 – без реле, реверсивные, с электрической и ме-
ханической блокировками; 6 – с реле, с электриче-
ской и механической блокировками; 7 – с аппара-
том защиты позисторной, нереверсивные; 8 – с а-
ппаратом защиты позисторной, реверсивные, с меха-
нической блокировкой; 9 – с аппаратом защиты
позисторной УВТЗ-1М, нереверсивные; 0 – с
УВТЗ-1М, реверсивные, с механической и электри-
ческой блокировками

Исполнение по степени защиты и наличию кнопок:
0 – IP00, без кнопок; 1 – IP40, без кнопок; 2 –
IP54, без кнопок; 3 – IP40 с кнопками "Пуск"
и "Стоп"; 4 – IP54 с кнопками "Пуск" и "Стоп";
5 – IP40 с кнопками "Пуск" и "Стоп" и сигнальной
лампой; 6 – IP54 с кнопками "Пуск" и "Стоп"
и сигнальной лампой

Исполнение по роду тока цепи управления, напря-
жению главной цепи и числу контактов вспомога-
тельной цепи: 0 – переменный, 380 В, 2з + 2р для
3...6 величин пускателей; 1 – постоянный, 380 В,
2з + 2р для 5 и 6 величин пускателей; 2 – перемен-
ный, 660 В, 2з + 2р для 3...6 величин пускателей;
3 – постоянный, 660 В, 2з + 2р для 5 и 6 величин
пускателей; 4 – переменный, 380 В, 4з + 2р для
4...6 величин пускателей; 5 – постоянный, 380 В,
4з + 2р для 5 и 6 величин пускателей; 6 – перемен-
ный, 660 В, 4з + 2р для 5 и 6 величин пускателей;
7 – постоянный, 660 В, 4з + 2р для 5 и 6 величин
пускателей; 8 – переменный, 380 В, 2з для 3...6
величин пускателей; 9 – переменный, 660 В, 2з для
3...6 величин пускателей

Климатическое исполнение: У, УХЛ, О, Т

Категория размещения: 2, 3, 4

Исполнение по износостойкости: А, Б, В

Структура обозначения типа выключателя:

АЕ2000-0000

Условное обозначение выключателя

Порядковый номер разработки	
Условное обозначение величины в зависимости от номинального тока: 1 – 10 А; 3 – 25 А; 4 – 63 А; 5 – 100 А	
Условное обозначение числа полюсов в комбинации с максимальным расцепителем: 1 – однополюсный с электромагнитным максимальным расцепителем тока; 2 – двухполюсный с электромагнитным максимальным расцепителем тока; 3 – трехполюсный с электромагнитным максимальным расцепителем тока; 4 – однополюсный с электромагнитным и тепловым максимальными расцепителями тока; 5 – двухполюсный с электромагнитным и тепловым максимальными расцепителями тока; 6 – трехполюсный с электромагнитным и тепловым максимальными расцепителями тока; 7 – четырехполюсный с электромагнитным максимальным расцепителем тока; 8 – четырехполюсный с электромагнитным и тепловым максимальными расцепителями тока; 9 – трехполюсный без расцепителей	
Условное обозначение наличия свободных вспомогательных контактов: 1 – без свободных вспомогательных контактов; 2 – один замыкающий контакт; 3 – один размыкающий контакт; 4 – один замыкающий и один размыкающий контакты	
Условное обозначение дополнительных расцепителей: 0 – без дополнительных расцепителей; 1 – минимальный расцепитель напряжения; 2 – независимый расцепитель; 3 – минимальный расцепитель напряжения и независимый расцепитель	
Условное обозначение температурной компенсации: Р – регулировка номинального тока теплового расцепителя и температурная компенсация; Н – регулировка номинального тока теплового расцепителя без температурной компенсации	
Обозначение климатического исполнения, категории размещения, ГОСТ или ТУ	

Пример обозначения: АЕ2033-32УЗ – на номинальное напряжение 380 В переменного тока, номинальный ток выключателя до 25 А, номинальный ток электромагнитных расцепителей 16 А, ток отсечки $12I_n$..., трехполюсный, степень защиты выключателя IP00, переднее присоединение внешних проводников, независимый расцепитель на номинальное напряжение 127 В переменного тока, 1 замыкающий свободный вспомогательный контакт

Приложение 6

Технические характеристики трубчатых предохранителей с наполнителем, применяемых в электроустановках с номинальным напряжением 380 В

Исполнение	Тип	Номинальный ток патрона, А	Номинальный ток плавкой вставки, А
Патрон закрытый неразборный с наполнителем	НПН-15 НПН-60	15 60	6, 10, 15 15, 20, 25 35, 45, 60
Патрон закрытый разборный с наполнителем	НПР-100 НПР-200	100 200	60, 80, 100 100, 125, 160 200
Патрон закрытый разборный	ПР-2-15 ПР-2-60	15 60	6, 10, 15 15, 20, 25, 35 45, 6
	ПР-2-100 ПР-2-200	100 200	60, 80, 100 100, 125, 160, 200
	ПР-2-350	350	200, 225, 260, 300, 350
	ПР-2-600	600	350, 430, 500, 600
	ПР-2-1000	1000	600, 700, 850, 1000
Патрон с наполнителем, быстродействующий	ПНР-5-380/100 ПНБ-5-380/250 ПНБ-5-380/400	100 250 400	40, 60, 100 160, 250 315, 400

Приложение 7

Основные технические данные вентиляторов

Вентиляторы	Диаметр рабочего колеса, мм	Подача с установл. жалюзийной решеткой, м ³ /ч	Частота вращения, мин ⁻¹	Установленная мощность электродвигателя, кВт
В05, 6МУЗ	560	6 000	940	0,37
В07, 1МУЗ	710	10 000	930	0,55

Примечание. Предел регулирования частоты вращения 6:1.

Приложение 8

Основные технические данные электродвигателей для вентиляторов

Тип электродвигателя	Номинальная мощность, кВт	КПД, %	Коэффициент мощности	Частота вращения, мин ⁻¹	Масса, кг
4АПА80-06У2, 4АПА80-06Т2	0,37	65	0,65	940	9,5
4АПА80-А6У2, 4АПА80-А6Т2	0,55	66	0,62	930	11,2

Примечания. Кратность пускового тока 4,0; кратность пускового момента 2,0; кратность максимального момента 2,2; кратность минимального момента 1,6.

Приложение 9

Технические параметры дуговых ртутных люминесцентных ламп высокого давления

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Номинальный ток лампы, А	Номинальный световой поток лампы после 100 ч горения, клм	Срок службы, тыс. ч	Габарит лампы, мм		Тип цоколя
						диаметр	длина	
ДРЛ50	50	95	0,61	1,8...2,0	6	56	130	E27
ДРЛ80	80	115	0,8	3,2...3,4	6...12	81	165	E27
ДРЛ125	125	125	1,15	5,35...6,0	6...12	91	184	E27
ДРЛ250	250	130	2,15	12/13	8/12	91	227	E40
ДРЛ400	400	135	3,25	23	12/15	122	292	E40
ДРЛ700	700	140	5,40	38/40	12/15	152	368	E40
ДРЛ1000	1000	145	7,5	55/58,5	12/15	181	410	E40

Приложение 10

Выбор марок проводов и кабелей и способов их прокладки в сельскохозяйственных помещениях

Категория по условиям эксплуатации по условиям окружающей среды	Характеристики горючести по условиям окружающей среды	Способ прокладки									
		провода					кабели				
		открыто					скрыто				
		на роликах	на изоляторах	в винипластовых трубах	в стальных трубах	на тросах	под штукатуркой	в пластмассовых трубах	в стальных трубах	непосредственно	на тросах
Несгораемые и труднотгораемые	АППВ	АППВ	АППВ	АППВ	АППВ	АППВ	АППВ	АППВ	АППВ	АППВ	АППВ
	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ
	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН
	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ
Сгораемые	АПР	АПР	АПР	АПР	АПР	АПР	АПР	АПР	АПР	АПР	АПР
	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ
	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН
	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ
Пыльные	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ
	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН
	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ	АПРВ
	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН

Сухие

Способ прокладки

Способ прокладки														
Категория по условиям эксплуатации и среды	Характери- стика строи- тельного ус- ловия и ос- татков по- верхности	провода										кабеля		
		открыто					скрыто					открыто		
		непо- сред- ственно	на ро- ликах	на изо- лято- рах	в вини- пласто- вых тру- бах	в сталь- ных тру- бах	на тросах	тросо- вым прово- дом	под шту- пур- кой	в пласт- массо- вых тру- бах	в сталь- ных тру- бах	непо- сред- ственно	на тросах	
Паль- ные	Сгораемые	АПР	—	АПВ	—	АПВ	АПВ	АВТС	АПВС	АПВ	АПВ	АНРГ	АНРГ	АНРГ
		АПВ	—	АПР	—	АПРТО	АПРВ	АРТ	АПН	АПР	АПРТО	АНРГ	АНРГ	
		АПН	—	АПВ	—	АПР	АПР	АВТ	АПВ	АПРВ	АПРВ	АВВГ	АВВГ	
		АПРВ	—	АПН	—	АПВС	—	—	АПВ	АПР	АПР	АПВГ	АПВГ	
Влаж- ные	Несгорае- мые и труд- ногорае- мые	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АВТС	АПВС	АПВ	АПВ	АНРГ	АНРГ	АНРГ
		АПВ	АПР	АПРВ	АПРТО	АПРВ	АПР	АРТ	АПН	АПР	АПРТО	АНРГ	АНРГ	АНРГ
		АПН	АПР	АПВ	АПР	АПРВ	АПР	АВТ	АПВ	АПРТО	АПРВ	АВВГ	АВВГ	АВВГ
		АПРВ	АПН	АПН	АПВС	АПН	—	—	АПВ	АПРВ	АПРВ	АПВГ	АПВГ	АПВГ
Влаж- ные	Сгораемые	АПР	АПВ	АПВ	—	АПВ	АПВ	АВТС	АПВС	АПВ	АПВ	АНРГ	АНРГ	АНРГ
		АПВ	АПР	АПРВ	—	АПРТО	АПРВ	АРТ	АПН	АПР	АПРТО	АНРГ	АНРГ	АНРГ
		АПН	АПР	АПВ	—	АПРВ	АПР	АВТ	АПВ	АПРТО	АПРВ	АВВГ	АВВГ	АВВГ
		АПРВ	АПН	АПН	АПВС	АПН	—	—	АПВ	АПРВ	АПРВ	АПВГ	АПВГ	АПВГ

Сырые

Несгорае- мые и труд- ногорае- мые	АПВ	—	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АВТС	АПВС	АПВ	АПВ	АНРГ	АНРГ	АНРГ
	АПВ	—	АПР	АПРТО	АПРТО	АПРВ	АРТ	АПВ	АПР	АПРТО	АНРГ	АНРГ	АНРГ
	АПН	—	АПВ	АПВ	АПВ	—	АВТ	АПВ	АПРВ	АПРВ	АВВГ	АВВГ	АВВГ
	АПРВ	—	АПВ	—	—	—	—	—	АПВС	—	АВВ	АВВ	АПВГ
Сгораемые	АПР	—	АПВ	—	АПВ	АПВ	АВТС	АПВС	АПВ	АПВ	АНРГ	АНРГ	АНРГ
	АПВ	—	АПР	—	АПРТО	АПРВ	АРТ	АПВ	АПР	АПРТО	АНРГ	АНРГ	АНРГ
	АПН	—	АПВ	—	АПРВ	—	АВТ	АПВ	АПРВ	АПРВ	АВВГ	АВВГ	АВВГ
	АПРВ	—	АПВ	—	—	—	—	—	АПВС	—	АПВГ	АПВГ	АПВГ
Особо сырые	АПВ	—	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АВТС	АПВС	АПВ	АПВ	АНРГ	АНРГ	АНРГ
	АПВ	—	АПР	АПРТО	АПРТО	АПРВ	АРТ	АПВ	АПР	АПРТО	АНРГ	АНРГ	АНРГ
	АПН	—	АПВ	АПВ	АПВ	—	АВТ	АПВ	АПРВ	АПРВ	АВВГ	АВВГ	АВВГ
	АПРВ	—	АПВ	—	—	—	—	—	АПВС	—	АПВГ	АПВГ	АПВГ
Особо сырые	АПР	—	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АВТС	АПВС	АПВ	АПВ	АНРГ	АНРГ	АНРГ
	АПВ	—	АПР	АПРТО	АПРТО	АПРВ	АРТ	АПВ	АПР	АПРТО	АНРГ	АНРГ	АНРГ
	АПН	—	АПВ	АПВ	АПВ	—	АВТ	АПВ	АПРВ	АПРВ	АВВГ	АВВГ	АВВГ
	АПРВ	—	АПВ	—	—	—	—	—	АПВС	—	АПВГ	АПВГ	АПВГ
Особо сырые с химиче- скими актив- ной сре- дой	АПВ	—	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АВТС	АПВС	АПВ	АПВ	АНРГ	АНРГ	АНРГ
	АПВ	—	АПР	АПРТО	АПРТО	АПРВ	АРТ	АПВ	АПР	АПРТО	АНРГ	АНРГ	АНРГ
	АПН	—	АПВ	АПВ	АПВ	—	АВТ	АПВ	АПРВ	АПРВ	АВВГ	АВВГ	АВВГ
	АПРВ	—	АПВ	—	—	—	—	—	АПВС	—	АПВГ	АПВГ	АПВГ
Пожаро- опасные классов П-I, П-II, П-IIIa	АПВ	—	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АВТС	АПВС	АПВ	АПВ	АНРГ	АНРГ	АНРГ
	АПВ	—	АПР	АПРТО	АПРТО	АПРВ	АРТ	АПВ	АПР	АПРТО	АНРГ	АНРГ	АНРГ
	АПН	—	АПВ	АПВ	АПВ	—	АВТ	АПВ	АПРВ	АПРВ	АВВГ	АВВГ	АВВГ
	АПРВ	—	АПВ	—	—	—	—	—	АПВС	—	АПВГ	АПВГ	АПВГ
Сгораемые	АПР	—	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АВТС	АПВС	АПВ	АПВ	АНРГ	АНРГ	АНРГ
	АПВ	—	АПР	АПРТО	АПРТО	АПРВ	АРТ	АПВ	АПР	АПРТО	АНРГ	АНРГ	АНРГ
	АПН	—	АПВ	АПВ	АПВ	—	АВТ	АПВ	АПРВ	АПРВ	АВВГ	АВВГ	АВВГ
	АПРВ	—	АПВ	—	—	—	—	—	АПВС	—	АПВГ	АПВГ	АПВГ

1. Материалы XXVII съезда КПСС.— М.: Политиздат, 1986.
2. Продовольственная программа СССР на период до 1990 года и меры по ее реализации: Материалы майского Пленума ЦК КПСС 1982 г.— М.: Политиздат, 1982.
3. Акимцев Ю. И., Веялис Б. С. Электроснабжение сельского хозяйства.— М.: Колос, 1983.
4. Васин В. М. Электрический привод.— М.: Высшая школа, 1984.
5. Гордон С. В. Монтаж сельских электроустановок.— М.: Колос, 1979.
6. Жилинский Ю. М., Кумин В. Д. Электрическое освещение и облучение.— М.: Колос, 1982.
7. Казимир А. П., Кerpелева И. Е. Эксплуатация электро-термических установок в сельском хозяйстве.— М.: Россельхозиздат, 1984.
8. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий.— М.: ВО Агропромиздат, 1987.— 191 с.
9. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга.— М.: Энергоатомиздат, 1983.
10. Фоменков А. П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий.— М.: Колос, 1984.
11. Электротермическое оборудование для сельскохозяйственного производства / Н. Б. Каган и др.— М.: Энергия, 1980.
12. Электротермическое оборудование. Справочник / Под ред. А. П. Альгаузена.— М.: Энергия, 1980.
13. Электрооборудование животноводческих предприятий и автоматизация производственных процессов в животноводстве / Под ред. И. Ф. Кудрявцева.— М.: Колос, 1979.
14. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок / Л. С. Герасимович и др.— М.: Колос, 1980.

А

- Автоматизация вентиляции 163
 - водоснабжения 140
 - дробилок кормов 173
 - зерноочистительных агрега-
тов 224
 - кормораздатчиков КС-1,5;
КЭС-1,7 190
 - оборудования БКМ-3 184
 - приготовления корнеклубне-
плодов 171
 - уборки навоза 199
 - электрокалориферной уста-
новки 247
- Аппарат магнитной обработки
зерна 345
 - — очистки кормов 372
 - электрического управления
84
 - — — бесконтактный 85
 - — — контактный 85

В

- Водонагреватель индуктивный
299
 - электрический бытовой 359
 - элементный 292
 - — емкостный 293
 - — проточный 294
- Выключатель автоматический
26, 105
 - бесконтактный 98
 - путевой 97
- Выпрямитель сварочный 278

Г

- Габарит линии 13
- Генератор импульсов 366
 - ламповый 283, 286

Д

- Давление вентиляторов 158

- Датчик уровня 135, 139
- Диагностика техническая 446
- Диаграмма нагрузочная электро-
двигателя 58, 65
- — — рабочей машины 58
- Длина пролета 13

З

- Заземление 20
- Заземлитель 21
- Затраты приведенные 254
- Защита фазочувствительная 109
- универсальная 108

И

- Излучение видимое 375, 380
- инфракрасное 377, 382
- ультрафиолетовое 377, 381
- Изолятор подвесной 14
- штыревой 14
- Индуктор 286
- Источник питания 274, 364

К

- Кабель 15
- Колебание напряжения 9
- частоты 9
- Кондиционер 360
- Котел водогрейный 300
- паровой 303
- Коэффициент жесткости 84
- мощности 81
- несимметрии 10
- неравномерности 10
- одновременности 27

Л

- Лампа бактерицидная 397
- витальная 396

- галогенная 399
- ДРЛ 393
- ДРТ 395
- инфракрасная 398
- люминесцентная 386, 391
- накаливания 383
- фотосинтетическая 397
- Линия воздушная 13
- кабельная 15

М

- Машина семеочистительная магнитная 372
- холодильная 348
- Молниезовод стержневой 19
- тросовый 19
- Момент вращающий 33
- инерции 53, 55
- сопротивления 33
- тормозной 50
- электромагнитный 36
- Мощность активная 81
- вакуум-насосов доильных установок 207
- зерноочистительных машин 171
- ковшовых транспортеров 178
- кормоприготовительных машин 170
- круглопилильных станков 246
- ленточных транспортеров 181
- навозоуборочных транспортеров 199
- насосов 132, 137
- обкаточных стендов 234, 238
- пилорам 242
- реактивная 82
- сепаратора молока 209

Н

- Нагрузка расчетная электрическая 23
- Надежность 10
- Несимметрия напряжения 10
- Несинусоидальность формы кривой напряжения 10

О

- Осцилляторы 275

П

- Перенапряжение атмосферное 19
- коммутационное 19
- Подстанция трансформаторная 15

- Постоянная времени нагрева 63
- — электрохимическая 57
- Преобразователь сварочный 356
- тиристорный 283
- частоты ИЭ-9401 212
- Предохранитель 26, 103
- Прожектор 403
- Продолжительность пуска 48
- торможения 48
- Провод нагревательный 30
- Потеря мощности 78
- напряжения 10
- энергии 79, 80
- Пускатель тиристорный 101
- электромагнитный 92

Р

- Расчет воздухообмена помещений 155
- возможности запуска электроприводов 126
- давления вентиляторов 158
- осветительных установок 404, 409
- подачи насоса 133
- — — транспортеров ковшовых 178
- — — ленточных 181
- — — скребковых 178
- — — тросовых 180
- — — шнековых 180
- Реле времени 95
- герконовое 94
- электромагнитное 93
- электротепловое 107

С

- Сети электрические 12
- — распределительные 12
- — питающие 12
- Система ППРЭСХ 447
- электрическая 12
- Сопротивление нагревательное (элемент) 266, 330
- Степень защиты 85
- Схема включения ламп люминесцентных 391
- Схема включения ламп дуговых ртутных трубчатых 395
- расчетная 31
- сети 12

Т

- Тепловентилятор 167

- Торможение электропривода 50
- — динамическое 50
- — противовключением 51
- — рекуперативное 52
- Трансформатор сварочный 275
- теплоты 348
- — компрессорный 348
- — термозащитный 349

У

- Установка диэлектрического нагрева 285
- индукционного нагрева 281
- инфракрасного обогрева 321, 432
- лучистого (инфракрасного) нагрева 321
- обеззараживания воды и воздуха 429
- приточно-вытяжная 319
- ультрафиолетового облучения 425
- электрокалориферная 314
- Устройство дугогасительное 86
- защитного отключения 111
- Устойчивость динамическая 59
- статическая 58

Х

- Характеристика механическая производственного механизма 33
- — электрического двигателя 35

- — электропривода 35
- — техническая вентиляторов оборудования «Климат», «Климатика» 466
- — доильных установок 205
- — комплекта оборудования клеточных батарей 187
- — кормоприготовительных машин 170
- — мобильных электрифицированных кормораздатчиков 190
- — навозоуборочных транспортеров 196
- — тепловентиляторов 167
- — транспортных кормораздатчиков 183
- — электродвигателей для вентиляторов 466
- — электрооборудования электростригальных установок 212
- — электроталей 247
- — электрохимическая 36

Э

- Электропривод вакуум-насосов доильных установок 205
- обкаточных стендов 233
- пилорам 242
- стригальных машинок 215
- Электроталь 247
- Электростанция резервная 17
- Эффективный поток излучения 380

<i>Введение</i>	3
Раздел первый. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий (Г. И. Янукович)	9
<i>Глава 1. Электроснабжение животноводческих предприятий</i>	9
1.1. Особенности, качество электроэнергии и надежность электроснабжения сельского хозяйства	9
1.2. Схемы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей	12
1.3. Воздушные и кабельные линии	13
1.4. Потребительские трансформаторные подстанции	15
1.5. Резервные электростанции	17
1.6. Молниезащита электроустановок	19
1.7. Заземление и заземляющие устройства	20
Контрольные вопросы	21
Лабораторная работа № 1. Ознакомление со схемой соединений и устройством потребительской подстанции	22
<i>Глава 2. Внутренние электрические сети</i>	22
2.1. Силовые и осветительные электрические сети	22
2.2. Нагрузки сельских электрических сетей	23
2.3. Расчет внутренних электрических сетей и выбор коммутационной и защитной аппаратуры	25
2.4. Составление расчетной схемы	31
Контрольные вопросы	31
Практическое занятие № 1. Расчет нагрузок сельских электрических сетей, построение графика	31
Раздел второй. Основы электропривода (Л. А. Калинин)	32
<i>Глава 3. Механические характеристики электроприводов</i>	32
3.1. Определение понятия «электропривод». Классификация электроприводов	32
3.2. Механические характеристики производственных механизмов и электрических двигателей	33
3.3. Механические и электрохимические характеристики двигателей постоянного тока	36
3.4. Механические характеристики электродвигателей переменного тока	40
3.5. Тормозные режимы электродвигателей	50
Контрольные вопросы	52

<i>Глава 4. Переходные режимы в электроприводах</i>	52
4.1. Общие положения	52
4.2. Уравнения движения электропривода. Методы расчета продолжительности пуска и торможения	53
4.3. Переходные процессы при резкопеременной нагрузке	58
Контрольные вопросы	60
Практическое занятие № 2. Пример расчета переходного режима электропривода производственного механизма	60
<i>Глава 5. Расчет мощности электроприводов</i>	62
5.1. Нагрев и охлаждение электродвигателей	62
5.2. Нагрузочные диаграммы электроприводов	65
5.3. Расчет мощности двигателя при различных режимах работы	67
5.4. Выбор электродвигателей по номинальной частоте вращения, типу и исполнению	72
Контрольные вопросы	76
Практическое занятие № 3. Выбор электродвигателя по заданной нагрузочной диаграмме производственного механизма	76
<i>Глава 6. Энергетика электроприводов</i>	78
6.1. Определение потерь энергии в установившемся режиме	78
6.2. Определение потерь энергии в переходных режимах	80
6.3. Коэффициент мощности и способы его повышения	81
6.4. Пути экономии электроэнергии	83
Контрольные вопросы	84
<i>Глава 7. Аппаратура управления и защиты</i>	84
7.1. Назначение и классификация электрических аппаратов	84
7.2. Коммутационная аппаратура ручного управления	89
7.3. Аппаратура и устройства автоматического управления	91
7.4. Бесконтактные устройства в силовых цепях	101
7.5. Аппаратура защиты и защитно-отключающие устройства	102
7.6. Классификация систем и схемы автоматического управления электроприводами	115
Контрольные вопросы	119
Практическое занятие № 4. Выбор аппаратуры управления и защиты для электропривода сепаратора	119
Практическое занятие № 5. Выбор аппаратуры управления и защиты для автоматизированного электропривода	120
Лабораторная работа № 2. Изучение и испытание электромагнитного пускателя и промежуточного реле постоянного тока	120
Лабораторная работа № 3. Изучение устройства и испытание аппаратов защиты электродвигателей	120
Лабораторная работа № 4. Изучение и наладка схемы управления асинхронным двигателем	121
Раздел третий. Автоматизированный электропривод (И. Ф. Кудрявцев)	122
<i>Глава 8. Особенности работы электроприводов в условиях сельскохозяйственного производства</i>	122
8.1. Условия окружающей среды и их влияние на работу электрооборудования	122

8.2. Технологические особенности работы электроприводов	123
8.3. Проверка возможности пуска асинхронных короткозамкнутых электродвигателей	124
Контрольные вопросы	130
Глава 9. Электропривод и автоматизация насосных установок	130
9.1. Электропривод башенных насосных установок	130
9.2. Электропривод безбашенных насосных установок	135
9.3. Автоматизация одноагрегатных насосных установок	138
9.4. Автоматизация двухагрегатных насосных установок	151
Контрольные вопросы	153
Практическое занятие № 6. Выбор электродвигателя для насоса.	153
Лабораторная работа № 5. Изучение и исследование электропривода и автоматизации башенной насосной установки	154
Глава 10. Электропривод и автоматизация вентиляционных установок	155
10.1. Выбор электропривода вентиляционных установок	155
10.2. Автоматизация вентиляционных установок	163
Контрольные вопросы	168
Практическое занятие № 7. Выбор вентиляционного оборудования	168
Лабораторная работа № 6. Изучение и исследование электроприводных характеристик вентилятора	169
Глава 11. Электропривод и автоматизация кормоприготовительных машин	170
11.1. Электропривод кормоприготовительных машин	170
11.2. Автоматизация приготовления корнеклубнеплодов	171
11.3. Автоматизация приготовления концентрированных кормов	173
Контрольные вопросы	176
Глава 12. Электропривод и автоматизация кормораздаточных и транспортных установок	176
12.1. Выбор электропривода для транспортеров	176
12.2. Электропривод и автоматизация стационарных транспортных кормораздатчиков	183
12.3. Электропривод и автоматизация мобильных кормораздатчиков	190
12.4. Электропривод и автоматизация навозоуборочных транспортеров	196
Контрольные вопросы	203
Практическое занятие № 8. Выбор электродвигателя для скребкового транспортера	203
Глава 13. Электропривод доильных установок и машин первичной обработки молока	204
13.1. Электропривод и автоматизация доильных установок	204
13.2. Электропривод сепараторов молока	208
Контрольные вопросы	211
Глава 14. Электропривод стригальных агрегатов	211
14.1. Электрооборудование стригальных пунктов	211

14.2. Электропривод стригальных машинок	215
Контрольные вопросы	217
Лабораторная работа № 7. Изучение устройства и работы электростригального агрегата ЭСА-12/200 и отдельных его узлов	217
Глава 15. Электропривод зерноочистительно-сушильных машин	218
15.1. Особенности электропривода зерноочистительно-сушильных машин	218
15.2. Технологические и электрические схемы зерноочистительно-сушильных комплексов	222
Контрольные вопросы	229
Глава 16. Электропривод металло- и деревообрабатывающих станков и стенов для обкатки	229
16.1. Электропривод металлорежущих станков	229
16.2. Электропривод стенов для обкатки автотракторных двигателей	233
16.3. Электропривод деревообрабатывающих установок	242
16.4. Электропривод грузоподъемных механизмов	247
Контрольные вопросы	252
Раздел четвертый. Электротехнологические установки (В. А. Карасенко)	253
Глава 17. Способы и устройства преобразования электрической энергии в тепловую	253
17.1. Сущность электротехнологии	253
17.2. Техничко-экономическое обоснование применения электрической энергии в технологических процессах	254
17.3. Способы электронагрева и классификация электронагревательных установок	256
17.4. Основы теплового расчета электронагревательных установок	258
17.5. Прямой электронагрев сопротивлением	261
17.6. Косвенный электронагрев сопротивлением	266
17.7. Электродуговой нагрев	273
17.8. Индукционный нагрев	279
17.9. Дизлектрический нагрев	285
Контрольные вопросы	287
✓ Практическое занятие № 9. Техничко-экономическое обоснование применения электронагревательных установок	288
✓ Практическое занятие № 10. Расчет и выбор электронагревательных устройств	289
✓ Лабораторная работа № 8. Изучение и исследование электрических нагревателей сопротивления	290
Глава 18. Электрические водонагреватели и котлы	290
18.1. Определение расчетной мощности электротеплогенерирующих установок	290
18.2. Классификация электрических водонагревателей и котлов	292
18.3. Электрические водонагреватели	292
18.4. Электрические водогрейные и паровые котлы	300
18.5. Применение электрических водонагревателей и котлов	306
18.6. Электрокотельные	308

18.7. Особенности техники безопасности	310
Контрольные вопросы	312
✓ Практическое занятие № 11. Выбор электрических водонагревателей	312
✓ Лабораторная работа № 9. Изучение устройства и исследование работы электродного водонагревателя типа ЭПЗ	313
Глава 19. Электронагревательные установки для создания и регулирования микроклимата	314
19.1. Системы и виды электроотопления сельскохозяйственных помещений	314
19.2. Оборудование и автоматизация систем общего электроотопления	314
19.3. Местный электрообогрев в животноводческих и птицеводческих помещениях	321
19.4. Электрические инкубаторы	327
19.5. Электрообогрев в парниках и теплицах	330
19.6. Электрооборудование и автоматизация систем микроклимата в хранилищах сельскохозяйственных продуктов	336
Контрольные вопросы	339
Практическое занятие № 12. Выбор и проверочный расчет электрокалориферной установки	339
✓ Практическое занятие № 13. Расчет электрообогреваемого пола	340
✓ Лабораторная работа № 10. Изучение устройства и исследование работы электрокалориферной установки для СФОЦ	341
Глава 20. Электронагревательные установки для сушки и тепловой обработки сельскохозяйственных продуктов	341
20.1. Установки для активного вентилирования зерна и сена	341
20.2. Установки для инфракрасного и высокочастотного нагрева при сушке и тепловой обработке материалов	345
Контрольные вопросы	347
Глава 21. Электрические холодильные машины и тепловые насосы	347
21.1. Компрессорные холодильные машины	347
21.2. Термoeлектрические холодильники	350
21.3. Электротепловые насосы	351
Контрольные вопросы	352
Лабораторная работа № 11. Изучение устройства и исследование энергетики автоматизированной холодильной установки	352
Глава 22. Электротермическое оборудование на ремонтных предприятиях и в быту	353
22.1. Электротермическое оборудование ремонтных предприятий	353
22.2. Бытовые электронагревательные установки и приборы	357
Контрольные вопросы	362
Глава 23. Методы и оборудование электроионной технологии	362
23.1. Применение электрических полей	362
23.2. Обработка электрическим током	365

23.3. Электроимпульсная техника	366
23.4. Ультразвуковые установки	370
23.5. Магнитная обработка материалов	372
Контрольные вопросы	373
Лабораторная работа № 12. Изучение работы электрической изгороди	374
Раздел пятый. Установки для электрического освещения и обучения (В. П. Степанцов)	375
Глава 24. Основные величины и единицы измерения оптического излучения	375
24.1. Оптическая область спектра электромагнитных колебаний	375
24.2. Основные понятия и определения	378
24.3. Величины и единицы измерения эффективного действия оптического излучения	379
Контрольные вопросы	383
Глава 25. Электрические источники оптического излучения	383
25.1. Лампы накаливания общего назначения	383
25.2. Газоразрядные источники видимого излучения	386
25.3. Схемы включения газоразрядных источников видимого излучения	391
25.4. Источники для облучения и обогрева	395
Контрольные вопросы	400
Лабораторная работа № 13. Включение в сеть и исследование работы схем с источниками оптического излучения	400
Глава 26. Установки для электрического освещения	401
26.1. Осветительные приборы	401
26.2. Проектирование осветительных установок	404
26.3. Расчет установок электрического освещения	409
26.4. Автоматизация управления осветительными установками	416
Контрольные вопросы	419
Практическое занятие № 14. Расчет осветительных установок	419
Глава 27. Установки для облучения растений в условиях защищенного грунта	420
27.1. Тепличные облучатели и установки	420
27.2. Расчет установок для облучения растений	421
Контрольные вопросы	423
Глава 28. Установки для ультрафиолетового облучения	424
28.1. Установки для ультрафиолетового облучения животных и птицы	424
28.2. Расчет установок для ультрафиолетового облучения	426
28.3. Применение бактерицидных излучений в сельскохозяйственном производстве	429
Контрольные вопросы	430
Практическое занятие № 15. Расчет стационарных и подвижных установок ультрафиолетового излучения	430
Глава 29. Установки для инфракрасного обогрева	431
29.1. Облучатели и установки для инфракрасного обогрева молодняка животных и птицы	431

М.И.

29.2. Расчет установок для инфракрасного обогрева	435
Контрольные вопросы	436
Раздел шестой. Монтаж, эксплуатация и ремонт электроустановок (Г. И. Янукович)	437
Глава 30. Монтаж электроустановок	437
30.1. Способы монтажа и соединений проводов	437
30.2. Монтаж электроприводов, электронагревательных, осветительных и облучательных установок	441
30.3. Монтаж аппаратуры управления и защиты	444
Контрольные вопросы	446
Лабораторная работа № 14. Монтаж электродвигателя	446
Глава 31. Эксплуатация и ремонт электроустановок	446
31.1. Неисправности и диагностика электрооборудования	446
31.2. Система планово-предупредительного ремонта и обслуживания электрооборудования	450
31.3. Организация и учет работ по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования	452
31.4. Техническое обслуживание электрооборудования	453
31.5. Текущий ремонт электрооборудования	455
31.6. Периодичность проведения технического обслуживания и текущего ремонта электрооборудования	456
31.7. Капитальный ремонт электрооборудования	458
Контрольные вопросы	459
Лабораторная работа № 15. Диагностика электродвигателей в процессе эксплуатации	459
Приложения	460
Указатель литературы	470
Предметный указатель	471

Кудрявцев Иван Федорович, Калинин Лев Андреевич, Карасенко Владимир Алексеевич, Степанцов Вячеслав Павлович, Янукович Генрих Иосифович

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРЕГАТОВ И УСТАНОВОК

Зав. редакцией *Н. М. Облезов*, редактор *В. М. Никитина*, художественный редактор *С. Н. Боллобов*, технический редактор *С. В. Фельдман*, корректор *И. А. Верхотурова*

ИБ № 4353

Сдано в набор 12.01.87. Подписано к печати 31.12.87. Т-24468. Формат 84 × 108¹/₃₂. Бумага кн.-журн. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 25,2. Усл. кр.-отт. 25,2. Уч.-изд. л. 26,97. Изд. № 333. Тираж 34 000 экз. Заказ № 117 Цена 1 р. 10 к.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО «Агропромиздат», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Диапозитивы изготовлены в ордена Октябрьской Революции, ордена Трудового Красного Знамени Ленинградском производственно-техническом объединении «Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 197136, Ленинград, П-136, Чкаловский пр., 15.

Отпечатано в Московской типографии № 11 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 113105, Москва, Нагатинская ул., д. 1.



УЧЕБНИКИ
И УЧЕБНЫЕ
ПОСОБИЯ

ДЛЯ УЧАЩИХСЯ ТЕХНИКУМОВ

ЭЛЕКТРО- ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКО- ХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРЕГАТОВ И УСТАНОВОК

Под редакцией доктора технических наук
профессора КУДРЯВЦЕВА И. Ф.

Допущено Управлением высшего и среднего специального образования Государственного агропромышленного комитета СССР в качестве учебника для средних специальных учебных заведений по специальностям 1509 — «Электрификация сельского хозяйства» и 1518 — «Механизация и электрификация животноводства»

Библиотека Брацлавского

Инв. № 85145

Бухгалтерского техникума

МОСКВА ВО АГРОПРОМИЗДАТ 1988

ВИБЛИОТЕКА

Кол. 10

Сотххоз-техникум