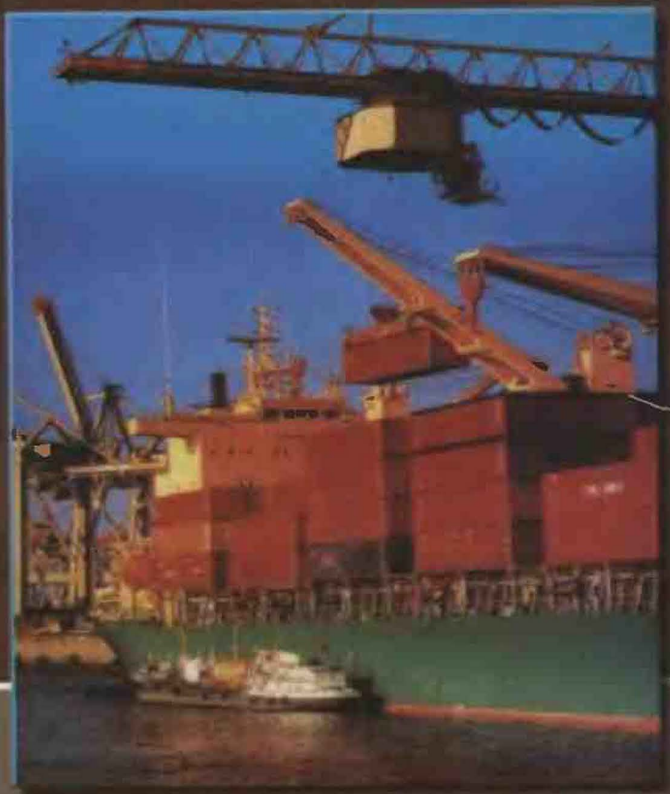


СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Е. М. Соколова

Электрическое и электромеханическое оборудование

*Общепромышленные
механизмы и бытовая
техника*



Предисловие

Специалисты, занимающиеся эксплуатацией, обслуживанием и ремонтом электрического и электромеханического оборудования, должны быть хорошо знакомы с механическим оборудованием, технологией, понимать электрическую схему работы того или иного механизма. Все это требует от инженерно-технического персонала изучения теоретических основ электропривода, управления электроприводами, а также специальных курсов, одним из которых является «Электрическое и электромеханическое оборудование общепромышленных механизмов и бытовой техники».

При подъеме промышленности специалисты указанного направления требуются прежде всего. Действительно, трудно представить завод или фабрику любого технологического профиля, которые обходились бы без подъемно-транспортных механизмов, насосных станций, вентиляторных установок и т. п.

Современный специалист должен обладать достаточными знаниями, чтобы самостоятельно принимать грамотные решения при эксплуатации. Для этого ему необходимо понимать специфические особенности того или иного механизма.

В программе курса и, соответственно, в учебном пособии рассматриваются вопросы электрооборудования подъемных кранов, подъемников, механизмов непрерывного транспорта, насосов и вентиляторов.

Отдельную главу составляют механизмы бытовой техники. Изучение последних необходимо специалистам, занимающимся установкой и ремонтом средств бытовой техники.

К общепромышленным механизмам относится большой класс рабочих машин, которые применяются в самых разнообразных отраслях народного хозяйства: в промышленности, сельскохозяйственном производстве, строительстве, на транспорте. В большинстве случаев эти механизмы обслуживают основное производство различных отраслей. К их числу относятся подъемные краны, пассажирские и грузовые подъемники, эскалаторы, различные конвейеры, вентиляторы, насосы.

Общепромышленные механизмы имеют массовое распространение. Для их электроприводов используются 70...75 % выпускаемых асинхронных двигателей и более 25 % вырабатываемой энергии.

В заводских цехах, на фабриках, электростанциях и других промышленных предприятиях подъем и транспортировка грузов осуществляются кранами различных конструкций. Грузоподъемность их лежит в широких пределах. Крупные мостовые краны обслуживают цеха металлургических заводов: доменные, мартеновские, прокатные. Большое число башенных и других кранов работает на строительстве различных зданий.

Рецензенты:

зав. электроталитом отделом Московского промышленного колледжа *В. А. Антонов*,
действительный член АЭМ РФ, д. т. н. профессор МЭИ *В. Я. Беспалов*

Соколова Е. М.

Электрическое и электромеханическое оборудование: Общепромышленные механизмы и бытовая техника: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования.

Рассмотрено электрооборудование кранов, подъемников, конвейеров, вентиляторов, насосов и компрессоров, составляющих группу общепромышленных механизмов. Приведены характеристики электрических машин и аппаратов, применяющихся в электрооборудовании этих механизмов. Описано электрооборудование бытовых механизмов, приведены схемы управления кухонных электро-механических приборов, пылесосов, стиральных машин, электронинструментов.

Может быть полезно инженерно-техническим работникам.

Учебное издание

Соколова Елена Михайловна

**Электрическое и электромеханическое оборудование:
Общепромышленные механизмы и бытовая техника**

Учебное пособие

Одним из распространенных электроприводов городского хозяйства являются лифты. Лифты – это механизмы вертикального транспорта, предназначенные для транспортировки пассажиров и грузов в жилых, производственных и административных зданиях. Большое значение имеет вертикальный транспорт в угольных и рудных шахтах.

Задача транспортировки различных грузов, особенно сыпучих, на значительные расстояния решается с помощью механизмов непрерывного транспорта: конвейеров и канатных дорог. В некоторых случаях механизмы непрерывного транспорта успешно конкурируют с автомобильным и железнодорожным.

Откачивание воды, вентиляция шахт, снабжение рабочих мест сжатым воздухом осуществляются с помощью насосов, вентиляторов и компрессоров. Более мощные вентиляторы с двигателями до нескольких тысяч киловатт применяются для шахтной вентиляции, вентиляторы меньшей мощности (200...2000 кВт) – в тягодутьевых установках тепловых электростанций. Мощные насосы можно встретить на электрических станциях, металлургических заводах, шлюзах рек и каналов, насосных станциях систем водоснабжения больших городов. Мощные компрессоры применяются при транспортировании газов.

Общепромышленные механизмы играют в народном хозяйстве страны важную роль. Они являются основным средством механизации и автоматизации различных производственных процессов. Поэтому уровень промышленного производства и производительность труда в значительной степени зависят от оснащенности производства общепромышленными механизмами и от их технического совершенства.

Задачи, возлагаемые на общепромышленные механизмы, обуславливают большое разнообразие их электроприводов, которые различаются и по диапазону мощностей (от долей киловатт до нескольких тысяч киловатт), и по сложности (от нерегулируемого асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором до сложных регулируемых электромеханических систем). Для механизмов рассматриваемого класса применяются практически все действующие виды электропривода переменного и постоянного тока.

Последние десятилетия сильно изменили наш быт. В повседневной жизни используется множество электрических приборов и механизмов, которые облегчают домашний труд. К механизмам бытовой техники относятся стиральные машины, пылесосы, миксеры, электровзбивалки, кофемолки и т. д. Ассортимент этих механизмов постоянно расширяется. Освоено производство целого ряда новых приборов, таких как высококомфортные пылесосы, универсальные кухонные машины. Технический уровень бытовых приборов в значительной степени определяется техническим уровнем электрооборудования, которым они оснащены.

Глава 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ В ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИИ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ

1.1. Применение электрических машин общего назначения

Электрическая машина – основной преобразователь механической энергии в электрическую и электрической в механическую.

По назначению электрические машины подразделяются на генераторы, служащие для преобразования механической энергии в электрическую; двигатели, используемые для преобразования электрической энергии в механическую; вращающиеся преобразователи, предназначенные для преобразования электрической энергии с одними параметрами (род тока, напряжение, частота, число фаз переменного тока) в электрическую энергию с другими параметрами.

Из всех видов электрических машин самыми распространенными являются асинхронные – относительно простые, надежные, с меньшими по сравнению с другими машинами массой, габаритными размерами, стоимостью. Среди всех общепромышленных механизмов продолжительного режима работы наиболее широко применяются двигатели общего назначения. В качестве приводных механизмов непрерывного транспорта, вентиляторов, насосов и компрессоров малой мощности используются асинхронные двигатели (АД) серий 4А, 5А, АИ, РА.

Двигатели с фазным ротором 4АК и 4АНК (серия 4А) предназначены для приводов механизмов с тяжелыми условиями пуска либо для приводов механизмов, требующих дискретного или плавного регулирования частоты вращения. Выпускаются двигатели закрытые, обдуваемые и защищенные на мощности от 5,5 до 400 кВт.

К двигателям большой мощности относятся двигатели серий АТД4, А4; ДА304, АДО, ВАИ с короткозамкнутым ротором и двигатели серии АК4, ВАК3, АОК, АКСБ и др. Асинхронные турбодвигатели АТД4 основного исполнения выпускаются на напряжение 6 и 10 кВ в диапазоне мощностей от 500 до 8000 кВт.

Двигатели с фазным ротором АК4 применяются для регулирования частоты вращения механизмов в диапазоне мощностей 250...1000 кВт.

Для привода буровых установок используются двигатели АКБ с фазным ротором мощностью 600, 800 и 1000 кВт.

Двигатели ВАКЗ с фазным ротором вертикального исполнения (рис. 1.1) предназначены для привода главных циркуляционных насосов АЭС. Их мощность 1600 и 3400 кВт, напряжение 6 кВ, частота вращения 1000 мин⁻¹.

Серия двигателей АИ (Асинхронные «Интерэлектро») была разработана в рамках международной организации «Интерэлектро» специалистами стран бывшего социалистического содружества, в которых был освоен их выпуск. Двигатели АИ имеют ряд модификаций: с фазным ротором (К), частотно-регулируемые, многоскоростные, с повышенным скольжением (С), повышенным пусковым моментом (R), однофазные (У, Е), на частоту 60 Гц.

В настоящее время выпускаются более 70 типов асинхронных двигателей малой мощности. Наиболее распространенные — двигатели с распределенной обмоткой на статоре: трехфазные, конденсаторные, однофазные с пусковыми элементами. Эти двигатели применяются для привода мелких станков, компрессоров, насосов, аппаратов магнитной записи, счетных и пишущих машин, вентиляторов, кондиционеров, стиральных машин, холодильников, мясорубок и других механизмов бытовой техники.

Трехфазные двигатели общепромышленного (серии АВ, АДЕ, АРН, 4А и АИ) и специализированного (серия УАД) назначения выпускаются полезной мощностью от 1,2 до 1100 Вт.

Конденсаторные двигатели имеют полезной мощности 1 ... 750 Вт и охватывают модификации единых серий общего назначения АВЕ, 4А, АИ, бытовую серию КД и отдельные двигатели для таких массовых изделий, как стиральные машины (КД-180-4/56РК, ДАК-163-180-3,0/0,375, КД-120-2ЭТ) и др.

Большая часть электрической энергии, используемой в народном хозяйстве и бытовых целях, вырабатывается с помощью синхронных турбо- и гидрогенераторов. Первые приводят в движение паровыми или газовыми турбинами, вторые — гидротурбинами.

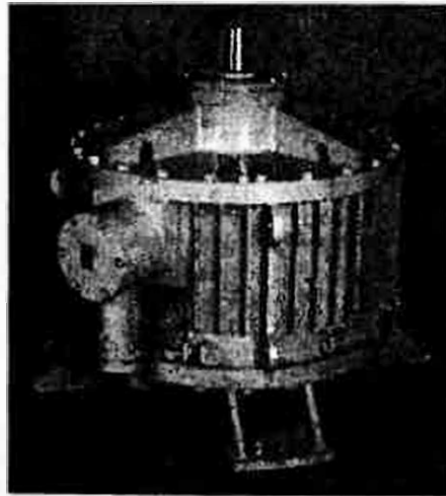


Рис. 1.1. Асинхронный двигатель вертикального исполнения

Синхронные генераторы с приводом от других типов двигателей (дизельных, внутреннего сгорания, поршневых, паровых и т. п.) выполняются на небольшую мощность для питания автономных нагрузок.

Синхронные генераторы применяются также в качестве двигателей, особенно в крупных установках (привод поршневых компрессоров, воздухоудов гидравлических насосов), так как в отличие от асинхронных двигателей они способны генерировать, а не потреблять реактивную мощность. Большое распространение получили также микродвигатели (особенно с постоянными магнитами).

В ряде случаев выгодно устанавливать около крупных промышленных центров синхронные генераторы, предназначенные исключительно для генерирования реактивной мощности, называемые *компенсаторами*.

Синхронные двигатели (СД) выпускаются серийно мощностью от 1000 кВт до нескольких десятков тысяч киловатт с частотой вращения от 3000 до 100 мин⁻¹. При частотах вращения 1500, 3000 мин⁻¹ двигатели выполняются с неявнополюсными роторами (их конструкция близка к конструкции турбогенератора); 1000 мин⁻¹ и менее — с явнополюсными роторами (конструкция близка к конструкции гидрогенератора).

Рассмотрим основные типы синхронных двигателей.

Трехфазные синхронные двигатели выпускаются на мощность от 30 кВт до нескольких десятков тысяч киловатт при частотах вращения от 100 до 1000 мин⁻¹ в явнополюсном исполнении и 1500, 3000 мин⁻¹ — в неявнополюсном исполнении. Имеют вентильную или электромашинную систему возбуждения.

Реактивные синхронные двигатели — самые распространенные двигатели небольшой мощности (от долей ватта до нескольких киловатт). Выпускаются в трехфазном и однофазном (конденсаторном) исполнении. Не имеют обмотки возбуждения на роторе.

Асинхронизированные синхронные двигатели по конструкции напоминают асинхронные двигатели с фазным ротором. Имеют две обмотки на роторе, которые в асинхронном режиме питаются токами частоты скольжения. В результате двигатель не выпадает из синхронизма. Применяются для работы в тяжелых условиях пуска и эксплуатации.

Гистерезисные синхронные двигатели выпускаются в трехфазном или однофазном исполнении мощностью до 500 Вт. Обладают хорошими пусковыми свойствами, работают бесшумно. Могут иметь несколько синхронных частот вращения. Не имеют обмотки возбуждения.

Двигатели с постоянными магнитами выпускаются в трехфазном или однофазном исполнении без обмоток возбуждения на роторе мощностью от долей ватта до нескольких десятков киловатт.

Двигатели с электромагнитной редукцией частоты вращения (редукторные). Принцип действия основан на взаимодействии зубцовых гармоник поля. Позволяет получать низкие частоты вращения. Применяются в устройствах автоматики и при использовании источников питания повышенной частоты.

Шаговые двигатели питаются импульсами электрического напряжения, под воздействием которых совершают угловое или линейное перемещение на размер шага. Применяются в системах автоматического регулирования.

Двигатели СД2, СДН2, СДН3-3, СД3 относятся к двигателям общего назначения и могут применяться для широкого класса механизмов. Двигатели БСДК, БСДКП применяются для привода компрессоров, СДЭ-2 – для экскаваторных агрегатов, СДД и СДДП – для быстроходных механизмов.

Двигателей постоянного тока выпускают значительно меньше, чем двигателей переменного тока. Основные серии двигателей общепромышленного применения: 2П и П2, охватывающие весь необходимый народному хозяйству диапазон мощностей и частот вращения. Помимо этих серий выпускаются серии генераторов и двигателей постоянного тока специализированного назначения: тяговые, краново-металлургические, судовые и др.

Двигатели постоянного тока серии 2П предназначены для общего применения в системах современного регулируемого электропривода, они выпускаются в диапазоне мощностей 0,37... 200 кВт. Все двигатели серии 2П выполняются с независимым возбуждением и имеют компенсационную обмотку, обеспечивающую высокие перегрузки и широкий диапазон регулирования частоты вращения.

1.2. Электродвигатели крановых механизмов

Крановые электродвигатели выпускаются постоянного и переменного тока; они предназначены для привода механизмов, работающих в повторно-кратковременном режиме. Основные режимы работы двигателей, соответствующие режимам работы приводных механизмов:

номинальный, продолжительный режим S1, при котором двигатель работает достаточно длительно с номинальной мощностью и достигает установившейся температуры нагрева;

кратковременный режим S2 с продолжительностью неизменной номинальной нагрузки 10, 30, 60 и 90 мин;

повторно-кратковременный режим S3 с продолжительностью включения (ПВ) 15, 25 и 60 % и продолжительностью одного цикла 10 мин. В этом режиме ни в одном из периодов работы температура двигателя не достигает установившегося значения, а во время паузы двигатель не успевает охладиться до температуры окружающей среды.

При проектировании крановых двигателей исходят из требования, что длительность полного цикла повторно-кратковременного режима не должна превышать 10 мин.

Крановые двигатели отличаются от двигателей общего применения повышенной механической прочностью и высокой перегрузочной способностью. Для снижения момента инерции их роторы выполняются удлиненной формы. Необходимость проектирования и производства специальных серий двигателей, рассчитанных на повторно-кратковременный режим, обусловлена неравномерностью нагрева отдельных частей машины при работе в этом режиме. Части двигателя, работающего в повторно-кратковременном режиме, находятся не в одинаковых условиях нагрева и охлаждения. Объясним это на примере двигателя постоянного тока.

Вследствие того, что условия охлаждения якоря в период пауз ухудшаются и его постоянная времени нагрева относительно велика, он в период пауз слабо охлаждается, что приводит к значительному перегреву его в процессе работы. В то же время условия охлаждения обмотки возбуждения меняются во время паузы незначительно. Кроме того, постоянная времени нагрева обмотки возбуждения невелика и обмотка успевает в период паузы охладиться. Перегрев обмотки якоря приводит к необходимости снизить нагрузку, что в еще большей степени уменьшает нагревание обмотки возбуждения, если двигатель имеет последовательное возбуждение.

Таким образом, можно сделать вывод, что двигатели постоянного тока, предназначенные для работы в повторно-кратковременном режиме, по своему конструктивному исполнению должны отличаться от двигателей для продолжительного режима работы. Для последних необходимо усиление тепловой стойкости обмотки якоря и коллектора, а также интенсивная вентиляция якоря при уменьшенном количестве меди и стали магнитной системы.

Крановые двигатели постоянного тока изготавливаются обычно закрытого типа и имеют естественное охлаждение, которое осуществляется вентилятором, установленным на валу двигателя внутри корпуса. Для улучшения вентиляции двигателей применяют конструкции с пристроенным внешним вентилятором

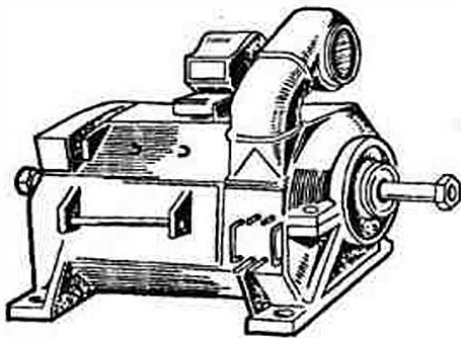


Рис. 1.2. Крановый электродвигатель постоянного тока

(рис. 1.2), который приводится во вращение асинхронным двигателем. Для осмотра коллектора в корпусе имеются герметические смотровые люки. Специальных выводных коробок на двигателе нет. Провода от якоря и обмотки возбуждения выводятся из двигателя и снабжаются наконечниками.

Неравномерно нагреваются отдельные части и в двигателях переменного тока продолжительного режима,

работающих в повторно-кратковременном режиме. Поэтому необходимо создание специальной серии двигателей.

Рассмотрим краново-металлургический асинхронный двигатель с фазным ротором (рис. 1.3). Подвод тока к статору осуществляется через скобку 2 с зажимами, установленную в верхней части корпуса. Ротор двигателя имеет контактные кольца, защищенные кожухом 1. Щетки не имеют подъемного устройства и постоянно наложены на кольца. Для охлаждения двигателя под кожухом 3 помещается вентилятор, установленный на валу. Воздух от вентилятора направляется вдоль ребристого корпуса двигателя. Ребра служат для увеличения поверхности охлаждения и повышения прочности корпуса.

Крановые асинхронные двигатели выполняются с высокой перегрузочной способностью: кратность максимального момента к номинальному при ПВ 30 % составляет 2,5 ... 3,0. Параметры обмоток кранового двигателя

выбираются таким образом, чтобы был обеспечен большой запас механической перегрузки по сравнению с номинальным режимом двигателя. Из-за повышенной перегрузочной способности относительный ток холостого хода крановых двигателей значительно больше, чем у двигателей нормального исполнения, а следовательно, ниже значения коэффициента мощности и КПД.

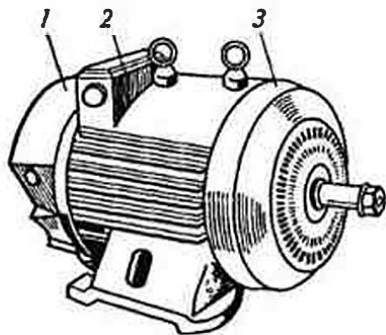


Рис. 1.3. Краново-металлургический асинхронный двигатель

Крановые двигатели по роду тока выбирают на основании технологических требований и технико-экономического сравнения вариантов. На кранах большой мощности, особенно в тех случаях, когда требуются глубокое и плавное регулирование скорости и относительно жесткие механические характеристики, применяются двигатели постоянного тока. В противном случае применяют асинхронные двигатели, составляющие 90 % от общего числа двигателей крановых серий. Для крановых механизмов используются электродвигатели следующих типов:

асинхронные с фазным ротором, короткозамкнутым ротором, а также многоскоростные (с двумя или тремя обмотками статора при соотношении полюсов до 6 : 1);

постоянного тока с последовательным или независимым возбуждением.

Промышленностью выпускаются специальные серии крановых двигателей: асинхронные серий МТФ, МТКФ, МТН, МТКН, 4МТКФ, 4МТН, 4МТКН и постоянного тока серии Д.

Для широко распространенных в народном хозяйстве электропультферов и однобалочных мостовых кранов применяются асинхронные двигатели общепромышленной (единой) серии.

Крановые и краново-металлургические двигатели постоянного тока серии Д предназначены не только для электропривода крановых механизмов, но и для экскаваторов, механизмов металлургического производства, работающих в условиях повышенной влажности, температуры, запыленности и вибраций. Двигатели отличаются высокими динамическими характеристиками, имеют класс изоляции обмоток Н.

Если установленные мощности механизмов превышают мощности двигателей крановых серий, то применяют двигатели специального изготовления. Мощные экскаваторные двигатели изготавливают с независимой вентиляцией, которая позволяет повысить нагрузку машины по сравнению с самовентилируемыми двигателями. Экскаваторный двигатель имеет конструкцию повышенной прочности с разъемным корпусом. Вентилятор с приводным асинхронным двигателем установлен в верхней части машины. В корпусе имеются несколько смотровых люков. Выводы крупных машин убраны в защитный кожух, а для средних и мелких выполнены так же, как у крановых.

1.3. Двигатели специальной конструкции

В современных промышленных установках происходит все более тесное сращивание электродвигателей с исполнительными механизмами. Примером могут служить машины с поступательным и возвратно-поступательным движением рабочих органов. Для

таких систем может применяться линейный электропривод. Механическая часть привода, как правило, лишена каких-либо кинематических передач, а вторичная цепь машины является рабочим органом или его частью. Уже разработаны и внедрены в производство линейные асинхронные двигатели для конвейерного транспорта, открывания и закрывания дверей, перекачки жидких металлов, привода подъемно-транспортных машин, испытательных установок, коммутационных аппаратов, автоматических устройств и т. п. Практический интерес представляет использование системы многодвигательного электропривода с линейными асинхронными двигателями в машинах и механизмах металлообрабатывающей, легкой, пищевой промышленности, в транспортных установках.

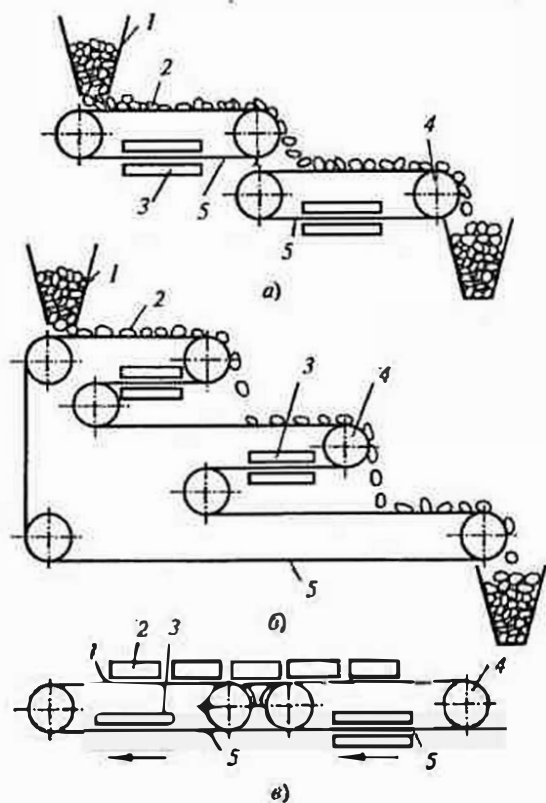


Рис. 1.4. Применение линейных асинхронных двигателей в приводе конвейеров с металлической лентой:

а, б — конвейеры для сыпучих материалов; в — конвейер для штучных грузов

Применение линейных асинхронных двигателей в приводах непрерывного внутризаводского транспорта и погрузочно-разгрузочных механизмов позволяет существенно повысить их производительность, увеличить надежность работы, грузоподъемность, упростить конструкцию и эксплуатацию, снизить капиталовложения по сравнению с аналогичными устройствами, оборудованными двигателями вращательного движения.

Линейные асинхронные двигатели широко применяются в приводах конвейеров с металлической лентой (рис. 1.4). Из бункера 1 сыпучий груз 2 попадает на конвейерную ленту 5, натяжение которой обеспечивается барабанами 4. Двухсторонний индуктор 3 создает бегущее магнитное поле в воздушном зазоре. Оно наводит в металлической ленте э.д.с., которая вызывает токи. Взаимодействие этих токов с полем индуктора приводит к появлению силы, перемещающей конвейерную ленту 5.

При использовании линейного двигателя может быть существенно снижено предварительное натяжение ленты, устранено ее проскальзывание на барабанах, так как с них снимается функция привода, повышены скорость и надежность работы конвейера по сравнению с конвейерами, тяговая лента которых выполнена из текстильного материала.

К двигателям специального изготовления относятся электродвигатели, предназначенные для привода насосов артезианских скважин (рис. 1.5). Эти двигатели погружаются в воду вместе с насосом. Охлаждение их обмоток и стали магнитопроводов, а также смазка подшипников осуществляются водой. Обмотка статора этих двигателей выполняется из полихлорвиниловой изоляции с высокой влагостойкостью, ротор короткозамкнутый. Циркуляция холодной воды по двигателю позволяет значительно увеличить электромагнитные нагрузки его активных частей и уменьшить габаритные размеры.



Рис. 1.5. Погружные электродвигатели

Промышленностью выпускаются также маслonaполненные или нефтяные двигатели специального назначения для эксплуатации нефтяных скважин. Это двигатели асинхронные погружные двух-полюсные с короткозамкнутым ротором унифицированных серий ПЭД и ПРЭДУ для продолжительного режима работы S1 в качестве привода центробежных насосов для откачки пластовой жидкости из нефтяных скважин.

1.4. Выбор электродвигателей

1.4.1. Выбор электродвигателей по техническим условиям

При выборе двигателей важной задачей является определение тех условий, в которых будет работать электропривод. Во многих случаях воздух, в котором работает двигатель, содержит большое количество пыли, влаги, газов, химических веществ, взрывоопасных смесей. Пыль приводит к быстрому загрязнению обмоток и ухудшению условий теплоотдачи; влага, газы, пары кислот вызывают ухудшение изолирующих свойств материалов обмоток. Поэтому двигатели должны быть выбраны со специальной изоляцией. В тех случаях, когда окружающая среда содержит взрывоопасные смеси, конструкция двигателей должна быть такой, чтобы возникшая внутри искра не могла вызвать взрыв в производственном помещении.

Двигатели выпускают открытого, защищенного, закрытого и взрывобезопасного типов.

Открытым двигателем называют такой, конструкция которого не имеет каких-либо специальных защитных приспособлений.

Защищенные двигатели по степени защиты делятся на три категории:

защищенные от случайного прикосновения с токоведущими частями и попадания посторонних тел внутрь двигателя;

от попадания капель сверху;
от дождя и брызг.

Закрытые двигатели также делятся на три категории:

закрытые вентилируемые;

закрытые с независимой вентиляцией и самовентиляцией;

герметически закрытые, имеющие плотно закрытый корпус со специальными уплотнениями, не пропускающими внутрь двигателя влагу в течение 4 ч при полном погружении в воду.

Взрывобезопасные двигатели снабжаются специальным кожухом, который может противостоять без повреждения взрыву газа внутри двигателя и не передает пламени взрыва в окружающую его взрывоопасную среду (взрывонепроницаемое исполнение).

Некоторые данные по выбору двигателей по условиям окружающей среды приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Выбор двигателей по условиям окружающей среды

Помещение	Конструктивный тип двигателя
Сухое без пыли	Открытый
Сухое непыльное, но с опасностью попадания крупных или мелких предметов	Защищенный, открытый с добавочной сеткой
Пыльное или влажное	Закрытый с вентиляцией по трубопроводам из чистой атмосферы
С высокой температурой и влажностью	Закрытый с тропической изоляцией
Очень сырое или содержащее едкие газы	Закрытый с вентиляцией из чистой атмосферы или с противокислотной изоляцией
С возможностью образования взрывоопасных смесей	Взрывобезопасный
Открытый воздух	Закрытый, защищенный от дождя и брызг; закрытый с тропической изоляцией

1.4.2. Выбор двигателей по мощности для механизмов повторно-кратковременного режима работы

Мощность двигателя подъемно-транспортных механизмов выбирают таким образом, чтобы при работе длительное время с заданной ПВ температура двигателя не превышала температуры, допустимой по соответствующим нормам. Кроме того, двигатель должен развивать необходимый момент при пуске механизма для обеспечения заданного ускорения. Завышение мощности двигателя приводит к увеличению капитальных затрат и снижению эксплуатационных показателей. Двигатели повышенной мощности из-за недогрузки имеют низкий КПД, во время переходных процессов могут в ряде случаев создавать недопустимые для механизмов ускорения, которые вызовут повышенный износ оборудования, раскачивание грузов при подъеме, их осевое перемещение и т. п.

Вначале рассчитывают приведенные к валу статические нагрузки, затем осуществляют предварительный выбор двигателя по каталогу (правильность выбора проверяется методом эквивалентных величин или средних потерь после построения нагрузочной диаграммы двигателя с учетом динамических нагрузок). Кроме того, проверяют выбранный двигатель по перегрузочной способности.

Ограничимся рекомендациями по предварительному выбору двигателя. Если известен действительный цикл работы механизма, то можно построить зависимость момента нагрузки на валу от времени $M_c = f(t)$. В этом случае целесообразно определить эквивалентный момент нагрузки $M_{c,3}$ при действительной ПВ₁ по нагрузочной диаграмме исполнительного механизма. Ориентировочное значение мощности двигателя P_1 , кВт, при заданной ПВ₁:

$$P_1 = K_3 M_{c,3} \omega_n \cdot 10^{-3}, \quad (1.1)$$

где K_3 — коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, $K_3 = 1,1 \dots 1,4$; ω_n — рабочая скорость механизма, приведенная к валу двигателя, рад/с.

Мощность с действительной ПВ на каталожную можно пересчитать по нескольким формулам, отличающимся степенью точности. Самая простая из них $P_{11} = P_1 \sqrt{ПВ_1/ПВ_{11}}$.

Приведенная формула выведена из предпосылки пропорциональности потерь в двигателе второй степени тока и не учитывает изменения постоянной времени нагревания двигателя в различных режимах работы и во время паузы. Для большей точности расчетов лучше пользоваться формулой

$$P_{11} = P_1 \sqrt{\frac{(ПВ_1 - ПВ_{11})(a + 1)}{ПВ_{11} [K_t ПВ_1 + (100 - ПВ_1)] / 100}} + 1, \quad (1.2)$$

где a — отношение постоянных потерь в двигателе к переменным при номинальной нагрузке ($a = 0,5 \dots 0,6$ для двигателей МТКН, $a = 0,5 \dots 0,9$ для двигателей Д); K_t — коэффициент, характеризующий отношение постоянных нагрева двигателя во время паузы θ_0 и работы θ ; $K_t = \theta_0/\theta$.

Для закрытых двигателей с независимым охлаждением $K_t = 1,0 \dots 1,1$; для двигателей с охлаждением от собственного вентилятора $K_t = 1,8 \dots 2,2$; для защищенных двигателей с самовентиляцией $K_t = 2,8 \dots 4,0$.

Если в формуле (1.2) $K_t = 1$, что справедливо, например, для двигателей с независимой вентиляцией, то

$$P_{11} = P_1 \sqrt{a (ПВ_1/ПВ_{11} - 1) + ПВ_1/ПВ_{11}}. \quad (1.3)$$

По значению мощности P_{11} нетрудно осуществить предварительный выбор двигателя по каталогу. Проверка выбранного двигателя по мощности с учетом переходных процессов не является обязательной для ряда приводов, она определяется отношением времени переходного процесса ко времени установившегося режима. Так, для механизма подъема крана при большой высоте подъема грузов переходный процесс почти не повлияет на значение эквивалентной мощности. Зато для другого электропривода, например лифта с поэтажным разездом, пренебрежение нагреванием двигателя в переходном процессе приведет к грубой ошибке.

1.5. Монтаж двигателей

Пробный пуск. Двигатель небольшой мощности, поступающий вместе с механизмом, обычно установлен на раме и соединен передачей с механизмом. Двигатели большой мощности при транспортировке снимаются и перевозятся отдельно. Для них также подготовлено место на механизме или на специальной раме, которая укрепляется болтами, приваривается и заливается бетоном.

Монтаж двигателя заключается в установке его на подготовленное место. Двигатель укрепляют, присоединяют к механизму через имеющуюся передачу и присоединяют к электрической сети. Остальные работы выполняются при наладке.

При монтаже двигателя прежде всего обращают внимание на положение осей валов двигателя и механизма. Если валы соединяются непосредственно, то их оси должны лежать на одной линии. Это лучше всего проверить по положению торцевых частей полушестерен: если они параллельны, то оси лежат на одной линии, при этом также должны совпадать боковые части полушестерен.

Положение оси двигателя при креплении его на лапах можно регулировать, подкладывая прокладки под лапы около болтов крепления. При фланцевом креплении двигателя правильное положение осей обеспечивается равномерной затяжкой болтов крепления. Для предупреждения откручивания гаек и ослабления крепления двигателя под гайки подкладывают сначала обычные плоские шайбы, а на них пружинные.

При подготовке двигателя к включению осуществляют внешний осмотр, проверяют схему соединения обмоток, измеряют сопротивление изоляции, осуществляют пробный пуск двигателя, проверяют работу двигателя на холостом ходу и под нагрузкой.

Во время пробного пуска двигатель включают на 2... 3 с и проверяют направление вращения, работу вращающихся частей двигателя, вращающихся и движущихся частей механизма, действие пусковой аппаратуры.

При любых признаках неисправности электрической или механической части двигатель останавливают, а неисправности устраняют.

Нужное направление вращения механизма обычно обозначено стрелкой. Необходимо помнить, что при правильном направлении вращения рабочих колес турбомашин (насосов, вентиляторов и т.д.) их лопатки загнуты назад относительно направления вращения.

Правильное направление вращения двигателей транспортирующих машин (транспортёров, шнековых и ковшовых подъемников и др.) определяется по движению их рабочих органов. Для изменения направления вращения двигателя переменного тока достаточно отсоединить от зажимов два провода, подводящие напряжение к двигателю, поменять их местами и снова присоединить. Обычно это делается на выходе пускового аппарата.

Контрольные вопросы и задания

1. Как подразделяются электрические машины по своему назначению, типам?
2. Назовите основные серии выпускаемых асинхронных двигателей.
3. Для чего в каждой серии двигателей имеется ряд модификаций?
4. Назовите основные типы синхронных машин.
5. Почему необходимы специальные машины для крановых механизмов?
6. Какие различают основные режимы работы двигателей?
7. Что такое специальные конструкции двигателей? Объясните принцип работы конвейера с линейным двигателем.
8. В чем заключаются особенности конструкции электродвигателей для приводов насосов артезианских скважин?
9. Каким образом выбирается двигатель по техническим условиям?
10. На какие категории делятся двигатели по степени защиты?
11. Как выбирается двигатель для механизмов повторно-кратковременного режима работы?
12. Зачем необходим пробный пуск двигателя?
13. Как изменить направление вращения асинхронного и синхронного двигателей?

Глава 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫМИ МЕХАНИЗМАМИ

2.1. Общие сведения и определения

Электрическими аппаратами называются электротехнические устройства для управления потоками энергии и информации, режимами работы, контроля и защиты технических систем и их компонентов. Электрические аппараты в зависимости от элементной базы и принципа действия разделяются на электромеханические и статические.

К электромеханическим аппаратам относятся технические устройства, в которых электрическая энергия преобразуется в механическую либо механическая энергия в электрическую.

Электромеханические аппараты применяются почти во всех автоматизированных системах. Некоторые системы полностью строятся на электромеханических аппаратах. Например, схемы автоматизации пуска, реверса и торможения в нерегулируемом электроприводе состоят в основном из таких электромеханических устройств, как реле и контакторы. Электромеханические аппараты применяются в качестве датчиков, усилителей, реле, исполнительных органов и т.д. Входные и выходные величины этих устройств могут быть как механическими, так и электрическими. Однако в них должно обязательно осуществляться взаимное преобразование механической энергии в электрическую и электрической энергии в механическую.

Статические аппараты выполняются на основе электронных компонентов (диодов, тиристоров, транзисторов и др.), а также управляемых электромагнитных устройств, в которых связь входа и выхода осуществляется через магнитное поле в ферромагнитном сердечнике. Примерами таких устройств могут служить обычный трансформатор из электротехнической стали и магнитный усилитель, работа которого рассмотрена в настоящей главе.

Основой функционирования большинства видов электрических аппаратов (автоматических выключателей, контакторов, реле, кнопок управления, тумблеров, переключателей, предохранителей и др.) являются процессы коммутации (включение и отключение) электрических цепей.

Другую многочисленную группу электрических аппаратов, предназначенных для управления режимами работы и защиты электромеханических систем и компонентов, составляют регуляторы и стабилизаторы параметров электрической энергии (тока, напряжения, мощности, частоты и др.). Некоторые из них рассмотрены в гл. 3. Электрические аппараты этой группы функционируют на основе непрерывного или импульсного изменения проводимости электрических цепей.

2.2. Контакторы и магнитные пускатели

Контактор — это электрический аппарат, предназначенный для коммутации силовых электрических цепей как при номинальных токах, так и при токах перегрузки. Наибольшее распространение получили контакторы, в которых замыкание и размыкание контактов осуществляются под воздействием электромагнитного привода. Различают контакторы постоянного и переменного тока.

Главными техническими параметрами контактора являются его механическая и коммутационная износостойкость, номинальный ток главных контактов, предельный отключаемый ток, номинальное напряжение отключаемой цепи, допустимое число включений в час и собственное время включения и отключения. Под механической износостойкостью понимается число циклов включение—отключение (без токовой нагрузки) без какой-либо замены его элементов и узлов. В современных контакторах механическая износостойкость достигает 10 ... 20 млн операций.

Контактор имеет следующие основные узлы: контактную и дугогасительную системы, электромагнитный механизм, систему блок-контактов. При подаче напряжения на обмотку электромагнита стальной якорь притягивается. Подвижный контакт, связанный с якорем, замыкает или размыкает главную цепь. Дугогасительная система обеспечивает быстрое гашение дуги, благодаря чему достигается малый износ контактов. Кроме главных контактов контактор имеет несколько вспомогательных слаботочных контактов (блок-контактов) для согласования работы контактора с другими аппаратами или включения в цепь управления самого контактора.

Рассмотрим принцип действия контактора постоянного тока (рис. 2.1). Неподвижный контакт 3 жестко прикреплен к скобе 2, к которой присоединен один конец дугогасительной катушки 1. Второй конец катушки вместе с выводом 12 надежно скреплен с изоляционным основанием 13 из пластмассы. Последнее крепится к прочной стальной скобе 11, которая является основанием аппарата. Подвижный контакт 4 выполнен в виде толстой пластины. Нижний конец пластины имеет возможность поворачиваться от-

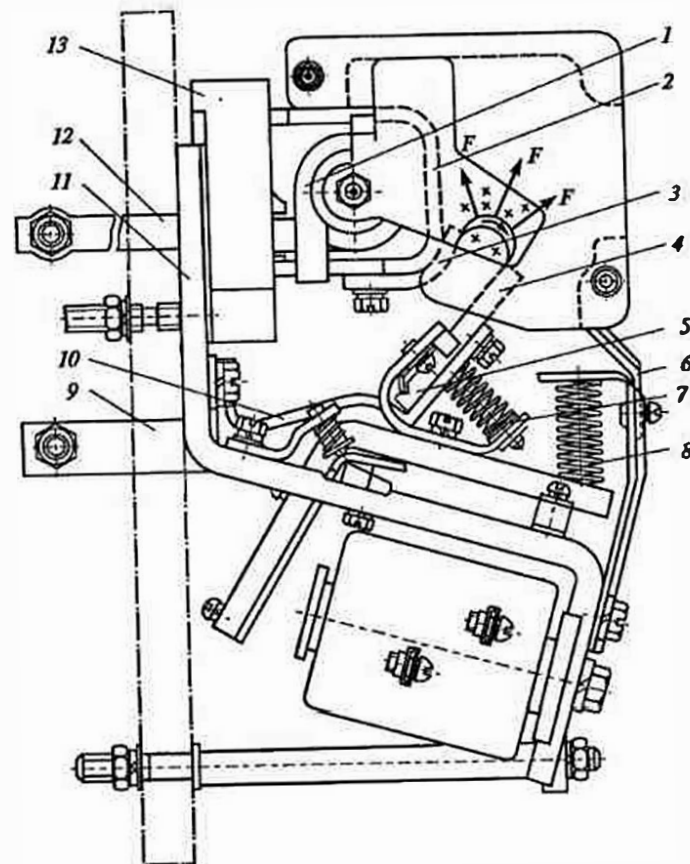


Рис. 2.1. Конструкция контактора постоянного тока

носительно точки опоры 5. Благодаря этому пластина может перекашиваться по сухарю неподвижного контакта 3. Вывод 9 соединяется с подвижным контактом 4 с помощью гибкого проводника (связи) 10. Контактное нажатие создается пружиной 7.

При износе контактов сухарь заменяется новым, а пластина подвижного контакта поворачивается на 180° и неповрежденная сторона ее используется в работе.

Для уменьшения оплавления основных контактов дугой при токах более 50 А контактор имеет дугогасительные контакты-рога. Под действием магнитного поля дугогасительного устройства опорные точки дуги быстро перемещаются на скобу 2, соединенную с неподвижным контактом 3, и на защитный рог подвижного контакта 6. Возврат якоря в начальное положение (после отключения магнита) осуществляется пружиной 8.

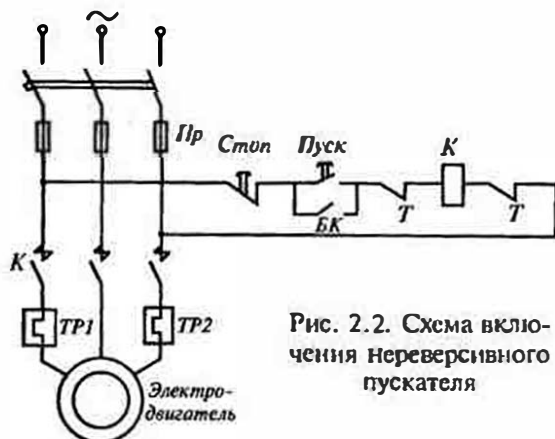


Рис. 2.2. Схема включения нереверсивного пускателя

Магнитный пускатель — это электрический аппарат, предназначенный для пуска, остановки, реверсирования и защиты электродвигателей. Его единственное отличие от контактора — наличие устройства защиты (обычно теплового реле) от тепловых перегрузок.

Бесперебойная работа асинхронных двигателей в значительной

степени зависит от надежности пускателей. Поэтому к ним предъявляются высокие требования в отношении износостойкости, коммутационной способности, четкости срабатывания, надежности защиты двигателя от перегрузок, минимального потребления мощности.

Схема включения нереверсивного пускателя показана на рис. 2.2. Главные контакты *K* включаются в рассечку проводов, питающих электрический двигатель. В проводах двух фаз включаются нагревательные элементы тепловых реле *ТР1* и *ТР2*. Катушка электромагнита пускателя *K* подключается к сети через размыкающие контакты тепловых реле *T* и кнопки управления. При нажатии кнопки «Пуск» напряжение на катушку подается через замкнутые контакты кнопки «Стоп» и замкнутые контакты тепловых реле. После притяжения якоря электромагнита замыкается блокировочный контакт *БК*, шунтирующий контакты кнопки «Пуск». Это дает возможность отпустить пусковую кнопку. Для отключения пускателя нажимается кнопка «Стоп». При перегрузке двигателя срабатывают тепловые реле, которые разрывают цепь катушки *K* — происходит отключение пускателей и двигателя.

2.3. Контроллеры и командоконтроллеры

В схемах электрооборудования различных механизмов широко используются контроллеры и командоконтроллеры. В первую очередь это относится к крановым механизмам, на которых двигатели малой и средней мощности обычно управляются контроллерами, а двигатели большой мощности — командоконтроллерами.

Контроллер представляет собой аппарат, с помощью которого осуществляются необходимые переключения в цепях двигателей переменного и постоянного тока. Переключения осуществляются вручную поворотом маховика.

Командоконтроллер по принципу действия не отличается от контроллера, но имеет более легкую контактную систему, предназначенную для переключений в цепях управления.

Наиболее распространенными являются контроллеры кулачкового типа. Их контактная система выполняется примерно такой же, как и у контакторов. Замыкание пары контактов происходит с перекачиванием и притиранием одного контакта к другому.

Кулачковый контроллер (рис. 2.3) состоит из кулачкового барабана *1* с укрепленными на нем пластмассовыми фасонными шайбами *2*. Барабан вращается в шариковых подшипниках маховичком *3*. На неподвижных стойках с двух сторон барабана крепятся кулачковые элементы с силовыми контактами *5* или блок-контактами *4*, предназначенные соответственно для коммутации главных цепей или цепей управления. На кулачковых элементах главных цепей устанавливаются дугогасительные устройства, состоящие из катушки электромагнитного гашения дуги, магнитопровода и дугогасительной камеры. Когда рычаг кулачкового элемента находится против части фасонной шайбы малого диаметра, контактные элементы замкнуты.

Основные технические параметры, по которым выбирают контроллеры, — допустимый ток главной цепи при заданной продолжительности включения и допустимое число включений в час.

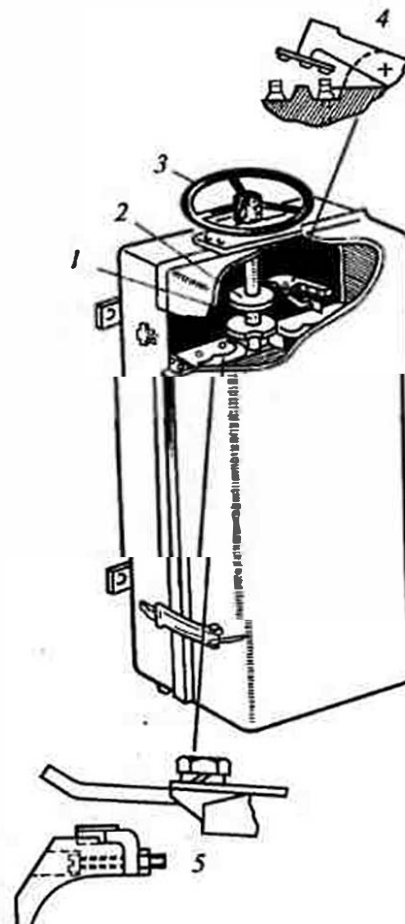


Рис. 2.3. Конструкция кулачкового контроллера

2.4. Тормозные устройства

Ответственными элементами подъемно-транспортных механизмов являются тормозные устройства, устанавливаемые для надежного затормаживания движущихся частей машины при отключении двигателя от сети. Неправильная работа тормозного устройства может привести к повреждению рабочего оборудования. Она опасна для обслуживающего персонала, а на таких установках, как лифты, — и для пассажиров.

Существует большое число конструктивных вариантов тормозных устройств. Чаще всего на подъемно-транспортных механизмах применяются колодочные, ленточные или дисковые тормозные

устройства. Все тормозные устройства действуют таким образом, что при включении двигателя одновременно освобождается вал производственного механизма. Если двигатель отключается, то осуществляется торможение механизма.

Для обеспечения указанного порядка работы необходимо воздействовать соответствующим образом на механическое оборудование тормозных устройств. Эта задача выполняется чаще всего электромагнитами с противодействующими пружинами или грузом. Для пружинных тормозов чаще всего применяются электромагниты с небольшим ходом подвижной части, так как при освобождении тормозных шкивов пружины сжимаются всего на несколько миллиметров. В грузовых тормозах применяются длинноходовые магниты со значительными перемещениями. Тяговое усилие электромагнита посредством системы рычагов передается тормозным органам.

Рассмотрим принцип действия тормозного устройства на примере колодочного пружинного тормоза с приводом от короткоходового электромагнита постоянного тока (рис. 2.4). Тормозной шкив 1 обхватывается колодками 2, укрепленными на рычагах 3. Пружина 8 при отключенном электромагните 4 давит на скобу 7 и упорную шайбу стержня 6, связанные шарнирно с рычагами 3, стягивает верхние концы последних, вследствие чего тормозные колодки затормаживают шкив. При включении электромагнита его якорь 5 подтягивается к корпусу, перемещается стержень 6, сжимается пружина 8, вследствие чего колодки освобождают шкив.

В грузовых тормозах электромагнит при включении поднимает груз, а система рычагов отжимает колодки от тормозного шкива. Если электромагнит теряет питание, то под действием груза шкив вновь затормаживается.

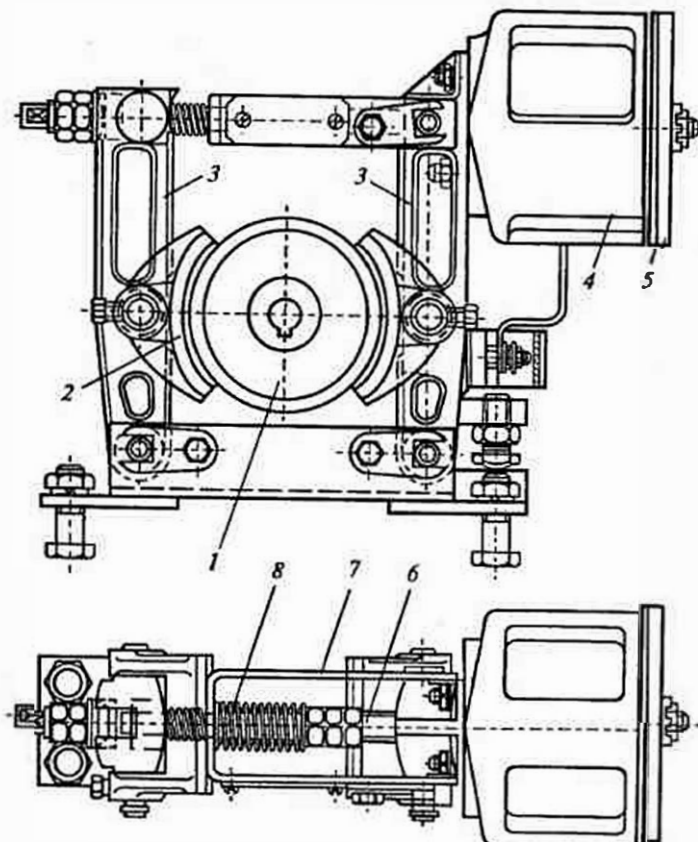


Рис. 2.4. Конструкция электромеханического тормозного устройства с короткоходовым электромагнитом

2.5. Электромагнитные реле

Реле называется такой электрический аппарат, в котором при плавном изменении управляющей (входной) величины происходит скачкообразное изменение управляемой (выходной) величины.

В различных системах автоматизированного электропривода широкое распространение получили электромагнитные реле. Их используют в качестве датчиков тока и напряжения, датчиков времени, для передачи команд и размножения сигналов в электрических цепях. В качестве исполнительных устройств они применяются в датчиках технологических параметров различных машин и механизмов.

Электромагнитное реле работает следующим образом (рис. 2.5). На неподвижном стальном сердечнике 6 расположена катушка 5.

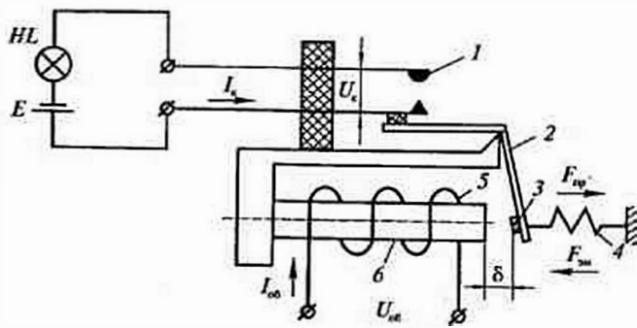


Рис. 2.5. Схема электромагнитного реле

Протекающий по обмотке катушки ток $I_{об}$ создает магнитный поток, замыкающийся через воздушный зазор δ и подвижную часть реле якорь 2. Под воздействием потока возникает электромагнитная сила $F_{эм}$, которая притягивает якорь к сердечнику. Одновременно на якорь действует механическая сила $F_{пр}$ со стороны возвратной пружины 4, которая противодействует притяжению якоря к сердечнику. Когда ток $I_{об}$ в цепи обмотки 5 превысит некоторое значение, называемое током срабатывания $I_{сп}$, создаваемая им электромагнитная сила станет больше противодействующей силы $F_{пр}$ возвратной пружины 4. Якорь реле 2 притянется к сердечнику и обеспечит замыкание контактов 1. Лампа HL загорится. Если уменьшить в обмотке катушки ток до значения, называемого током отпускания $I_{отм}$, то якорь под действием пружины 4 перейдет в исходное положение и контакты реле вернуться в нормальное исходное положение. Лампа HL погаснет.

Чтобы устранить магнитное «прилипание» якоря к сердечнику после снятия напряжения питания катушки, в якорь запрессован выступающий латунный штифт 3, который ограничивает приближение якоря к сердечнику и тем самым облегчает возврат якоря под действием пружины в исходное состояние.

Напряжение на обмотке реле, при котором ток в цепи обмотки равен току срабатывания, называется напряжением срабатывания $U_{сп}$. Напряжение на обмотке реле, при котором ток в цепи обмотки равен току отпускания, называется напряжением отпускания $U_{отм}$.

Ток в обмотке реле, при котором обеспечивается надежное замыкание контактов реле, называется рабочим I_p , а соответствующее ему напряжение — рабочим напряжением U_p .

Важнейшим параметром реле является коэффициент возврата реле по току и напряжению.

Коэффициент возврата реле по току $K_{нI} = I_{отм} / I_{сп}$.

Коэффициент возврата реле по напряжению $K_{нU} = U_{отм} / U_{сп}$.

В различных типах реле значения $K_{нI}$ и $K_{нU}$ находятся в пределах 0,2 ... 9,5.

Ток (напряжение) срабатывания электромагнитного реле может регулироваться изменением силы натяжения возвратной пружины 4, а также зазора δ . При ослаблении пружины 4 или уменьшении зазора δ ток (напряжение) срабатывания уменьшается.

При нормальной работе реле ток I_x , проходящий через контакты, и напряжение между контактами U_x не должны превышать допустимых значений $I_{x, доп}$, $U_{x, доп}$. Если значение I_x превысит допустимое, то контакты могут выйти из строя. При превышении $U_{x, доп}$ между разомкнутыми контактами может произойти электрической пробой.

Электромагнитное реле характеризуется временем срабатывания и отпускания. Время срабатывания $t_{сп}$ — это промежуток времени от момента подачи напряжения на обмотку до момента срабатывания реле. Время срабатывания электромагнитного реле от 1 ... 2 до 20 мс. Время отпускания $t_{отм}$ — это промежуток времени от момента снятия напряжения с обмотки реле до момента отпускания реле.

Обмотка электромагнитного реле может получать питание как от источника постоянного тока, так и переменного тока. В первом случае оно называется *реле постоянного тока*, во втором — *реле переменного тока*.

Если входной электрической величиной электромагнитного реле является ток, то оно называется *реле тока*. Его срабатывание происходит при изменении значения тока, протекающего по цепи, где включена обмотка реле. Обмотки таких реле выполняют из медного провода диаметром 1 ... 2 мм с малым числом витков.

Если входной электрической величиной электромагнитного реле является напряжение, то оно называется *реле напряжения*. Его срабатывание происходит при изменении напряжения, подаваемого на обмотки реле. Обмотки таких реле выполняют из тонкого медного провода диаметром 0,05 ... 0,15 мм с большим числом витков (до нескольких тысяч).

Для передачи и размножения электрических сигналов в схемах управления применяют промежуточные электромагнитные реле. На обмотку промежуточного реле напряжение подается при включении контактов других реле, в том числе и промежуточных. Контакты

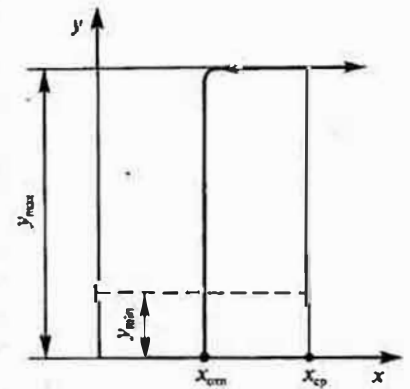


Рис. 2.6. Характеристика управления реле

промежуточного реле включают и выключают последующие, в том числе и промежуточные реле. Последние могут использоваться и как реле напряжения.

Если время срабатывания или отпускания реле превышает 0,25 с, то такое реле называется *реле времени*.

Характеристика управления реле приведена на рис. 2.6. До тех пор, пока $x < x_{ср}$, выходной параметр y либо равен нулю, либо равен своему минимальному значению $y_{мин}$ (для бесконтактных аппаратов). При $x \geq x_{ср}$ выходной параметр скачком меняется от $y_{мин}$ до y_{max} . Происходит срабатывание реле. Если после срабатывания уменьшать значение воздействующей величины, то при $x \leq x_{отп}$ происходит отпускание реле.

2.6. Магнитоуправляемые герметизированные контакты (герконы)

Магнитоуправляемым контактом (МК) называется контакт, изменяющий состояние электрической цепи посредством механического замыкания или размыкания ее при воздействии управляющего магнитного поля на его элементы. В простейшей конструкции геркона (рис. 2.7) внутри герметизированной стеклянной капсулы 2, наполненной инертным газом, размещены две пластины 1 и 3 из упругого ферромагнитного материала (сплав железа с никелем). На концах пластин внутри капсулы расположены контакты 4, которые покрыты слоем родия или золота. К выходящим из капсулы штырькам припаиваются монтажные провода. Размеры капсулы зависят от типа геркона, они составляют: длина 10...70 мм, диаметр 2...7 мм. При воздействии на МК внешнего магнитного поля концы ферромагнитных пластин намагничиваются и притягиваются друг к другу, замыкая электрическую цепь. При снятии внешнего магнитного поля упругие пластины возвращаются в исходное положение, разомкнув цепь. Внешнее магнитное поле создается с помощью управляющей обмотки, на которую подается постоянное напряжение, или с помощью постоянного магнита.

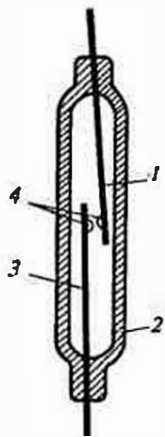


Рис. 2.7. Конструкция геркона

Вследствие малой инерционности пластин герконы обладают повышенным быстродействием. Нахождение контактов в инертном газе существенно повышает надежность их работы, поэтому герконы нашли

широкое применение в автоматических системах. На их базе могут быть созданы реле различного назначения, датчики, кнопки и т. п. Герметизация контактов реле в стеклянном корпусе позволяет использовать герконы для изготовления искробезопасной аппаратуры автоматизации. На базе герконов налажен выпуск герконовых электромагнитных реле: промежуточных реле напряжения РПГ, реле тока РТГ, реле времени РВГ и т. д.

По сравнению с обычными электромагнитными реле, коммутационная износостойкость которых достигает нескольких миллионов включений, у герконовых реле она может составлять несколько десятков миллионов срабатываний.

2.7. Электрические датчики

2.7.1. Датчики положения

Электрический датчик – устройство, которое, подвергаясь воздействию некоторой, как правило, неэлектрической физической величины (скорости, ускорения, давления, температуры, влажности, освещенности, частоты колебаний и т. п.), выдает эквивалентный электрический сигнал (заряд, ток, напряжение и т. д.), являющийся функцией этой контролируемой величины. Для современного производства характерно применение датчиков в интерактивном режиме, когда результаты измерений сразу же используются для регулирования процесса. Это позволяет быстро корректировать технологический процесс, повышать качество выпускаемой продукции и увеличивать ее количество.

Датчики положения используются для получения сигналов при достижении контролируемым объектом определенных положений при его перемещении, которые затем поступают в схему управления объектом. Это широко применяемые конечные и путевые выключатели различных типов, посредством которых осуществляется управление электроприводами в функции пути.

Несмотря на большое разнообразие конструктивных вариантов конечных и путевых выключателей, по принципу действия их можно разделить на две основные группы: аппараты с механическим воздействием на контактную систему и аппараты, в которых меняются параметры электрической цепи.

Конечные выключатели с механическим воздействием состоят из двух основных частей: контактов и механического привода, который замыкает или размыкает контакты. В зависимости от вида привода выключатели делятся на вращающиеся, рычажные и нажимные. Вращающиеся выключатели имеют привод от валика, который через редуктор соединяется с валом механизма. На валике расположены кулачки, воздействующие на контакты

выключателя. При вращении вала механизма в определенном положении кулачки осуществляют переключение контактов выключателя. Рычажные выключатели имеют привод своей контактной системы от поворотного рычага, на который оказывает воздействие движущаяся часть объекта управления. Рычаг и контакты в исходное положение возвращаются под воздействием пружины. В нажимных выключателях переключение контактов происходит при нажатии на шток выключателя, возврат которого в исходное положение осуществляется под действием пружины.

Чаще всего конечные выключатели применяются в крановых установках для ограничения хода моста, тележки, грузозахватывающего устройства и т. д. Конечные выключатели применяются также в лифтах, конвейерах, механизмах задвижек насосов и компрессоров и т. п.

Внутри корпуса выключателя (рис. 2.8) находится барабан 5 с фасонными шайбами и блок кулачковых элементов 2, на котором укреплены четыре неподвижных контакта 3. При упоре ограничительной линейки в ролик рычага 1 последний поворачивает барабан с шайбами и контактные мосты 4 замыкают или размыкают неподвижные контакты. Таким образом, в результате действия конечного выключателя замыкается или размыкается одна из цепей управления электроприводом.

Тот же принцип действия имеют этажные переключатели, которые применяются, главным образом, в схемах управления тихоходными пассажирскими лифтами. В корпусе этажного переключателя (рис. 2.9, а) на изоляционных пластинах 1 укреплены неподвижные контакты 2, которые замыкаются подвижными контактами 3 при повороте рычага 4 этажного переключателя. Рычаг 4 с резиновым роликом 5 при ходе кабины вверх под действием фасонной отводки 6 поворачивается вправо, при ходе кабины вниз – влево. При этом замыкаются соответствующие неподвижные контакты. Когда кабина находится на уровне этажа, контакты этажного переключателя разомкнуты.

Недостатком контактных датчиков является их значи-

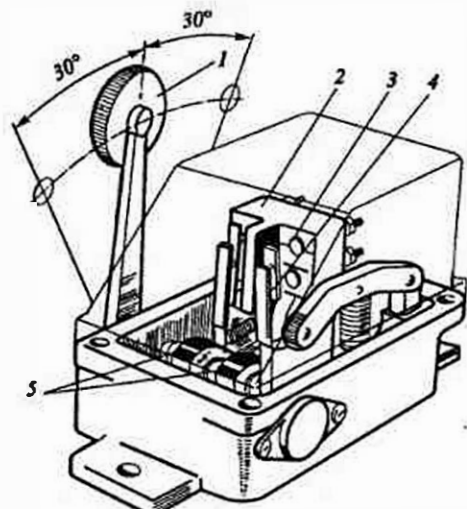


Рис. 2.8. Конструкция конечного выключателя

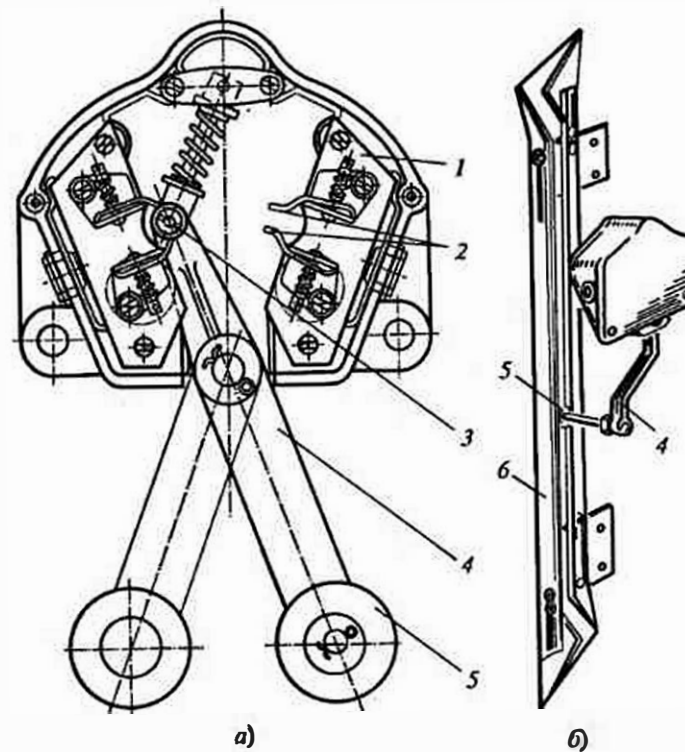


Рис. 2.9. Конструкция этажного переключателя (а) и отводки лифтовой установки (б)

тельное механическое изнашивание при частых переключениях. Поэтому широкое применение находят и другие датчики положения.

2.7.2. Герконовые датчики

Эти датчики представляют собой путевые или конечные выключатели, воспринимающей частью которых является геркон. Последний располагается в контролируемой точке пространства, через которую должна пройти движущаяся часть объекта управления. На движущейся части находится постоянный магнит или электромагнит, который создает магнитное поле. При нахождении движущейся части в контролируемой точке на геркон действует магнитное поле, под действием которого контакты замыкаются. При отсутствии движущейся части в контролируемой точке контакты геркона разомкнуты и сигнал управления равен нулю.

2.7.3. Дискретный индуктивный датчик

Дискретный индуктивный датчик положения (рис. 2.10) состоит из разомкнутого магнитопровода 6 и катушки 5, последовательно с которой включен конденсатор 4. Катушка с конденсатором включена в цепь переменного тока вместе с обмоткой 2 электромагнитного реле. Параметры элементов схемы подобраны таким образом, что при отсутствии над магнитопроводом якоря 1 датчика, который закреплен на подвижной части контролируемого объекта, индуктивное сопротивление катушки x_L меньше емкостного сопротивления конденсатора x_C . Ток, проходящий по катушке реле 2, недостаточен для его срабатывания. При прохождении над магнитопроводом 6 якоря 1 индуктивное сопротивление катушки увеличивается до значения $x_L = x_C$, при котором наступает резонанс напряжений, характеризующийся резким увеличением тока в цепи. Реле 2 включается и замыкает контакты 3 в цепи управления объектом.

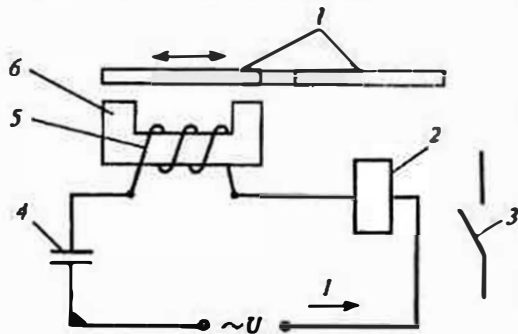


Рис. 2.10. Схема дискретного индуктивного датчика положения

Резонанс напряжений, характеризующийся резким увеличением тока в цепи. Реле 2 включается и замыкает контакты 3 в цепи управления объектом.

2.7.4. Датчики скорости

Дискретные датчики скорости удобно применять для контроля скорости объекта управления. Например, если скорость электродвигателя превышает заданное значение, то происходит его автоматическое отключение с целью предотвращения аварийных режимов работы. При торможении такой датчик удобно использо-

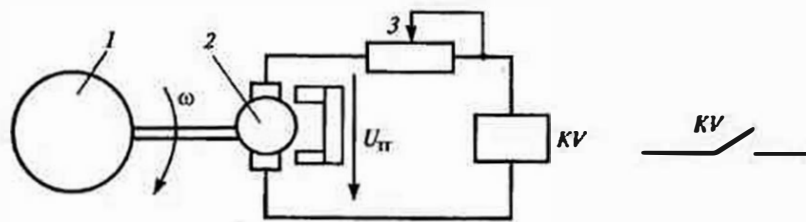


Рис. 2.11. Схема датчика скорости

вать для автоматического отключения электродвигателя от сети после снижения его скорости до нуля.

На валу электродвигателя 1 (рис. 2.11) находится тахогенератор 2. Выходное напряжение тахогенератора $U_{тр}$ подается на обмотку реле напряжения KV через реостат 3. Реле напряжения срабатывает при определенном напряжении тахогенератора, которому соответствует заданное значение скорости электродвигателя, и своими контактами осуществляет переключение соответствующих цепей управления. Изменяя положение движка реостата 3, можно регулировать значение скорости электродвигателя, при котором срабатывает реле KV .

2.8. Электромеханические исполнительные устройства

Электромагниты, служащие для привода контактов реле, просты по конструкции, технологичны в изготовлении, обладают хорошими динамическими характеристиками. Поэтому они находят применение в устройствах для реализации перемещения или силового воздействия. В этом случае их называют *исполнительными устройствами*.

Исполнительным называется устройство, осуществляющее перемещение исполнительного органа или силовое воздействие на этот орган в соответствии с заданными функциями и при подаче соответствующих сигналов на обмотки управления.

Наиболее часто электромеханические исполнительные устройства применяются для преобразования электрического сигнала в перемещение подвижной части устройства. Примерами являются электромагнитные клапаны, электромагнитные муфты, электромагнитные защелки, задвижки и т. п.

2.8.1. Электромагнитный клапан

Клапан предназначен для управления потоком жидкости или газа. Электромагнитный клапан (рис. 2.12) состоит из гидравлического запорного устройства (тарель 5 и сопло 6), причем тарель 5 кинематически связана с якорем 3 электромагнита. Запорное устройство и электромагнит имеют общий корпус 9. При отсутствии тока в обмотке 11 электромагнита тарель 5 запорного устройства, под действием возвратной пружины 8 плотно прижата к неподвижному соплу 6. Таким образом, путь потоку жидкости через сопло 6 в полость клапана, а отсюда в выходное отверстие 4 перекрыт. При подаче тока в обмотку электромагнита якорь 3 притягивается к неподвижному соплу, возвратная пружина 8 сжимается, освобождая тарель 5, которая под действием пружины 7 и давления жидкости устремляется вслед за якорем 3. В конечном

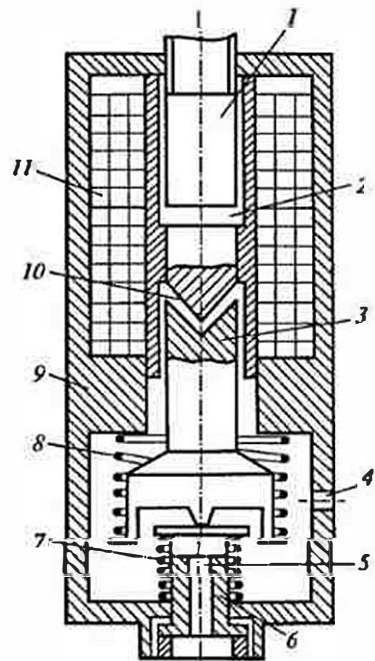


Рис. 2.12. Конструкция электромагнитного клапана

положении якоря рабочий зазор 10 равен нулю, а жидкость протекает через щель, образовавшуюся между соплом 6 и тарелью 5 в полость клапана, а затем в выходное отверстие 4. Для регулировки характеристик клапана предусмотрен регулировочный немагнитный зазор 2, а верхняя часть сопла 1 устанавливается в корпус на резьбе, что позволяет менять регулировочный зазор 2 и, соответственно, магнитное сопротивление всей цепи.

Если электромагнитный привод клапана имеет релейную характеристику, то при увеличении тока до значения срабатывания произойдет скачкообразное перемещение тарели в крайнее верхнее положение и клапан полностью откроется. Снижение тока до тока отпускания приведет к такому же скачкообразному закрыванию клапана. Остановить якорь с тарелью в каком-либо промежуточном положении не представляется возможным, поэтому такие устройства называют *двухпозиционными*.

Релейными характеристиками преобразования обладают исполнительные устройства двухпозиционных клапанов, дверных замков с дистанционным управлением, а также крановые электромагниты, применяемые для захвата металлических грузов.

Часто возникает необходимость открыть тарель клапана так, чтобы расход жидкости был меньше, чем при крайнем положении тарели. Очевидно, что для этого тарель и якорь надо зафиксировать в промежуточном положении, когда щель между соплом 6 и тарелью 5 недостаточна для свободного вытекания жидкости из сопла. Для этого устройство должно обеспечивать устойчивую фиксацию якоря в промежуточном положении. Характеристика преобразователя должна быть не релейной, а непрерывной функцией тока.

2.8.2. Фрикционная электромагнитная муфта

Устройства, способные под воздействием сигнала управления соединять или разъединять валы, обеспечивая совместное или раздельное их вращение, а также регулировать передаваемую с

одного вала на другой механическую мощность, называют *муфтами с электрическим управлением*. Широко применяются фрикционные электромагнитные муфты, передача момента через которые осуществляется посредством сил трения (рис. 2.13).

Трущиеся поверхности образуются парой дисков или колец, выполненных из керамических материалов с большим коэффициентом трения. Для передачи движения кольца необходимо прижать друг к другу так, чтобы возникающий между ними момент трения превысил момент сопротивления ведомого вала. Кольца 5 крепят на валах при помощи деталей 6 и 4. Если деталь 6 жестко сидит на своем валу, то деталь 4 должна быть посажена на шлицевое соединение и иметь возможность перемещаться вдоль оси вала 3, 8 до полного соединения колец 5. Начальное положение детали 1 определяется пружиной 2, которая надевается на вал с предварительным натягом и в обесточенном состоянии отводит деталь 4 вправо, т. е. муфта оказывается разомкнутой.

Для создания силы, позволяющей соединить кольца и включить муфту, используется электромагнит, обмотка 10 которого находится в одной из деталей 6 или 4. Детали 6 и 4 служат магнитопроводом. При подаче напряжения на обмотку возникает магнитный поток, который проходит через детали 6, 4 и зазор между ними, создавая силу электромагнитного притяжения. Эта сила преодолевает усилие пружины 2, передвигает деталь 4 влево до соприкосновения колец 5 и сжимает эти кольца с нужным усилием. Возникающая сила трения заставляет детали 6 и 4 вращаться совместно. Поскольку обмотка 10 вращается вместе с деталью 6, подвод электрического тока возможен только через токоприемник, состоящий из контактных колец 7 и скользящих контактов 9.

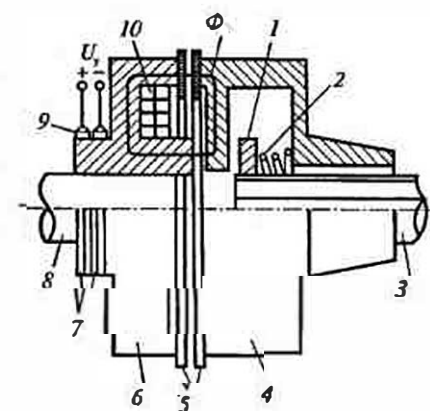


Рис. 2.13. Конструкция фрикционной электромагнитной муфты

2.8.3. Электромагнитный подвес

Силовое взаимодействие в магнитном поле способно не только приводить в движение намагниченные тела или контуры с токами, но и приводить тела или контуры в особый вид состояния, называемый левитацией. При левитации тело свободно парит в состоянии равновесия, причем его масса компенсируется

силовым взаимодействием самого тела с полем, в котором оно находится.

Электромагнитные подвесы используются в тех устройствах, в которых необходимо по тем или иным причинам избавиться от трения. Так, в высокоточных датчиках ускорения — акселерометрах магнитный подвес необходим, чтобы силы трения между подвижной частью и корпусом датчика не вносили погрешность в измерения. Электромагнитные подвесы применяются в качестве подшипников роторов высокоскоростных двигателей гироскопов и газовых турбин мощных компрессоров, в трансформаторных устройствах с линейными электродвигателями и т. п.

2.9. Магнитный усилитель

Примером статического электрического аппарата, не имеющего подвижных частей, в котором связь входа и выхода осуществляется через магнитное поле в ферромагнитном сердечнике, является магнитный усилитель.

Магнитным усилителем (МУ) называют устройство, в котором использовано свойство ферромагнитных материалов изменять свою магнитную проницаемость под влиянием подмагничивания постоянным током. Этим обеспечивается возможность управления значительной мощностью нагрузки в цепи переменного тока относительно малым подмагничивающим током.

Магнитные усилители получили широкое распространение в автоматизированных электроприводах общепромышленных механизмов. Это связано с тем, что магнитный усилитель представляет собой статический аппарат относительно простой и надежной конструкции, обладающий высоким коэффициентом усиления сигнала. Весьма важными его свойствами являются возможность получения безгистерезисной нагрузочной характеристики, суммирования нескольких сигналов, способность выдерживать значительные перегрузки.

Конструктивно магнитный усилитель состоит из ферромагнитного сердечника с обмотками переменного и постоянного тока. Сердечники выполняют из электротехнической стали (железосплавные сплавы) или из пермаллоя (железоникелевые сплавы). Они обладают свойствами быстрого насыщения и имеют очень малые потери на гистерезис и вихревые токи. Сердечники могут быть тороидальными, П- и Ш-образными.

Простейший магнитный усилитель состоит из двух одинаковых дросселей (сердечника из ферромагнитного материала с одной или несколькими обмотками), разделенных немагнитной прокладкой (рис. 2.14, а). Рабочие обмотки переменного тока W_p и W_p' через диоды $VD1$ и $VD2$ соединены между собой параллельно и

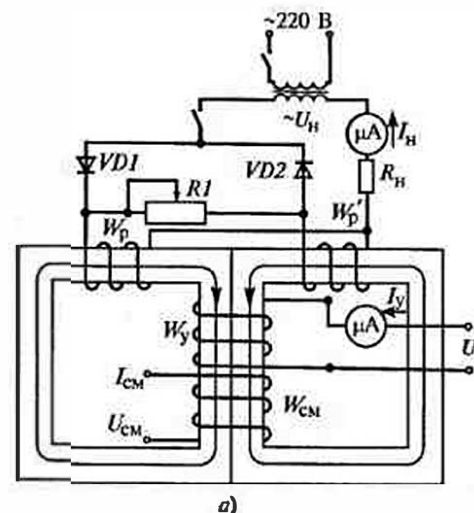


Рис. 2.14. Схема магнитного усилителя (а) и его характеристики управления (б)

включены в цепь переменного тока последовательно с сопротивлением R_n . Между катодом $VD1$ и анодом $VD2$ включен переменный резистор R_1 . Вокруг стержней обоех дросселей расположены обмотки постоянного тока W_y и $W_{см}$. Обмотка W_y называется обмоткой управления, обмотка $W_{см}$ — обмоткой смещения. На обмотку управления подается напряжение постоянного тока U_y , на обмотку смещения — напряжение постоянного тока $U_{см}$.

Обмотки W_p и W_p' соединены между собой таким образом, чтобы исключить влияние создаваемых ими переменных магнитных потоков (они взаимно компенсируют друг друга) на обмотки W_y и $W_{см}$.

При рассмотрении принципа работы магнитного усилителя примем, что на схеме (см. рис. 2.14, а) отсутствуют диоды $VD1$, $VD2$, резистор R_1 и обмотка смещения $W_{см}$. Действующее значение тока нагрузки I_H определяется в цепи переменного тока индуктивным сопротивлением параллельно соединенных рабочих обмоток x_p и сопротивлением нагрузки R_n (активное сопротивление рабочих обмоток относительно мало):

$$I_H = \frac{U_H}{\sqrt{x_p^2 + R_n^2}},$$

где U_H — действующее напряжение питания рабочих обмоток W_p и W_p' и нагрузки.

Индуктивное сопротивление рабочих обмоток x_p пропорционально магнитной проницаемости сердечника. Если через обмотку управления пропустить постоянный ток, то магнитная проницаемость сердечника уменьшится. Это вызовет снижение индук-

тивного сопротивления рабочих обмоток x_p , что в свою очередь приведет к увеличению тока и мощности в нагрузке I_n . Небольшому изменению тока и мощности обмотки управления соответствует значительное изменение мощности нагрузки. В этом состоит усиливающее действие магнитного усилителя. Характеристика управления $I_n = f(I_y)$ изобразится нелинейной кривой I , симметричной относительно оси ординат (рис. 2.14, б).

По характеристике управления можно определить статический $K_{i\text{ст}}$ и динамический $K_{i\text{дин}}$ коэффициенты усиления по току:

$$K_{i\text{ст}} = \frac{I_n}{I_y}; \quad K_{i\text{дин}} = \frac{\Delta I_n}{\Delta I_y}.$$

Кривая I в начальной ее части, т. е. при малых токах управления, является нелинейной с малым коэффициентом усиления по току. Для его увеличения в усилитель вводят дополнительную обмотку смещения $W_{\text{см}}$. Если через обмотку смещения пропустить постоянный ток смещения $I_{\text{см}}$, то это приведет к дополнительному уменьшению магнитной проницаемости сердечников, индуктивного сопротивления x_p и возрастанию тока нагрузки. В зависимости от направления тока смещения характеристика управления смещается относительно кривой I вправо или влево (кривая Z). Это приводит к увеличению крутизны одной из ветвей характеристики при малых токах управления I_y , т. е. к увеличению коэффициента усиления магнитного усилителя. Обмотка смещения применяется также для увеличения или уменьшения тока нагрузки I_n в зависимости от полярности тока управления I_y . В рассматриваемом случае ток нагрузки возрастает при положительной полярности тока I_y и уменьшается при отрицательной.

Для дальнейшего увеличения коэффициента усиления магнитного усилителя в цепь каждой из рабочих обмоток W_p и W'_p вводят полупроводниковые диоды $VD1$ и $VD2$ противоположной полярности. В этом случае по каждой из рабочих обмоток протекает ток одного направления. Это вызывает дополнительное подмагничивание сердечников, уменьшение их магнитной проницаемости и увеличение тока нагрузки I_n , который складывается из токов I_1 и I_2 , протекающих по рабочим обмоткам W_p и W'_p . Здесь имеет место внутренняя положительная обратная связь по току нагрузки, так как с его увеличением магнитная проницаемость сердечников уменьшается, что приводит к дальнейшему росту тока нагрузки. Характеристика управления такого усилителя изобразится кривой Z (см. рис. 2.14, б), которая имеет несимметричный вид. Рабочую точку целесообразно выбирать на правой ветви, где динамический коэффициент усиления по току наибольший.

Для регулирования коэффициента усиления магнитного усилителя включается резистор RI , шунтирующий оба диода. Умень-

шение RI уменьшает коэффициент усиления магнитного усилителя. При $RI = 0$ от кривой Z переходим к кривой I , где отсутствует дополнительное подмагничивание от токов, протекающих по обмоткам W_p и W'_p .

Недостатком магнитных усилителей является их инерционность, определяемая в основном индуктивностью управляющей обмотки W_y .

Постоянная времени магнитных усилителей находится в пределах от тысячных долей секунды для быстродействующих магнитных усилителей и до нескольких секунд для мощных.

Наиболее широко магнитные усилители применяются в схемах управления электроприводом подъемных машин и экскаваторов.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем разница между электромеханическими и статическими электрическими аппаратами?
2. Для чего нужны контроллеры и командоконтроллеры? В чем их основное отличие?
3. Объясните принцип действия контроллера.
4. Как устроен контактор? Назовите его основные технические параметры.
5. Чем магнитный пускатель отличается от контактора?
6. Как работает тормозное устройство?
7. Объясните устройство и принцип действия электромагнитного реле.
8. Что такое характеристика управления реле?
9. Как устроены магнитоуправляемые герметизированные контакты?
10. Объясните принцип действия датчиков положения.
11. Какие аппараты называются исполнительными устройствами?
12. Как устроен электромагнитный клапан?
13. Для чего нужна и как устроена фрикционная электромагнитная муфта?
14. Что понимается под ферромагнитными элементами? Как устроен и работает магнитный усилитель?

Глава 3. СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

3.1. Общие сведения

Рассматриваемые в учебном пособии общепромышленные механизмы и электроприборы бытовой техники разнообразного исполнения рассчитаны на большой диапазон мощностей электроприводов (от долей ватта до десятков тысяч киловатт).

Уникальные по производительности промышленные установки: шахтные подъемные машины и экскаваторы в горнодобывающей промышленности, мощные строительные и монтажные краны, протяженные высокоскоростные конвейерные установки — оборудуются электрическими приводами, мощность которых составляет сотни и тысячи киловатт.

Источники питания таких электроприводов представляют собой генераторы и тиристорные преобразователи постоянного тока, тиристорные преобразователи частоты. Они обеспечивают широкие возможности регулирования потока электрической энергии, поступающей в двигатель, для управления движением электропривода и технологическим процессом приводимого в движение механизма. Их управляющие устройства, как правило, построены на основе использования микроэлектроники и микропроцессорной техники. Аналогичной техникой управления снабжаются и многие электроприводы малой мощности.

В общем курсе электропривода рассмотрены различные преобразовательные устройства и их регулировочные возможности.

В настоящей главе кратко рассмотрены некоторые системы вентильного электропривода, наиболее часто используемые в электроприводе общепромышленных механизмов.

3.2. Система тиристорный преобразователь — двигатель постоянного тока

В современных системах электропривода постоянного тока вместо генератора все чаще используются управляемые выпрямители, которые преобразуют электрическую энергию переменного тока в энергию постоянного тока. Основным типом управляемых выпрямителей, которые применяются в современной технике для

регулируемого электропривода, являются тиристорные преобразователи (ТП).

Принцип действия, свойства и характеристики электропривода постоянного тока при питании якоря двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) от ТП (система ТП—ДПТ) рассмотрим на примере схемы (рис. 3.1, а), в которой использован тиристорный управляемый выпрямитель (УВ). Схема включает в себя трехфазный согласующий трансформатор T , тиристорный преобразователь $ТП$, состоящий из шести тиристоров $VS1 \dots VS6$, сглаживающий реактор L , систему импульсно-фазового управления (СИФУ) тиристорами, электродвигатель M . Обмотка возбуждения $ОВМ$ ДПТ НВ питается от отдельного источника постоянного тока, например неуправляемого или управляемого выпрямителя.

$ТП$ обеспечивает регулирование напряжения на двигателе за счет изменения среднего значения электродвижущей силы (э.д.с.) преобразователя E_d . Напомним, что это достигается регулированием с помощью СИФУ угла управления тиристорами α , который задается с помощью напряжения управления U_y , подаваемого на вход СИФУ. Когда угол управления $\alpha = 0$, т. е. тиристоры $VS1 \dots VS6$ получают импульсы управления от СИФУ в момент их естественного открывания, к якорю двигателя прикладывается полное напряжение. Если с помощью СИФУ осуществлять подачу импульсов управления на тиристоры со сдвигом относительно их

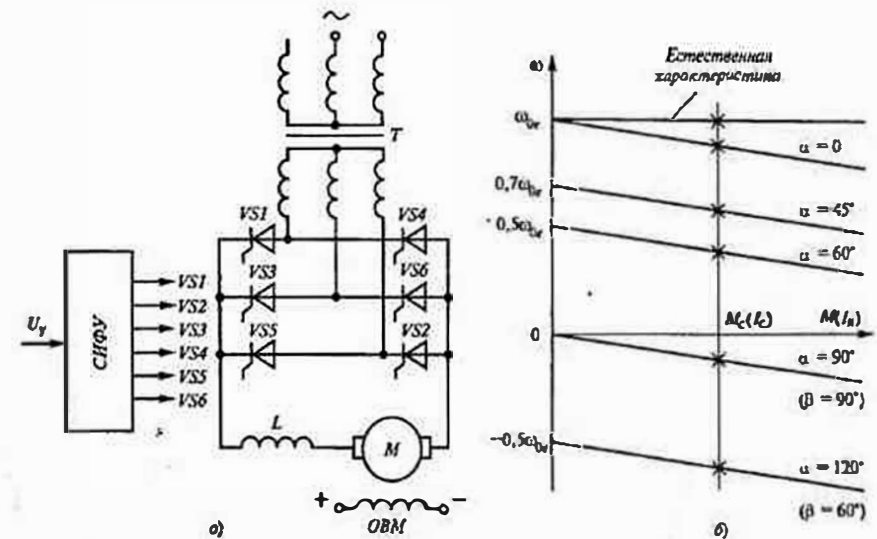


Рис. 3.1. Схема тиристорного электропривода постоянного тока (а) и его характеристики (б)

момента естественного открывания на угол α , то э.д.с. преобразователя и, соответственно, напряжение якоря ДПТ будут уменьшаться.

Ввиду пульсирующего характера э.д.с. преобразователя ток в цепи якоря также будет пульсирующим. Такой характер тока оказывает вредное воздействие на работу двигателя, приводя к ухудшению условий работы его коллектора, дополнительным потерям энергии и нагреву. Для уменьшения пульсаций тока в цепь якоря обычно включается сглаживающий реактор L , индуктивность которого выбирается в зависимости от допустимого уровня пульсаций тока.

Среднее значение выпрямленного напряжения при питании от ТП:

$$U_d = E_{d0} \cos \alpha, \quad (3.1)$$

где E_{d0} — среднее значение э.д.с. ТП при $\alpha = 0$.

Уравнение электромеханической характеристики ДПТ НВ:

$$\omega = \frac{U_{\text{я}}}{c} - \frac{I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{c}, \quad (3.2)$$

где ω — угловая скорость ДПТ, рад/с; $U_{\text{я}}$ — напряжение якоря электродвигателя, В; $I_{\text{я}}$ — ток в цепи обмотки якоря, А; c — электромеханический коэффициент, Вб; $R_{\text{я}}$ — сопротивление якоря, Ом, $R_{\text{я}} = r_{\text{о.я}} + r_{\text{д.п}} + r_{\text{к.о}} + r_{\text{ш}}$, состоит из сопротивления обмотки якоря $r_{\text{о.я}}$, добавочных полюсов $r_{\text{д.п}}$, компенсационной обмотки $r_{\text{к.о}}$ и щеточного контакта $r_{\text{ш}}$.

Уравнение механической характеристики ДПТ НВ имеет вид

$$\omega = \frac{U_{\text{я}}}{c} - \frac{MR_{\text{я}}}{c^2}, \quad (3.3)$$

где M — момент ДПТ, Н·м.

При питании от ТП напряжение якоря электродвигателя $U_{\text{я}}$ равно среднему значению выпрямленного напряжения U_d , а среднее значение выпрямленного тока I_d равно току якоря $I_{\text{я}}$. С учетом последнего после подстановки выражения (3.1) в формулы (3.2) и (3.3) получим следующие формулы для электромеханической и механической характеристик системы ТП—ДПТ:

$$\omega = \frac{E_{d0} \cos \alpha}{c} - I_{\text{я}} \frac{R_{\text{я}} + R_{\text{п}}}{c}, \quad (3.4)$$

$$\omega = \frac{E_{d0} \cos \alpha}{c} - M \frac{R_{\text{я}} + R_{\text{п}}}{c^2}, \quad (3.5)$$

где $R_{\text{п}}$ — эквивалентное внутреннее сопротивление ТП.

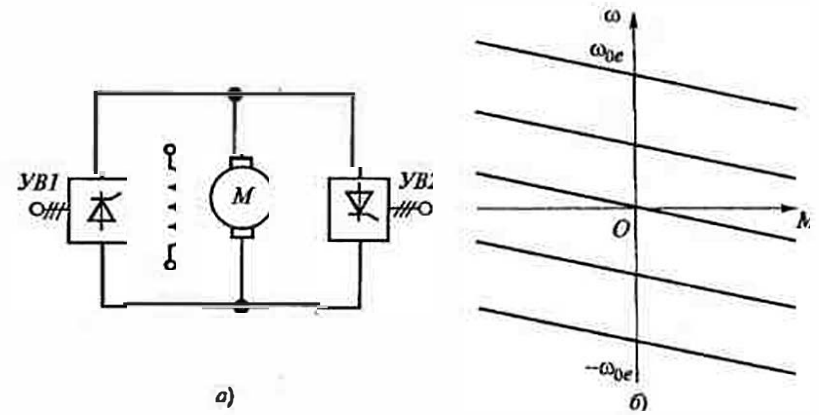


Рис. 3.2. Схема электропривода постоянного тока с реверсивным управляемым выпрямителем (а) и его характеристики (б)

По формулам (3.4) и (3.5) построены электромеханические и механические характеристики ДПТ при питании его от ТП (рис. 3.1, б). Они линейны и параллельны друг другу. Вследствие наличия внутреннего сопротивления ТП $R_{\text{п}}$ эти характеристики имеют больший наклон (меньшую жесткость), чем аналогичные естественные характеристики ДПТ НВ.

Меньшим углом управления α соответствует большая э.д.с. ТП U_d и более высокая скорость двигателя. При $\alpha = 90^\circ$ $U_d = 0$ и двигатель работает в режиме динамического торможения. При $\alpha > 90^\circ$ ТП переводится в инверторный режим работы. Машина постоянного тока в этом случае работает генератором, и энергия с вала электродвигателя возвращается обратно в сеть. Очевидно, что в этом случае момент сопротивления M_c должен быть активным, т. е. сообщать движение якорю ДПТ.

Вследствие односторонней проводимости преобразователя ток якоря не может изменить своего направления. Поэтому характеристики располагаются только в первом и четвертом квадрантах. Чтобы электропривод работал во всех четырех квадрантах, необходим реверсивный управляемый выпрямитель, состоящий из двух нереверсивных (рис. 3.2, а). Характеристики системы будут иметь вид, представленный на рис. 3.2, б.

Система ТП—ДПТ является основным видом высокоэффективного регулируемого электропривода постоянного тока и широко применяется для таких ответственных рабочих машин, как прокатные станы, металлорежущие станки, экскаваторы, буровые установки, подъемные машины и др.

3.3. Импульсное регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока

Регулирование напряжения на якоре двигателя можно осуществлять с помощью импульсного преобразователя, который периодически подключает якорь к источнику питания, а затем отключает от него. Схема системы импульсный регулятор напряжения (ИРН) — ДПТ НВ показана на рис. 3.3, а. В этой системе якорь двигателя с помощью коммутирующего ключа K периодически подключается к источнику постоянного напряжения. Роль ключа выполняют полупроводниковые приборы. Включение и отключение ключа осуществляются с помощью системы управления (СУ). В период включенного состояния ток якоря i_a равен току сети i_c , поступающему от источника питания через ключ K . Включенный параллельно якору диод VD в этот момент времени закрыт, так как его анод подключен к отрицательному напряжению источни-

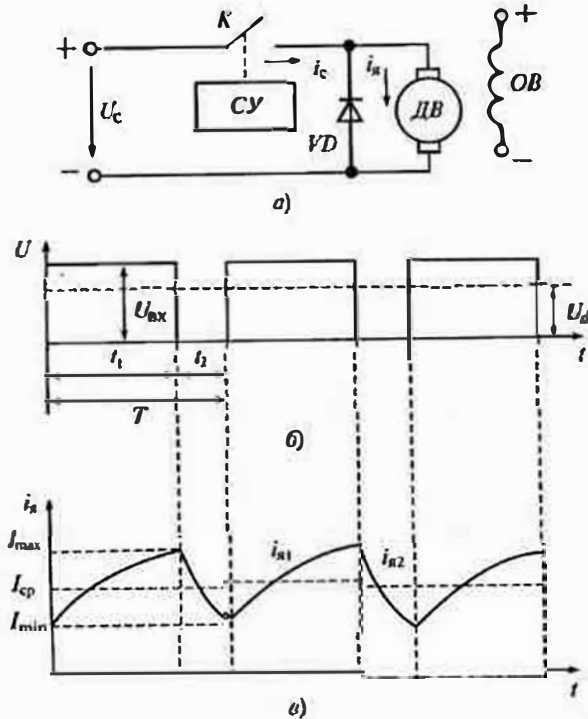


Рис. 3.3. Схема импульсного регулирования системы импульсный регулятор напряжения — ДПТ НВ (а), диаграмма напряжений (б) и диаграмма токов (в)

ка питания. После размыкания ключа K под действием э.д.с. самоиндукции в цепи якоря продолжает проходить ток, замыкаясь через диод VD , т. е. в этот период $i_a = i_{VD}$.

К якору двигателя подается импульсное напряжение, форма которого соответствует диаграмме, представленной на рис. 3.3, б. Диаграмма тока якоря показана на рис. 3.3, в. Диаграммы построены при условии, что коммутация ключа осуществляется мгновенно, т. е. цепи источника питания и диода не обладают индуктивностью.

Время замкнутого и разомкнутого состояний ключа можно изменять, воздействуя на него сигналами системы управления. Среднее значение напряжения на двигателе зависит от соотношения времени замкнутого и разомкнутого состояния ключа K .

Согласно определению среднего значения напряжения

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^{t_1} U_c(t) dt = U_c \frac{t_1}{T} = \gamma U_c$$

где t_1 — длительность импульса напряжения, т. е. проводящего состояния ключа; T — период следования импульсов напряжения; γ — коэффициент регулирования напряжения или относительная длительность импульса, определяемая как «скважность» импульса; $\gamma = t_1/T$.

Изменяя скважность γ , можно регулировать выходное напряжение двигателя. Регулирование напряжения за счет изменения скважности в данной схеме можно рассматривать как модуляцию входного напряжения ключом K . Возможны три способа модуляции входного напряжения:

широтно-импульсная модуляция (ШИМ), когда время t_1 переменное, а частота переключения ключа постоянная;

частотно-импульсная модуляция (ЧИМ), когда время t_1 постоянное, а частота переключения переменная;

широтно-частотная модуляция (ШЧМ), когда время t_1 и частота переменные.

Рассмотрим механические характеристики системы с импульсным регулированием напряжения при различных γ (рис. 3.4). Штриховой линией обозначена граница между квазиустановившимся режимом и режимом прерывистого тока.

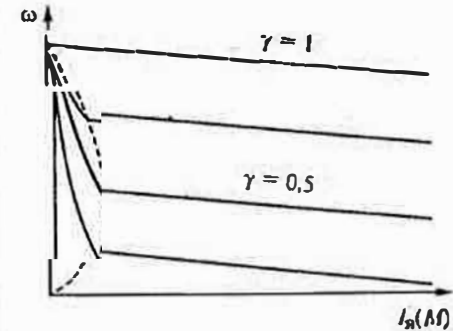


Рис. 3.4. Механические характеристики в системе с импульсным регулированием напряжения

Электроприводы с импульсным регулированием напряжения на якоре вследствие их относительной простоты и высокого быстродействия широко используются в различных отраслях промышленности и техники, в транспортных установках. Они особенно удобны при наличии сети постоянного тока или в автономных установках при питании привода от аккумуляторов.

3.4. Асинхронный электропривод с тиристорным регулятором напряжения

Изменение напряжения на зажимах обмотки статора асинхронного двигателя приводит к изменению максимального момента, тогда как критическое скольжение остается постоянным. Это следует из известных зависимостей:

$$M_{\max} = \frac{3U_{\Phi}^2}{2\omega_0 \left[r_1 \pm \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2} \right]}$$

$$S_k = \pm \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

Здесь r_1 и r_2' — соответственно активное сопротивление статора и приведенное сопротивление ротора; x_1 , x_2' — индуктивное сопротивление статора и приведенное сопротивление ротора; ω_0 — скорость идеального холостого хода асинхронного двигателя.

Регулирование напряжения на статоре не приводит к изменению скорости идеального холостого хода, так как:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p},$$

где f_1 — частота питающей сети; p — число пар полюсов.

По мере снижения напряжения статора угловая частота ротора при постоянном моменте сопротивления уменьшается. Однако, как уже отмечалось, снижается и максимальный момент двигателя, поэтому при постоянном моменте нагрузки диапазон регулирования скорости ограничен (рис. 3.5, а). В двигателях с повышенным активным сопротивлением ротора диапазон регулирования расширяется (рис. 3.5, б), однако потери в роторе при этом растут и КПД двигателя снижается, особенно при пониженных частотах вращения. Ухудшение режима работы двигателя объясняется тем, что при заданном скольжении ток двигателя пропорционален напряжению питания, а электромагнитный момент зависит от квадрата этого напряжения. Поэтому по мере снижения скорости от-

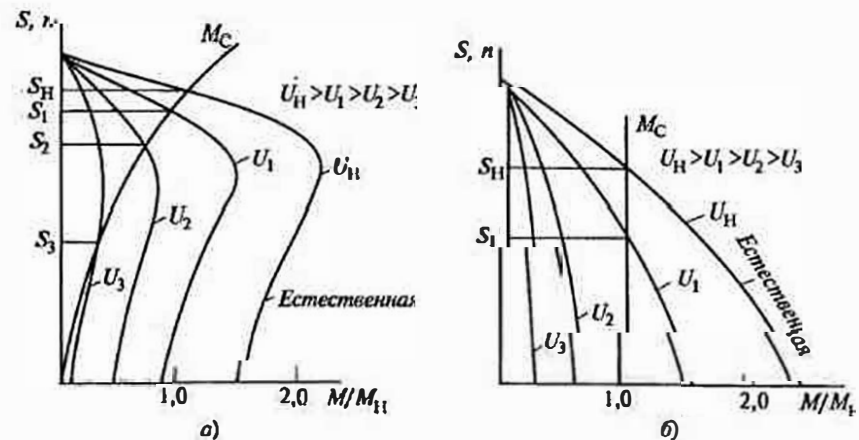


Рис. 3.5. Характеристики асинхронного двигателя при регулировании напряжения:

а — без добавочного сопротивления в роторе; б — с добавочным сопротивлением в роторе

ношение момента к току падает, и для получения сравнительно небольших моментов при низких скоростях требуются значительные токи. Однако при вентиляторном характере нагрузки момент изменяется пропорционально квадрату скорости. Следовательно, момент, требующийся при пуске и небольших угловых скоростях, мал и может быть получен без чрезмерного выделения тепла регулированием напряжения (см. рис. 3.5, а).

Приведенные сведения лежат в основе фазового регулирования. Для его осуществления между выводами статора и фазами сети включаются тиристорные регуляторы (рис. 3.6). Регулируя интервалы проводимости тиристоров в этой схеме, можно изме-

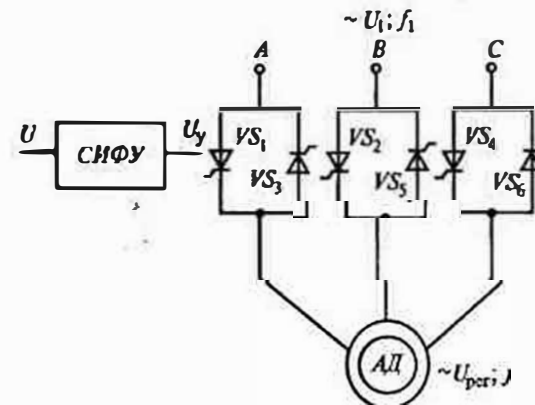


Рис. 3.6. Схема системы тиристорный регулятор напряжения — асинхронный двигатель (ТРН — АД)

нять действующее значение приложенного к двигателю напряжения. В каждую фазу трехфазного тиристорного регулятора включаются два тиристора по встречно-параллельной схеме, которая обеспечивает протекание тока в нагрузке в оба полупериода напряжения сети U_1 . Тиристоры получают импульсы управления U_2 от СИФУ, которая обеспечивает их сдвиг на угол управления α в функции внешнего сигнала управления U .

Рассмотрим принцип фазового регулирования на примере схемы однофазного однополупериодного выпрямителя (рис. 3.7, а). До тех пор пока тиристор не открыт, протекание тока в обоих направлениях блокируется. Если управляющий импульс U_2 подается в течение положительной полуволны анодного напряжения (рис. 3.7, б и в), то тиристор мгновенно отпирается и к нагрузке прикладывается напряжение питания U_1 в течение оставшейся части положительного полупериода (рис. 3.7, з). При чисто активной нагрузке формы кривых тока i_n и напряжения U_n совпадают, поэтому в конце положительного полупериода ток тиристора уменьшается до нуля, а напряжение питания изменяет свой знак. При индуктивном характере нагрузки после открывания тиристора ток нарастает постепенно (рис. 3.7, д); вместе с тем спалающий индуктивный ток удерживает тиристор в проводящем состоянии при $\omega t > \pi$. Затем под действием отрицательного напряжения ис-

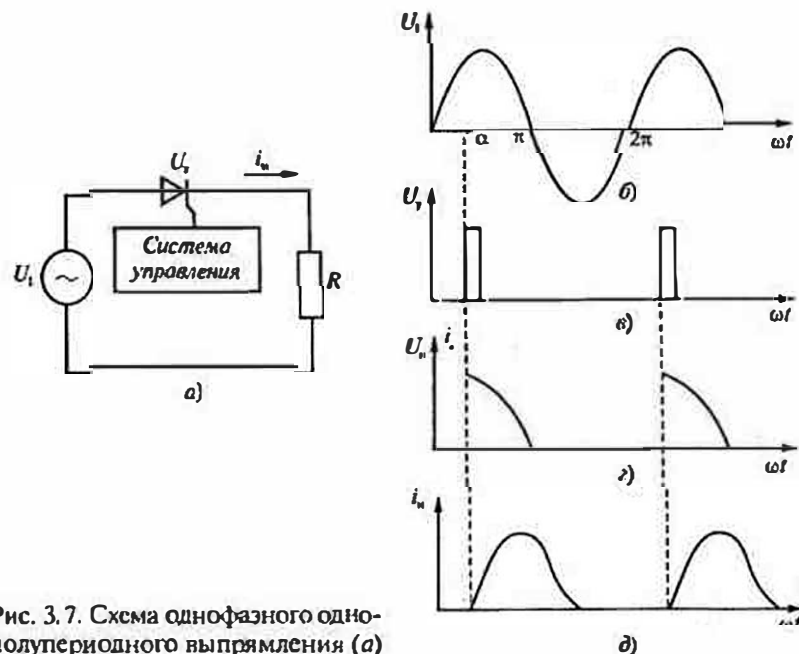


Рис. 3.7. Схема однофазного однополупериодного выпрямителя (а) и его характеристики (б, в, г, д)

точника ток уменьшается до нуля, тиристор запирается и к нему прикладывается обратное напряжение до конца отрицательного полупериода.

Если схему однополупериодного выпрямления дополнить тиристором, включенным параллельно имеющемуся, то обеспечивается прохождение тока в каждый полупериод. На схеме с двумя встречно-параллельно включенными тиристорами основана работа тиристорного регулятора напряжения (см. рис. 3.6).

Анализируя искусственные характеристики (см. рис. 3.5), можно сделать вывод, что изменением напряжения статора можно регулировать скорость в небольших пределах. Однако с уменьшением скорости увеличивается скольжение S и, как следствие, возрастают потери скольжения ΔP_2 в роторной цепи АД:

$$\Delta P_2 = M\omega_0 S,$$

где M — момент электродвигателя; ω_0 — скорость идеального холостого хода АД.

В случае применения короткозамкнутого АД потери скольжения выделяются внутри машины, в беличьей клетке. Электродвигатель при этом перегревается, что может привести к аварийной ситуации и преждевременному выходу его из строя.

Система ТРН—АД нашла широкое применение в связи с тем, что она позволяет обеспечивать плавный пуск и торможение электродвигателя, ограничивать пусковой момент и токи, изменять направление скорости АД. На базе ТРН реализуются тиристорные реверсивные и нереверсивные контакторы для пуска, реверса и торможения АД.

На практике система ТРН—АД применяется в качестве регулируемого электропривода насосных и вентиляторных установок. Это объясняется тем, что снижение скорости электропривода приводит к резкому уменьшению момента сопротивления этих механизмов. Тем самым становится возможным регулировать скорость АД в области допустимых потерь энергии. Это обстоятельство позволяет создать простую и относительно недорогую систему регулируемого электропривода насосов и вентиляторов.

3.5. Частотный вентиляльный асинхронный электропривод

Регулирование скорости асинхронного электродвигателя изменением частоты питающего напряжения наиболее перспективно и широко используется в настоящее время. Принцип его заключается в том, что изменяя f_1 напряжения на статоре АД, можно изменять скорость идеального холостого хода ω_0 :

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$$

Регулируя f_1 , можно получать различные искусственные характеристики. Частотный способ обеспечивает плавное регулирование скорости в широком диапазоне, высокую жесткость получаемых механических характеристик. Регулирование скорости АД не сопровождается увеличением его скольжения. Поэтому потери мощности при регулировании скорости оказываются небольшими.

Пренебрегая падением напряжения в первичной цепи, можно записать, что напряжение сети уравнивается э.д.с. двигателя:

$$U_1 = E = \sqrt{2\pi} (W_1 K_o) f_1 \Phi,$$

где W_1 — число витков фазы обмотки статора; K_o — обмоточный коэффициент; Φ — магнитный поток в воздушном зазоре АД.

Из последнего выражения следует, что при изменении частоты с целью регулирования скорости равновесие э.д.с. и напряжения сети может быть сохранено только за счет увеличения магнитного потока двигателя. При этом магнитная цепь будет насыщаться, а ток статора интенсивно нарастать по нелинейному закону. Поэтому работа АД в режиме частотного управления при неизменном напряжении оказывается невозможной. Чтобы сохранить неизменным магнитный поток при уменьшении частоты, необходимо одновременно снижать и величину напряжения. Закон изменения напряжения определяется характером зависимости момента сопротивления от скорости.

При постоянном моменте нагрузки $M_c = \text{const}$ напряжение на статоре должно регулироваться пропорционально его частоте:

$$U_1/f_1 = \text{const.}$$

Для момента сопротивления, пропорционального квадрату скорости электродвигателя $M_c = c\omega^2$, это соотношение примет вид

$$U_1/f_1^2 = \text{const.}$$

При моменте сопротивления, обратно пропорциональном скорости $M_c = c/\omega$, оно запишется в виде

$$U_1/\sqrt{f_1} = \text{const.}$$

Для реализации частотного способа регулирования скорости АД используются тиристорные преобразователи частоты (ТПЧ) (рис. 3.8, а).

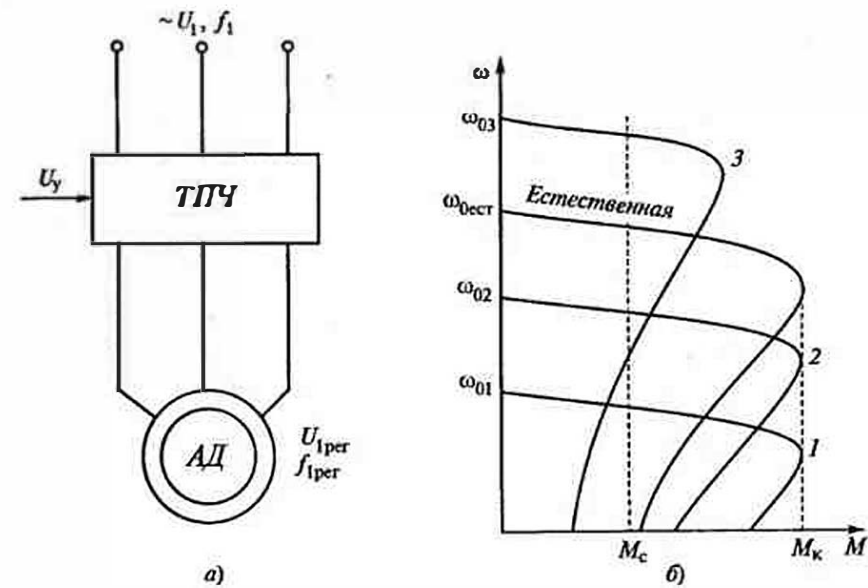


Рис. 3.8. Схема системы ТПЧ–АД (а) и ее характеристики (б)

На вход ТПЧ подается стандартное напряжение сети U_1 (220, 380 В и т. д.) промышленной частоты $f_1 = 50$ Гц, а с его выхода снимается переменное напряжение $U_{1\text{per}}$ регулируемой частоты $f_{1\text{per}}$, значения которых находятся между собой в определенных соотношениях в зависимости от вида функции $M_c = f(\omega)$. Выходная частота и напряжение регулируются с помощью напряжения управления U_y , изменение которого определяет изменение частоты и тем самым скорости АД.

Механические характеристики АД при его управлении по закону $U_1/f_1 = \text{const}$ представлены на рис. 3.8, б: характеристика 1, 2 — для частот $f_{1\text{per}} < f_1$, характеристика 3 — для $f_{1\text{per}} > f_1$.

Существуют преобразователи частоты двух основных типов: преобразователи с промежуточным звеном постоянного тока и преобразователи с непосредственной связью питающей сети и цепей нагрузки.

В случае применения ТПЧ с непосредственной связью частота на статоре АД не должна превышать 15 ... 20 Гц. При более высоких частотах вследствие наличия высших гармоник в выходном напряжении ТПЧ с непосредственной связью возможны большие потери энергии и нарушение нормальной работы АД. Следовательно, в данном случае регулирование скорости АД возможно только в области ее малых значений.

ТПЧ со звеном постоянного тока позволяет плавно регулировать скорость АД не только ниже основной, но и выше.

Существующие схемы ТПЧ позволяют электроприводу работать во всех четырех квадрантах, т. е. возможны все виды электрических режимов. Частотное управление является экономичным, так как обеспечивает регулирование скорости АД без больших потерь мощности в роторной цепи, ухудшающих КПД электропривода, а потери в ТПЧ относительно малы. Регулирование скорости в системе ТПЧ—АД плавное, в широком диапазоне. Механические характеристики имеют высокую жесткость, АД сохраняет свою перегрузочную способность.

В силу отмеченных преимуществ система ТПЧ—АД находит в настоящее время все большее применение. Она может использоваться в качестве привода подъемных машин, буровых станков, экскаваторов, т. е. там, где нужно плавное и экономичное регулирование скорости. Особенно перспективно применение системы ТПЧ—АД в качестве привода турбомашин средней и большой мощности, так как отсутствие дополнительных потерь дает большую экономию электроэнергии при регулировании их производительности.

3.6. Асинхронный электропривод с импульсным регулированием добавочного сопротивления

При импульсном регулировании скорости АД с коммутацией в цепи фазного ротора возможно включение тиристоров как в цепь переменного тока, так и в цепь выпрямленного тока. Преимуществом включения тиристоров в цепь выпрямленного тока является меньшее их количество, значительное упрощение схемы управления. Поэтому наибольший интерес представляют собой схемы с изменением сопротивления импульсным методом в цепи выпрямленного тока ротора. По существу имеет место реостатное регулирование, отличающееся от обычного высокой плавностью, большим диапазоном регулирования в замкнутых системах, высоким быстродействием и возможностью получения характеристик желаемой формы.

Рассмотрим схему, позволяющую изменять сопротивление в цепи выпрямленного тока ротора импульсным методом (рис. 3.9, а).

Дополнительный резистор R_d включен в роторную цепь через неуправляемый выпрямитель. Для уменьшения пульсаций выпрямленного тока последовательно с резистором включен реактор L . Параллельно резистору включен управляемый ключ (коммутатор) K . Основным элементом ключа является тиристор T . Управление ключом осуществляется с помощью специального блока управления БУ, который включает и выключает тиристор T . При

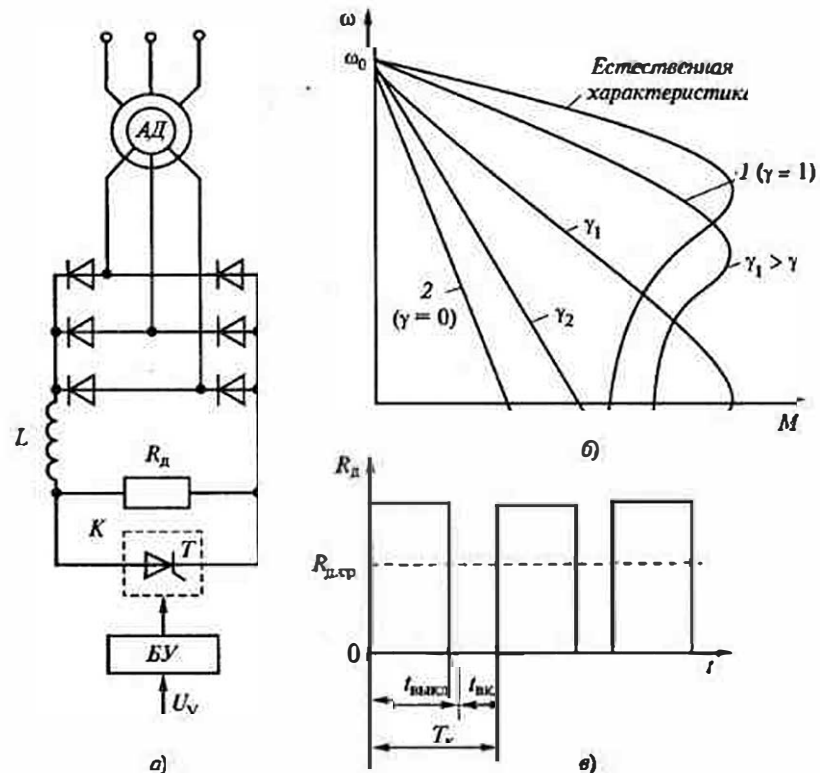


Рис. 3.9. Схема импульсного регулирования добавочного резистора в цепи ротора асинхронного двигателя (а) и его характеристики (б, в)

подаче сигнала управления на тиристор T он открывается и замыкает накоротко резистор R_d . Сопротивление $R_d = 0$, и двигатель работает на характеристике 1 (рис. 3.9, б), близкой к естественной. Различие характеристик объясняется дополнительным падением напряжения в роторной цепи за счет наличия выпрямителя и управляемого ключа. Если тиристор закрыт, то двигатель работает на искусственной характеристике 2, соответствующей случаю включения в каждую фазу ротора добавочного резистора.

Рассмотрим случай периодического включения и отключения тиристора. Коммутация ключа K обычно осуществляется таким образом, что период коммутации T_c остается неизменным, а изменяется лишь соотношение времени выключенного $t_{\text{выкл}}$ и включенного $t_{\text{вкл}}$ состояния тиристора T . При этом сопротивление резистора R_d изменяется в соответствии с диаграммой (рис. 3.9, в). Такое изменение сопротивления R_d во времени эквивалентно тому, что в роторную цепь включен добавочный резистор, сопротивле-

ние которого равно среднему значению сопротивления R_{κ} за период T_{κ} :

$$R_{\kappa, \text{ср}} = \frac{R_{\kappa} t_{\text{пл.кл}}}{T_{\kappa}} = R_{\kappa} (1 - \gamma),$$

где $\gamma = t_{\text{вкл}} / T_{\kappa}$ — относительное время включения ключа при его периодической коммутации, называемое также скважностью коммутации.

Таким образом, изменяя относительное время включения ключа при периодической его коммутации, можно изменять эквивалентное добавочное сопротивление в цепи от нуля при $\gamma = 1$ или $t_{\text{вкл}} = T_{\kappa}$ до R_{κ} при $\gamma = 0$ или $t_{\text{вкл}} = 0$. Это позволяет получить семейство механических характеристик асинхронного электропривода при разных значениях скважности γ , которые располагаются между граничными характеристиками 1 и 2, соответствующими $\gamma = 1$ и $\gamma = 0$ (см. рис. 3.9, б).

Недостатком импульсного регулирования сопротивления, так же как и ступенчатого, является увеличение потерь энергии в электродвигателе по мере снижения скорости. Поэтому рассматриваемый способ регулирования добавочного сопротивления рекомендуется применять в электроприводах тех механизмов, где необходимы плавный пуск, а также регулирование скорости в малых пределах. К таким механизмам относятся, например, конвейерные установки.

3.7. Асинхронный вентильный каскад

В электроприводах, где применяется асинхронный электродвигатель с фазным ротором, возможно регулирование скорости изменением добавочного сопротивления, включенного в роторную цепь. Электромагнитная мощность $P_{\text{эм}}$, подведенная к ротору через воздушный зазор машины, делится на две части: механическую $P_{\text{мех}}$ на валу двигателя и мощность ΔP_2 , выделяющуюся в обмотке ротора. Запишем известные соотношения

$$\Delta P_2 = S P_{\text{эм}}; P_{\text{мех}} = (1 - S) P_{\text{эм}},$$

где $P_{\text{эм}}$ — электромагнитная мощность двигателя, $P_{\text{эм}} = M \omega_0$; M — электромагнитный момент двигателя; ω_0 — синхронная угловая скорость; S — скольжение асинхронного двигателя.

Потери мощности в роторе могут быть весьма значительны. Пусть диапазон регулирования скорости $D = 2:1$, момент электродвигателя постоянен и равен номинальному. Тогда при скольжении $S = 0,5$, что соответствует половине синхронной скорости, потери мощности в роторе

$$\Delta P_2 = M_{\text{ном}} \omega_0 S = 0,5 P_{\text{ном}}$$

где $\omega_0 = \omega_{\text{ном}}$.

Следовательно, потери мощности могут составлять половину от номинальной мощности электродвигателя $P_{\text{ном}}$. При увеличении диапазона регулирования скорости эти потери возрастают еще больше; при низких угловых скоростях электродвигателя мощность почти полностью рассеивается в цепи ротора, поэтому КПД двигателя в этом случае очень мал. Таким образом, регулирование скорости изменением сопротивления ротора связано с большими потерями.

Мощность скольжения, выделяющуюся в роторе, можно полезно использовать. Схемы, полезно использующие мощность скольжения асинхронного электродвигателя с фазным ротором путем отдачи ее в сеть или на вал электродвигателя, называются *каскадными*.

В настоящее время в связи с широким распространением силовых тиристорных преобразователей все большее применение находит так называемый асинхронный вентильный каскад (АВК) (рис. 3.10, а). К обмотке ротора $\mathcal{A}\mathcal{L}$ подключен неуправляемый выпрямитель \mathcal{B} , собранный по трехфазной мостовой схеме, который выпрямляет напряжение ротора. Выпрямленное напряжение подается на ведомый сеть инвертор $\mathcal{И}$, преобразующий энергию постоянного тока в энергию переменного тока с частотой сети. Изменением угла опережения β тиристоров инвертора можно регулировать э.д.с. инвертора. Трансформатор \mathcal{T} служит для согласования напряжения ротора с напряжением сети. Для сглаживания пульсаций выпрямленного тока в схему включен реактор \mathcal{L} . Таким образом, мощность скольжения через сглаживающий реактор подводится к тиристорному инвертору, который возвращает ее в цепь переменного тока. Регулирование э.д.с. инвертора приводит к изменению потока энергии от ротора $\mathcal{A}\mathcal{L}$ в сеть и, как следствие, к изменению скорости электропривода. В соответствии со схемой замещения (рис. 3.10, б) для цепи выпрямленного тока ротора

$$E_{d\text{в}} - E_{d\text{и}} = I_d R_{\Sigma} + \Delta U_{\text{в}} + \Delta U_{\text{и}}$$

где $E_{d\text{и}} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E_{2\text{к}} S$ — э.д.с. трехфазного мостового выпрямителя;

$E_{d\text{в}} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_2 \cos \beta$ — э.д.с. трехфазного мостового инвертора; $E_{2\text{к}}$ — действующее значение линейной э.д.с. на кольцах неподвижного ротора $\mathcal{A}\mathcal{L}$ ($S = 1$); U_2 — действующее значение вторичного линейного напряжения трансформатора; β — угол опережения инвертора; $\Delta U_{\text{в}}$ и $\Delta U_{\text{и}}$ — падение напряжения соответственно в диодах

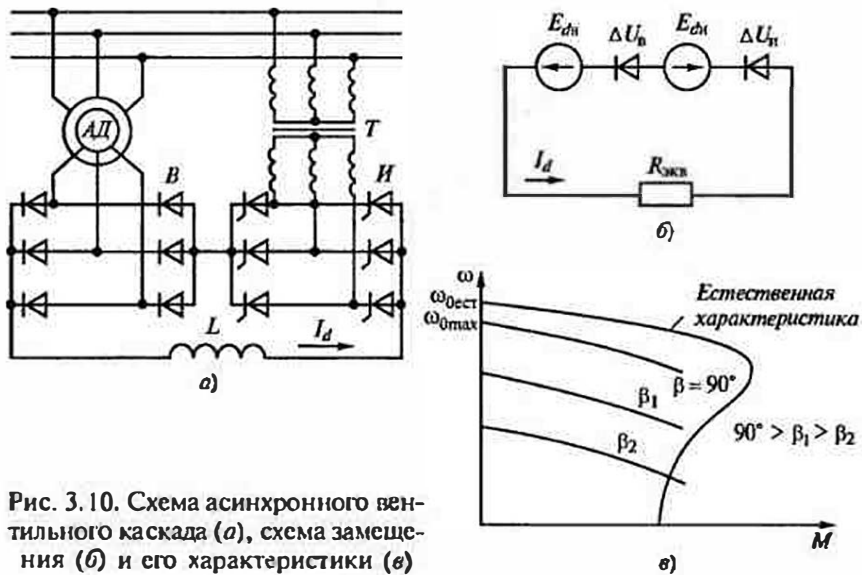


Рис. 3.10. Схема асинхронного вентильного каскада (а), схема замещения (б) и его характеристики (в)

выпрямителя и тиристорах инвертора; I_d — выпрямленный ток; R_3 — эквивалентное сопротивление цепи выпрямленного тока.

$$R_3 = \frac{3x_p}{\pi} S + \frac{3x_r}{\pi} + 2r_p + r_{c.p} + 2r_r,$$

где x_p , x_r — индуктивные сопротивления фазы ротора АД и трансформатора Т; r_p , r_r , $r_{c.p}$ — соответственно активные сопротивления фазы ротора АД, трансформатора и сглаживающего реактора. Выпрямленный ток

$$I_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E_{2к} S - \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_2 \cos \beta - \Delta U_n \Delta U_{н} R_3$$

Пусть двигатель работает в установившемся режиме с определенными скоростью и нагрузкой. При увеличении угла опережения β уменьшается э.д.с. инвертора $E_{дн}$ и возрастает выпрямленный ток I_d . Следовательно, увеличивается ток ротора и соответственно момент электродвигателя, который становится больше статического момента нагрузки. Скорость электропривода начинает возрастать. С ростом скорости снижается скольжение S и вместе с ним э.д.с. выпрямителя $E_{н}$. Это приводит к уменьшению тока I_d , тока ротора и момента электродвигателя. Когда момент электро-

двигателя снова станет равен нагрузочному, наступит новый установившийся режим при большем значении скорости.

Рассуждая аналогично, можно показать, что уменьшение угла опережения β приводит к уменьшению скорости электропривода. Таким образом, изменяя угол опережения β инвертора, можно регулировать скорость АД.

Меньшая жесткость характеристик АВК (рис. 3.10, в) по сравнению с естественной характеристикой асинхронного электродвигателя объясняется дополнительными падениями напряжения в выпрямителе, инверторе, трансформаторе, что учитывается эквивалентным сопротивлением R_3 . Скорость АВК максимальна при $\beta = 90^\circ$ и составляет 90 ... 95 % от синхронной ω_0 . Это объясняется наличием падений напряжений ΔU_n в диодах выпрямителя и $\Delta U_{н}$ в тиристорах инвертора. АВК целесообразно применять, когда диапазон регулирования скорости не превышает значения $D = 2 : 1$. Это — электроприводы мощных вентиляторов, насосов, компрессоров.

Контрольные вопросы и задания

1. Напишите уравнение электромеханической и механической характеристик ДПТ при его питании от ТП. Нарисуйте графики этих характеристик при разных углах управления ТП.
2. Что необходимо сделать, чтобы электропривод постоянного тока при питании от ТП работал во всех четырех квадрантах?
3. Как работает система ТРН—АД?
4. Нарисуйте схему ТРН—АД. Как будут изменяться механические характеристики при изменении угла управления ТРН?
5. В каких пределах может изменяться момент сопротивления на валу электродвигателя в системе ТРН—АД?
6. Каким образом должно изменяться напряжение на статоре АД в случае изменения частоты при различных моментах сопротивления?
7. Какие механические характеристики имеет АД при частотном регулировании, если момент сопротивления не зависит от скорости?
8. Какой вид имеют механические характеристики АД с импульсным регулированием добавочного резистора при разных значениях скважности коммутации тиристора?
9. Объясните принцип действия АВК.
10. В каких механизмах выгодно применять АВК? Почему?
11. Почему потери энергии при частотном регулировании скорости АД существенно меньше, чем при регулировании скорости АД изменением напряжения на статоре либо добавочного сопротивления в роторе?

Глава 4. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

4.1. Общие сведения

Механизация и автоматизация производственных процессов промышленных предприятий связаны не только с выполнением главных технологических операций, но и со вспомогательными операциями по транспортировке сырья, готовой продукции и топлива, которые осуществляются во многих случаях электрическими кранами.

Современное жилищное и промышленное строительство немислимы без применения мощных грузоподъемных средств. С начала закладки фундамента и до окончания завершения строительства при любом технологическом способе возведения здания грузоподъемные механизмы осуществляют подачу к месту монтажа строительных деталей и узлов, различных материалов и механизмов, уборку мусора и т. д.

Электрические краны различных конструкций встречаются почти во всех отраслях народного хозяйства. В цехах металлургических и машиностроительных заводов работают мостовые краны, на рудных дворах заводов и угольных складах электростанций — порталные и козловые перегрузочные краны, на строительстве — башенные, кабельные и т. д. Кроме стационарных кранов, работающих в пределах определенной территории, большое значение, особенно в городском и транспортном хозяйстве, имеют передвижные краны: автомобильные, гусеничные, мостовые, железнодорожные и плавучие. Каждый из указанных типов включает в себя немало конструктивных модификаций. Так, например, мостовые краны бывают крюковые или, как их иногда называют, нормальные, рейферные, магнито рейферные, посадочные, клещевые и т. д.

Специфика цеха или предприятия и их технология определяют в основном конструктивный вид установленного крана. Однако большинство узлов кранового оборудования, особенно связанных с механизмами подъема и передвижения, выполняется однотипным для многих конструктивных вариантов кранов.

Электрическое оборудование кранов должно обеспечивать надежную работу при повторно-кратковременном режиме и большой частоте включения в условиях запыленности помещений, высокой влажности воздуха, резких изменениях температуры. В то

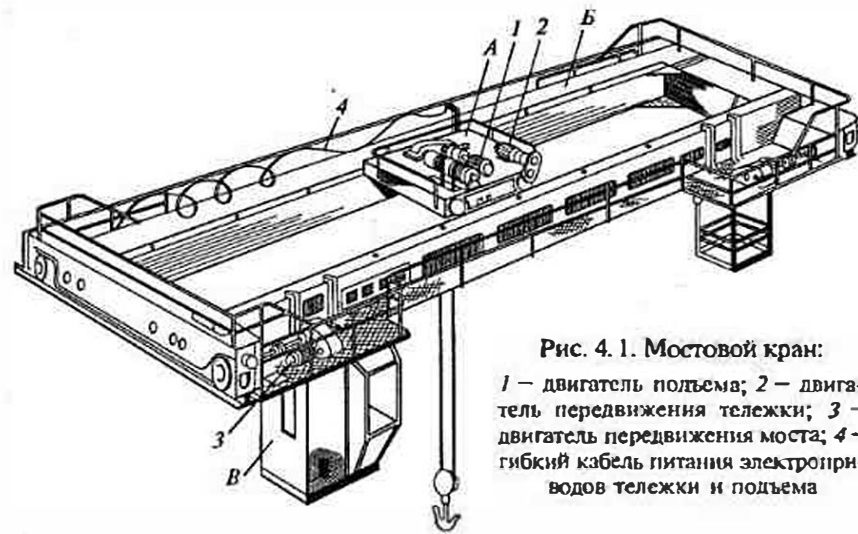


Рис. 4.1. Мостовой кран:

1 — двигатель подъяема; 2 — двигатель передвижения тележки; 3 — двигатель передвижения моста; 4 — гибкий кабель питания электроприводов тележки и подъяема

же время электрооборудование должно отвечать жестким требованиям бесперебойности в работе, высокой производительности, безопасности обслуживания и простоты эксплуатации.

Наибольшее распространение на промышленных предприятиях получили мостовые краны (рис. 4.1). Основными узлами механического оборудования крана являются тележка А (рис. 4.2) с подъемным крюком, которая перемещается по колес мостового пролета Б. Управление движением тележки, моста и подъяема осуществляется из кабины В. С помощью мостового крана могут быть осуществлены операции подъяема и опускания груза, а также перемещение его вдоль и поперек рабочего пролета. На многих кранах в качестве грузозахватывающего устройства используются электромагниты.

Унифицированное механическое оборудование позволяет устанавливать тележку на соответствующем кране вместо крюковой или рейферной тележки. Для питания подъемного электромагнита в этом случае используется электромагнитный преобразовательный агрегат.

Основными параметрами кранов являются грузоподъемность (масса груза, поднимаемого краном) и номинальная скорость движения рабочих органов.

Номинальная грузоподъемность, т, серийных крановых установок:

Электрическая таль	0,25 ... 5
Кран: мостовой	1 ... 500
перегрузочный порталный	5 ... 32
козловой	3 ... 32
строительный башенный	4 ... 50
Перегрузатель	16 ... 40

Номинальные скорости крановых установок приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Номинальные скорости крановых установок

Крановая установка	Скорость			
	подъема, м/с	передвижения крана, м/с	передвижения тележки, м/с	поворота, об/мин
Кран-балка, электроталь	0,1 ... 0,15	0,4 ... 1,0	0,1 ... 0,7	—
Кран:				
мостовой	0,1 ... 0,4	0,4 ... 2,5	0,3 ... 0,7	—
козловой	0,1 ... 0,4	0,5 ... 2,0	0,3 ... 1,3	—
перегрузочный	1,0 ... 1,25	0,5 ... 0,7	—	1,3 ... 1,7
портальный				
строительный	0,1 ... 1,0	0,2 ... 0,7	0,4 ... 0,8	0,2 ... 0,8
башенный				
Перегрузатель	0,4 ... 1,4	0,5 ... 1,0	1,3 ... 3,0	—

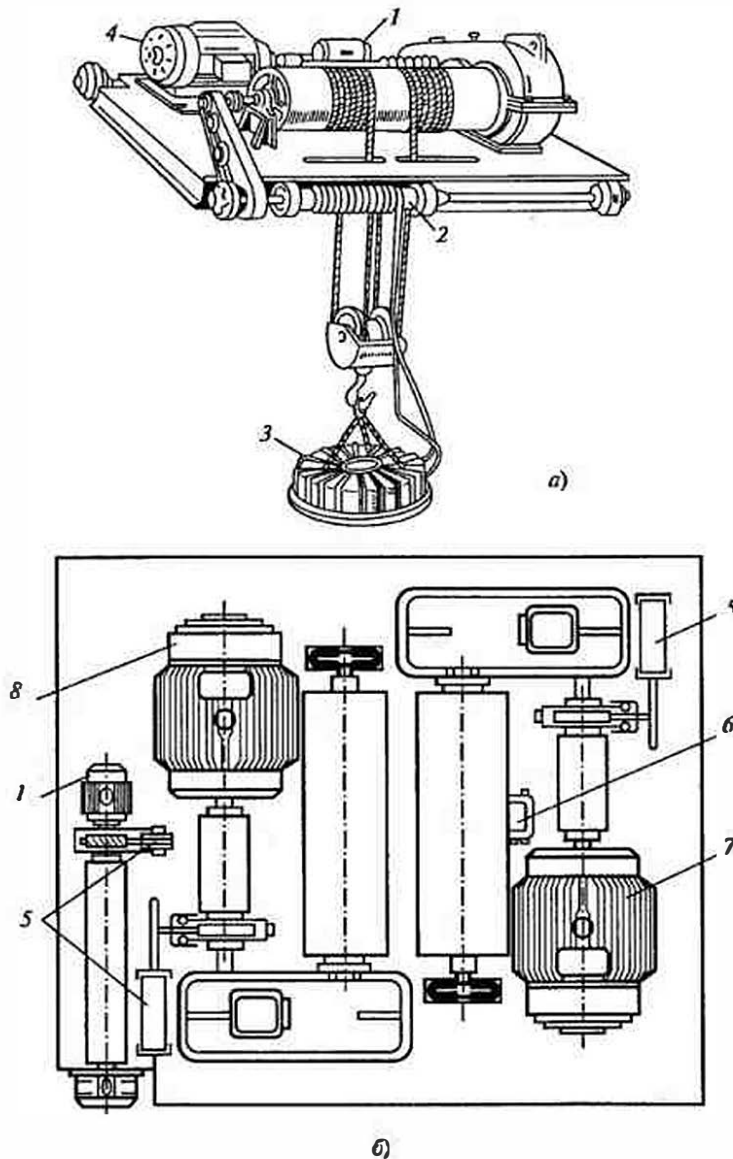


Рис. 4.2. Тележка с подъемным электромагнитом (а) и эскиз расположения оборудования на грейферной тележке (б):

1 — двигатель передвижения тележки; 2 — кабельный барабан; 3 — подъемный электромагнит; 4 — двигатель подъемного механизма; 5 — тормозные электромагниты; 6 — конечный выключатель подъема; 7, 8 — двигатели подъема и закрывания грейфера

Для крановых механизмов применяют ручной, электрический, гидравлический и пневматический приводы. Преимущественное распространение имеет электрический привод.

Рассмотрим основные требования к электрооборудованию кранов. На механизмах подъема и передвижения устанавливаются ограничители хода, воздействующие на электрическую цепь управления. Конечные выключатели механизма подъема ограничивают ход захватывающего устройства вверх, движение вниз не ограничивается. На механизмах передвижения моста и тележки должны быть установлены конечные выключатели, ограничивающие ход механизмов в обе стороны. При наличии двух мостов и более на одном подкрановом пути, равно как и двух тележек на одном мосту, должны быть установлены конечные выключатели, предотвращающие столкновение механизмов.

Электрические цепи и двигатели защищаются максимальными токовыми реле от коротких замыканий и перегрузки свыше 200 % номинальной. Тепловая защита в крановых установках не применяется, так как двигатели, работающие на кранах, рассчитаны на повторно-кратковременный режим и значительные перегрузки, при которых тепловая защита может дать ложное отключение. В схеме управления краном должна быть предусмотрена нулевая

защита, предохраняющая двигатели от самозапуска при подаче напряжения после перерыва в электроснабжении.

В целях безопасности обслуживания на люке для выхода из кабины на мост или дверях для выхода с подкрановых путей на мост должны быть установлены блокировочные контакты, снимающие напряжение с контактных проводов при открывании люка или двери. На магнитных и магнитографических кранах в виде исключения напряжение остается на проводах, питающих электромагнит. Все крановые механизмы должны быть снабжены тормозами, подъемные механизмы — обязательно автоматическими тормозами закрытого типа, действующими при отключении питания. Между тормозом и рабочим органом должна быть жесткая связь. Краны, работающие вне помещений, должны быть снабжены противотонными средствами. Кроме того, на мощных перегружательных и мостовых кранах должна быть установлена аппаратура, предотвращающая перекося фермы моста сверх допустимых пределов.

Требования к монтажу и размещению электрооборудования крана заключаются в основном в том, чтобы рубильники или автоматы питания главных контактных проводов были установлены в закрытом шкафу, смонтированном на территории, удобной для обслуживания. Шкаф во время работы не запирается. Монтаж проводов на кране для предотвращения механических повреждений и вредных воздействий смазочных материалов выполняется чаще всего в стальных тонкостенных трубках или бронированным кабелем.

Основными параметрами, определяющими выбор электропроводов крановых механизмов, являются: грузоподъемность и скорость движения, конструктивные данные и масса механического оборудования, диапазон регулирования скорости и необходимая жесткость характеристик при выполнении рабочих операций, особенно при посадке грузов. Кроме того, должны быть известны число включений в час и их продолжительность, использование по грузоподъемности и времени, а также условия окружающей среды, в которых работает кран и находится электрооборудование.

4.2. Статические нагрузки двигателей основных механизмов кранов

Мощность и момент нагрузки двигателя подъемной лебедки в статическом режиме работы подъема груза могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$P = \frac{(G + G_0)v}{\eta} \cdot 10^{-3}, \quad (4.1)$$

$$M = \frac{(G + G_0)D}{2i\eta}, \quad (4.2)$$

где P — мощность на валу двигателя, кВт; G — сила, необходимая для подъема груза, Н; G_0 — сила для подъема захватывающего приспособления, Н; v — скорость подъема груза, м/с; M — момент на валу двигателя, Н·м; D — диаметр барабана подъемной лебедки, м; η — КПД подъемного механизма; i — передаточное отношение редуктора и полиспаста.

В режиме спуска двигатель развивает мощность, равную разности мощности трения $P_{тр}$ и мощности, обусловленной действием силы тяжести опускающегося груза $P_{г}$:

$$P = P_{г} - P_{тр}. \quad (4.3)$$

При опускании средних и тяжелых грузов энергия направляется с вала механизма к двигателю, так как $P_{г} > P_{тр}$ (тормозной спуск). При этом мощность на валу двигателя

$$P = (G + G_0)v\eta \cdot 10^{-3} \quad (4.4)$$

При опускании средних грузов или пустого крюка возможны случаи, когда $P_{г} < P_{тр}$. При этом двигатель работает с движущимся моментом (силовой спуск) и развивает мощность

$$P = P_{тр} - (G + G_0)v \cdot 10^{-3} \quad (4.5)$$

При расчетах следует помнить, что величина КПД механизма зависит от нагрузки (рис. 4.3).

Мощность и момент на валу двигателей механизмов горизонтального перемещения в статическом режиме:

$$P = \frac{K(G + G_1)(\mu r + f)v}{R\eta} \cdot 10^{-3} \quad (4.6)$$

$$M = \frac{K(G + G_1)(\mu r + f)}{i\eta}, \quad (4.7)$$

где P — мощность на валу двигателя, кВт; M — момент на валу двигателя механизма передвижения, Н·м; G — масса перемещаемого груза, Н; G_1 — вес механизма передвижения, Н; r — радиус шейки оси колеса, с; μ — коэффициент трения скольжения; f — коэффициент трения качения; v — скорость движения, м/с; R — радиус колеса, м; η — КПД механизма передвижения; K — коэф-

фицент, учитывающий трение реборд колес о рельсы; i — передаточное отношение редуктора механизма передвижения.

На некоторых подъемно-транспортных механизмах передвижение осуществляется не по горизонтальному направлению. Возможно также действие ветровой нагрузки и т. п. Тогда формула мощности может быть представлена в общем виде

$$P = \left[\frac{K(G + G_1)(\mu r + f)v \cos \alpha}{R \eta} + \frac{(G + G_1)v \sin \alpha}{\eta} + \frac{FSv}{\eta} \right] \cdot 10^{-3}, \quad (4.8)$$

где α — угол наклона направляющих к горизонтальной плоскости; F — удельная ветровая нагрузка, Н/м²; S — площадь, на которую действует давление ветра под углом 90°, м².

В формуле (4.8) первое слагаемое характеризует мощность на валу двигателя, необходимую для преодоления силы трения при горизонтальном передвижении, второе слагаемое соответствует мощности подъема, третье является составляющей мощности от ветровой нагрузки. Если ветровая нагрузка равна нулю, то при $\alpha = 0$ получим выражение для мощности, соответствующее формуле (4.6), при $\alpha = 90^\circ$ — формуле (4.1).

Существуют подъемные краны, имеющие платформу с рабочим оборудованием, вращающимся относительно неподвижной базы. На основании формулы (4.6) определяется мощность на преодоление сил трения, затем изменение нагрузки при работе на уклоне. Ветровая нагрузка поворотных механизмов определяется с

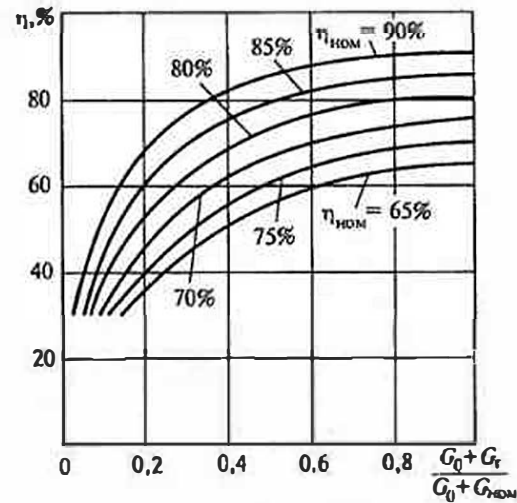


Рис. 4.3. Зависимости КПД механизма от нагрузки

учетом разности сил ветра, действующих на груз, стрелу крана и противовес.

Для всех типов механизмов должны ограничиваться ускорения, что обусловлено как особенностями технологических процессов, так и необходимостью обеспечения нормальной работы самих крановых установок. Поэтому при проектировании электроприводов крановых механизмов по окончании выбора двигателя исходя из статической нагрузки и характера переключений в схе-

ме управления осуществляется проверка электропривода по допустимым значениям ускорений, м/с²:

Подъемный механизм, предназначенный для подъема жидких металлов, хрупких предметов, продуктов; подъемный механизм для различных монтажных работ	0,1
Подъемный механизм грейферных сборочных и металлургических цехов	0,2 ... 0,5
Подъемный механизм грейферных кранов	0,8
Механизм передвижения кранов, предназначенных для транспортировки жидких металлов, хрупких предметов; точных монтажных работ	0,1 ... 0,2
Механизм передвижения со сцепной силой тяжести 0,25 ... 0,5 от полной	0,2 ... 0,7
Механизм передвижения кранов с полной сцепной силой	0,8 ... 1,4
Механизм поворота кранов	0,5 ... 1,2

4.3. Требования к механическим характеристикам электроприводов крановых механизмов

Статические и динамические нагрузки крановых механизмов определяют выбор систем электроприводов и требования к ним.

При выборе системы электропривода крановых механизмов следует учитывать следующие особенности их работы: широкий диапазон изменения моментов сопротивления, необходимость реверсирования, ограничение момента в элементах механизмов, обеспечение работы на пониженной скорости, ограничение ускорений.

Рассмотрим механические характеристики механизмов подъема крана (рис. 4.4). Характеристика $1n$ используется для подъема грузов с пониженной скоростью и предназначена для выбора слабины канатов и точной установки груза при монтажных операциях. Характеристики $2n$ и $3n$ служат для подъема грузов с промежуточной и номинальной скоростями. Характеристика $4n$ требуется для подъема малых грузов с повышенной скоростью с целью обеспечения большей производительности кранов, скорость при работе на этой характеристике превышает номинальную в два раза. Характеристика $1с$ служит для спуска грузов с малой скоростью, что требуется для точной установки груза при его спуске. Характеристики $2с$ и $3с$ используются для спуска грузов с промежуточ-

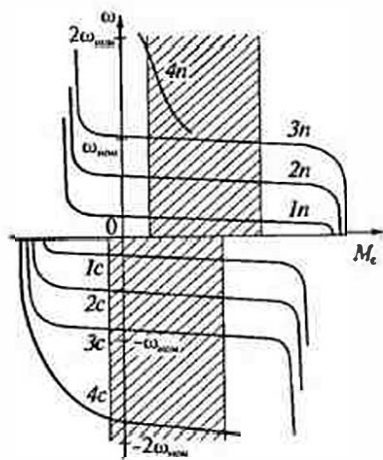


Рис. 4.4. Требуемые механические характеристики электропривода механизмов подъема крана

ленной и номинальной скоростями, а характеристика 4с – для спуска легких грузов с повышенной скоростью, что также увеличивает производительность работы кранов.

Показанные на рисунке вертикальные участки характеристик требуются для ограничения моментов и ускорений при пусках и торможениях механизмов. По условиям эксплуатации удобно обеспечивать примерно одинаковое время переходных процессов для подъема и спуска грузов. Стопорные моменты на характеристиках подъема и спуска должны различаться между собой. Объясняется это разными моментами сопротивления при подъеме и спуске грузов (см. заштрихованные на рисунке области изменения M_c , обусловленные изменением массы груза).

Электроприводы механизмов подъема имеют несимметричные относительно начала координат характеристики, т. е. при подъеме и спуске грузов используются различные семейства механических характеристик.

Рассмотрим требуемые для механизмов передвижения и поворота механические характеристики, которые в верхней полуплоскости соответствуют движению механизмов в условном направлении «вперед», а в нижней полуплоскости – «назад» (рис. 4.5). Характеристики 1в и 1н требуются для выбора зазоров в передачах механизмов и обеспечения точной их остановки. Характеристики 2в и 2н являются промежуточными, а характеристики 3в и 3н служат для движения механизмов с номинальной скоростью. Вертикальные участки этих характеристик требуются для ограничения моментов и ускорений механизмов передвижения и поворота при переходных процессах.

В отличие от механизмов подъема рассмотренные на рис. 4.5 механические характеристики симметричны относительно начала координат, что обусловлено симметричностью областей изменения моментов сопротивления (на рисунке заштрихованы).

Если электроприводы механизмов имеют механические характеристики, близкие к показанным на рис. 4.4 и 4.5, то крановая установка будет работать с высокой производительностью и хорошим качеством обслуживания технологического процесса. В настоящее время полный набор требуемых механических характеристик обеспечивается при использовании асинхронного электропри-

вода с частотным управлением или электропривода постоянного тока, выполненного по системе тиристорный преобразователь–двигатель. Однако чаще всего для подъемных кранов применяют менее совершенные системы регулируемого электропривода, с помощью которых затруднительно реализовать все требуемые характеристики. В этих случаях обычно стремятся для механизма подъема обеспечить в первую очередь характеристики 3н, 3с и 1с (для получения номинальных скоростей подъема и спуска, а также пониженной скорости спуска), а для механизмов передвижения и поворота – характеристики 3в, 3н и 1в, 1н (для получения номинальных и пониженных скоростей для движения механизма в обоих направлениях).

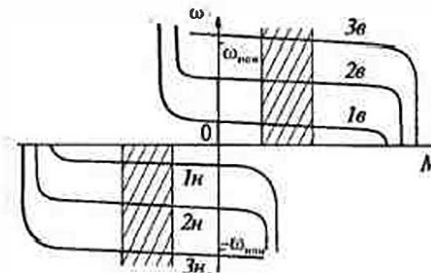


Рис. 4.5. Требуемые механические характеристики электроприводов механизмов передвижения и поворота

4.4. Системы управления крановыми электроприводами

Существующие системы управления крановыми электроприводами можно объединить в три группы: непосредственного управления исполнительными электродвигателями постоянного и переменного тока с помощью комплектных силовых коммутационных аппаратов, называемых силовыми кулачковыми контроллерами; дистанционного управления исполнительными электродвигателями постоянного и переменного тока, получающими питание от сети и содержащими комплектные устройства коммутации силовых цепей, называемые магнитными контроллерами; управления двигателями постоянного тока и асинхронными с питанием от электромагнитных и вентильных преобразователей тока, частоты и напряжения.

Для крановых механизмов разработаны разнообразные системы электроприводов. В табл. 4.2 приведены основные технические параметры электроприводов переменного и постоянного тока, которые освоены и выпускаются отечественной промышленностью.

В большинстве случаев используются асинхронные электроприводы. Электроприводы с двигателями постоянного тока последовательного возбуждения благодаря своей механической характеристике обеспечивают возрастание скорости при снижении момента нагрузки, что представляет значительный интерес для

механизмов подъема. Такие электроприводы отличаются сравнительно высокими регулировочными свойствами при использовании включаемых в силовые цепи резисторов и релейно-контактной аппаратуры, однако имеют ограниченное применение. Последнее объясняется необходимостью использования дорогостоящих и дефицитных двигателей постоянного тока и электрооборудования на постоянном токе. Для качественного регулирования крановых механизмов применяются электроприводы постоянного тока по системе тиристорный преобразователь—двигатель, которые в значительной мере вытеснили ранее используемую систему генератор—двигатель. Такие электроприводы применяются на мостовых перестружателях, высокопроизводительных башенных кранах и других крановых установках мощностью 300 ... 600 кВт.

Таблица 4.2

Основные технические характеристики крановых электроприводов

Электропривод	Диапазон		
	мощности, кВт	регулирования скорости	
		ниже номинальной	выше номинальной
Асинхронный с кулачковым контроллером, регулирование скорости реостатное	2 ... 30	3 : 1	—
Асинхронный с кулачковым контроллером с использованием схемы динамического торможения с самовозбуждением	5 ... 30	7 : 1	—
Асинхронный с магнитным контроллером, регулирование скорости реостатное	2 ... 180	4 : 1	—
Асинхронный с магнитным контроллером с использованием динамического торможения с самовозбуждением	20 ... 180	8 : 1	—
Асинхронный с импульсно-ключевым управлением	2 ... 30	10 : 1	—

Окончание табл. 4.2

Электропривод	Диапазон		
	мощности, кВт	регулирования скорости	
		ниже номинальной	выше номинальной
Асинхронный с тиристорным преобразователем напряжения в статоре и резисторами в роторе	2 ... 180	10 : 1	—
С многоскоростным асинхронным двигателем и преобразователем частоты с непосредственной связью	2 ... 60	40 : 1	—
Постоянного тока с кулачковым контроллером, регулирование скорости реостатное и с использованием потенциометрических схем	3 ... 15	4 : 1	2 : 1
Постоянного тока с магнитным контроллером, регулирование реостатное и с использованием потенциометрических схем	3 ... 180	10 : 1	2,5 : 1
Постоянного тока по системе генератор—двигатель	20 ... 180	10 : 1	2,5 : 1
Постоянного тока по системе тиристорный преобразователь—двигатель	50 ... 300	10 : 1	2,5 : 1

4.5. Электроприводы тельферов

Начнем изучение электроприводов крановых механизмов с простой схемы тельфера. Тельферы широко применяются особенно в тех случаях, когда необходимо перемещать грузы и детали машин в период монтажных и ремонтных работ внутри производственных помещений и на открытых территориях. Таким образом тельфер осуществляет функции и подъема, и перемещения. В электроприводе тельферов используются АД с короткозамкнутым ро-

тором небольшой мощности (до 7,5 кВт). Рассмотрим типовой схеме электропривода тельфера (рис. 4.6). Трехфазное напряжение сети через рубильник и плавкие предохранители подводится к приводным двигателям АД1 тали (с помощью контактов магнитных пускателей подъема КП или спуска КС) и механизма передвижения АД2 тельфера (с помощью контактов пускателей вперед КВ или назад КН). К выводам статора АД1 подключается электромагнит ТМ, который разводит тормозные колодки, как только на статор подается напряжение. Движение грузовой подвески вверх ограничивается конечным выключателем КВП. В схеме предусмотрена блокировка от одновременного включения реверсивных пускателей каждого двигателя двухцепными кнопками и размыкающими контактами. Механизмами тельфера управляют с пола с помощью подвешенного к тельферу кнопочного поста. Для работы двигателей необходимо непрерывно нажимать на соответствующую кнопку, что не позволяет оператору отходить от кнопочной станции и требует внимательного наблюдения за работой тельфера.

Из-за отсутствия низкой скорости, необходимой для плавной посадки грузов или точной остановки тельфера, оператору приходится периодически включать и отключать его двигатели, а это увеличивает число включений и вызывает нагрев обмоток, а также снижает износостойкость контакторов. Поэтому на некоторых тельферах имеются электроприводы подъема и передвижения с

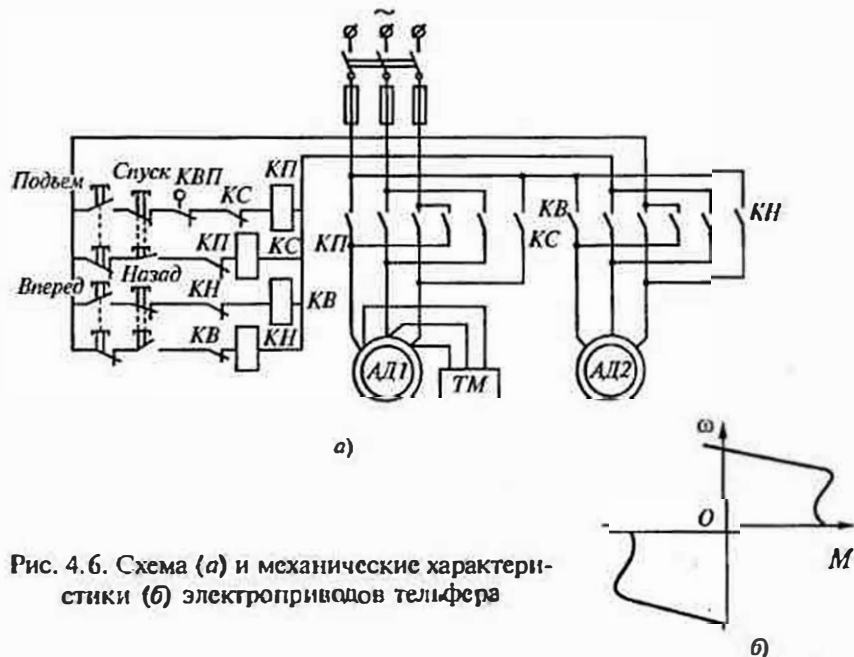


Рис. 4.6. Схема (а) и механические характеристики (б) электроприводов тельфера

двумя рабочими скоростями: номинальной и пониженной, которые обеспечиваются использованием двухскоростных асинхронных двигателей вместо односкоростных или дополнительного микропривода.

4.6. Электропривод с асинхронным двигателем механизмов подъема с магнитным контроллером

Одной из распространенных схем, применяемых на крановых приводах механизмов подъема мощностью двигателей 11 ... 180 кВт и механизмов передвижения мощностью 3,5 ... 100 кВт, является схема с асинхронным двигателем и магнитным контроллером (рис. 4.7). Она обеспечивает автоматический разгон, реверсирование, торможение и ступенчатое регулирование скорости вращения. В положениях подъема пуск и регулирование скорости осуществляются изменением сопротивлений резисторов, включенных в цепь обмотки фазного ротора двигателя. Первое положение, в ко-

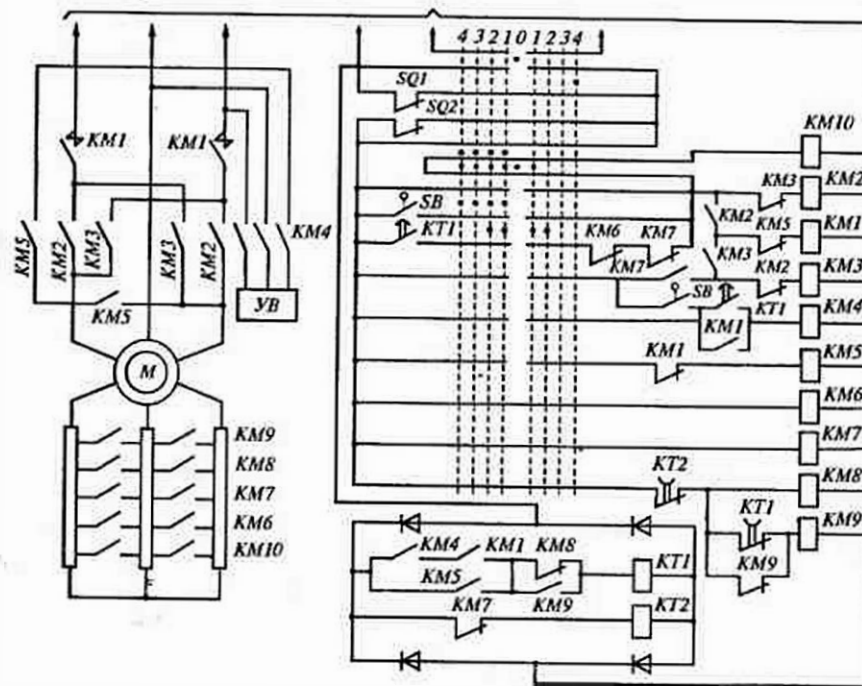


Рис. 4.7. Схема электропривода механизма подъема с асинхронным двигателем и магнитным контроллером

тором реализуется минимальный пусковой момент, служит для выбора слабину каната и подъема малых грузов на пониженной скорости. Подъем с малой скоростью тяжелых грузов осуществляется во втором положении. В третьем положении осуществляется первая ступень разгона двигателя. Последние две ступени спуска осуществляются автоматически под контролем реле времени *КТ1* и *КТ2*.

В положениях спуска обеспечивается регулирование частоты вращения двигателя в режимах противовключения в первом и втором положениях и однофазного торможения в третьем положении. В четвертом положении, в котором все ступени резисторов выведены, осуществляется спуск грузов с наибольшей скоростью. Так же как и при подъеме, переход на естественную характеристику осуществляется автоматически в функции времени под контролем реле *КТ1* и *КТ2*. Первое и второе положения используются в основном для получения малых скоростей спуска грузов. Режим однофазного торможения предназначен для получения малых скоростей при спуске легких грузов. Используя положения противовключения и однофазного торможения, можно регулировать скорость спуска различных грузов (переключением рукоятки командоконтроллера между третьим, вторым и первым положениями) в пределах диапазона 4:1 ... 3:1).

Указанные режимы реализуются коммутацией силовых цепей двигателя с помощью контакторов. В цепь статора двигателя включены контакты линейного контактора *КМ1*, контакторов направления вращения *КМ2*, *КМ3* и контактора однофазного включения двигателя *КМ5*. Ступени резисторов в цепи ротора выводятся с помощью контакторов ускорения *КМ1* ... *КМ9* и контактора противовключения *КМ10*. Контакт *КМ4* предназначен для управления электромагнитным тормозом *УВ*.

Схема однофазного торможения обеспечивается при включении контактора *КМ5* в цепи статора и *КМ6* в цепи ротора. Для исключения одновременного включения контакторов однофазного включения *КМ5* и линейный *КМ1*, а также контакторы направления *КМ2*, *КМ3* попарно механически и электрически заблокированы.

Схема управления механизмами подъема выполнена таким образом, что включение двигателя при спуске грузов осуществляется только в третьем положении командоконтроллера в целях исключения возможности подъема (вместо спуска) легких грузов. Блокировка выполнена с помощью вспомогательного контакта *КМ4*, который включается лишь в третьем положении спуска. Этот вспомогательный контакт включен в цепь обмотки реле *КТ1*, через контакт которого при спуске грузов подается питание на катушку контактора *КМ2*. Для того чтобы при установке заведомо тяжелых грузов не допустить большой скорости в третьем поло-

жении, можно сразу обеспечить включение двигателя в первом и втором положениях командоконтроллера, нажав педаль спуска тяжелых грузов *SB*, которая подает питание на контакторы *КМ4* и *КМ2*.

В приведенной схеме применен магнитный контроллер типа ТСА, в котором предусмотрена конечная защита с помощью контактов выключателей *SQ1*, *SQ2*. Максимальная и нулевая защиты выведены на защитную панель (на схеме не показана).

4.7. Электроприводы с импульсно-ключевым управлением

В крановых механизмах могут применяться схемы с импульсно-ключевым управлением (рис. 4.8).

В цепь ротора АД включен тиристорный коммутатор *ТК*, представляющий собой полууправляемый мостовой выпрямитель, выход которого нагружен на резистор *R_{2д}*. Управление тиристорами *ТК* осуществляется от релейного элемента *РЭ* следующим образом.

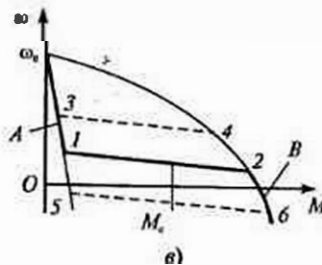
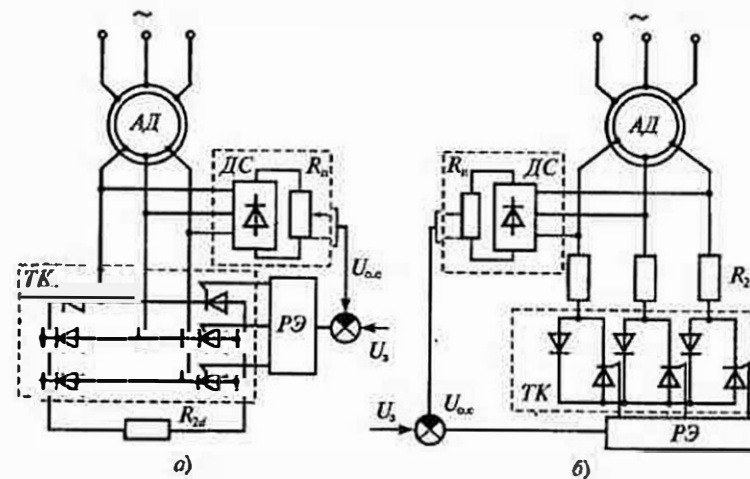


Рис. 4.8. Варианты схем (а, б) и механические характеристики (а) асинхронного электропривода с импульсно-ключевым управлением

С выхода $PЭ$ на управляющие электроды тиристоры TK поступают отпирающие импульсы при выполнении условия

$$U_3 \leq U_{\alpha.c}, \quad (4.9)$$

где U_3 — задающее напряжение; $U_{\alpha.c}$ — напряжение обратной связи, снимаемое с выхода датчика скольжения $ДС$, который выполнен на основе трехфазного мостового выпрямителя, входом подключенного к выводам обмоток ротора $АД$, а выходом — к резистору $R_{и1}$.

Рассмотренная схема может работать в одном из трех режимов. В первом режиме на тиристоры TK не подаются управляющие сигналы, в роторную цепь $АД$ через выпрямитель включен добавочный резистор $R_{и1}$, которому соответствует механическая характеристика A . Поскольку сопротивление этого резистора выбрано намного большим активного сопротивления фазной обмотки ротора, значения токов в роторных цепях и момента $АД$ пренебрежимо малы. Напряжение на входе $АД$ близко к э.д.с. ротора, а напряжение на выходе $ДС$ пропорционально скольжению $АД$:

$$U_{\alpha.c} = E_{2к} K_{сх} K_{и1} S, \quad (4.10)$$

где $E_{2к}$ и S — э.д.с. на кольцах неподвижного ротора и скольжение $АД$; $K_{сх}$ — коэффициент схемы выпрямления (для трехфазной мостовой схема $K_{сх} = 1,35$); $K_{и1}$ — коэффициент усиления потенциометра.

Если $АД$ работает в первом режиме, то TK закрыт и неравенство (4.9) не выполняется. Поэтому справедливо неравенство $U_3 \geq U_{\alpha.c}$. Подставляя в него выражение (4.10), получаем условие

$$S \leq S_1 = \frac{U_3}{E_{2к} K_{сх} K_{и1}}, \quad (4.11)$$

определяющее рабочую зону скоростей на характеристике A — от точки ω_0 до точки 1 , которой соответствует скольжение S_1 .

Во втором режиме $PЭ$ включен, на тиристоры подаются управляющие сигналы, TK открыт и к ротору $АД$ кроме резистора $R_{и1}$ подключается резистор $R_{2д}$, сопротивление которого значительно меньше, чем у $R_{и1}$. Поэтому момент $АД$ во втором режиме определяется сопротивлением резистора $R_{2д}$, которому соответствует механическая характеристика B . Напряжение на выходе $ДС$

$$U_{\alpha.c} = U_2 K_{сх} K_{и1}, \quad (4.12)$$

где $U_2 = E_{2к} S - \Delta U$ — напряжение ротора $АД$, которое несколько меньше, чем э.д.с. ротора $E_{2к} S$, за счет большего падения напряжения ΔU на внутренних сопротивлениях обмотки ротора во втором режиме по сравнению с первым.

Поскольку во втором режиме TK открыт, выполняется условие (4.9). Подставляя выражение (4.12) в формулу (4.9), получаем неравенство

$$S \geq S_2 = \frac{U_3}{E_{2к} K_{сх} K_{и1}} + \frac{\Delta U}{E_{2к}} \quad (4.13)$$

определяющее рабочую зону скоростей на характеристике B ниже точки 2 , которой соответствует скольжение S_2 .

Третий режим представляет собой чередование первого и второго режимов и имеет место в зоне скоростей, расположенной между точками 1 и 2 (см. рис. 4.8, в). Допустим, что $АД$ работает в первом режиме при моменте сопротивления M_c , который превышает момент $АД$ на характеристике A . Тогда скорость $АД$ будет уменьшаться, что увеличивает скольжение и напряжение $U_{\alpha.c}$ согласно выражению (4.12). Когда это напряжение станет больше задающего, т. е. когда будет выполнено условие (4.9), сработает $PЭ$, открывается TK и $АД$ начинает работать во втором режиме в соответствии с характеристикой B . Поскольку при этом момент $АД$ становится больше M_c , $АД$ будет разгоняться, что вызовет уменьшение скольжения и соответственно напряжения ротора U_2 и напряжения обратной связи $U_{\alpha.c}$. Когда $U_{\alpha.c}$ станет меньше U_3 , $PЭ$ отключается, TK закрывается, $АД$ переходит в первый режим и т. д. В таком режиме импульсного включения и отключения TK момент $АД$ колеблется в пределах между механическими характеристиками A и B . Средний момент $АД$ равен M_c , а средняя скорость соответствует динамической механической характеристике $1-2$.

Исследования показывают, что падение напряжения ΔU относительно невелико, характеристика $1-2$ имеет вполне приемлемую для крановых механизмов жесткость. Таким образом, в схеме (см. рис. 4.8, а) за счет автоматического переключения сопротивлений роторных резисторов в функции скольжения обеспечивается поддержание средней скорости $АД$. Изменяя задающее напряжение или коэффициент деления потенциометра, согласно выражениям (4.11) и (4.13), можно изменять положение динамической механической характеристики (пунктирные линии $3-4$ и $5-6$ (см. рис. 4.8, в), т. е. регулировать среднюю скорость $АД$ в третьем режиме.

Во втором варианте схемы импульсно-ключевого управления (рис. 4.8, б), в отличие от схемы, изображенной на рис. 4.8, а, силовые резисторы включены в цепи переменного тока ротора, а TK выполнен в виде трех пар встречно-параллельно соединенных диодов и тиристоров. Основным преимуществом этих схем, принципы действия которых одинаковы, является получение жестких механических характеристик на низких скоростях без вращающихся датчиков скорости (тахогенераторов).

Рассмотрим схему электропривода механизма передвижения крана и соответствующие механические характеристики (рис. 4.9). Поскольку электропривод одинаково работает при различных направлениях движения механизма, механические характеристики изображены только для одной полуплоскости. В схеме содержатся реверсивные контакторы *КВ* и *КН* (в цепь катушек которых включены соответственно ограничитель грузоподъемности *ОГП* с конечным выключателем *ВКВ* и конечный выключатель *ВКН*), контакторы тормоза *КТ* и динамического торможения *КД*, контакторы ускорения *КУ1* и *КУ2*, а также реле ускорения *РУ* и максимального тока *РМ*. Командоконтроллер имеет нулевое и три рабочих положения с одинаковыми диаграммами замыканий контактов для обоих направлений вращения двигателя.

При переводе контроллера в третью позицию (например, вперед) срабатывают контакторы *КВ*, *КТ* и *КУ1*, что обеспечивает одноступенчатый пуск *АД* по характеристике *3''* и далее по характеристике *3*.

Во второй позиции контроллера отключены контакторы *КУ1* и *КУ2*, а в роторную цепь введены диоды *Д1*...*Д6* и тиристоры *Т1*...*Т3*.

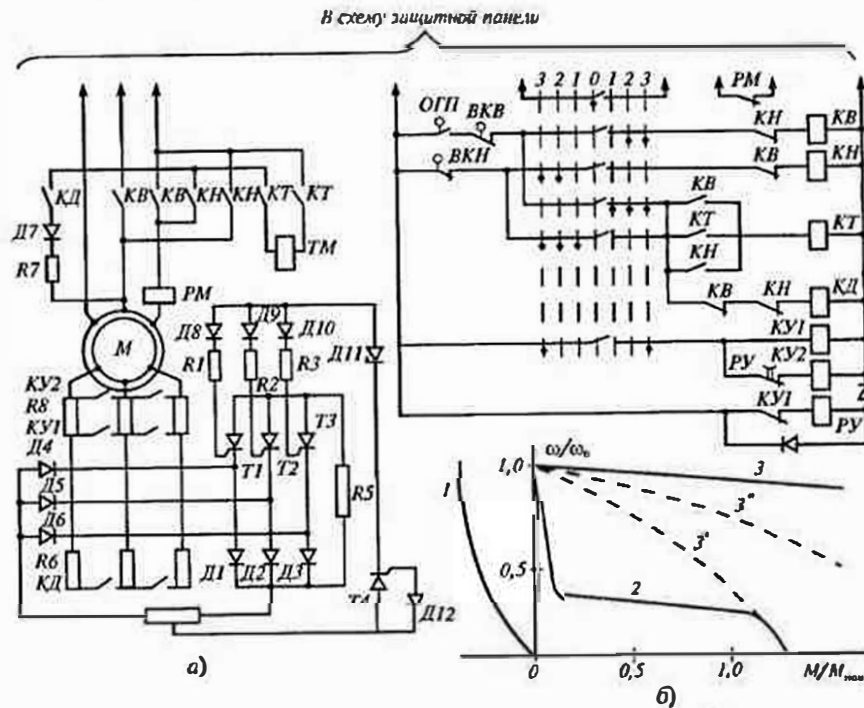


Рис. 4.9. Схема (а) и механические характеристики (б) электропривода механизма передвижения с импульсно-ключевым управлением

АД включен в схему, аналогичную приведенной на рис. 4.8, а и работает в соответствии с характеристикой *2* (см. рис. 4.9, б).

Диоды *Д1*...*Д3* вместе с диодами *Д4*...*Д6* образуют датчик скольжения, а вместе с тиристорами *Т1*...*Т3* представляют собой тиристорный коммутатор. Резисторы *Р1*...*Р3*, диоды *Д8*...*Д10*, стабилитроны *Д11* и *Д12* и вспомогательный тиристор *Т4* образуют релейный элемент вместе с узлом суммирования. Когда выходное напряжение потенциометра превышает суммарное напряжение стабилизации стабилитронов, срабатывает вспомогательный тиристор *Т4* и формируется импульс тока, поступающий к управляющим электродам тиристоров *Т1*...*Т3* и обеспечивающий их включение. Работа в первой позиции, где *АД* включен в схему динамического торможения, возможна при переводе контроллера со второй или третьей (но не с нулевой) позиции, что несколько усложняет управление механизмом и является недостатком данного электропривода.

Рассмотренный электропривод характеризуется простой схемой управления и имеет сравнительно близкие к требуемым для механизма передвижения характеристики, однако не обеспечивает на пониженной скорости плавного перехода из двигательного режима в тормозной. Электроприводы с импульсно-ключевыми коммутаторами разработаны не только для механизмов передвижения, но и для механизмов подъема.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы основные требования к электрооборудованию кранов?
2. Объясните назначение основных узлов мостового крана.
3. Какой тип защиты электрических цепей и двигателей применяется на крановых установках? Почему не используется тепловая защита?
4. Какие параметры определяют выбор электропривода крановых механизмов?
5. Объясните смысл требуемых характеристик для электропривода крановых механизмов.
6. Перечислите основные типы кранов, применяемых в народном хозяйстве и их назначение.
7. Какие параметры необходимы для определения мощности и момента на валу двигателя подъемной лебедки?
8. Объясните работу схемы электропривода механизма подъема с магнитным контроллером.
9. В чем смысл импульсно-ключевого управления и каким образом формируются требуемые характеристики при импульсно-ключевом управлении?

Глава 5. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЛИФТОВ

5.1. Общие сведения. Конструкция лифта

Подъемные машины в различных конструктивных исполнениях находят широкое применение во всех отраслях народного хозяйства. К наиболее распространенным разновидностям механизмов вертикального транспорта следует отнести лифты, используемые в городском хозяйстве и на промышленных предприятиях, а также шахтные подъемные машины, транспортирующие грузы и людей при подземном способе добычи полезных ископаемых.

Лифт представляет собой стационарный подъемник прерывистого действия с вертикальным движением кабины или платформы по жестким направляющим. Устанавливается в огражденной со всех сторон шахте, оборудованной на посадочных (погрузочных) площадках запирающимися дверями.

Лифты отличаются высокой степенью автоматизации и общедоступностью пользования, комфортабельностью и безусловной безопасностью. Только электрический привод может соответствовать тем высоким требованиям, которым должны удовлетворять современные лифты.

По назначению лифты подразделяются на пассажирские, грузопассажирские, больничные, грузовые с проводником и без проводника, малые грузовые.

Грузоподъемность пассажирских лифтов составляет 3500 ... 15 000 Н (количество пассажиров от 5 до 21), грузовых лифтов — до 50 000 Н, малых грузовых лифтов — до 1600 Н.

В зависимости от рабочей скорости движения кабины различают следующие категории лифтов: тихоходные (до 0,5 м/с), быстроходные (до 1 м/с), скоростные (до 2,5 м/с), высокоскоростные (выше 2,5 м/с).

Основным оборудованием лифта являются кабина, подъемная лебедка, канаты, направляющие, противовес, ограничитель скорости, буфера или упоры, двигатель, электромеханическое тормозное устройство и аппараты управления. Оборудование лифта располагается в шахте и в помещениях выше и ниже нее.

В верхней части подъемной установки скоростного лифта (рис. 5.1) расположено машинное помещение, ниже него — полужат с отводным шкивом 2 и центробежным ограничителем скорости 4. Вниз идет шахта, где перемещается кабина лифта 5. В современных лифтах тяговое усилие от двигателя 1 к кабине 5

подъемника передается обычно посредством двухконцевой лебедки с канатоведущим шкивом, на котором канаты 3 располагаются в клиновидных или полукруглых дорожках на поверхности шкива в несколько заходов. Связи между шкивом и главными канатами осуществляется за счет трения. В нижней части шахты канаты проходят через направляющие шкивы 9.

В процессе работы лифта кабина 5 перемещается в шахте вдоль направляющих 6, которые охватываются роликами. Противовес 7, уравнивающий определенную часть массы грузовой кабины, также движется вдоль своих направляющих. На верхней части кабины установлен электропривод дверей 12, который с помощью системы рычагов раздвигает створки дверей. Питание к двигателю дверей подводится гибким кабелем 11. Так же осуществляется связь аппаратов управления и сигнализации с оборудованием, находящимся выше кабины, например на щите управления.

Высокие требования безопасности пользования лифтом вызывают необходимость применения специального механического оборудования, действующего при различного рода повреждениях и авариях. На валу двигателя имеется электромеханическое устройство, затормаживающее привод при снятии напряжения с двигателя как при нормальной работе, так и в аварийных режимах. Важной конструктивной частью в устройстве кабины лифта является пол, который может быть подвижным или неподвижным. Первый вариант исполнения применяется для осуществления контроля заполнения кабины и отключения цепи наружных вызовов при входе пассажиров в кабину. Переключающее устройство подвижного пола должно

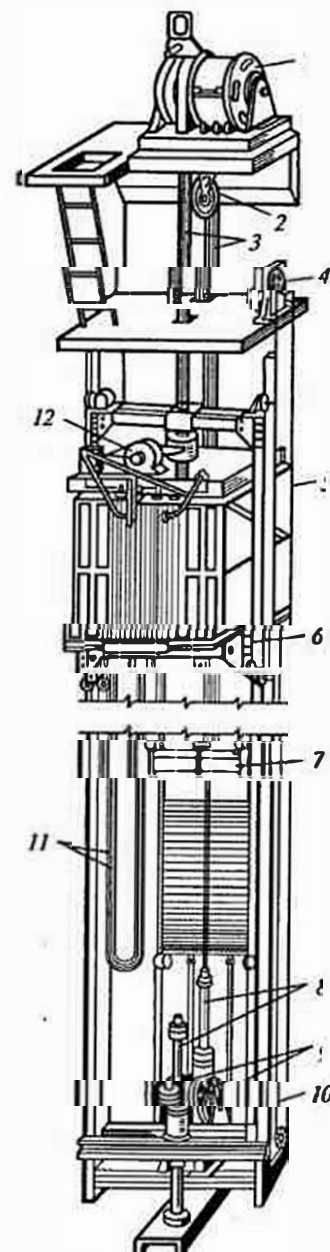


Рис. 5.1. Кинематическая схема скоростного пассажирского лифта

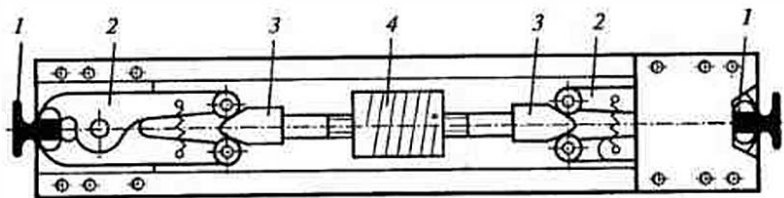


Рис. 5.2. Конструкция клещевого ловителя

срабатывать при массе пассажира более 15 кг. Неподвижный пол встречается в лифтах, в которых предусмотрено автоматическое открывание дверей. В этом случае привод дверей имеет специальную конструкцию, обеспечивающую безопасное пользование лифтом.

Специальными устройствами, предохраняющими кабину и противовес от удара о пол шахты при отказе работы конечных выключателей, являются масляные гидравлические буфера δ , на которые «салятся» кабина и противовес. Применяются гидравлические и наружные буфера. Последние устанавливаются при сравнительно небольших скоростях движения. При давлении на верхнюю часть буфера внутри него масло из одной полости перетекает в другую, в результате чего удар смягчается. Посадка кабины на буфера происходит весьма редко. При обрыве канатов и превышении скорости срабатывают специальные ловители, установленные в нижней части конструкции кабины.

Существует несколько видов ловителей. Клещевой ловитель (рис. 5.2) состоит из двух захватывающих клещей 2, скользящих при нормальной скорости движения вдоль направляющих 1 кабины. При движении кабины трос (см. поз. 10 на рис. 5.1) приводит в движение барабанчик 4. Клинья 3 расходятся в результате вращения вывинчивающихся валов и разводят задние концы клещей 2. Передние губки последних плавно захватывают направляющие, так как нажимное усилие растет постепенно по мере вхождения клиньев в зазор клещей. Путь кабины после срабатывания ловителей при высоких скоростях движения может составлять несколько метров. На небольших лифтах с малыми скоростями движения применяются ловители с клиновыми захватами, при срабатывании которых путь торможения составляет десятки сантиметров.

Двигатель лифта может быть связан со шкивом трения через редуктор или непосредственно. В соответствии с этим существуют два типа

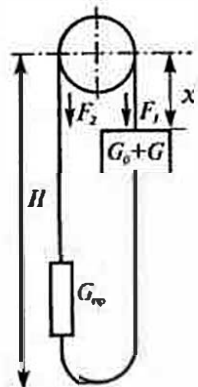


Рис. 5.3. Усилие, действующее на лифт

электропривода: редукторный и безредукторный. Применение каждого из них должно быть обусловлено технико-экономическим сравнением вариантов.

Редукторный привод оборудуется двигателями малых габаритных размеров с номинальными скоростями 62,8 ... 157 рад/с (600 ... 1500 мин⁻¹), а также довольно дорогостоящим редуктором, который создает во время работы дополнительный шум. Применение редукторных лифтовых приводов обычно ограничивается скоростью движения кабины (до 2 ... 5 м/с).

Безредукторный привод оборудуется тихоходными двигателями небольших массы и габаритных размеров с номинальной скоростью 6,28 ... 12,6 рад/с (60 ... 120 мин⁻¹).

Тихоходный двигатель, не имеющий редуктора, обеспечивает относительную бесшумность системы. В безредукторном приводе якорь двигателя и канатопроводящий шкив устанавливаются на одном валу. Вследствие малых угловых скоростей запас кинетической энергии привода меньше, чем у редукторных приводов, что очень важно для механизмов с повторно-кратковременным режимом работы в связи со снижением потерь энергии в переходных процессах. Безредукторный привод применяется главным образом на скоростных и высокоскоростных лифтах.

5.2. Выбор электродвигателя лифта

Современные пассажирские и грузовые лифты в жилых и административных зданиях оборудуются противовесом для уравнивания массы кабины и части номинального поднимаемого груза:

$$G_{пр} = G_0 + \alpha G_{ном} \quad (5.1)$$

где $G_{пр}$ — масса противовеса, Н; $G_{ном}$ — масса поднимаемого груза, Н; G_0 — масса кабины, Н; α — коэффициент уравнивания, обычно равный 0,4 ... 0,6.

Необходимость уравнивания продиктована тем, что при отсутствии контргруза приходится соответственно увеличивать мощность двигателя. Из схемы, приведенной на рис. 5.3, следует, что:

$$F_1 = G_0 + G + g_k x;$$

$$F_2 = G_{пр} + g_k (H - x),$$

где g_k — масса метра каната, Н/м.

Усилие на токоведущем шкиве

$$F = F_1 - F_2 = G - \alpha G_{ном} + g_k (2x - H) \quad (5.2)$$

Момент, Н·м, и мощность, кВт, на валу двигателя определяются по следующим формулам:

$$M_1 = \frac{F D}{i \eta_1} \frac{D}{2}; P_1 = \frac{F v}{\eta_1} \cdot 10^{-3};$$

$$M_2 = \frac{F D}{i} \frac{D}{2} \eta_2; P_2 = F v \eta_2 \cdot 10^{-3},$$
(5.3)

где M_1 , P_1 — соответственно момент и мощность при работе привода в двигательном режиме; M_2 , P_2 — соответственно момент и мощность привода в генераторном режиме; η_1 и η_2 — КПД червячного редуктора при прямой и обратной передаче энергии.

Значения η_1 и η_2 нелинейно зависят от скорости вала червяка и могут быть рассчитаны по формулам

$$\eta_1 = 0,95 K_1 \frac{\operatorname{tg} \lambda}{\operatorname{tg}(\lambda + \rho)};$$

$$\eta_2 = K_2 \left[2 - \frac{\operatorname{tg} \lambda}{0,95 \operatorname{tg}(\lambda - \rho)} \right],$$

где λ — угол подъема винтовой линии на делительном цилиндре червяка; K_1 , K_2 — коэффициенты, учитывающие потери в подшипниках и масляной ванне редуктора, соответственно в двигательном и генераторном режимах; ρ — угол трения, зависящий от скорости вращения вала червяка.

Из уравнения (5.2) следует, что при отсутствии уравновешивающего каната нагрузка электропривода подъемной лебедки зависит от положения кабины.

5.3. Оптимизация движения кабины пассажирского лифта

Движение кабины пассажирского лифта происходит по оптимальному закону, если лифт обеспечивает максимальную производительность при соблюдении необходимых условий комфортности, минимум первоначальных и эксплуатационных расходов и имеет ограниченную по максимуму скорость движения кабины. В этом случае оптимальная диаграмма движения кабины имеет одинаковые по длительности интервалы пуска и замедления, в течение которых ускорение и рывок скорости не превышают максимально допустимых значений, и интервал равномерного движения, в течение которого скорость движения кабины не превышает максимального значения.

Рассмотрим оптимальную диаграмму движения кабины лифта (рис. 5.4). В интервалах пуска и замедления рывок скорости изменяется скачкообразно на участках $0-t_1$, t_2-t_3 , t_4-t_5 , t_6-t_7 . Ускорение a изменяется по трапецеидальному закону на участках $0-t_3$ и t_4-t_7 . Скорость v имеет параболические участки при изменении ускорения движения.

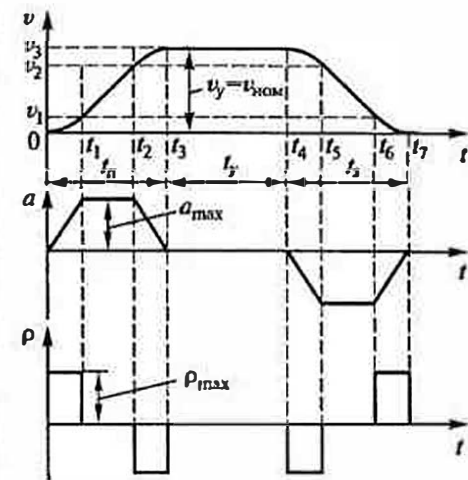


Рис. 5.4. Оптимальная диаграмма движения кабины лифта

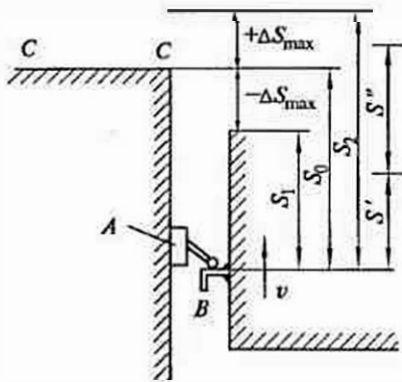
Рассмотренная диаграмма является оптимальной, если переходные процессы удастся осуществить за минимально возможное время, так как на всех стадиях переходного процесса там, где это возможно, поддерживаются постоянными предельно допустимые значения рывков и ускорений. Однако на практике в точности реализовать такой график движения трудно.

5.4. Точная остановка подъемных машин

При проектировании электропривода подъемных устройств важной задачей является их точная остановка против заданного уровня. Неточная остановка пассажирских подъемников увеличивает время входа и выхода пассажиров, грузовых — затрудняет, а в некоторых случаях делает невозможной разгрузку кабины.

Если при ручном управлении лифтом и шахтными подъемниками кабина при торможении по тем или иным причинам не остановилась против заданного уровня, то ее доводка может быть произведена оператором путем повторного включения двигателя. В этом случае непосредственно к системе электропривода каких-либо специальных требований в отношении точной остановки не предъявляется. При автоматизации подъемной установки управление всеми элементами рабочего процесса и, в частности, процессом остановки полностью осуществляет электропривод. В связи с этим к нему предъявляются жесткие требования в отношении точной остановки, которые в ряде случаев оказывают решающее влияние на выбор той или иной системы электропривода.

Рассмотрим схему остановки кабины лифта (рис. 5.5). При подходе кабины лифта к этажной площадке установленный на ней



упор B воздействует на датчик точной остановки A , который может быть выполнен в различных конструктивных вариантах. После срабатывания датчика кабина продолжает следовать с постоянной скоростью v_n , пока не сработают аппараты, дающие импульс на отключение двигателя и наложение механического тормоза. Путь, пройденный кабиной при этой скорости:

$$S' = v_n \sum t, \quad (5.4)$$

где $\sum t$ — суммарное время работы аппаратов, с.

Рис. 5.5. Схема точной остановки кабины лифта

Далее начинается торможение кабины, за время которого она проходит путь S'' . Следовательно,

$$mv_n^2/2 = (F_T + F_C)S'',$$

где F_T, F_C — соответственно тормозное и статическое усилия, приведенные к скорости движения кабины, Н; m — приведенная к скорости движения кабины масса всех движущихся частей подъемника, кг.

Отсюда

$$S'' = \frac{mv_n^2}{2(F_T + F_C)}. \quad (5.5)$$

Путь, пройденный кабиной с момента воздействия на датчик точной остановки до полной остановки:

$$S = S' + S'' = v_n \sum t + mv_n^2 / (2F_{мин}), \quad (5.6)$$

где $F_{мин}$ — суммарное усилие, $F_{мин} = F_T + F_C$.

Неточность остановки возникает вследствие того, что в процессе работы все величины, от которых зависит S , изменяются в широких пределах. Масса m и статическое усилие F_C зависят от загрузки кабины. Значение скорости v_n определяется жесткостью механической характеристики электропривода и значениями усилия F_C . Наконец, время $\sum t$ и усилие тормоза F_T могут меняться в зависимости от случайных факторов. Каждая из указанных величин может изменяться в пределах $x = x_0 \pm \Delta x$, где x_0 — среднее значение, а Δx — наибольшее возможное отклонение переменной x от среднего значения:

$$\begin{aligned} S &= S_0 \pm \Delta S; & v_n &= v_0 \pm \Delta v; \\ \sum t &= t_0 \pm \Delta t; & m &= m_0 \pm \Delta m; \\ F_{мин} &= F_0 \pm \Delta F. \end{aligned}$$

В соответствии с теорией погрешностей наибольшее отклонение тормозного пути

$$\Delta S = \sum_{j=1}^n \left| \frac{\partial S(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_j} \right| \Delta x_j$$

или

$$\Delta S = \left| \frac{\partial S}{\partial v} \right| \Delta v + \left| \frac{\partial S}{\partial t} \right| \Delta t + \left| \frac{\partial S}{\partial m} \right| \Delta m + \left| \frac{\partial S}{\partial F_{мин}} \right| \Delta F. \quad (5.7)$$

Из последнего выражения в соответствии с (5.6) определим

$$\Delta S = t_0 \Delta v + \frac{m_0 v_0}{F_0} \Delta v + v_0 \Delta t + \frac{v_0^2}{2F_0} \Delta m + \frac{m_0 v_0^2}{2F_0^2} \Delta F$$

или

$$\Delta S_{\max} = v_0 t_0 \left(\frac{\Delta v}{v_0} + \frac{\Delta t}{t_0} \right) + \frac{m_0 v_0^2}{2F_0} \left(2 \frac{\Delta v}{v_0} + \frac{\Delta m}{m_0} + \frac{\Delta F}{F_0} \right). \quad (5.8)$$

Из выражения (5.8) следует, что наиболее эффективным способом снижения неточности остановки является уменьшение средней начальной скорости v_0 , с которой кабина подходит к датчику точной остановки. Для получения заданной точности остановки при больших рабочих скоростях подъемников необходимо перед остановкой заблаговременно снизить скорость до значения $v_{доп}$, при котором неточность остановки ΔS_{\max} не превышает допустимую $\Delta S_{доп}$.

Таким образом, требование точной остановки определяет диапазон регулирования скорости, который должен обеспечивать электропривод автоматизированного подъемника при заданной допустимой неточности $\Delta S_{доп}$.

При известных параметрах конкретной установки с помощью формулы (5.8) нетрудно проверить, выполняется ли заданная точность остановки исходя из условия $\Delta S_{\max} \leq \Delta S_{доп}$. Однако при проектировании более часто приходится решать обратную задачу — определять параметры электропривода, при которых выполняется указанное условие. Для этого полагают, что в формуле (5.8)

$\Delta S_{\max} = \Delta S_{\text{доп}}$, и, решая ее, определяют пары значений $\left(\frac{\Delta v}{v_0}\right)_{\text{доп}}$

и $v_{0,\text{доп}}$, каждая из которых определяет механическую характеристику электропривода при подходе подъемного сосуда к датчику точной остановки, удовлетворяющую поставленному условию.

5.5. Требования к электроприводу лифта

Лифт должен быть надежным в работе, обеспечивать безопасность при пользовании пассажирами и малозумность (для лифтов используют специальные электродвигатели с пониженным уровнем шума), а также удобство и простоту в эксплуатации и обслуживании.

Система электропривода должна ограничивать ускорения кабины (по условиям комфортности для пассажирских лифтов и отсутствия проскальзывания каната относительно канатопроводящего шкива для грузовых). Она также должна обеспечивать плавные переходные процессы при пуске и торможении в широких пределах изменения момента сопротивления. Напомним, что зависимости скорости, ускорения и рывка для кабины лифта (см. рис. 5.4) построены с учетом ограничения ускорений и рывков на допустимом уровне.

Для лифтов с основной рейсовой скоростью более 0,71 м/с должна быть предусмотрена ревизионная пониженная скорость $v_{\text{рех}} \leq 0,36$ м/с.

Электропривод лифта должен обеспечивать точную остановку кабины относительно уровня этажной площадки (10...20 мм для скоростных и больничных лифтов, 35...50 мм для остальных). Для лифтов с номинальной скоростью кабины не выше 1,4 м/с указанные ревизионная скорость и точность остановки реализуются созданием механической характеристики электропривода лифта при пониженной скорости.

Лифтовая лебедка должна быть оборудована автоматически действующим тормозом.

5.6. Системы электроприводов лифта

Для лифтов применяются различные системы электроприводов в зависимости от номинальной рабочей скорости, требуемой точности остановки кабины, необходимой плавности работы при разгоне и торможении, стоимости изготовления и эксплуатации. Чаще всего для лифтов используют электроприводы переменного тока с одно- и двухскоростными короткозамкнутыми асинхрон-

ными двигателями и электроприводы постоянного тока с управляемыми преобразователями. Основные типы лифтов и краткие характеристики их электроприводов приведены в табл. 5.1.

Каждая схема управления лифтом включает в себя набор блоков, предназначенных для выполнения определенных операций (рис. 5.6). Команда для начала движения лифта подается с помощью устройства приказов и вызовов, в качестве которого обычно используются кнопки управления, кнопочные посты и кнопочные панели.



Рис. 5.6. Структурная схема лифтовой установки

Команда от устройства приказов и вызовов поступает в узел, который осуществляет запоминание и последующее снятие соответствующих команд после их выполнения. Схемное решение этого узла зависит от очередности и выполнения вызовов кабины и от типа элементов, применяемых в качестве запоминающих устройств (залипающие кнопки, одно- и двухмоточные электромагнитные реле и бесконтактные элементы).

Наиболее сложным и ответственным узлом схемы управления лифтовой установки является позиционно-согласующее устройство (ПСУ), которое служит для определения положения кабины в шахте и вылачи сигналов для движения кабины в нужном направлении и ее остановки. Конструктивно ПСУ выполняют в виде набора электромеханических переключателей, размещенных в шахте или смонтированных в специальных приборах —

Типы лифтов и характеристики их электроприводов

Тип лифта	Электропривод			
	Тип	Регулирование	Электродвигатель	Краткая характеристика
Тихоходный (v до 0,5 м/с), редукторный, грузовой или пассажирский	Асинхронный с односкоростным двигателем	Нерегулируемый	Асинхронный односкоростной с короткозамкнутым ротором	Управление релейно-контакторное, ограничение ускорений за счет маховых масс; замедление при механическом торможении
Тихоходный или быстроходный (v до 1 м/с), редукторный, грузовой или пассажирский	Асинхронный с двухскоростным двигателем	Ступенчатое регулирование с отношением скоростей 3:1 и 4:1	Асинхронный двухскоростной с короткозамкнутым ротором	Управление релейно-контакторное, ограничение ускорений за счет маховых масс; замедление при электрическом торможении дотягиванием на малой скорости с механическим торможением
Тихоходный, быстроходный и скоростной (v до 2 м/с), редукторный, пассажирский или грузовой	Тиристорный асинхронный с односкоростным двигателем	Плавное регулирование ускорения, ступенчатое регулирование с отношением скоростей 3:1 и 4:1	Асинхронный односкоростной с короткозамкнутым ротором	Управление бесконтактное, полупроводниковое с замкнутыми контурами регулирования по скорости и положению кабины; замедление при регулируемом динамическом торможении или противовключением

Окончание табл. 5.1

Тип лифта	Электропривод			
	Тип	Регулирование	Электродвигатель	Краткая характеристика
Тихоходный, быстроходный и скоростной, редукторный, пассажирский или грузовой	Тиристорный асинхронный с двухскоростным двигателем	Плавное регулирование ускорения, ступенчатое регулирование с отношением скоростей 3:1 и 4:1	Асинхронный двухскоростной с короткозамкнутым ротором	Управление бесконтактное полупроводниковое с замкнутыми контурами регулирования по скорости и положению кабины, замедление при регулируемом динамическом торможении на обмотке малой скорости
Редукторный, безредукторный, скоростной и высокоскоростной (v до 2 м/с), пассажирский	Постоянного тока, система генератор—двигатель (Г—Д)	Плавное регулирование с отношением скоростей 10:1	Постоянного тока с независимым возбуждением	Управление бесконтактное с полупроводниковыми и магнитными усилителями с замкнутым контуром регулирования по скорости, положению и току; замедление при регулируемом рекуперативном торможении
Редукторный, безредукторный, скоростной и высокоскоростной, пассажирский	Постоянного тока, система тиристорный преобразователь—двигатель (ТП—Д)	Плавное регулирование с отношением скоростей 10:1 и выше	То же	Управление бесконтактное с полупроводниковым усилителем и регулятором скорости, положения и тока, замедление при регулируемом рекуперативном торможении

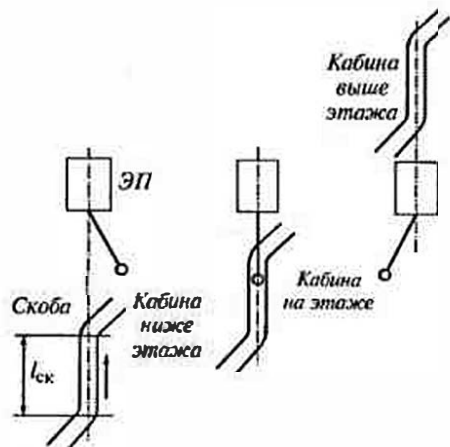


Рис. 5.7. Контроль положения кабины в шахте с помощью этажного переключателя

которые выполняют соответствующее управляющее действие в схеме. Длина линейного участка скобы $l_{ск}$ рассчитывается из условия двойного пути торможения лифта, поскольку ЭП переключается одной и той же скобой при подходе кабины к этажу как снизу, так и сверху.

Узел автоматического выбора направления с помощью этажных переключателей показан на рис. 5.8. Кроме этажных переключателей в узел входят этажные реле ЭР, контакторы направления движения вверх КВ или вниз КН, включающие двигатель на соответствующее направление вращения, а также блокирующие контакты пола кабины ПК1, ПК2. Кабина находится на i -м этаже, контакторы КВ и КН отключены. При нажатии на кнопку вызова КнВК или приказа КнПК какого-либо, например, k -го этажа, получает питание реле ЭРК этого этажа. Контакт ЭРК подает питание на шину ШВ контактора КВ, если этаж назначения и вызова выше i -го этажа, или на шину ШН контактора КН, если выбран этаж ниже i -го. Кнопки КнВК или КнПК блокируются контактом ЭРК и одним из замкнувшихся контактов КВ или КН. Если в кабине находится пассажир, то контакт пола ПК1 разрывает цепь вызывных кнопок, а контакт ПК2 подключает цепь питания кнопок приказов.

Преимуществом этажного переключателя является простота схем управления, построенных с его использованием. Однако срок службы его ограничен, он резко уменьшается с ростом скорости движения лифта, поэтому этажные переключатели применяются в основном на тихоходных и некоторых быстроходных лифтах с рабочими скоростями до 0,71 м/с.

копираппарате или селекторе, которые находятся в машинном помещении и связаны с кабиной механической или электрической связью.

К простейшему типу селектора относится размещаемый в шахте на уровне каждого этажа трехпозиционный перекидной этажный переключатель (ЭП), переключаемый с помощью специальной скобы (отводки), укрепленной на кабине. Положение переключающего рычага ЭП указывает на местоположение кабины (рис. 5.7). При прохождении кабины через этаж скоба перекидывает рычаг ЭП и переключает его контакты,

Расширить возможности путевого принципа контроля положения кабины можно с помощью копируемых аппаратов — механических селекторов, широко применяемых в зарубежной практике.

Компактный, размещенный в машинном зале копируемый аппарат механически соединен с кабиной цепью или тросиком и в масштабе примерно 1 : 50 повторяет движение кабины в круговой развертке, выполняя с помощью кулачковых контактов те же операции переключения, что и этажные переключатели.

Копируемые аппараты работают плавно и бесшумно, они применяются на лифтах со скоростью движения кабины до 1 м/с. При более высоких скоростях они работают ненадежно. Для скоростных и работающих в интенсивном режиме быстроходных лифтов применяются электрические селекторы с бесконтактными датчиками положения кабины. Наибольшее применение в схемах отечественных лифтов получили индуктивные датчики положения, принцип действия которых рассмотрен в гл. 2.

Управление механическим тормозом с электромагнитным приводом и включение электропривода подъемной лебедки осуществляется сигналами с выхода ПСУ. При подходе кабины к нужному этажу подъемная лебедка отключается и снова накладывается механический тормоз. Для обеспечения точной остановки кабины предусмотрен узел точной остановки. Он используется только на лифтах, электропривод которых обеспечивает возможность перехода на пониженную скорость.

После остановки кабины автоматически включается электропривод дверей кабины и шахты. В лифтах с ручным управлением дверей этот узел отсутствует. Узел защиты и блокировки обеспечивает безопасность работы лифта. Этот узел исключает возможность движения кабины при открытых или незаблокированных замках дверей, а также открывание дверей шахты при отсутствии кабины на данном этаже, осуществляет остановку кабины при обрыве контактов, превышении допустимой скорости, нажатии аварийной кнопки «Стоп» и срабатывании защиты.

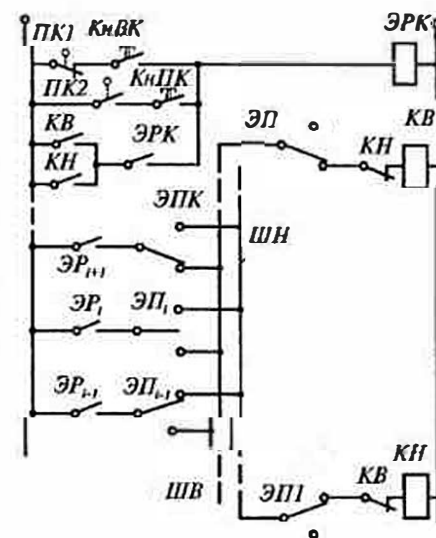


Рис. 5.8. Схема узла автоматического выбора направления движения на этажных переключателях

В схему управления лифтом входят также устройства сигнализации и освещения кабины. Вызывная сигнализация предназначена для извещения пассажиров о занятости кабины, направлении ее движения, принятии вызовов, а также извещения обслуживающего персонала о состоянии схемы вызывных устройств. Позиционная световая сигнализация предназначена для извещения пассажиров и обслуживающего персонала о местонахождении кабины в данный момент.

5.7. Электропривод пассажирского лифта с асинхронным двигателем

Электрическая схема пассажирского лифта с кнопочным управлением применяется для лифтов со скоростью движения 0,5 м/с (рис. 5.9). Лифт приводится в движение асинхронным двигателем *М* с контактными кольцами. Разгон двигателя осуществляется в три ступени с управлением в функции времени посредством механических реле времени *РВ*, *РН*, *РУ1* и *РУ2*, пристроенных к контакторам *КВ*, *КН*, *КУ1*, *КУ2*. Параллельно статорной обмотке двигателя включен тормозной электромагнит *ЭмТ*, при включении растормаживающий механизм лифта. Пуск двигателя может осуществляться вызывными кнопками, находящимися на любом из этажей. Этажные переключатели *ПЭ1*... *ПЭ5* установлены каждый на своем этаже. Этажные реле *РЭ1*... *РЭ5* находятся на панели управления лифтом. Число этажных переключателей и реле соответствует числу этажей, обслуживаемых лифтом (для данной схемы – пять этажей). Электрооборудование, расположенное в кабине, связано с панелью управления гибким кабелем *ГК*. Контакты конечного выключателя *ВКА*, ограничивающего в аварийных случаях ход кабины вверх и вниз, включены непосредственно в статорную цепь двигателя. Движение кабины невозможно при открытых дверях шахты и кабины, что обеспечивается дверными контактами шахты *ВДШ1*... *ВДШ5* и кабины *ВДК*, включенными в цепь управления. В эту же цепь включены: контакт конечного выключателя *ВКК*, контролирующего натяжение канатов (он размыкается при их ослаблении или обрыве); контакт ловителя *ВЛ*, размыкающийся при срабатывании механизма ловителя; контакты пола *ВП1* и *ВП2*, которые находятся в разомкнутом состоянии, когда кабина занята пассажирами. Контакты *ВП2* шунтируют контакт *ВДК*, когда пассажир вышел из кабины, а ее дверь осталась открытой.

Предположим, что пассажиру необходимо подняться с первого этажа на четвертый (этажный переключатель *ПЭ4* находится в среднем положении). Пассажир входит в кабину. Контакты пола *ВП1* размыкаются и разрывают цепь вызывных кнопок 1... 5, чем

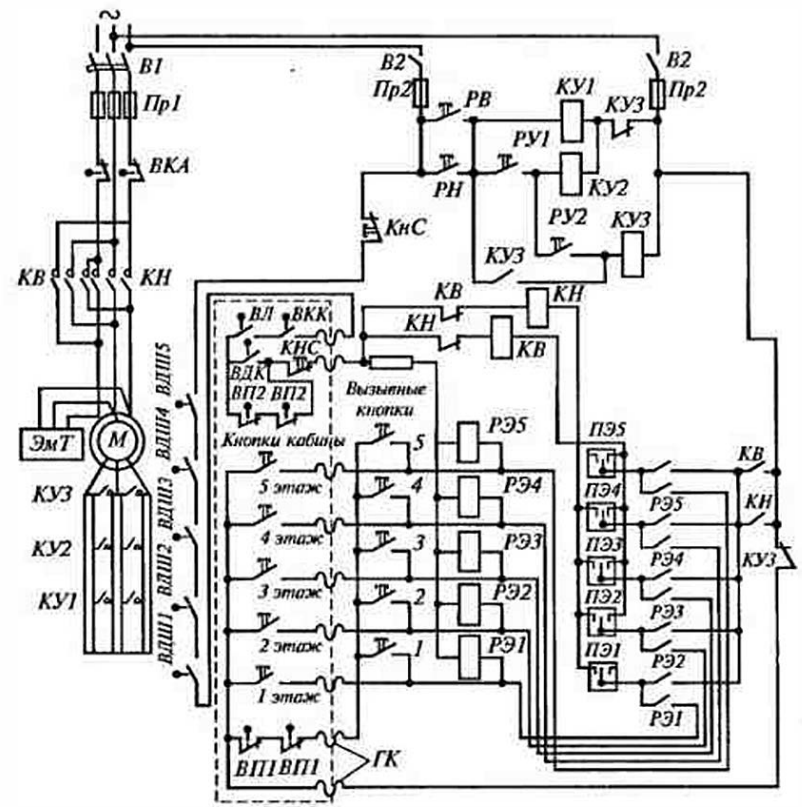


Рис. 5.9. Электрическая схема пассажирского лифта

исключается наружное управление. Далее управление лифтом осуществляется из кабины. Пассажир закрывает двери шахты (замыкается контакт *ВДШ1*), а также двери кабины (закрывается контакт *ВДК*) и нажимает кнопку «4 этаж». Включается реле *РЭ4* по цепи: через кнопку *КНС* («Стоп»), контакты всех дверей шахты *ВДШ1*... *ВДШ5*, гибкий кабель, контакт *ВКК* выключателя контроля натяжения канатов, контакт ловителя *ВКЛ*, дверной контакт кабины *ВДК*, вторую кнопку «Стоп» в кабине, гибкий кабель, размыкающий контакт контактора *КУ3*. Реле *РЭ4* замыкает свои контакты и включает контактор *КВ* («Вверх»), который включает в сеть статор двигателя *М* и тормозной электромагнит *ЭмТ*. Двигатель начинает работать, с выдержками времени последовательно срабатывают контакторы ускорения *КУ1*, *КУ2*, *КУ3* и выводят ступени пускового реостата. При включении контактора ускорения *КУ3* его размыкающий блок-контакт разрывает цепи всех кнопок как на этажах, так и в кабине, и нажатие любой из кно-

пок во время движения кабины не влияет на работу лифта до остановки кабины.

Кабина, пройдя второй и третий этажи, повернет рычаги переключателей *ПЭ2* и *ПЭ3* (а в начале движения *ПЭ1*), и их контакты займут левое положение. Эти переключения подготавливают схему к последующей работе. По достижении кабиной четвертого этажа ее упор поворачивает рычаг переключателя *ПЭ4* в среднее положение, вследствие чего контактор *КВ* обесточивает и отключает двигатель, этажное реле *РЭ4* и тормозной электромагнит. Кабина быстро останавливается. После выхода пассажира аппараты управления приводятся в исходное положение (кроме этажных переключателей).

Движение пустой кабины при открытых дверях не опасно и может происходить после нажатия вызывной кнопки вследствие шунтирования дверного контакта *ВДК* контактами пола *ВП2*. Если нужно вернуть пустую кабину с четвертого этажа на первый, нажимается вызывная кнопка *1* наружного управления, расположенная на первом этаже. Включается этажное реле *РЭ1*, которое своим контактом включает контактор *КН* («Вниз»). Происходит пуск двигателя в обратном направлении. Кабина лифта опускается и по пути переставляет все этажные переключатели из левого положения в правое, а по достижении первого этажа переводит рычаг переключателя *ПЭ1* в среднее положение. Катушка контактора *КН* обесточивается, двигатель и тормозной электромагнит отключаются, кабина останавливается.

Одной и той же этажной вызывной кнопкой можно вызвать кабину с этажа, расположенного как выше, так и ниже. Например, этажной кнопкой *3* кабина может быть вызвана с первого и второго этажей на третий в результате включения контактора *КВ* через правые контакты переключателя *ПЭ3*. Этой же кнопкой *3* можно вызвать кабину с пятого и четвертого этажей на третий, когда выключится контактор *КН* через левые контакты того же переключателя *ПЭ3*.

Нижние и верхние этажные переключатели *ПЭ1* и *ПЭ5* являются одновременно и конечными выключателями, но для большей надежности применяется еще конечный выключатель *ВКА*. Если в одном из крайних положений почему-либо не отключается двигатель и кабина не остановится, то при дальнейшем ее движении разомкнутся контакты *ВКА* и отключатся как главные цепи, так и цепи управления. После устранения повреждения выключатель *ВКА* включается от руки. На схеме не показаны цепи сигнализации занятости кабины, а также аварийной сигнализации.

При скорости кабины выше 0,5 м/с необходима дополнительная механическая характеристика, обеспечивающая возможность работы двигателя на пониженной скорости. Эта характеристика нужна для движения кабины с ревизионной скоростью и обеспе-

чения требуемой точности остановки. Для лифтов со скоростью движения кабины выше 1,4 м/с наиболее распространенным является электропривод с двухскоростным асинхронным двигателем и контакторным управлением. Использование двухскоростных *АД* с независимыми обмотками, управляемых от тиристорных преобразователей, позволяет увеличивать скорость движения кабины до 2 м/с.

5.8. Регулируемый электропривод лифта по схеме тиристорный преобразователь — двигатель постоянного тока

В скоростных и высокоскоростных лифтах со скоростью движения кабины более 2 м/с в нашей стране и за рубежом применяют регулируемый электропривод с двигателями постоянного тока независимого возбуждения. Лебедки лифтов могут быть редукторными и безредукторными, двигатели — соответственно быстроходными и тихоходными (60 ... 140 мин⁻¹).

Среди систем электропривода постоянного тока в лифтах нашли применение две системы: генератор—двигатель (*Г—Д*) и тиристорный преобразователь—двигатель (*ТП—Д*). Систему *Г—Д* часто заменяют системой *ТП—Д*, хотя многие зарубежные лифтостроительные фирмы продолжают выпускать лифты с электроприводом системы *Г—Д*.

В электроприводе *ТП—Д* вместо двигатель-генераторного преобразователя применяют реверсивный тиристорный преобразователь, обычно состоящий из двух встречно-параллельно включенных трехфазных тиристорных выпрямителей с соответствующими устройствами управления. Тиристорный электропривод постоянного тока системы *ТП—Д* для высокоскоростных лифтов грузоподъемностью 1000 и 1600 кг со скоростью 2; 2,8 и 4 м/с устанавливают в административных и жилых зданиях до 40 этажей.

Рассмотрим схему тиристорного электропривода постоянного тока высокоскоростного лифта отечественной разработки (рис. 5.10).

Частота вращения двигателя *Д* регулируется изменением напряжения на якоре в пределах $-U_{ном} \dots + U_{ном}$ с помощью трехфазных мостовых выпрямителей (*СМ1* и *СМ2*).

Система импульсно-фазового управления тиристорами обеспечивает формирование импульсных сигналов включения тиристоров и подачу их на управляющие электроды в соответствующие моменты времени. Угол регулирования изменяется в пределах 0 ... 180°, зависимость его от напряжения управления практически линейна.

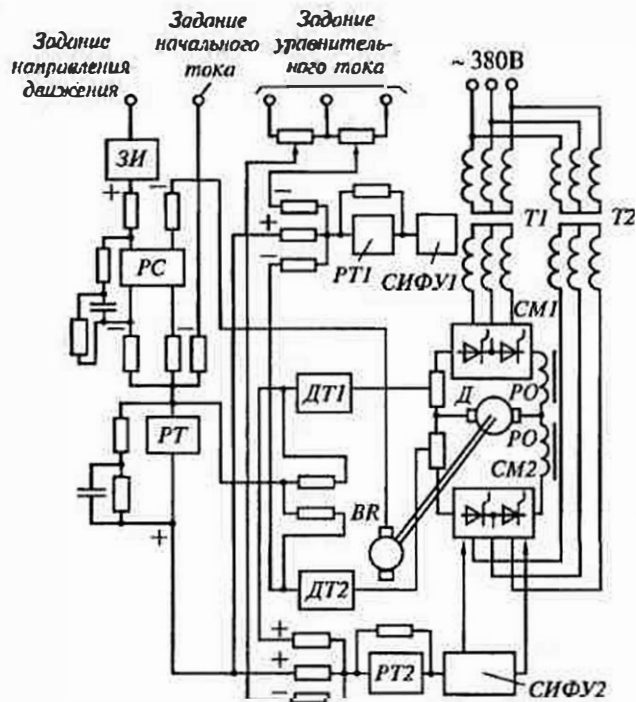


Рис. 5.10. Структурная схема тиристорного электропривода постоянного тока высокоскоростного лифта:

Д – электродвигатель постоянного тока; *СМ1* и *СМ2* – силовые модули тиристор-
 оров; *РО* – реакторы ограничивающие; *ВР* – тахогенератор; *ДТ1* и *ДТ2* – датчики
 тока направления вверх и вниз; *СИФУ1* и *СИФУ2* – системы импульсно-фазово-
 го управления силовыми модулями *СМ1* и *СМ2*; *РТ1* и *РТ2* – регуляторы тока
 направления вверх и вниз; *ЗИ* – задатчик интенсивности, обеспечивающий
 задание скорости и ограничение ускорения и рывка; *РС* – регулятор скорости;
РТ – регулятор тока

Система регулирования электропривода построена по принци-
 пу последовательной коррекции с подчиненным регулированием
 параметров. Такие системы обладают большими возможностями
 по формированию оптимальных переходных процессов пуска и
 торможения электропривода. В них легко реализуется, например,
 ограничение регулируемых переменных (координат) и их произ-
 водных, а это является необходимым требованием к электропри-
 водам лифтов.

Выходной сигнал регулятора скорости является сигналом за-
 дания регулятора тока. На заданном этапе вступает в действие ре-
 гулятор положения, управляемый сигналом датчика точной оста-

новки. Регулятор положения перед остановкой кабины выравни-
 вает ее на этаже, обеспечивает точность остановки в пределах
 ± 15 мм. Он также удерживает кабину на этаже при неисправности
 тормоза.

Задатчик интенсивности формирует диаграмму скорости с огра-
 ничением ее в пределах 1,4; 2 и 4 м/с, ускорения – $1,5 \text{ м/с}^2$ и
 рывка $1,5 \text{ м/с}^3$, что позволяет обеспечивать необходимые комфоро-
 ные условия и высокую производительность лифта.

Регулятор скорости *РС* является пропорционально-интеграль-
 ным. В нем сигнал заданной скорости задатчика интенсивности
ЗИ сравнивается с сигналом фактической скорости, поступаю-
 щим от тахогенератора *ВР*. Выходной сигнал *РС*, ограничивае-
 мый по амплитуде, является задающим для регулятора тока *РТ*, с
 которым сравнивается сигнал обратной связи по току, получае-
 мый с помощью датчиков тока *ДТ1* и *ДТ2*. Регулятор тока также
 является пропорционально-интегральным, поэтому ток двигате-
 ля пропорционален задающему току, а ограничению задания тока
 соответствует токоограничение двигателя.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите основное оборудование лифтов.
2. На какие категории делятся лифты по скорости движения?
3. Зачем в некоторых конструкциях лифтов используется подвижный пол?
4. Что представляет собой ловитель?
5. В каких случаях используют редукторный и безредукторный элект-
 роприводы?
6. Каким образом выбирается электродвигатель лифта?
7. По каким условиям формируется оптимальная диаграмма движе-
 ния кабины лифта?
8. Как можно регулировать точность остановки?
9. Назовите требования к электроприводу лифтовых установок.
10. Какие системы электропривода применяются для лифтов?
11. Для чего необходимо позиционно-согласующее устройство? Что
 такое селектор?
12. Назовите основные элементы и их назначение в схеме управления
 пассажирским лифтом с асинхронным двигателем.
13. Объясните назначение основных элементов в структурной схеме
 регулирования электропривода лифта по схеме ТП–Д.

Глава 6. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ НЕПРЕРЫВНОГО ТРАНСПОРТА

6.1. Общие сведения

Механизмы непрерывного транспорта широко применяются в различных отраслях народного хозяйства для механизации и автоматизации вспомогательных операций, например транспортировки руды, топлива, сырья, деталей машин, кормов, продуктов и т. д.

Механизмы непрерывного транспорта проще по своему устройству и эксплуатации, чем краны и подъемники, имеющие циклический характер нагрузки. По количеству перемещаемых грузов и длине трасс механизмы непрерывного транспорта нередко могут успешно конкурировать с автомобильным и железнодорожным транспортом. Помимо перемещения грузов указанные механизмы используются и для перевозки пассажиров (эскалаторы, подвижные тротуары).

Наиболее распространенными механизмами непрерывного транспорта являются конвейеры различных типов, конструкция которых определяется характером перемещаемых грузов, массой и скоростью их движения. Сыпучие грузы перемещаются ленточными конвейерами, штучные — пластинчатыми, роликовыми и подвесными. На промышленных предприятиях, как правило, применяются ленточные и подвесные цепные конвейеры. Ленточные используются главным образом на металлургических заводах, горных разработках, топливоподачах электростанций, в строительной и пищевой промышленности, подвесные цепные — на машиностроительных заводах, а также в химических, красильных и других цехах.

Основной конструктивной частью механизмов непрерывного транспорта и, в частности, любого конвейера является замкнутый, непрерывно движущийся в процессе работы тяговый орган, выполненный из специальной текстильной, прорезиненной или стальной ленты. Он может быть выполнен из цепей и канатов.

Применение той или иной конструкции тягового органа обуславливается не только характером перемещаемого груза, но и условиями окружающей среды, в которой работает механизм. Тяговый орган обычно приводится в движение через ведущие барабаны, звездочки, многогранные блоки и подобные устройства посредством электрических двигателей.

Рассмотрим конструкцию ленточного конвейера (рис. 6.1). Основными узлами его являются: *I* — натяжная станция; *II* — несущая конструкция с верхними *8* и нижними *9* опорными роликами, по которым движется текстильная прорезиненная лента *7*; *III*, *IV* — разгрузочная и приводная тележки.

Двигатель *13* через ременную передачу *12* приводит во вращение ведущий барабан *11*. Натяжная станция, обеспечивающая предварительное натяжение ленты, состоит из барабана *16*, подшипники которого могут перемещаться вдоль горизонтальных направляющих *17*, шкива *5*, промежуточных блоков *3* и груза *2*. Усилие, создаваемое грузом с помощью отводных тросов *4*, передается шкиву *5*. Последний поворачивается, вследствие чего тросы *18* наматываются на вал *1* и подтягивают к себе подшипники натяжного барабана *16*. Загрузка конвейера осуществляется через бункер *6*, выгрузка — с помощью разгрузочной тележки *III* в бункер *10* и отводящие рукава *14*. Перемещение тележки вдоль направляющих часто осуществляется с помощью ведущей ленты *7*, при этом вращаются барабаны *15*, которые через систему передач приводят в движение валы ведущих колес тележки *III*. Иногда для привода разгрузочной тележки применяют отдельный двигатель.

Такие конструктивные узлы, как приводная и натяжная станции, характерны не только для ленточного конвейера. Они являются необходимой частью цепных, канатных и других механизмов непрерывного транспорта.

Наиболее важной и дорогостоящей частью ленточных конвейеров является его ведущая часть — лента. Она ограничивает возможности конвейера в отношении температуры окружающей среды, характера транспортируемых грузов, так как легко подвергается термическому воздействию, пробоям, разрывам и износу. В связи с этим ленточные конвейеры применяются главным образом для транспортировки сыпучих грузов: зерна, кормов, песка, глины, руды, топлива и т. д.

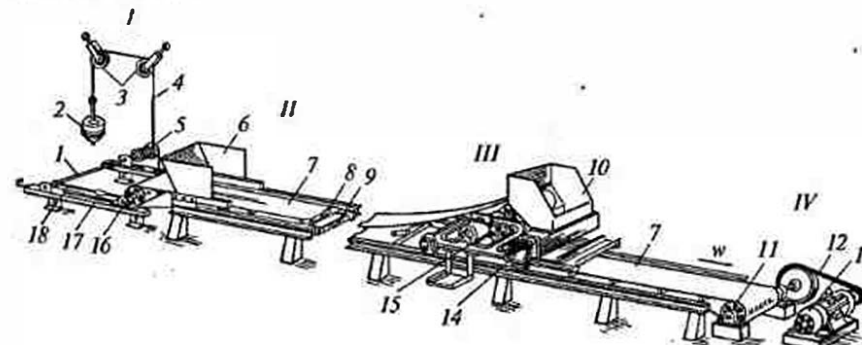


Рис. 6.1. Ленточный конвейер

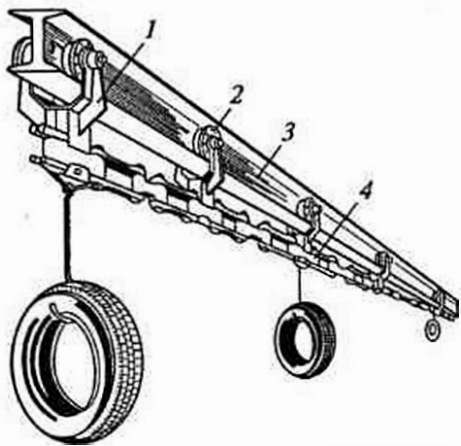


Рис. 6.2. Цепной конвейер

Подвесные цепные конвейеры монтируются на специальных конструкциях или колоннах вдоль цехов, иногда используются балки этажных перекрытий и т. п. Каретка 1 конвейера (рис. 6.2) движется на роликах 2 вдоль монорельса 3. Каретки приводятся в движение непрерывной цепью 4, проходящей через ведущую звездочку приводной станции. Подвесные конвейеры позволяют непрерывно транспортировать грузы внутри цехов и даже на территории нескольких цехов. Они не мешают

установке основного технологического оборудования. Благодаря тому, что ведущей частью конвейера являются стальные цепи, конвейеры могут работать, например, в помещениях со значительным содержанием агрессивных паров: в сушильных, термических цехах и т. п.

Назначение и характеристики подвесных конвейеров весьма разнообразны. Скорости движения цепей конвейеров находятся в пределах от нескольких миллиметров до десятков метров в минуту, масса перемещаемых грузов колеблется от нескольких граммов до тонн, а размеры достигают нескольких метров.

6.2. Определение статических нагрузок.

Расчет мощности двигателя

Статическая нагрузка конвейера определяется силами трения в элементах конвейера (подшипниках, опорных роликах, в тяговых элементах при его изгибах и т. д.), а также составляющими сил тяжести транспортируемого груза на наклонных участках трассы конвейера.

Результирующую силу сопротивления (тяговую силу) F_c определяют последовательным обходом трассы конвейера с учетом всех сил сопротивления на каждом его участке.

Мощность приводного двигателя конвейера

$$P = K, F_c v / \eta,$$

где $K, = 1,1 \dots 1,35$; коэффициент запаса, определяемый типом кон-

вейера; v — скорость тягового органа; η — КПД приводного механизма, учитывающий потери в барабане или звездочке и редукторе.

Значение тяговой силы определяют с помощью тягового расчета конвейера. Для этого контур (трассу конвейера) разбивают на отдельные расчетные участки, в пределах каждого сила сопротивления характеризуется какой-либо одной функцией. Все силы сопротивлений конвейера разделяют на не зависящие от натяжения гибкого органа (сопротивление группы роликовых опор, сопротивление от массы ленты и груза) и на зависящие от натяжения тягового органа (в опорах барабанов и звездочек, на криволинейных участках). На рис. 6.3 показана диаграмма натяжений в ленте одноприводного конвейера с горизонтальной трассой. Электродвигатель через редуктор вращает вал приводного барабана ПБ. Предварительное натяжение под воздействием груза G равно F_0 . Сила натяжения изменяется в пределах от F_0 до F_{\max} , что обуславливается усилиями, возникающими вдоль трассы на барабанах. В этом случае электродвигателю приходится преодолевать силу $F_c = F_{\max} - F_0$.

При более сложной трассе конвейера (рис. 6.4): наличии подъемных участков, роликовых батарей, отклоняющих ленту, и тележек, сбрасывающих материал, диаграмма натяжной ленты усложняется. Усилие, определяемое грузом G , в точке 0 на натяжном барабане НБ будет минимальным (F_0). Натяжение от точки 1 до точки 2 можно принять нарастающим линейно. В месте перехода через роликовую батарею (точки 2—3), учитывая поправку на сопротивление от жесткости ленты, можно принять, что натяжение нарастает аналогично случаю перехода через барабан соответствующего радиуса. От точки 3 до точки 4 натяжение увеличивается линейно. Аналогично рассмотренному случаю работы горизонтального конвейера усилие, которое должен преодолевать приводной двигатель, определяется разностью натяжений: $F_c = F_{\max} - F_0'$.

На длинных мощных конвейерах кроме основного головного привода устанавливают дополнительный однобарабанный привод,

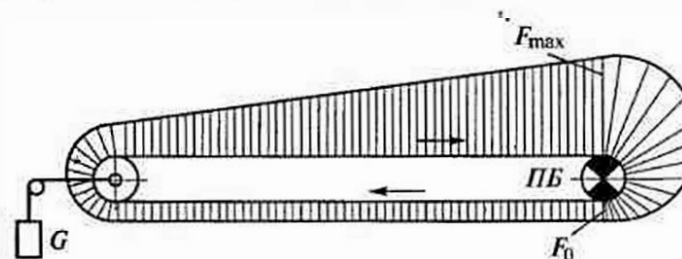


Рис. 6.3. Диаграмма натяжения в ленте одноприводного конвейера с горизонтальной трассой

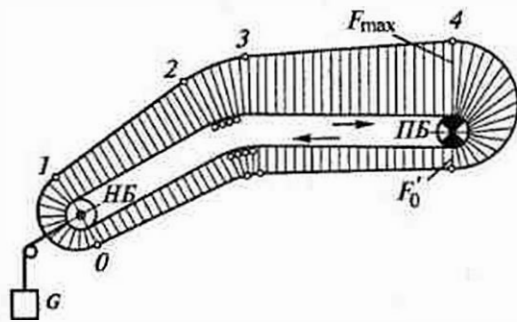


Рис. 6.4. Диаграмма натяжения в ленте одноприводного конвейера с трассой, отличающейся от горизонтальной

что позволяет экономически выгоднее выполнить механическую часть конвейера и уменьшить максимальное натяжение ленты. Электрическая часть конвейера в этом случае усложняется, так как требуются два пункта питания электроэнергией и управления двумя отдаленными один от другого приводами. Статические моменты для упомянутых двух приводов определяются с учетом того, что головной привод преодолевает, главным образом, сопротивление грузовой ветви, а хвостовой — порожней.

В зависимости от конкретных условий приводами могут быть головной (ГПБ) и хвостовой (ХПБ) барабаны. Значения нагрузок, приходящихся на каждый из двигателей, определяются с обязательным учетом механических характеристик двигателей и построения диаграммы натяжения ленты на каждом участке трассы. Статические моменты, которые приходится преодолевать нескольким двигателям, расположенным вдоль трассы и приводящим промежуточные барабаны, определяют по диаграмме натяжений (рис. 6.5). Натяжение на ГПБ значительно уменьшается при установке промежуточных приводов, и его двигатель преодолевает существенно меньшее сопротивление в связи с тем, что нагрузку принимают двигатели барабанов ПБ1 и ПБ2.

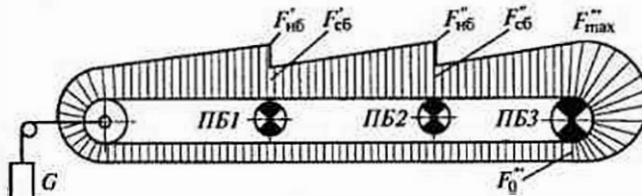


Рис. 6.5. Диаграмма натяжений в ленте многоприводного конвейера с горизонтальной трассой

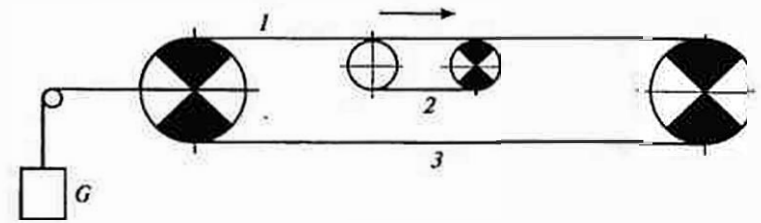


Рис. 6.6. Способ увеличения сцепления ленты многоприводного конвейера с приводным устройством

Преимуществом длинных многоприводных конвейеров является меньшая масса механической части вследствие уменьшения натяжения ленты и упрощения конструкции конвейера. По условиям работы многоприводной конвейер не имеет преимуществ перед одноприводным из-за равномерного распределения нагрузок между двигателями и их автоматического перераспределения. Длинные конвейерные линии позволяют транспортировать материал без перевалки. В некоторых случаях натяжение ленты настолько возрастает, что одноприводной конвейер применять нельзя. Многоприводной конвейер и в механической части не всегда легко выполним. Для увеличения сцепления ленты с промежуточными приводами прибегают к специальным мерам или создают особые участки с промежуточными приводами барабанами ППБ (рис. 6.6). В этом случае конвейер состоит не только из основной ленты (рабочей 1 и холостой 3 ветвей), но и специальных тяговых лент 2 на каждом из промежуточных приводов.

6.3. Основные требования к электроприводу

Рассмотрим основные особенности работы электропривода машин непрерывного транспорта. Для этих приводов характерна продолжительная работа в течение значительных промежутков времени (смены или нескольких смен). Этим большинство электроприводов машин непрерывного транспорта резко отличается от других подъемно-транспортных машин, для которых характерен циклический повторно-кратковременный режим работы. Загрузка машины, транспортирование и снятие груза в машинах непрерывного транспорта осуществляются, как правило, без остановок самой машины и без пауз в ее работе. Это существенно сказывается на расчете и выборе двигателей.

Для этих механизмов характерны относительно редкие пуски, которые обычно происходят несколько раз в сутки. Продолжительность их мало влияет на производительность машины. Во мно-

гих случаях продолжительность пуска специально увеличивают, чтобы при разгоне уменьшить перегрузки, ускорение груза на ленте, просыпание его, а также пробуксовывание ленты.

Направление вращения механизмов и, следовательно, вала электропривода машин непрерывного транспорта не изменяется или изменяется редко. Так, конвейер обычно длительное время транспортирует сыпучие и кусковые материалы или штучные грузы в одном направлении, эскалатор также длительное время работает на подъем или опускание пассажиров и т. д. Лишь некоторые машины непрерывного транспорта, например мятниковые канатные дороги, требуют частого реверса механизмов.

Конвейер, элеватор и другие машины непрерывного транспорта работают при определенной стабильной нагрузке. Переходы от холостого хода к предельным нагрузкам являются весьма редкими. Так, колебания нагрузки на эскалатор и ее повторяемость зависят от числа пассажиров, согласованности расписаний движения поездов и т. д. Еще более стабильна нагрузка на конвейеры, установленные на тепловых станциях, горнообогатительных и других комбинатах. Стабильна нагрузка линии непрерывного транспорта в машиностроении, приборостроении, при сборке радиоаппаратуры. Значительные перегрузки, особенно длительные, возникают в конвейерах, работающих на открытом воздухе в сложных атмосферных условиях. Они могут быть связаны со смерзанием материала, изменением температуры смазки механизмов.

Большое значение при выборе системы управления электроприводом ленточных конвейеров имеет правильный расчет упру-

гих деформаций тягового органа и ускорений, которые могут возникнуть при переходных процессах. Рассмотрим графики изменения скорости при пуске двигателя на набегающей 1 и сбегавшей 2 ветвях ленты (рис. 6.7). Конвейер приводится в движение асинхронным короткозамкнутым двигателем, статический момент на валу двигателя принят постоянным. Характер изменения скорости в ветвях 1 и 2 конвейера в значительной степени зависит от протяженности ленты. При малой длине конвейеров (около нескольких десятков метров) графики изменения скорости ветвей 1 и 2 во времени будут близки друг к другу (см. рис. 6.7, а). При этом ветвь 2 начинает двигать-

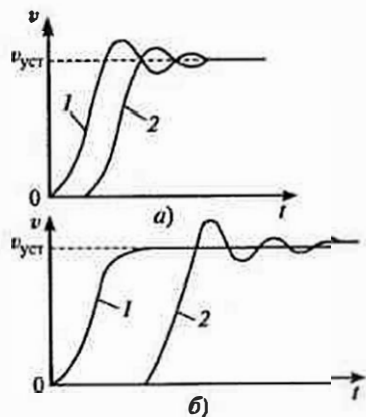


Рис. 6.7. Диаграмма скорости различных участков ленточного конвейера при пуске:

а — при малой длине конвейеров;
б — при большой длине конвейеров

ся с некоторым отставанием по отношению к ветви 1 за счет упругой деформации ленты, однако скорости ветвей довольно быстро выравниваются, правда, с некоторыми колебаниями.

Несколько иначе происходит пуск ленточных конвейеров большой протяженности (около сотен метров). В этом случае трогание с места сбегавшей ветви 2 конвейера может начаться после того, как приводной двигатель достигнет установившейся скорости (см. рис. 6.7, б). На ленточных конвейерах большой протяженности можно наблюдать отставание начала движения участков ленты на расстоянии 70...100 м от набегающей ветви при установившейся скорости двигателя. При этом в ленте создается дополнительное упругое натяжение, а тяговое усилие к последующим участкам ленты прикладывается рывком.

По мере достижения всеми участками конвейера установившейся скорости снижается упругое натяжение ленты. Возврат запасенной энергии может привести к возрастанию скорости ленты по сравнению с установившейся и к ее колебаниям (см. рис. 6.7, б). Такой характер переходного процесса в тяговом органе крайне нежелателен, так как приводит к повышенному износу ленты, а в некоторых случаях и к ее разрыву.

6.4. Системы электроприводов механизмов непрерывного действия

В электроприводах ленточных конвейеров длиной до 3000 м и мощностью до 100 кВт, как правило, используются асинхронные короткозамкнутые двигатели. Достоинствами таких электроприводов являются простота и относительно низкая стоимость, недостатками — повышенный пусковой момент и, следовательно, возможность появления больших натяжений и пробуксовки ленты.

Получили распространение и асинхронные электроприводы с муфтами скольжения (гидромуфты, электромагнитные муфты). Такие системы обеспечивают равномерное распределение нагрузки между двигателями в многодвигательном электроприводе и плавный пуск конвейера. В зарубежной практике находит применение двухдвигательный электропривод, в котором кроме главного двигателя устанавливается и вспомогательный меньшей мощности, который обеспечивает плавный разгон конвейерной ленты с уменьшенным ускорением. Мощность электропривода с короткозамкнутым АД может достигать 200 кВт.

Для более мощных электроприводов ленточных конвейеров наибольшее распространение получили АД с фазным ротором. В таких приводах можно обеспечить одинаковую жесткость характеристик, что крайне важно для конвейерных электроприводов.

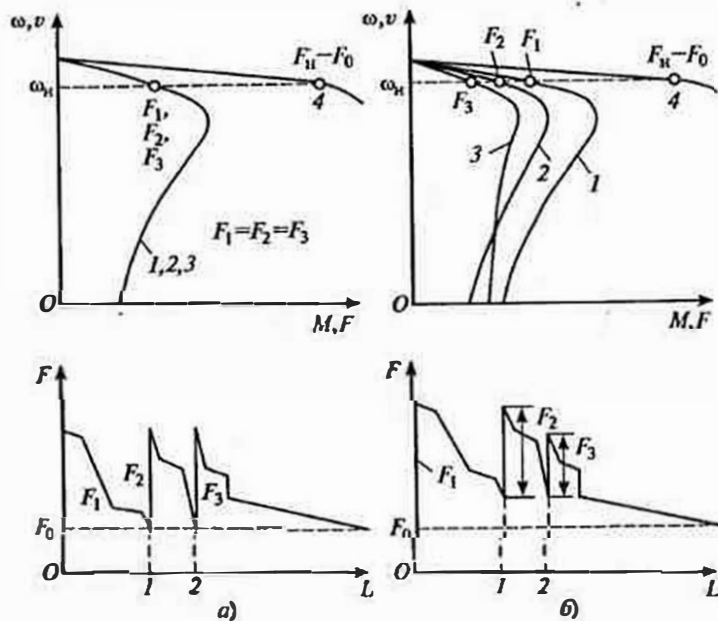


Рис. 6.8. Графики распределения нагрузки в тяговом органе цепного конвейера у двигателей:

а — с одинаковыми характеристиками; *б* — с разными характеристиками

В случае, если характеристики двигателей неодинаковы, каждая машина может создавать тяговое усилие, отличающееся от расчетного. Рассмотрим механические характеристики трех двигателей одинаковой мощности, имеющих одинаковые параметры (рис. 6.8, *а*), и характеристики двигателей, имеющих разные параметры (см. рис. 6.8, *б*). Усилия, которые создают двигатели, находят построением суммарной характеристики 4. Так как роторы всех двигателей конвейера жестко связаны тяговым органом, то их скорость соответствует скорости движения конвейера, а суммарное усилие равно $F_{нл} - F_0$. Тяговое усилие каждого двигателя легко рассчитать, проведя горизонтальную прямую, соответствующую номинальной скорости и пересекающую характеристики 1, 2, 3 и 4.

На рис. 6.8 кроме механических характеристик двигателей приведены диаграммы тяговых усилий. В тяговом органе при разных характеристиках двигателей может создаваться дополнительное натяжение, обусловленное разностью тяговых усилий, развиваемых двигателями конвейера.

При выборе двигателей приводных станций конвейера следует проверять их характеристики и по возможности добиваться совпадения. Поэтому целесообразно применять АД с фазным рото-

ром, где соответствие характеристик может быть получено введением дополнительных сопротивлений в роторную цепь. На рис. 6.9 приведены механические характеристики двухдвигательного электропривода конвейера. Характеристики 1 и 2 являются естественными, характеристики 1' и 2' получены введением в цепь ротора дополнительного сопротивления. Суммарный момент и тяговое усилие, развиваемое двигателями, будут одинаковыми как при жестких (1, 2), так и при мягких (1', 2') характеристиках. Однако нагрузка между двигателями при мягких характеристиках распределяется более благоприятно.

Таким образом, при включении резисторов в роторные цепи АД обеспечивается плавный пуск конвейера, а в случаях применения многодвигательного электропривода — равномерное распределение нагрузки между двигателями.

Для конвейеров во многих случаях следует использовать регулируемые электроприводы, перспективными из которых являются системы с асинхронными двигателями и частотным управлением, асинхронные вентильные каскады, электроприводы постоянного тока с тиристорными преобразователями. Применение линейных двигателей позволяет ликвидировать сложные и металлоемкие редукторные механические передачи и создать бесконтактные и безредукторные электроприводы.

В гл. 1 приведен пример конвейера с применением линейных АД. Рассмотрим еще один вариант применения асинхронного линейного электропривода.

Непрерывный кольцевой транспортер производительностью 1000 т/ч для использования на угольных шахтах показан на рис. 6.10. Он состоит из ряда вагонеток 1, каждая из которых в своей нижней части имеет составной вторичный элемент линейного АД. Статоры установлены неподвижно, что позволяет каждой вагонетке при прохождении над ними выполнять роль тянушей. Скорость вагонеток на линии 7 м/с, при загрузке — до 3 м/с, при разгрузке — до 2,3 м/с. Длина статора 2 м, сила тяги в неподвижном состоянии 5000 Н, при скорости 7 м/с сила тяги 2500 Н, частота тока питания 50 Гц. Привод отличается простотой и надежностью, так как отсутствуют скользящие электрические контакты и механические передачи. Путь вагонеток может быть не

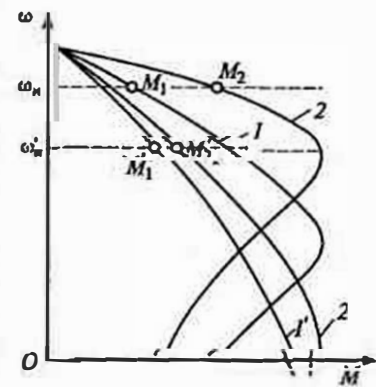


Рис. 6.9. Графики распределения нагрузки между двигателями конвейера при различной жесткости их характеристик

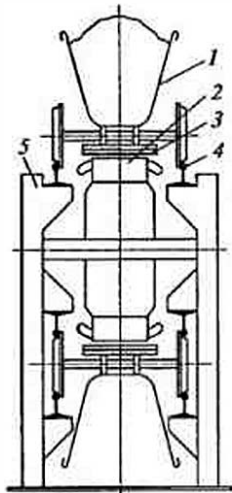


Рис. 6.10. Конструкция непрерывного кольцевого транспортера:

1 – вагонетка; 2, 3 – статор и вторичный элемент линейного асинхронного двигателя; 4 – рельс; 5 – опоры

обязательно прямолинейным, как при контактном приводе, скорость вагонток и тяговое усилие статоров можно регулировать.

С помощью линейного АД просто решаются задачи сортировки деталей и заготовок, подача или снятие их с конвейера, распределение, поворот и остановка деталей на конвейере. Простота управления линейными АД позволяет создавать разветвленные грузовые потоки с ручным и автоматическим управлением. Эффективна транспортировка металлических изделий, например баков, под которыми расположены неподвижные статоры.

Этот принцип использован для транспортировки багажа в аэровокзалах.

6.5. Электропривод конвейерных линий

Конвейерный транспорт широко применяется при проведении горных и геологоразведочных работ. В настоящее время на карьерах используются конвейерные линии производительностью до 10 000 м³/ч и протяженностью до 10 ... 15 км. Так как число конвейеров на линии может быть весьма значительным, применяется централизованное управление приводами конвейерных установок с автоматизированным пуском. В этом случае оператор подает только начальный командный импульс на пуск первого конвейера, а двигатели остальных конвейеров включаются автоматически в заданной последовательности.

Рассмотрим на примере основные принципы автоматизации конвейерных линий (рис. 6.11). Конвейерная линия состоит из трех последовательно расположенных ленточных конвейеров. В качестве привода используется асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором.

Во избежание завалов перегрузочных устройств в многосекционном ленточном конвейере требуется определенная последовательность включения и отключения его двигателей. При пуске секции конвейера включаются поочередно, начиная с хвостового участка разгрузки, в порядке, противоположном направлению грузопотока. Команда на запуск следующего конвейера выдается после того, как грузонесущий орган включившегося конвейера ра-

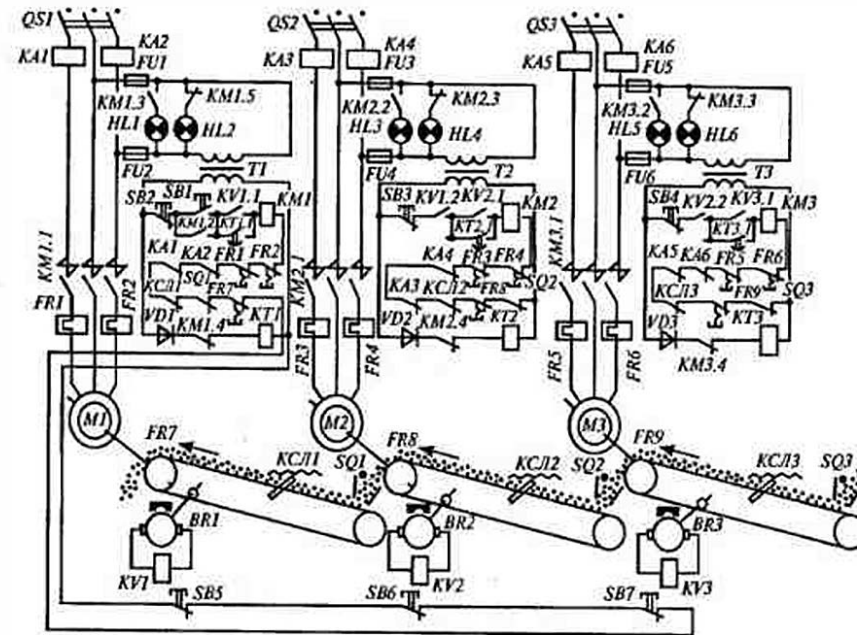


Рис. 6.11. Схема автоматизации конвейерной линии

зогнался до номинальной скорости. Такая блокировка осуществляется с помощью реле скорости, контролирующего движение грузонесущего органа.

Схема управления содержит блокировку, которая обеспечивает при аварийной остановке одного из конвейеров автоматическую остановку всех конвейерных линий, подающих груз на аварийно остановившийся. Остальные конвейеры продолжают работать, чтобы освободить тяговый орган от груза.

Время пуска конвейеров контролируется. При затянувшемся пуске конвейер должен отключиться и предотвратить запуск остальных конвейеров. Затянувшийся пуск свидетельствует о неисправности электропривода либо о проскальзывании ленты, которое может привести к ее возгоранию.

Схема управления должна обеспечивать аварийную остановку конвейера и всех конвейеров, подающих груз на аварийно остановившийся при затянувшемся пуске конвейера, снижении скорости ленты конвейера, обрыве тягового органа, перегрузке электродвигателя конвейера, перегреве подшипников приводных барабанов, образовании завала в местах перегрузки, сходе ленты конвейера. Она также должна обеспечивать возможность остановки конвейерной линии из нескольких точек.

Схема содержит следующие средства автоматического контроля и защиты конвейерной линии (см. рис. 6.11):

реле максимального тока *KA1... KA6*;

тепловые реле *FR1... FR6* для защиты от перегрузки электродвигателей;

тепловые реле *FR7... FR9* для защиты от перегрева приводных барабанов;

реле скорости, состоящее из тахогенераторов *BR1... BR3* и реле напряжения *KV1... KV3*, необходимые для контроля скорости ленты и ее защиты от обрыва;

датчики контроля схода ленты *KCL1... KCL3*;

датчики контроля *SQ1... SQ3* для защиты от завала мест перепада горной массы с конвейера на конвейер.

В схеме управления предусмотрена световая сигнализация. Включенные красные лампы *HL2, HL4, HL6* указывают на отключенное состояние электродвигателя и конвейера, зеленые *HL1, HL3, HL5* — на рабочее состояние.

Остановить конвейерную линию можно из нескольких точек трассы воздействием на одну из кнопок *SB5... SB7*.

Перед пуском конвейерной линии должны быть включены автоматы *QS1... QS3*. На схему управления подается напряжение, что приводит к срабатыванию реле времени *KT1... KT3* и замыканию нормально разомкнутых контактов *KT1.1... KT3.1*.

Отметим, что реле времени является реле постоянного тока. Поэтому напряжение на катушки реле времени *KT1... KT3* подается через выпрямительные диоды *VD1... VD3*.

Рассмотрим пуск конвейерной линии (см. рис. 6.11). Сначала нажатием на кнопку *SB1* запускается электродвигатель *M1*. По цепи *SB2, SB1, KT1.1, KM1, KA1, KA2, FR1, FR2, KCL1, SQ1, FR7, KV1.3, SB5, SB6, SB7* подается напряжение на катушку контактора *KM1*. Контактор *KM1* срабатывает и замыкает свои линейные контакты *KM1.1* в цепи статора электродвигателя *M1*. Двигатель запускается и приводит в движение ленту конвейера. Одновременно с этим замыкаются блок-контакты *KM1.2*, шунтирующие кнопку *SB1*, и контакт *KM1.3*, включающий лампу сигнализации *HL1*, указывающую на рабочее состояние первого конвейера. Размыкание контакта *KM1.4* приводит к снятию напряжения с катушки реле времени *KT1*, которое контролирует время, необходимое для разгона двигателя до максимальной частоты вращения.

Лента конвейера, пришедшая в движение, приводит во вращение вал тахогенератора *BR1*. По достижении лентой конвейера максимальной скорости реле *KV1* срабатывает и замыкает свои контакты *KV1.1* в цепи, шунтирующей контакт реле времени *KT1.1*, и *KV1.2* в цепи управления следующего конвейера.

Реле времени *KT1* контролирует время пуска. По истечении заданного времени реле *KT1* отпускает свой якорь и вызывает раз-

мыкание своего контакта *KT1.1* в цепи контактора *KM1*. Однако контактор *KM1* продолжает получать питание через замкнутый контакт *KV1.1*.

Если лента за время, необходимое для пуска, по каким-либо причинам не достигнет своей максимальной скорости, то контакт *KT1.1* разомкнется до того, как замкнется контакт *KV1.1*. Двигатель *M1* остановится, так как цепь питания катушки контактора *KM1* разомкнется.

В случае нормального пуска первого конвейера замкнется контакт *KV1.2* в цепи управления второго конвейера. По цепи *SB3, KV1.2, KT2.1, KM2, FR4, FR3, KA4, KV3, KA3, KCL2, FR8, SQ2* подается напряжение на катушку контактора *KM2*. Последний срабатывает и замыкает свои контакты *KM2.1* в цепи статора второго двигателя *M2*. Пуск второго конвейера контролирует реле времени *KT2* и скорости *KV2* аналогично рассмотренному случаю.

Таким образом, блокировки из реле скорости *KV1... KV3* и реле времени *KT1... KT3* позволяют осуществить контроль времени пуска конвейеров.

Остановить конвейерную линию можно из любой точки трассы воздействием на одну из кнопок *SB5, SB6* или *SB7* либо из пункта управления кнопкой *SB2*.

При срабатывании одного из видов защиты останавливается не только конвейер, на котором произошла авария, но и конвейеры, подающие груз на аварийно остановившийся. Например, остановка второго конвейера приводит к отключению реле скорости *KV2* и размыканию его контакта *KV2.2* в цепи питания контактора *KM3*, вследствие чего останавливается третий конвейер. Первый конвейер, который находится после второго по направлению потока груза, остается работающим.

Перспективным направлением в области автоматизации конвейерного транспорта является использование микропроцессорной техники и микроЭВМ. Микропроцессорная техника позволяет уменьшить размеры и массу аппаратуры управления, расширить диапазон решаемых задач управления, обеспечить контроль технического состояния различных узлов конвейерной установки и системы управления. Наиболее эффективно применение микропроцессорной техники на крупных разветвленных конвейерных линиях с большим числом маршрутов и конвейеров. В этом случае микроЭВМ, получая информацию о количестве вырабатываемой горной массы, может подавать команды на изменение скорости движения ленты каждого конвейера и маршрутов, обеспечивая равномерную загрузку магистральных конвейеров большой мощности. Одновременно микроЭВМ, получая информацию от соответствующих датчиков, своевременно определяет причину и место аварийной ситуации и передаст сообщение об этом диспетчеру.

6.6. Электропривод эскалаторов

Машины непрерывного транспорта используются не только для транспортировки грузов, но и для перевозки людей. Одним из характерных примеров таких машин являются эскалаторы, которые получили широкое применение на станциях метрополитена, в административных и торговых зданиях, с большими лотками пассажиров. В зданиях целесообразно использовать эскалаторы совместно с лифтами, причем эскалаторы устанавливают на нижних этажах, где движение наиболее интенсивное.

Существуют эскалаторы двух типов: с одной и двумя рабочими ветвями лестничного полотна. Наиболее распространены являются эскалаторы с одной рабочей ветвью, когда лестничное полотно используется для работы только на подъем или спуск пассажиров. Они отличаются сравнительно небольшими размерами.

На рис. 6.12 приведена кинематическая схема эскалатора метрополитена с одной рабочей ветвью. Ступени 2 лестничного полотна связаны шарнирами с двумя замкнутыми цепями 9, которые приводятся в движение ведущей звездочкой 3. Ступени катятся на бегунках 7 по направляющим 8. За счет определенной кривизны направляющих переход ступеней с горизонтального участка на наклонную плоскость осуществляется плавно с горизонтальным расположением поверхности ступени. Нижние звездочки 10 связаны с натяжной станцией, которая обеспечивает постоянное натяжение тяговых цепей. Вал верхней звездочки 3 через цепную передачу 5 и редуктор *PI* связан с натяжной станцией, которая обеспечивает постоянное натяжение тяговых цепей. Вал верхней звездочки 3 через цепную передачу 5 и редуктор *PI* связан с приводным двигателем *Д*. Цепная передача между валом звездочки и выходным валом редуктора устанавливается в целях сокращения размеров.

Приводная станция эскалатора снабжена двумя рабочими тормозами 6 и одним аварийным 4. Каждый тормоз должен обеспечивать нормальное торможение при полностью загруженном полотне эскалатора. Рабочие тормоза устанавливаются непосредственно у двигателя, а аварийный, рассчитанный на случай нарушения кинематической связи между двигателями и тяговой звездочкой, — непосредственно у вала последней. Для более плавного торможения тормоза снабжаются масляными демпферами, работа которых настраивается таким образом, что первый тормоз осуществляет торможение, а затем, когда двигатель останавливается, накладываются колодки второго тормоза. В случае обрыва тяговых цепей полотно остается неподвижным за счет заклинивания цепи в специальных предохранительных шинах.

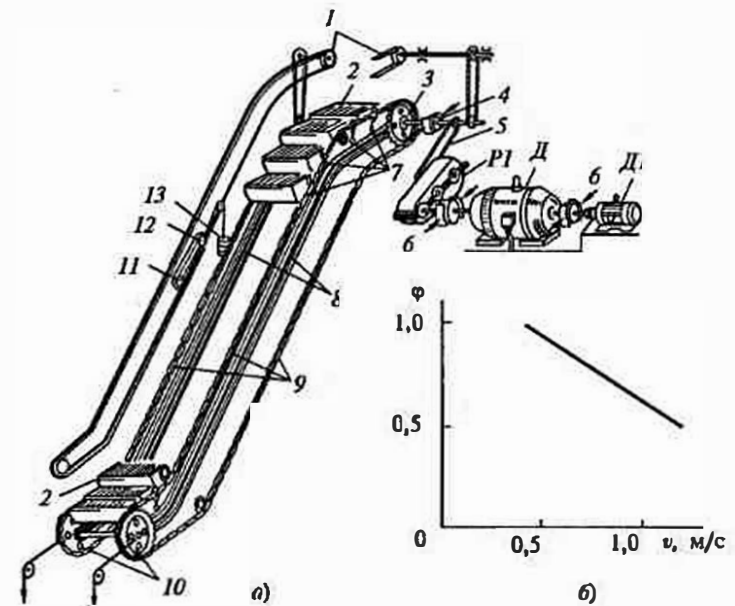


Рис. 6.12. Кинематическая схема эскалатора (а) и график зависимости коэффициента заполнения эскалатора от скорости (б)

Кроме главного приводного двигателя на эскалаторе устанавливается вспомогательный двигатель небольшой мощности *Д1*. Он предназначен для медленного движения оборудования в ненагруженном состоянии в период ремонтных работ, осмотров, чистки и смазывания деталей.

Для удобства и безопасности пользования с двух сторон от лестничного полотна эскалатор снабжен движущимися поручнями 1, которые приводятся в движение через цепные передачи или редуктор от главного двигателя тяговых цепей. Натяжение ленты поручней обеспечивается натяжной станцией, состоящей из блоков 11 и 12, через которые проходит лента. Блок 11 жестко связан с металлоконструкцией, а подвижный блок 12 под действием груза 13 стремится удлинить петлю, образованную лентой, что и вызывает постоянное натяжение поручней.

Скорость движения лестничного полотна эскалатора выбирается в пределах 0,45 ... 1 м/с. Верхний предел скорости ограничен тем, что вход и выход пассажиров происходит на ходу. Кроме того, при скорости выше 1 м/с производительность эскалатора не возрастает, так как пассажиры не успевают занимать каждую ступень. Последняя рассчитана, как правило, на двух пассажиров.

Практика показывает, что эскалаторы целесообразно применять при высоте подъема 4 ... 65 м с углом подъема 30°. Для больших высот при выборе подъемной установки следует проводить сравнение между эскалаторами и лифтами, так как масса тяговых цепей и масса лестничного полотна эскалатора очень возрастают, вследствие чего лифты могут оказаться более целесообразными. Кроме того, при больших высотах подъема весьма длительным становится время пребывания пассажиров на станциях.

Производительность эскалатора — число пассажиров, транспортируемых в час, — не зависит от высоты подъема и определяется по формуле

$$П = 3600 \varphi E v / Z,$$

где φ — коэффициент заполнения полотна эскалатора; E — число пассажиров на ступени; v — скорость движения полотна, м/с; Z — шаг ступени, м.

Коэффициент заполнения E зависит от скорости движения и может быть определен по графику, приведенному на рис. 6.12, б.

Мощность приводного двигателя эскалатора, кВт:

$$P = Q_n v \sin \alpha 10^{-3} / \eta,$$

где Q_n — номинальная нагрузка эскалатора, Н; α — угол наклона эскалатора; η — КПД эскалатора, при расчетах может быть принят 0,7 ... 0,8.

Загрузка эскалатора, Н:

$$Q_n = n c \varphi g,$$

где n — число пассажиров, на которое рассчитана ступень (обычно $n = 2$); c — число ступеней на наклонной части эскалатора; g — масса одного пассажира (700 ... 800 Н).

После выбора двигателя по условиям статического режима работы его проверяют по условиям максимальной загрузки в пусковой период. Ускорение при пуске не должно превышать 0,6 ... 0,7 м/с². Это обусловлено безопасностью пользования эскалатором, а также необходимостью ограничения износа механического оборудования.

Наиболее широкое распространение для электропривода эскалаторов получили асинхронные двигатели с фазным ротором, которые при пуске в несколько ступеней обеспечивают заданное ускорение. На станциях метрополитена, переходах, в торговых помещениях — там, где длина полотна эскалатора невелика, применяются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Для ограничения бросков тока в сети, а также некоторого снижения момента двигателя и ускорения электропривода при пуске в цепь статора двигателя вводится дополнительное сопротивление.

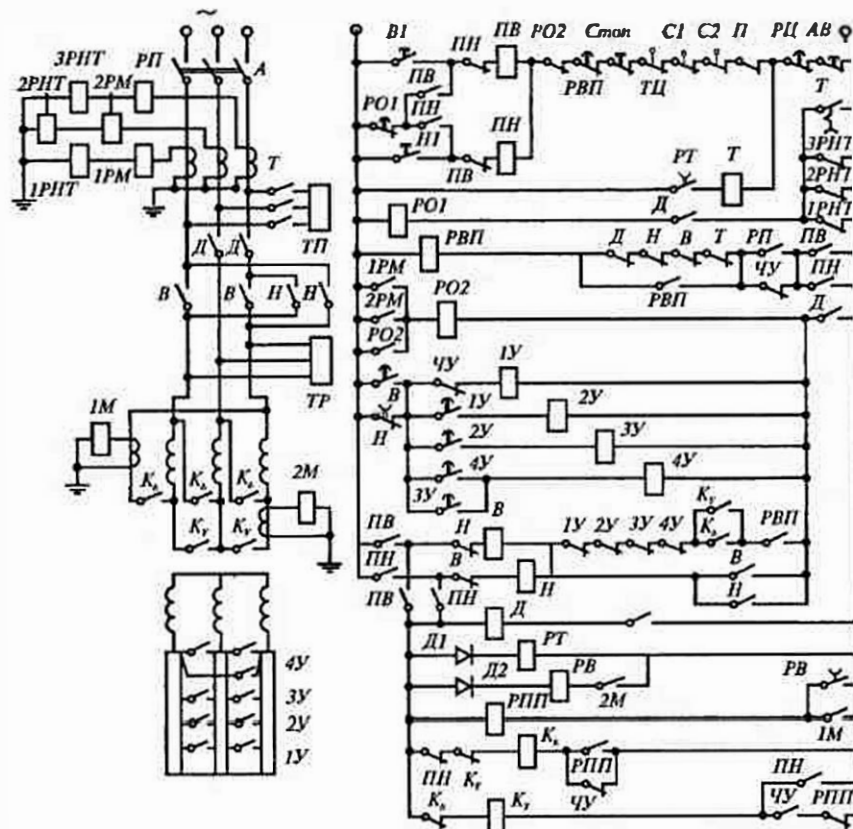


Рис. 6.13. Схема электропривода эскалатора метрополитена

Рассмотрим схему электропривода эскалатора метрополитена (рис. 6.13), позволяющую работать на подъем и спуск пассажиров. В качестве приводного двигателя используется АД с фазным ротором мощностью до 200 кВт. В определенные часы суток при небольшом потоке пассажиров эскалатор может длительно работать практически вхолостую. Для повышения коэффициента мощности и КПД двигателя при снижении нагрузки на его валу примерно до 40 % от номинальной статорная обмотка переключается с треугольника на звезду. При повышении нагрузки она вновь переключается на треугольник. Указанные переключения осуществляются автоматически с помощью реле максимального тока 1М и 2М, которые управляют контакторами K_v и K_r через реле РПП и РВ. Контакт РВ с выдержкой времени на размыкание обеспечивает наличие цепи катушки РПП в период времени между отключением 2М и включением 1М.

В генераторном режиме спуска с полной нагрузкой двигатель загружен существенно меньше, чем при аналогичной нагрузке в режиме подъема. Поэтому в режиме спуска статорная обмотка двигателя всегда включена на звезду. Пуск двигателя осуществляется в функции времени с использованием маятниковых реле контакторов ускорения $1У...4У$. Торможение — механическое. При этом рабочий тормоз $РТ$ установлен на валу двигателя, а предохранитель $ТП$ — на валу приводной звездочки для обеспечения остановки лестницы при нарушении механической связи между валами звездочки и двигателя.

Схема осуществляет типовые защитные блокировки от неисправности механической части оборудования — вытяжки цепей и поручней (конечные выключатели $ТЦ$, $П$), нарушения конструкции ступеней (конечные выключатели $С1$ и $С2$), превышения температуры подшипников (тепловые реле $Т$), а также от превышения скорости (центробежное реле скорости $РЦ$). Кроме того, предусмотрены защиты двигателя: максимальная (реле $1РМ$, $2РМ$), от перегрузки (реле $РП$), от потери двигателем питания (реле нулевого тока $1РНТ$, $2РНТ$, $3РНТ$), от приваривания замыкающих контактов силовых контакторов (размыкающие контакты $Д$, $Н$, $В$, $Т$ в цепи катушки $РВ11$ и $1У...4У$ в цепи катушки $В$). Защита от потери питания, превышения температуры подшипников и перегрузки двигателя действует с выдержкой времени, определяемой реле времени $Р01$ и $РВ11$. Все защиты, за исключением реле скорости $РЦ$, осуществляют остановку двигателя его отключением от сети и наложением рабочего тормоза $РТ$. Только в конце процесса торможения, после истечения выдержки времени реле $РТ$, накладывается дополнительно предохранительный тормоз $ТП$. При срабатывании реле скорости $РЦ$ или нажатии на кнопку $АВ$ аварийной остановки одновременно накладываются оба тормоза.

6.7. Электропривод канатных дорог

На строительстве гидроэлектростанций, на крупных горных разработках широко применяются канатные дороги. Часто прокладка их трассы при переходе через реки и горные ущелья оказывается проще, чем прокладка шоссе и железных дорог. Канатные дороги менее чувствительны к снежным заносам, гололедам и дождям, чем наземный транспорт. Канатные дороги применяются также для перевозки пассажиров, особенно в спортивных и туристических целях.

Различают два вида канатных дорог: маятниковые и кольцевые. Кинематическая схема и трасса маятниковой канатной дороги показаны на рис. 6.14.

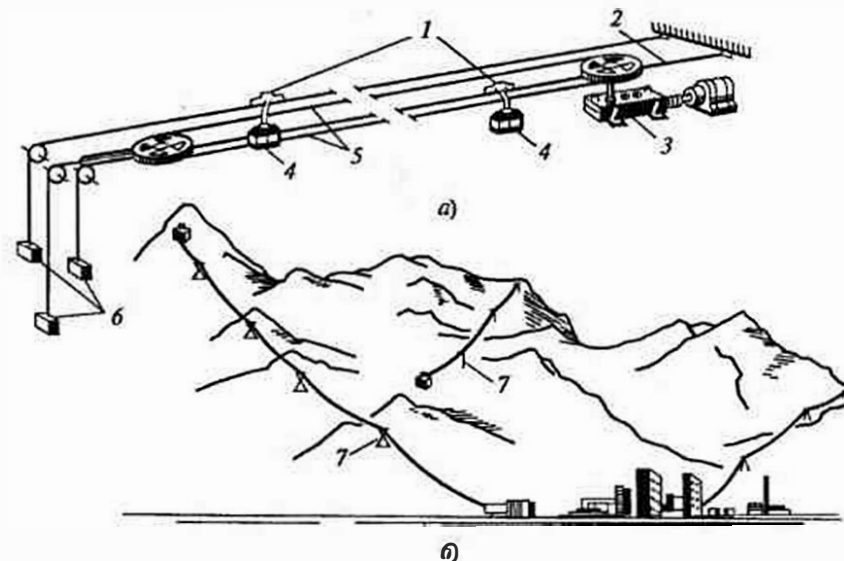


Рис. 6.14. Кинематическая схема (а) и трасса (б) маятниковой канатной дороги

Механическая часть канатной дороги по принципу устройства мало отличается от цепных и канатных конвейеров. На опорах 7, установленных на трассе, крепятся стальные несущие канаты 2, по которым на роликах-подвесах 1 перемещаются пассажирские или грузовые кабины 4. Тяговое усилие передается кабинам специальным непрерывным тросом 5, который приводится в движение от приводной станции 3. Для поддержания определенного натяжения несущих и ведущего тросов служат грузы 6.

На маятниковых канатных дорогах, как правило, две кабины движутся навстречу друг другу с одновременной остановкой на конечных станциях разгрузки и погрузки, после чего осуществляется реверсирование электропривода и кабины движутся в обратном направлении. Маятниковые канатные дороги рассчитаны на высокую производительность, которая характеризуется следующими показателями: число пассажиров в кабине-вагоне до 70; скорость движения до 8...10 м/с; общая масса перемещаемого вагона до 8...10 т. На дорогах такого исполнения требуется высокая точность остановки вагонов у посадочных площадок, а также плавный пуск и торможение.

Кольцевые канатные дороги имеют один непрерывно движущийся канат с автоматическим или ручным присоединением подвесных пассажирских сидений, ручных держателей для лыжников, грузовых тележек и т. п. Скорость движения каната чаще все-

го составляет 1,5 ... 2,5 м/с. Ввиду непрерывного движения тягового каната к системе электропривода кольцевых канатных дорог не предъявляются высокие требования в отношении точности остановки. Однако требуется обеспечение плавности пуска и торможения для предотвращения раскачивания кабин, снижения рывков, передающихся пассажирам, и излишней перегрузки канатов. При увеличении скорости движения на кольцевых канатных дорогах до 5 ... 7,5 м/с эти требования становятся особенно жесткими.

Наряду с канатными дорогами для персвозки топлива на теплоэлектростанциях и туристическими горными дорогами эксплуатируются дороги меньшей протяженности с высокой грузоподъемностью, предназначенные, например, для переправы грузовых железнодорожных платформ и автомобилей через крупные реки.

Наиболее целесообразно использование канатных дорог на горных разработках, когда трасса имеет значительный уклон и грузы необходимо спускать. В этом случае приводные двигатели работают главным образом в режиме рекуперативного торможения, не потребляя энергии, а, наоборот, отдавая ее в сеть.

Как и для других механизмов непрерывного транспорта, для электропривода канатных дорог широко применяются АД с фазным ротором. Основными требованиями, предъявляемыми к электроприводу канатных дорог, являются плавный пуск и плавное торможение системы. Эти требования определяются, главным образом, большими массами механического оборудования дороги и перегрузками канатов, возникающими при резких изменениях скорости. Время пуска и торможения электропривода для каждой канатной дороги определяется техническим заданием, но в среднем оно составляет 10 ... 30 с. Мощность приводного двигателя определяют по максимальному тяговому усилию на канате и скорости движения. При расчете мощности двигателей канатных дорог, особенно маятникового типа, необходимо учитывать увеличение момента на валу за счет момента инерции привода в переходных процессах.

Выбирая электропривод канатной дороги, очень важно предварительно определить режим его работы в соответствии с уклонами трассы и загрузкой в течение рабочего периода. Электропривод может работать только в двигательном режиме, осуществляя подъем грузов, только в генераторном режиме, осуществляя спуск грузов, и со знакопеременной нагрузкой, когда двигатель работает то в генераторном, то в двигательном режиме, если, например, за рабочую смену характер нагрузки несколько раз меняется.

В тех случаях, когда электропривод работает только в двигательном режиме, применяется АД с фазным ротором и относительно простая схема управления с многоступенчатым пусковым

реостатом. Управление пуском двигателя осуществляется с помощью командоконтроллера, контакты которого введены в цепи катушек реверсивных контакторов и контакторов ускорения.

Контроль за пуском двигателя осуществляется электромагнитными реле времени, катушки которых получают питание от выпрямителей.

Рассмотрим пусковые характеристики асинхронного электропривода канатной дороги (рис. 6.15). Пуск двигателя осуществляется в восемь ступеней, что позволяет снизить колебания момента двигателя при переключениях и уменьшить колебания ускорения при пуске. Для рассматриваемой диаграммы пусковой момент $M_{п}$ колеблется в пределах 1,1 ... 1,7, т. е. отклонения момента от среднего значения составляют 21,5 %. При полностью введенном в цепь ротора сопротивлении двигатель развивает момент меньше номинального. Две первые пусковые ступени служат для выбора люфтов в редукторе и слабины в канатах и при автоматическом пуске используются кратковременно.

Применение асинхронного электропривода на канатных дорогах целесообразно при спуске грузов и возможной рекуперации энергии в сеть. Пуск двигателя канатной дороги с активной нагрузкой можно осуществить простым поднятием тормозных колодок и, когда скорость достигнет синхронной или близкой к ней, подключить двигатель к сети. При таком пуске безопасность установки зависит только от работы центробежного реле, которое осуществляет контроль за моментом включения. Неточная работа реле или его неисправность могут привести к тяжелой аварии. Поэтому, как правило, такой способ пуска не используется, а применяется обычный реостатный пуск двигателя, по окончании которого сопротивление шунтируется и двигатель, работая в режиме рекуперации, осуществляет торможение опускающегося груза.

Несколько отличным является и процесс торможения дороги при остановке. Если просто отключить двигатель от сети и наложить тормозные колодки, то вся энергия движущихся масс должна быть погашена в тормозном устройстве, что усложняет механическую часть тормозов и снижает надежность их работы. Во избежание этого на канатных дорогах с активной нагрузкой применяется динамическое торможение, а тормозные колодки на-

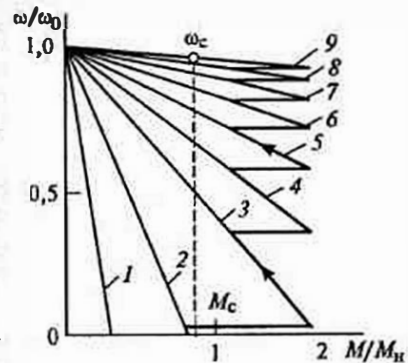


Рис. 6.15. Пусковая диаграмма асинхронного электропривода канатной дороги

кладываются при скорости, составляющей примерно 1 % от номинальной. Режим динамического торможения позволяет получить и пониженную скорость движения, необходимую для ремонтных и наладочных работ.

Высоким требованиям в отношении надежности работы дороги при знакопеременной нагрузке и точности останова в должной степени удовлетворяет система генератор—двигатель (рис. 6.16). Управление системой может осуществляться с помощью магнитных усилителей *МУ-В* и *МУ-Н*, от которых получает питание разделенная на две равные части и включенная в симметричную мостовую схему обмотка возбуждения генератора. Все сигналы на пуск и торможение дороги подаются к управляющим обмоткам *МУ*. С их помощью осуществляется также формирование статических и динамических характеристик электропривода. В схеме применены отрицательные обратные связи по скорости и по току с отсечкой. Сигнал пропорциональный скорости подается от тахометрического генератора. Сигнал на узел токоограничения подается с компенсационной обмотки.

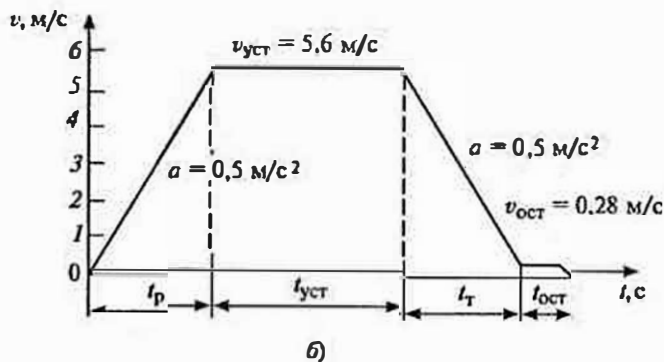
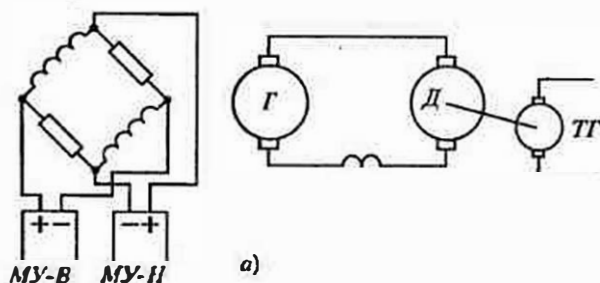


Рис. 6.16. Упрощенная схема канатной дороги с системой генератор—двигатель (а) и диаграмма скорости (б)

Высокая безопасность и надежность работы канатной дороги с системой Г—Д обеспечиваются наличием ряда защитных и блокировочных цепей.

Контрольные вопросы и задания

1. Где применяются механизмы непрерывного транспорта?
2. Назовите основные узлы ленточного конвейера и объясните их назначение.
3. Как выбирается приводной двигатель конвейера?
4. Сформулируйте основные требования к электроприводу механизмов непрерывного транспорта.
5. Чем вызвано дополнительное упругое натяжение в конвейерах большой протяженности?
6. Какие системы электропривода применяются для механизмов непрерывного транспорта?
7. Почему АД с фазным ротором получили наибольшее распространение?
8. Объясните устройство кольцевого транспортера с линейным асинхронным двигателем.
9. Назовите основные средства автоматического контроля и защиты, применяемые при автоматизации конвейеров.
10. В какой последовательности осуществляется пуск конвейерной линии?
11. Как устроен эскалатор?
12. Назовите основные элементы схемы управления эскалатором.
13. Объясните устройство канатной дороги. В чем отличие кольцевых дорог от маятниковых?
14. Какие преимущества имеет система Г—Д при создании канатных дорог?

Глава 7. ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ НАСОСОВ, ВЕНТИЛЯТОРОВ И КОМПРЕССОРОВ

7.1. Общие сведения

В современной технике большой класс составляют машины для подачи жидкостей и газов, которые подразделяются на насосы, вентиляторы и компрессоры. Основными параметрами, характеризующими работу таких машин, являются создаваемые ими подача, давление и напор, а также энергия, сообщаемая потоку их рабочими органами.

Подача — это количество жидкости или газа, перемещаемых машиной в единицу времени. При измерении подачи в единицах объема ее называют *объемной* и обозначают обычно Q .

При изучении систем электропривода целесообразно разделить эти механизмы на несколько групп. К первой, наиболее распространенной, относятся насосы, вентиляторы и компрессоры центробежного типа, статическая мощность на валу которых меняется пропорционально кубу скорости, если потерями холостого хода можно пренебречь и отсутствует противодействие, т.е. это механизмы с так называемой вентиляторной характеристикой (рис. 7.1, а). Вторую группу составляют различные насосы и компрессоры поршневого типа, мощность на валу которых изменяется по синусоидальному закону в зависимости от угла φ поворота кривошипа (см. рис. 7.1, б и в). У поршневых насосов одинарного действия подача осуществляется только при движении поршня вперед, при обратном

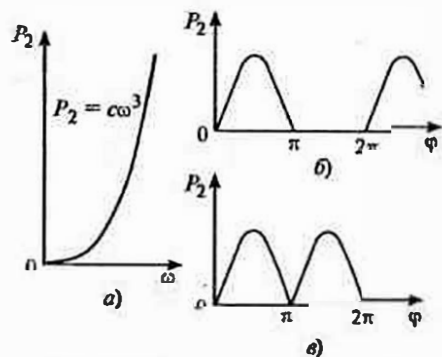


Рис. 7.1. Графики зависимости мощности на валу двигателя от скорости и угла поворота кривошипа механизмов: а — центробежного типа; б — поршневых одинарного действия; в — поршневых двойного действия

ходе подача отсутствует (см. рис. 7.1, б). Механизмы двойного действия осуществляют подачу при ходе поршня в обе стороны (см. рис. 7.1, в).

Во многих случаях при использовании насосов, вентиляторов и компрессоров необходимо регулирование их подачи. Нередко требуется глубокое периодическое регулирование подачи, если потребление воды, воздуха или технологических продуктов меняется в несколько раз. Иногда же требуется весьма незначительное, но постоянное подрегулирование подачи при отклонении параметров воздуха, воды от заданных значений.

В качестве примеров периодического изменения подачи можно привести шахтную водоотливную установку с непостоянным притоком воды, циркуляционную установку турбины при разной температуре охлаждающей воды, аэродинамические трубы и т. д. Постоянное подрегулирование подачи насосов необходимо, например, в химическом производстве, где количество перекачиваемой щелочи или кислоты зависит от их плотности. Необходимо оно также на электрических станциях, где подача вентиляторов и дымоходов определяется количеством и составом топлива котельного агрегата.

Подачу можно регулировать изменением скорости вращения механизма, а также изменением сопротивления магистрали, уменьшая, например, ее сечение. Кроме того, регулировать подачу можно посредством направляющих аппаратов, поворотных лопаток и т. п.

Наибольший интерес представляет способ регулирования подачи механизмов с вентиляторным моментом изменением скорости двигателя.

7.2. Определение момента сопротивления и мощности на валу механизма

На основании заданных для вентилятора или насоса подачи и суммарного напора, а для компрессора — подачи и удельной работы сжатия, определяется мощность на валу, в соответствии с которой и выбирают мощность приводного двигателя.

Момент на валу центробежного вентилятора определяют из выражения энергии, сообщаемой движущемуся газу в единицу времени.

Известно, что

$$m = Fv\rho,$$

где m — масса газа, проходящего за секунду, кг/с; F — сечение газопровода, м²; v — скорость движения газа, м/с; ρ — плотность газа, м³.

Тогда выражение для энергии движущегося газа примет вид

$$W = \frac{mv^2}{2} = \frac{Fv^3\rho}{2},$$

откуда мощность на валу приводного двигателя, кВт,

$$P = \frac{Fv^3\rho}{2\eta_n\eta_{\pi}} \cdot 10^{-3}, \quad (7.1)$$

где η_n, η_{π} — КПД соответственно вентилятора и передачи.

В этой формуле можно выделить группу величин, соответствующих подаче, $\text{м}^3/\text{с}$, и напору вентилятора, Па:

$$Q = Fv; \quad H = \frac{v^2\rho}{2}$$

Из приведенных выражений видно, что

$$Q = C_1\omega; \quad H = C_2\omega^2.$$

Соответственно

$$P = \frac{QH}{\eta_n \eta_{\pi}} = C\omega^3; \quad M = \frac{P}{\omega} = C\omega^2, \quad (7.2)$$

где C, C_1, C_2 — постоянные величины.

Отметим, что вследствие наличия статического напора и конструктивных особенностей центробежных вентиляторов показатель степени в правой части выражения (7.2) может отличаться от 3.

Аналогично определяется мощность на валу центробежного насоса, кВт,

$$P = \frac{\rho_1 g Q (H_c + \Delta H)}{\eta_n \eta_{\pi}} \cdot 10^{-3}, \quad (7.3)$$

где ρ_1 — плотность перекачиваемой жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; g — ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$; Q — подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

H_c — суммарный напор, м; $H_c = H_r + (p_2 - p_1)/(\rho_1 g)$; H_r — геодезический напор, равный разности высоты нагнетания и всасывания, м; p_2 — давление в резервуаре, куда перекачивается жидкость, Па; p_1 — давление в резервуаре, откуда перекачивается жидкость, Па; ΔH — потеря напора в магистрали, м, зависит от сечения труб, качества их обработки, кривизны участков трубопровода и т. д. (значения ΔH приводятся в справочной литературе).

С некоторым приближением можно принять, что для центробежных насосов между мощностью на валу и скоростью существуют зависимости $P = C\omega^3$ и $M = C\omega^2$. Практически показатели сте-

пени у скорости изменяются в пределах 2,5... 6 для различных конструкций и условий работы электропривода и определяются наличием напора магистрали. При выборе электропривода насосов, работающих на магистрали с высоким напором, очень важным обстоятельством является то, что они весьма чувствительны к снижению скорости двигателя.

Основной характеристикой насосов, вентиляторов и компрессоров является зависимость развиваемого напора H от подачи Q . Указанные зависимости представляются обычно в виде графиков HQ для различных скоростей механизма.

В качестве примера приведем характеристики 1... 4 центробежного насоса при различных угловых скоростях его рабочего колеса (рис. 7.2). Характеристикой магистрали δ называется зависимость между подачей Q и напором, необходимым для подъема жидкости на высоту преодоления гидравлических сопротивлений и избыточного давления на выходе из нагнетательного трубопровода. Точки пересечения характеристик 1... 3 с характеристикой δ определяют значения напора и производительности при работе насоса на определенную магистраль при различных скоростях. Построим характеристики HQ центробежного насоса для различных скоростей: $0,8\omega_n$; $0,6\omega_n$; $0,4\omega_n$, если характеристика 1 при $\omega = \omega_n$ задана.

Для одного и того же насоса

$$Q/\omega = \text{const}; \quad H/\omega^2 = \text{const}.$$

Следовательно,

$$Q_1/Q_2 = \omega_1/\omega_2; \quad H_1/H_2 = \omega_1^2/\omega_2^2.$$

Построим характеристику насоса для $\omega_1 = 0,8\omega_n$; для точки δ

$$Q_{\delta} = (\omega_1/\omega_n)Q_n = 0,8Q_n;$$

$$H_{\delta} = (\omega_1^2/\omega_n^2)H_n = 0,64H_n;$$

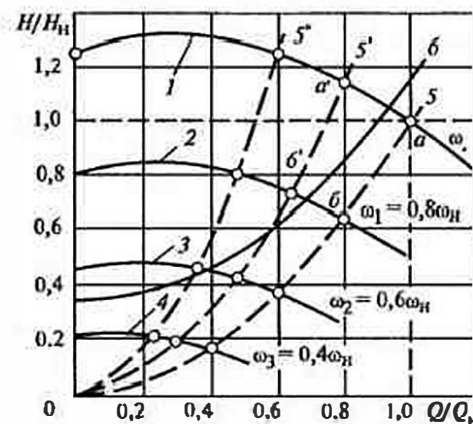


Рис. 7.2. Графики зависимости напора H насоса от его подачи Q

для точки δ'

$$Q'_\delta = 0,8 Q'_a; H'_\delta = 0,64 H'_a.$$

Таким образом получены вспомогательные параболы 5, 5', 5'' (см. рис. 7.2).

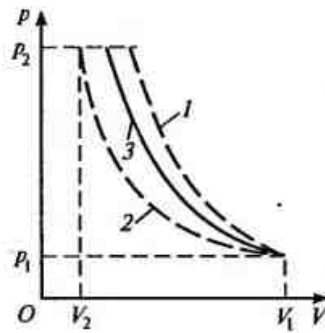


Рис. 7.3. Индикаторная диаграмма сжатия газа

Мощность двигателя поршневого компрессора может быть определена на основании индикаторной диаграммы сжатия воздуха или газа (рис. 7.3). Некоторое количество газа сжимается от начального объема V_1 и давления p_1 до конечного объема V_2 и давления p_2 . На сжатие газа затрачивается работа, зависящая от характера процесса сжатия. Этот процесс может осуществляться по адиабатическому закону без отдачи тепла, когда индикаторная диаграмма ограничена кривой 1; по изотермическому закону при постоянной температуре (кривая 2), либо по политропе (кривая 3).

Работа при сжатии газа для политропного процесса, Дж/кг, выражается формулой

$$A_n = \frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right],$$

где n — показатель политропы, определяемый уравнением $pV^n = \text{const}$; p_1, p_2 — соответственно начальное и конечное значения давления сжатого газа, Па; V_1 — начальный удельный объем газа или объем 1 кг газа при всасывании, м^3 .

Мощность двигателя компрессора, кВт,

$$P = \frac{A_n Q}{\eta_k \eta_m} \cdot 10^{-3}, \quad (7.4)$$

где Q — подача компрессора, $\text{м}^3/\text{с}$; η_k — индикаторный КПД компрессора, учитывающий потери мощности в нем при реальном рабочем процессе; η_m — КПД механической передачи между компрессором и двигателем.

Так как теоретическая индикаторная диаграмма существенно отличается от действительной, а получение последней не всегда возможно, то при определении мощности, кВт, на валу компрессора часто пользуются приближенной формулой, где исходными данными являются работа изотермического и адиабатического

сжатий, а также КПД компрессора, значения которых приводятся в справочной литературе:

$$P = \frac{Q}{\eta_k \eta_m} \frac{A_n + A_a}{2} \cdot 10^{-3}, \quad (7.5)$$

где A_n, A_a — соответственно изотермическая и адиабатическая работа сжатия 1 м^3 атмосферного воздуха до давления p_2 , Дж/м³.

Зависимость между мощностью на валу механизма поршневого типа и скоростью совершенно отлична от соответствующей зависимости для механизмов с вентиляторным характером момента на валу. Если механизм поршневого типа (например, насос) работает на магистраль, где поддерживается постоянный напор H , то очевидно, что поршню при каждом ходе приходится преодолевать постоянное среднее усилие независимо от скорости вращения.

Среднее значение мощности $P = c H Q$. Так как $H = \text{const}$, то $P = c_1 Q = c_2 \omega$. Следовательно, среднее значение момента на валу насоса поршневого типа при постоянном противодействии не зависит от скорости:

$$M = P / \omega = c_2 \omega / \omega = \text{const}.$$

На основании формул (7.1) ... (7.6) определяется мощность на валу соответствующего механизма. Для выбора двигателя в указанные формулы следует подставить номинальные значения подачи и напора. По полученной мощности может быть выбран двигатель для продолжительного режима работы.

7.3. Электропривод механизмов центробежного и поршневого типа, работающих с постоянной скоростью

Рассмотрим основные свойства механизмов для подачи жидкостей и газов, которые определяют требования к электроприводу. Для этих механизмов характерен продолжительный режим работы со спокойной нагрузкой. Механизмы центробежного и поршневого типов в силу особенностей их конструкции и условий технологического процесса не требуют реверсирования. Их скорость соответствует скорости двигателя, поэтому электропривод этих установок выполняется безредукторным и поставляется обычно в комплекте с механизмом.

Мощность таких механизмов колеблется от сотен ватт до нескольких десятков мегаватт.

Отличительной особенностью рассматриваемой группы механизмов являются облегченные условия их пуска. Эти механизмы пускают, как правило, вхолостую и момент трогания не превышает 30 ... 35 % номинального момента. Для установок вентиляторного типа, которые пускают под нагрузкой, момент сопротивления плавно возрастает с увеличением скорости, что благоприятно согласуется с формой механической характеристики асинхронного двигателя. В большинстве случаев для привода механизмов центробежного и поршневого типов используют нерегулируемые асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Но в установках с сетью относительно малой мощности прямой пуск двигателей с короткозамкнутым ротором вызывает значительное снижение напряжения. И если возникают затруднения в отношении прямого пуска, то обычно применяют ограничивающие индуктивные и активные сопротивления в цепи статора.

Когда нельзя осуществить прямой пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и неприемлем пуск с ограничивающим сопротивлением, используют асинхронные двигатели с фазным ротором, которые обеспечивают плавный пуск механизма при ограниченных толчках тока в сети.

Для электропривода насосов, вентиляторов и компрессоров используются синхронные двигатели. Основным достоинством синхронного двигателя является возможность получения оптимального режима по реактивной энергии, который осуществляется автоматическим регулированием тока возбуждения. Синхронный двигатель может работать, не потребляя и не отдавая реактивной энергии в сеть при коэффициенте мощности, равном единице. Если для промышленного предприятия необходима выработка реактивной энергии, то синхронный двигатель, работая с перевозбуждением, может отдавать ее в сеть.

Поясним работу синхронного двигателя в качестве генератора реактивной энергии. Если пренебречь падением активного напряжения в обмотке статора двигателя, обусловленным активным и индуктивным сопротивлениями, то э.д.с., возникающая в обмотке статора при работе двигателя без нагрузки, равна напряжению сети. Она определяется результирующим магнитным потоком в воздушном зазоре. Поскольку напряжение сети постоянно, то э.д.с. и, следовательно, вызвавший ее результирующий магнитный поток остаются постоянными независимо от тока возбуждения.

В случае, когда ток возбуждения отсутствует, весь поток создается только током статора. Двигатель при этом потребляет реактивный ток, отстающий от напряжения сети на угол 90° , так же как асинхронный двигатель, работающий без нагрузки. Если машину возбудить, то часть результирующего потока будет создана током возбуждения ротора и намагничивающий ток статора уменьшится. Дальнейшее увеличение тока возбуждения приведет к тому,

что ток обмотки статора будет намагничивающим. В противном случае поток в машине окажется больше результирующего, соответствующего заданной э.д.с. Таким образом, при перевозбуждении синхронный двигатель потребляет намагничивающий ток, опережающий по фазе напряжение на угол 90° , т. е. машина работает генератором реактивной энергии и может использоваться для повышения коэффициента мощности промышленного предприятия. Когда перевозбужденный синхронный двигатель работает без нагрузки на валу, он является синхронным компенсатором и отдает реактивную энергию в сеть.

Синхронные двигатели менее чувствительны к колебаниям напряжения сети, чем асинхронные. Их максимальный момент пропорционален напряжению сети, в то время как критический момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату этого напряжения. Кроме того, перегрузочная способность синхронного двигателя может быть автоматически увеличена за счет повышения тока возбуждения, например при резком кратковременном повышении нагрузки на валу двигателя.

Существенным для электропривода является и то обстоятельство, что скорость синхронного двигателя остается неизменной при любой нагрузке на валу в пределах его перегрузочной способности.

Для крупных вентиляторных установок применение синхронных двигателей, даже при исключении регулирования скорости, оказывается не всегда возможным. Поскольку рассматриваемые механизмы обладают весьма значительным моментом инерции, то при пуске синхронных двигателей существующих серий в пусковой обмотке выделяются потери мощности, превышающие допустимые.

Одно из простых решений вопроса привода мощных вентиляторов с большим моментом инерции представляется схемой двухдвигательного электропривода (рис. 7.4).

Синхронный двигатель является главной приводной машиной агрегата и рассчитывается на полную мощность и скорость вентилятора. Асинхронный двигатель с фазным ротором АД служит для плавного пуска агрегата до половинной скорости, после чего статор АД отключается от сети. Мощность асинхронного двигателя может быть выбрана равной 15 ... 20 % номинальной мощности вентилятора, но по механической прочности АД должен быть рассчитан на номинальную скорость СД.

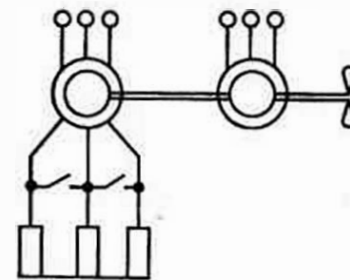


Рис. 7.4. Схема синхронно-асинхронного двухдвигательного электропривода

Вследствие наличия АД синхронный двигатель может включаться в сеть при половине номинальной скорости, за счет чего потери в его пусковой клетке снижаются примерно в четыре раза по сравнению с потерями при прямом пуске.

Асинхронный двигатель позволяет также осуществить режим работы вентилятора при скорости $0,5\omega_n$ и малой нагрузке на валу. При этом СД может быть отключен.

Для механизмов поршневого типа применение синхронных двигателей определяется тем обстоятельством, что для них выпускается специальная серия тихоходных синхронных машин с повышенным маховым моментом. Применение этих двигателей позволяет без дополнительного маховика выровнять график нагрузки, равномерность которой зависит от угла поворота кривошипа и конструктивного исполнения механизма.

В мощных промышленных установках, например на насосных станциях, могут быть использованы как асинхронные, так и синхронные двигатели. Несмотря на то, что последние способствуют улучшению энергетических показателей предприятия, они не всегда применяются, так как менее удобны с точки зрения автоматизации работы всей установки и сложнее в эксплуатации.

Основные показатели по выбору двигателей механизмов с вентиляторным моментом на валу и установок поршневого типа при постоянной скорости приведены в табл. 7.1. Окончательный вариант выбирается на основании технико-экономического сравнения нескольких вариантов.

Таблица 7.1

Показатели по выбору двигателей с вентиляторным моментом

Показатели	Двигатели	
	асинхронные	синхронные
Мощность установки Некоторые эксплуатационные показатели	Установки малой и средней мощности Простота эксплуатации, удобство автоматизации установок	Установки средней и большой мощности $P > 50 \dots 100$ кВт Более сложная эксплуатация, чем асинхронных двигателей. Худшие условия автоматизации
Энергетические показатели	Близкие по значению КПД Коэффициент мощности при полной нагрузке двигателей $0,7 \dots 0,9$ с потреблением реактивной мощности из сети	В нормальных условиях эксплуатации коэффициент мощности $1,0 \dots 0,8$ при отдаче реактивной энергии в сеть

При анализе работы электроприводов с синхронными двигателями очень важным показателем является характер протекания переходных процессов при пуске, вхождении в синхронизм, изменении нагрузки и других режимах. Эти вопросы также должны быть рассмотрены при проектировании электропривода.

7.4. Регулируемый электропривод механизмов с вентиляторным моментом

В установках, требующих плавного и автоматического регулирования подачи, электропривод выполняется регулируемым.

Характеристики механизмов центробежного типа создают благоприятные условия работы регулируемого электропривода как в отношении статических нагрузок, так и требуемого диапазона регулирования скорости. Действительно, как это уже раньше было показано, при уменьшении скорости, по крайней мере квадратично, снижается и момент сопротивления на валу двигателя. Это облегчает тепловой режим двигателя при работе на пониженной скорости. Из законов пропорциональности вытекает, что требуемый диапазон регулирования скорости при условии отсутствия статического напора $H_{ст} = 0$ не превышает заданный диапазон изменения подачи:

$$D = \omega_{ном} / \omega_{min} = Q_{ном} / Q_{min} \quad (7.6)$$

Если $H_{ст} = const \neq 0$, то для изменения подачи от нуля до номинального значения $Q_{ном}$ необходим диапазон регулирования скорости

$$D = \omega_{ном} / \omega_{min} = \sqrt{H_0 / H_{ст}},$$

где H_0 – напор, развиваемый механизмом при $Q = 0$ и $\omega = \omega_{ном}$.

При высоком уровне статического напора, например соответствующем 80 %, снижение скорости лишь на 10 % уже обеспечивает уменьшение подачи практически до нуля. В среднем для регулируемых механизмов центробежного типа требуемый диапазон регулирования скорости обычно не превосходит 2:1. Отмеченные особенности данных механизмов и невысокие требования в отношении жесткости механических характеристик позволяют успешно применять для них простые схемы регулируемого асинхронного электропривода.

Для установок сравнительно небольшой мощности (7 ... 10 кВт) задача решается с помощью системы регулятор напряжения – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. В качестве регуляторов напряжения чаще всего используются тиристорные

коммутаторы. Подробно работа такого электропривода рассмотрена в гл. 3. Такие системы нашли применение в комплексах вентиляторного оборудования, предназначенных для обеспечения требуемого воздухообмена и создания необходимых температурных условий в животноводческих и птицеводческих помещениях в соответствии с зооветеринарными нормами.

Поддержание необходимого воздухообмена и требуемой температуры в помещении достигается посредством автоматического плавного регулирования частоты вращения вытяжных вентиляторов в зависимости от изменения температуры воздуха вентилируемого помещения от заданного уровня.

При отклонении температуры воздуха от заданной по сигналу датчика температуры на выходе устройства управления изменяется напряжение, чем достигается регулирование скорости вращения электродвигателей вентиляторов.

Достаточно просто можно реализовать импульсный способ регулирования скорости асинхронного двигателя. На рис. 7.5 приведена принципиальная схема включения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с импульсным изменением активного сопротивления его статорной цепи. Напомним основной принцип такого регулирования. Тиристорный ключ TK , замыкаясь на

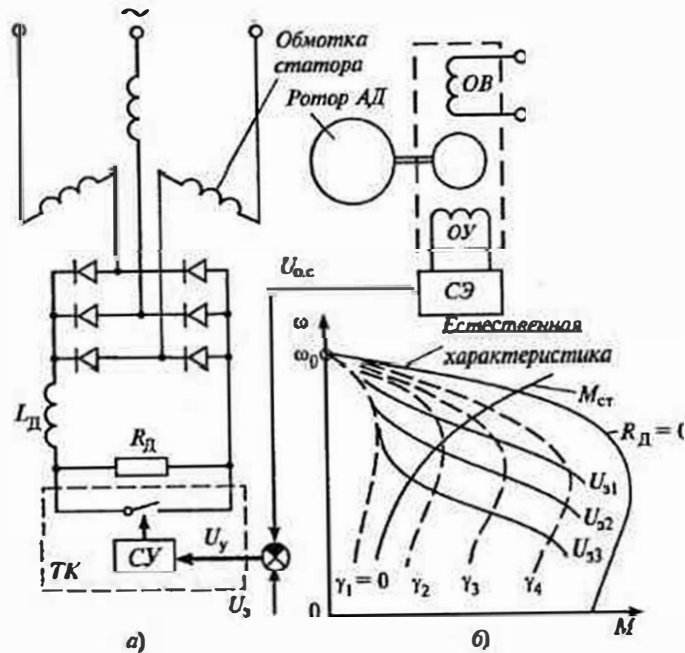


Рис. 7.5. Схема (а) и механические характеристики (б) системы импульсного регулирования сопротивления в статорной цепи

время t_1 и размыкаясь на время t_0 , изменяет среднее за цикл коммутации $T_k = t_1 + t_0$, значение дополнительного сопротивления $R_{\text{д.сп}}$. Сопротивление $R_{\text{д.сп}}$ пропорционально скважности широтно-импульсной модуляции $\gamma = t_1 / T_k$:

$$R_{\text{д.сп}} = R_{\text{д}} \gamma.$$

Регулируя скважность γ , можно получить семейство механических характеристик электропривода, изображенных штриховыми линиями на рис. 7.5, б, причем $R_{\text{д.сп}} = R_{\text{д}}$ при $\gamma = 0$ и $R_{\text{д.сп}} = 0$ при $\gamma = 1$. Параметр γ зависит от управляющего напряжения U_y на входе системы управления тиристорным ключом $СУ$. Так как критическое скольжение двигателя уменьшается при увеличении $R_{\text{д.сп}}$, то диапазон скоростей устойчивой работы привода даже при «вентиляторной» характеристике механизма оказывается весьма незначительным. Введение отрицательной обратной связи по скорости обеспечивает жесткие механические характеристики и устойчивую работу замкнутой системы электропривода в требуемом для механизма диапазоне скоростей. Механические характеристики электропривода с обратной связью по скорости показаны на рис. 7.5, б сплошными линиями для трех значений задающего напряжения U_y . Сигнал обратной связи подается в систему управления с управляющей обмотки $ОУ$ тахогенератора постоянного тока.

Общим недостатком рассмотренных вариантов регулируемого электропривода является выделение потерь скольжения при снижении скорости в самом двигателе. Эти потери и требуют соответствующего завышения установленной мощности двигателя.

В установках, где по условиям эксплуатации допустимо применение асинхронного двигателя с фазным ротором, возможности регулируемого электропривода расширяются. Введение дополнительного сопротивления в цепь ротора позволяет вывести часть потерь скольжения из обмоток двигателя. Благодаря этому снижается необходимое завышение габаритных размеров двигателя и появляется возможность расширить диапазон мощностей привода при рассмотренных выше способах регулирования скорости. Например, импульсный способ регулирования окажется более целесообразным применительно к коммутации дополнительного сопротивления в роторной цепи. Этот способ был подробно рассмотрен в гл. 3, поэтому не будем на нем останавливаться. Отметим только, что механические характеристики привода обеспечивают устойчивую работу в достаточно большом диапазоне скоростей при разомкнутой системе электропривода. По своим характеристикам данный способ аналогичен реостатному. Его достоинство по сравнению с реостатным способом — возможность плавного регулирования сопротивления.

В ряде случаев применяется регулирование скорости механизмов с приводом их асинхронными или синхронными двигателями.

При этом между двигателями и производственным механизмом устанавливается гидромуфта или асинхронная муфта скольжения, позволяющая изменять скорость производственного механизма, не изменяя скорости двигателя.

Существуют несколько видов гидравлических муфт, являющихся связующим звеном между электрическим двигателем и исполнительным механизмом. Один из вариантов приведен на рис. 7.6.

Гидромуфта состоит из двух половин: ведущей 1 и ведомой 2, соединенных соответственно с валами двигателя и исполнительного механизма. Полости ведущей и ведомой полумуфт заполняются рабочей жидкостью (маслом или водой), уровень которой может меняться с помощью вспомогательного серводвигателя с насосом. При вращении ведущей полумуфты 1 в ее рабочих полостях начинается движение жидкости к внешнему диаметру. Жидкость, сходя с ведущей полумуфты, попадает на ведомую и сообщает ей определенную скорость. Полумуфта 1 выполняет в гидравлической муфте роль центробежного насоса, а полумуфта 2 — гидравлической турбины.

Скорость исполнительного механизма, связанного с двигателем посредством гидромуфты, регулируется изменением количества рабочей жидкости, находящейся в полостях муфты. На рис. 7.7 приведены примерные характеристики гидромуфты при постоянной скорости двигателя и разным заполнением рабочих полостей. Верхняя характеристика соответствует полному заполнению муфты. Коэффициент полезного действия гидромуфты определяется скоростями ведущего и ведомого валов, а также характером зави-

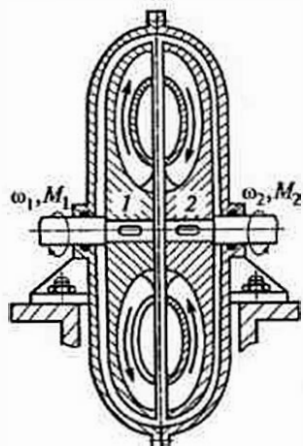


Рис. 7.6. Конструкция гидравлической муфты

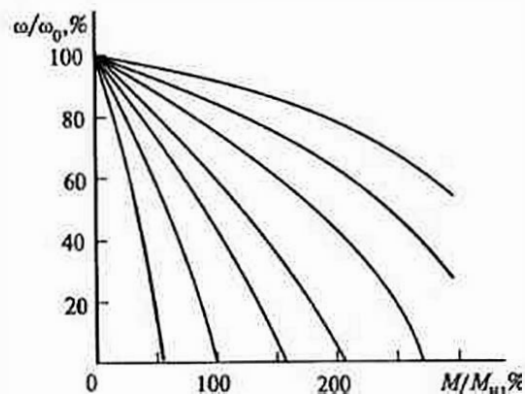


Рис. 7.7. Механические характеристики гидравлической муфты

симости статического момента производственного механизма от скорости.

Энергетический баланс в муфте определяется следующим выражением:

$$\Delta P = M_1 \omega_1 - M_2 \omega_2$$

Так как $M_1 = M_2$, то

$$\Delta P = M_1 (\omega_1 - \omega_2) = M_1 \omega_1 S_{\mu} = P_1 S_{\mu},$$

где P_1 — мощность, передаваемая ведущим валом муфты; S_{μ} — скольжение муфты.

Как следует из последней формулы, потери в гидромуфте при регулировании скорости соответствуют выражению для потерь в роторной цепи асинхронного двигателя. Потери при регулировании скорости выделяются во вращающихся частях муфты и рабочей жидкости. В области скоростей ведомой полумуфты, близких к номинальной, КПД гидромуфты составляет 0,95 ... 0,98. Результирующий КПД установки с двигателем и гидромуфтой определяется произведением их КПД.

Таким образом, во всех рассмотренных вариантах имеют место значительные потери скольжения, которые бесполезно рассеиваются в виде тепла в обмотках двигателя, в регулировочных сопротивлениях либо в муфте скольжения, и КПД электропривода оказывается низким.

Поэтому для электроприводов рассматриваемых механизмов мощностью в сотни и тысячи киловатт находят применение каскадные варианты регулирования скорости, в которых потери скольжения возвращаются в сеть или на вал двигателя. В гл. 3 была подробно рассмотрена схема асинхронно-вентильного каскада с возвратом потерь скольжения в сеть. Эта схема нашла применение для электропривода газодувки. Было показано, что наибольший диапазон регулирования скорости в каскадных схемах не превышает 2:1.

При больших диапазонах регулирования ($D > 2$) и высоких требованиях к жесткости механических характеристик электропривода перспективна система тиристорный преобразователь частоты — асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (ТПЧ-АД). Эта схема также рассмотрена в гл. 3. Отсутствие необходимости в электрическом торможении и реверсе привода механизмов центробежного типа упрощает структуру ТПЧ и позволяет выполнить его на базе автономного инвертора напряжения и управляемого выпрямителя. Жесткость механических характеристик привода в такой системе в диапазоне регулирования 2 ... 3 и при законе управления $U/f = \text{const}$ обеспечивает достаточную стабильность регулируемой скорости. В связи с этим в системе электропривода

не требуются какие-либо обратные связи, что упрощает ее структуру. Напомним, что к достоинствам системы ТПЧ—АД следует отнести отсутствие дополнительных потерь при регулировании скорости.

7.5. Электрические схемы автоматизации компрессорных и вентиляторных установок

Электрооборудование компрессорных установок в зависимости от их технологического назначения может располагаться в машинном или специальном электротехническом помещении. Виды управления компрессорными агрегатами: диспетчерское, автоматическое и местное.

В схемах автоматического управления компрессорами кроме электроаппаратуры общего применения используется специальная аппаратура, например, термореле и электроконтактные манометры — датчики давления (рис. 7.8). Так же, как и в обычных манометрах, в нем применена трубчатая одновитковая пружина 3, которая закрыта с одного (подвижного) конца, а другим (неподвижным) концом сообщается со средой — газом или жидкостью, давление которых надо контролировать. Изменение давления внутри трубчатой пружины вызывает ее упругую деформацию. При повышении давления пружина стремится разогнуться, при уменьшении — согнуться. При этом от ее подвижного конца через передаточный механизм приводится в действие контакт 1, укрепленный на стрелке. Если давление превышает значение, на которое настроен электроконтактный манометр, контакт 1 замыкается с правым неподвижным контактом 2. При давлении ниже этого значения контакт 1 замыкается с левым неподвижным контактом 2'.

Контактная система манометра допускает включение по напряжению 380 В переменного тока и 220 В постоянного тока мощность контактов 10 В·А. Применяются кроме электроконтактных манометров поршневые, сильфонные и др.

В качестве реле времени, обеспечивающего достаточную для автоматизации работы компрессорной установки точность выдержки времени, применяется простой и дешевый электроаппарат — термореле. Это реле в принципе устроено и действует так же, как и обычное биметаллическое реле, ис-

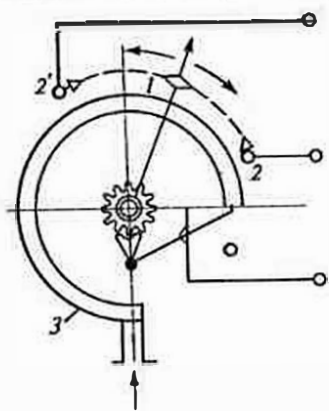


Рис. 7.8. Устройство электроконтактного манометра

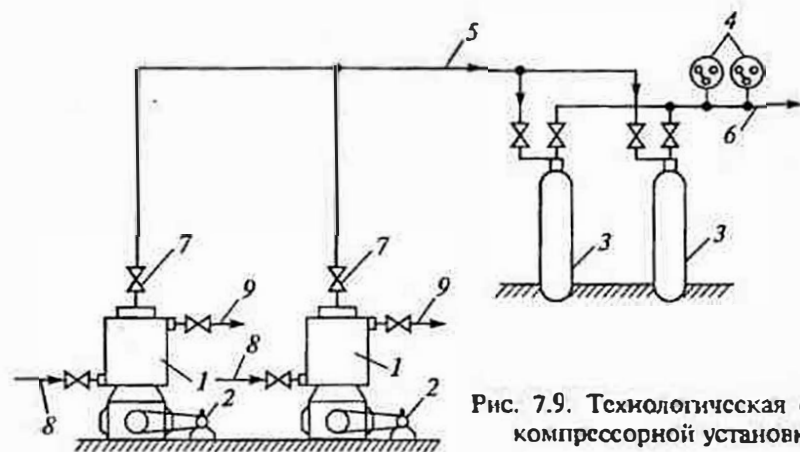


Рис. 7.9. Технологическая схема компрессорной установки

пользуемое для тепловой защиты двигателей: с момента включения нагревательной обмотки реле до момента переключения его контактов проходит некоторое время. Термореле позволяет получать значительные выдержки времени — от нескольких секунд до нескольких минут.

В технологическую схему компрессорной установки (станции) (рис. 7.9) входят два компрессора 1, приводимых в движение асинхронными короткозамкнутыми двигателями 2. Компрессоры по трубопроводу 5 подают сжатый воздух в ресиверы 3, откуда по трубопроводу 6 он поступает к потребителям. Обратные клапаны 7 предотвращают работу одного компрессора при разнице в создаваемом компрессорами давлении. Трубопроводы 8 и 9 предназначены для циркуляции охлаждающей воды. Два электроконтактных манометра 4 служат датчиками автоматического управления. Подвижные контакты манометров устанавливаются на определенные верхние и нижние пределы давлений в ресиверах. Верхние пределы для обоих манометров могут быть одинаковыми. При достижении их электродвигатели компрессоров отключаются. Нижние пределы давлений манометров устанавливаются различными. При падении давления вначале включается только один компрессор; если же давление будет продолжать падать, то включается второй компрессор.

Электрическая схема автоматического управления компрессорной установкой приведена на рис. 7.10. В главных цепях двигателей *M1* и *M2* компрессоров установлены автоматы *B1* и *B2* с комбинированными расцепителями (максимальным и тепловым). Цепи управления питаются через однополюсный автомат *B3* с максимальным расцепителем.

Управление компрессорами может быть автоматическим и ручным. Выбор способа управления производится с помощью клю-

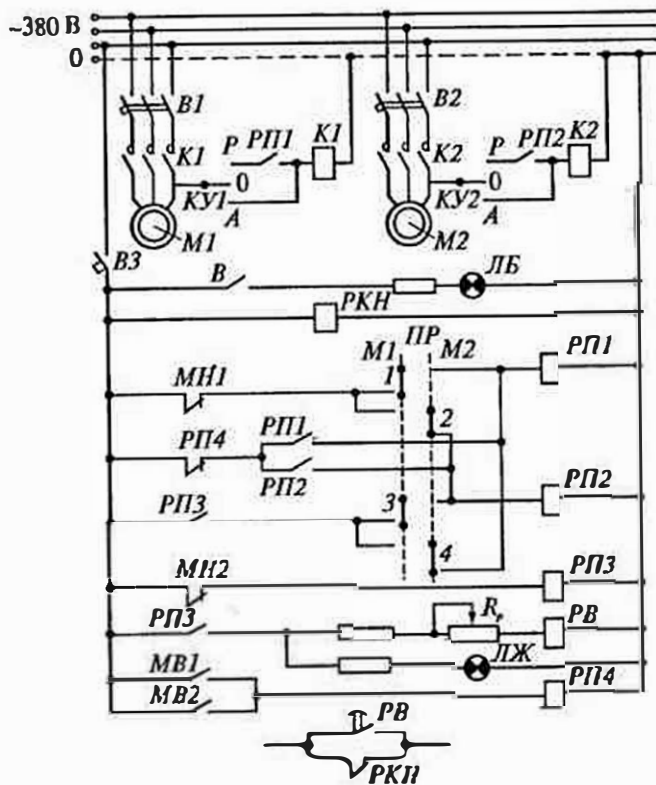


Рис. 7.10. Электрическая схема компрессорной установки

чей управления $KY1$ и $KY2$, контакты которых находятся в цепях катушек магнитных пускателей $K1$ и $K2$. При ручном управлении включение и отключение магнитных пускателей производится непосредственно ключами $KY1$ и $KY2$. При автоматическом управлении пускатели включаются с помощью промежуточных реле: $РП1$ — для первого компрессора и $РП2$ — для второго. Очередность включения компрессоров при падении давления устанавливается посредством переключателя режимов $ПР$. При автоматическом управлении переключатель $ПР$ устанавливается в положение $M1$, т. е. первый компрессор включается первым.

Предположим, что ресиверы наполнены сжатым воздухом, давление соответствует верхнему пределу и оба компрессора не работают. В результате потребления воздуха давление в ресиверах будет падать. Когда оно достигнет минимального значения, установленного для пуска одного первого компрессора, контакт манометра $MН1$ замкнется (H — нижний предел). Сработает реле $РП1$, которое своим контактом включит магнитный пускатель $K1$ пер-

вого компрессора. В результате работы компрессора давление в ресиверах будет повышаться и контакт $MН1$ разомкнется. Но это не приведет к отключению первого компрессора, так как катушка реле $РП1$ продолжает получать питание через замкнутые контакты $РП4$ и $РП1$. При повышении давления в ресиверах до максимального предела замкнется контакт манометра $MВ1$ (B — верхний предел). Реле $РП4$ сработает и своим контактом отключит реле $РП1$, что приведет к остановке первого компрессора.

В случае недостаточной производительности первого компрессора или его неисправности давление в ресиверах будет продолжать падать. Если оно достигнет предела, установленного для замыкания контакта $MН2$ второго манометра (а этот предел устанавливается несколько ниже минимального предела давления для первого манометра), то сработает реле $РП3$. В результате включается реле $РП2$ и магнитный пускатель $K2$, т. е. вступит в работу второй компрессор. Реле $РП2$ остается включенным. Когда давление в ресиверах поднимется до верхнего предела, замкнется контакт манометра $MВ2$ и включит реле $РП4$. Его замыкающий контакт отключит реле $РП2$, и второй компрессор остановится.

В схеме предусмотрен контроль исправности компрессорной установки. Если несмотря на работу обоих компрессоров давление в ресиверах продолжает падать или не меняется, контакт $MН2$ нижнего предела давления замкнут и питание реле $РП3$ сохраняется. Это реле еще при включении своим контактом привело в действие реле времени $РВ$, которое с некоторой выдержкой времени замкнет свой контакт в цепи аварийно-предупредительной сигнализации, дежурному персоналу будет подан сигнал о необходимости устранить неисправность. Сигнальная лампа $ЛЖ$ служит для сигнализации при ручном управлении. Она загорается при падении давления в ресиверах, получая питание через контакт реле $РП3$. Сигнальная лампа $ЛБ$ и реле напряжения $РКН$ служат для контроля наличия напряжения в цепях управления. Реле $РКН$ своим контактом включает аварийно-предупредительный сигнал при недопустимом падении или исчезновении напряжения.

На рис. 7.11 представлена упрощенная схема автоматического управления синхронным двигателем воздушного поршневого компрессора (6 кВ, 625 кВт), входящего в компрессионную станцию, на которой установлено пять компрессоров. Схема обеспечивает включение и отключение двигателя в зависимости от суточного графика потребления воздуха и давления в воздушной магистрали. В схеме предусмотрено как ручное, так и автоматическое управление. Тот или иной режим осуществляется при установке универсальных переключателей: $ПА$, $KУ$, $KР$ — в соответствующее положение ($З$ — «запрет», $Р$ — «разрешено», $О$ — «откл.», $В$ — «вкл.»).

Пуск синхронного двигателя — прямой, по схеме с наглухо подключенным возбудителем B , который приводится во враще-

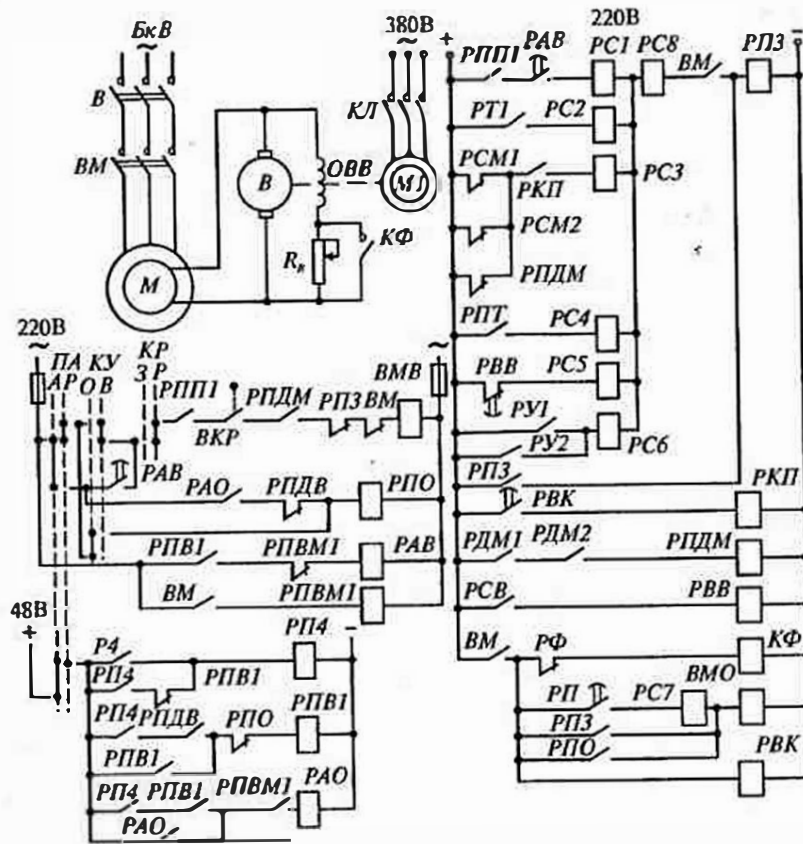


Рис. 7.11. Схема управления синхронным двигателем компрессора

ние асинхронным короткозамкнутым двигателем *M1*. Статор двигателя *M* включается в сеть напряжением 6 кВ масляным выключателем *ВМ* с помощью включающей катушки *ВМВ* в приводе выключателя. Отключение выключателя *ВМ* осуществляется посредством отключающей катушки *ВМО*. Двигатель *M1* пускается одновременно с двигателем *M*. В схеме предусмотрена автоматическая форсировка возбуждения синхронного двигателя при снижении напряжения питания сети. Эту функцию выполняет реле форсировки *РФ*, воздействующее на контактор *КФ* (катушка реле *РФ* на схеме не показана).

Пуск двигателя *M* производится при открытой пусковой и рабочей воздушных задвижках компрессора. Поэтому масляный выключатель *ВМ* может быть включен, если эти задвижки открыты, т. е. если замкнуты контакты реле *РПП1* и конечного выключателя

ВКР. По окончании пуска двигателя задвижки закрываются и компрессор подключается к воздухооборудованию (ресиверу). Возможность пуска двигателя ставится также в зависимости от исправности масляных магистралей компрессора, в которых должна быть обеспечена определенная величина давления масла, контролируемая реле *РДМ1*, *РДМ2* и промежуточным реле *РПДМ*. При нормальном давлении размыкающий контакт *РПДМ* в цепи катушки промежуточного реле защиты *РПЗ* разомкнут. В цепь катушки реле *РПЗ* введены контакты различных реле и датчиков, контролирующих нормальную работу двигателя (*РТ1* – токовое реле, *РКП* – реле контроля пуска, действующее совместно с реле времени *РВК*; *РП* – промежуточное реле нулевой защиты), а также работу компрессора (*РПТ* – тепловая защита; *РСМ1*, *РСМ2* – струйные реле контроля масла; *РСВ* – струйное реле; *РВВ* – реле времени; *РУ1* и *РУ2* – реле контроля масла в насосах смазки). Вместе с контактами этих реле и датчиков включены катушки сигнальных реле *РС* (*РС1... РС6*). Реле *РПЗ* замыкает свой контакт в цепи, отключающей катушки *ВМО*, и двигатель отключается в тех случаях, когда создается цепь питания катушки *РПЗ* через контакты соответствующих защитных реле.

Включение двигателей *M* и *M1* может производиться автоматически с диспетчерского пункта от часового механизма, контакт которого *РЧ* включен в схему управления. Один часовой механизм может последовательно вводить в работу компрессоры в соответствии с графиком суточного потребления сжатого воздуха предприятием. При снижении давления в воздушной магистрали реле *РПДВ* замкнет свой контакт в цепи катушки реле *РПВ1* и разомкнет контакт в цепи катушки промежуточного реле отключения *РПО*. Таким образом, когда все блокировочные и защитные цепи будут находиться в состоянии, при котором возможно включение катушки *ВМВ* в приводе масляного выключателя, то при подаче команды от часового механизма (при замыкании контакта *РЧ*) сработает промежуточное реле *РПЧ*, встанет на самопитание и замкнет свои контакты в цепях катушек реле *РПВ1* и *РАО*. Поэтому сработает реле *РПВ1*. Своим контактом включит реле автоматического включения *РАВ*, которое замыкающим контактом подает питание во включающую катушку *ВМВ* в приводе выключателя. После включения реле *РПВ1* реле *РПЧ* потеряет питание. Последующее замыкание контакта *РЧ* часового механизма вызовет срабатывание реле автоматического отключения *РАО*, однако включение реле *РПО* может произойти только после того, как давление в магистрали станет выше допустимого и кроме контакта *РАО* замкнется еще контакт *РПДВ*.

Схема управления асинхронным короткозамкнутым двигателем *M* вентилятора, расположенного в машинном зале и предназначенного для независимой вентиляции крупных электрических

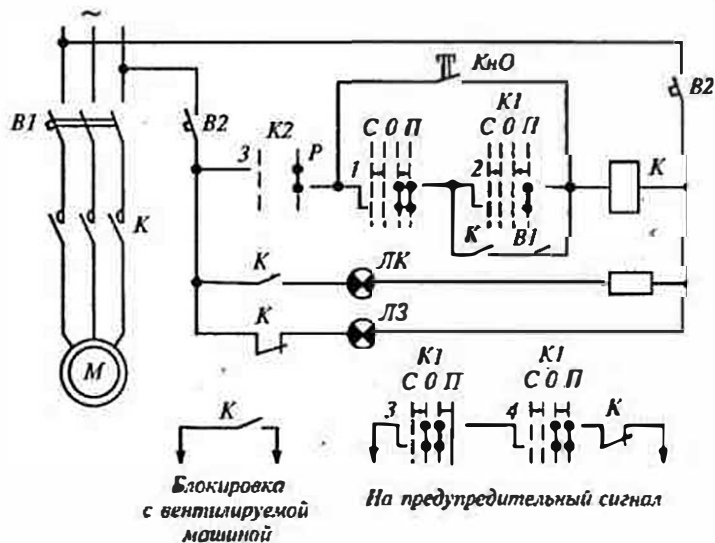


Рис. 7.12. Схема управления двигателем вентилятора

машин, показана на рис. 7.12. Управление вентилятором осуществляется со щита с помощью ключа управления $K1$, имеющего четыре контакта и рукоятку с самовозвратом. Ключ $K2$ служит для разрешения или запрещения включения вентилятора на месте установки, когда нет необходимости в его работе.

Схема работает следующим образом. Ключ $K2$ устанавливается в положение P («разрешено»). Включается автомат $B2$ цепей управления и автомат $B1$ главных цепей (его контакт в цепи самоблокировки пускателя K замыкается). Загорается зеленая лампа $L3$ (двигатель отключен). Для пуска двигателя M ключ $K1$ переводится из нулевого положения 0 в пусковое $П$. При этом включается магнитный пускатель K , ставится на самопитание и главными контактами включает двигатели в сеть. Зеленая лампа $L3$ гаснет, красная лампа $LК$ загорается (двигатель включен). Рукоятка ключа $K1$ отпускается, и ключ возвращается в нулевое положение, на котором контакт 2 ключа замыкается, а контакт 1 остается замкнутым.

В схеме предусмотрено опробование вентилятора на месте его установки с помощью кнопки $КнО$. Предусмотрена также блокировка (с помощью замыкающего блок-контакта K), не позволяющая включать вентилируемую машину до пуска вентилятора. Защита при коротких замыканиях или перегрузке двигателя M осуществляется автоматом $B1$ с комбинированным расцепителем. А нулевая защита — пускателем K (новый пуск двигателя не возможен, пока рукоятка ключа $K1$ не будет поставлена в пусковое

положение $П$). При отключении вентилятора в результате действия защиты включается предупредительный сигнал, так как контакты 3 и 4 ключа $K1$ при этом замкнуты.

При ручном отключении вентилятора путем перевода, а затем отпуске рукоятки ключа $K1$ в положение $С$ предупредительный сигнал не подается, поскольку разомкнут контакт 4 .

7.6. Электрооборудование и автоматизация насосных установок

Для автоматизации насосных установок кроме аппаратуры общего применения (контакторов, магнитных пускателей, переключателей, промежуточных реле) применяются специальные аппараты управления и контроля, например реле контроля уровня, реле контроля заливки центробежных насосов, струйные реле и др.

В качестве реле контроля уровня используются: поплавковое реле, электродные реле уровня (электродные датчики), манометры различных типов, устанавливаемые на трубопроводе, датчики емкостного типа, радиоактивные датчики.

Поплавковые реле уровня применяются обычно для контроля уровня неагрессивных жидкостей. Устройство поплавкового реле уровня показано на рис. 7.13. В открытый резервуар, в

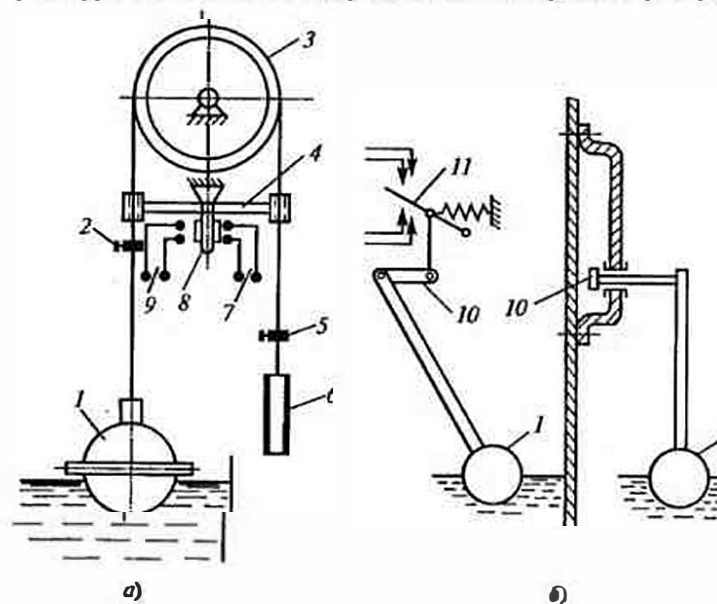


Рис. 7.13. Устройство поплавкового реле уровня:
а — открытый резервуар; б — закрытый резервуар

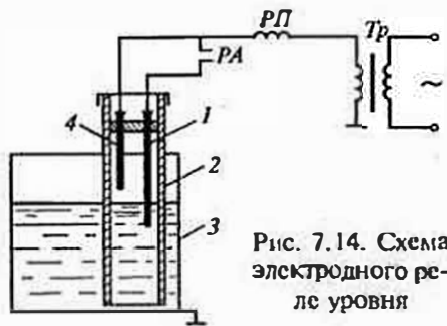


Рис. 7.14. Схема электродного реле уровня

которых идут провода в цепи управления и сигнализации насосной установки. В закрытом резервуаре (показаны две проекции — см. рис. 7.13, б) поплавок 1 рычагом связан с осью рычага 10, которая с соответствующим уплотнением пропускается через стенку корпуса в пространство, где располагается контактная часть 11 реле. Провода от контактов выводятся через стенку резервуара.

Для электропроводных жидкостей применяется электродное реле уровня, принцип действия которого показан на рис. 7.14. Реле состоит из металлических электродов 1 и 4, помещенных в корпусе 2. Реле опускается в резервуар 3. Электроды реле включены в цепь катушки промежуточного реле РП (электромагнитное реле). При подъеме уровня жидкости до верхнего электрода 4 образуется проводящий промежуток между электродами 1 и 4. Реле РП срабатывает, становится на самопитание через свой замыкающий контакт, а другими контактами (на рисунке не показаны) производит необходимые переключения в цепях управления и сигнализации насосной установки. При опускании уровня жидкости ниже электрода 1 цепь питания катушки через контакт РП прерывается, реле РП обесточивается и своими контактами опять производит соответствующие переключения в схеме управления и сигнализации установки.

Реле контроля заливки центробежных насосов мембранного типа показано на рис. 7.15. Реле используется при заливке с помощью вакуум-насоса. Устанавливается реле на 0,3 ... 0,5 м выше насоса. При заполнении его водой мембрана 3 прогибается, поднимает шток 2 и замыкает кон-

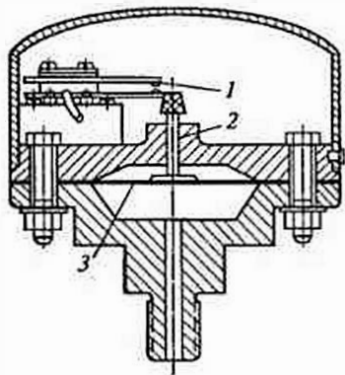


Рис. 7.15. Конструкция реле контроля заливки насоса

такты 1. После снижения давления мембрана пружиной (на рисунке не показана) возвращается в исходное положение. Достоинства реле мембранного типа — их большая чувствительность и способность выдерживать высокие давления.

На рис. 7.16, а показана схема простейшей насосной установки — дренажного насоса 1, а на рис. 7.16, б приведена электрическая схема этой установки. Ключ управления КУ имеет два положения: для ручного и автоматического управления. Если ключ КУ поставлен в положение «Ручное», то управление электродвигателем М насоса осуществляется по обычной схеме с помощью кнопок КнП и КнС, магнитного пускателя К. При установке ключа КУ в положение «Автоматическое» управление двигателем насоса производится от датчика уровня (поплавокное реле) РУ. При малом уровне воды в дренажном приемнике контакт РУ разомкнут и насос не включен. При достижении водой верхнего уровня 2 контакт РУ замыкается и включает пускатель К. Насос начинает работать и откачивать воду. Контакт РУ поплавокного реле остается замкнутым до тех пор, пока уровень воды не снизится до нижней отметки 3. Тогда контакт РУ разомкнется, что вызовет отключение пускателя К и остановку двигателя насоса.

Защита электродвигателей от коротких замыканий и перегрузки осуществляется автоматом В с комбинированным расцепителем (максимальным и тепловым). Нулевая защита обеспечивается самим магнитным пускателем. Поплавокное реле уровня РУ работает здесь без понижающего трансформатора и импульс управления с РУ передается в схему непосредственно — без промежуточного реле. Такие простейшие схемы применяются при небольшом расстоянии между насосом и местом забора воды, когда падение напряжения в проводах, соединяющих катушку контактора с поплавокным реле, незначительно.

а) б)

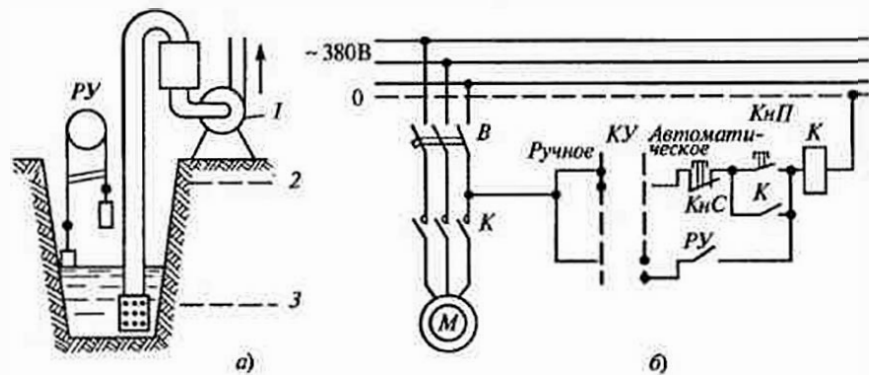


Рис. 7.16. Конструкция дренажной насосной установки (а) и ее электрическая схема (б)

Рассмотрим схему управления двумя насосами (рис. 7.17), эксплуатация которых осуществляется без дежурного персонала. Схема обеспечивает автоматический пуск и остановку насосов в зависимости от уровня жидкости в контролируемой емкости (баке, резервуаре), из которой производится откачка или естественный сток жидкости. Для контроля уровня применен электродный датчик (жидкость электропроводна). Схема разработана приме-

нительно к условиям пуска и остановки насосов при постоянно открытых задвижках, что часто имеет место в низконапорных насосных установках. Из двух насосов один является рабочим, второй – резервным. Это задается с помощью переключателя *ПО*. В положении *I* переключателя первый насос (с двигателем *М1*) будет рабочим, а второй (с двигателем *М2*) – резервным. В положении *II* переключателя, наоборот, второй насос будет рабочим, а первый – резервным.

Рассмотрим работу схемы, когда переключатель *ПО* поставлен в положение *I*, а переключатели управления *ПУ1* и *ПУ2* поставлены в положение *A*, т. е. на автоматическое управление насосами. Контакты переключателя *ПО* в цепях катушек реле управления *РУ1* рабочего и *РУ2* резервного насосов будут замкнуты, но эти цепи остаются разомкнутыми вследствие отсутствия контактов с жидкостью электродов 2 и 3 датчика уровня *ДУ*. При повышении уровня жидкости в контролируемой емкости до электрода 2 цепь катушки реле *РУ1* замыкается, реле срабатывает и его контакт подает питание в катушку магнитного пускателя *K1*. Включается электродвигатель *М1* первого насоса. По мере откачки уровень жидкости в емкости понижается, но при разрыве контакта электрода 2 электродвигатель не останавливается, так как катушка реле *РУ1* продолжает получать питание через свой контакт и пока замкнутый контакт электрода 1.

Если произойдет аварийное отключение рабочего насоса или производительность его недостаточна, уровень жидкости будет повышаться. Когда он достигнет электрода 3 датчика уровня, получит питание катушка реле *РУ2*. Реле сработает и включит магнитный пускатель *K2* электродвигателя *М2* резервного насоса. Резервный насос остановится при падении уровня жидкости ниже электрода 1.

При слишком большом притоке жидкости в емкость, из которой производится откачка или сток, производительность обоих насосных агрегатов может оказаться недостаточной и жидкость поднимется до предельно допустимого уровня, на котором установлен электрод 4. При этом замкнется цепь катушки аварийного реле *РА*, которое сработает и своим контактом включит цепь аварийной сигнализации. Реле контроля наличия напряжения *РКН* служит для подачи предупредительного сигнала при исчезновении напряжения в цепях управления. Цепи аварийной сигнализации питаются от самостоятельного источника. Белая сигнальная лампа *ЛБ* сообщает о наличии напряжения в цепях управления при контрольных осмотрах.

Переход на местное кнопочное управление (ручное полуавтоматическое) производится установкой переключателя *ПУ1* для первого насоса и *ПУ2* для второго насоса в положение *P* (ручное управление) и нажатием соответствующих кнопок «Пуск» *КнП1*,

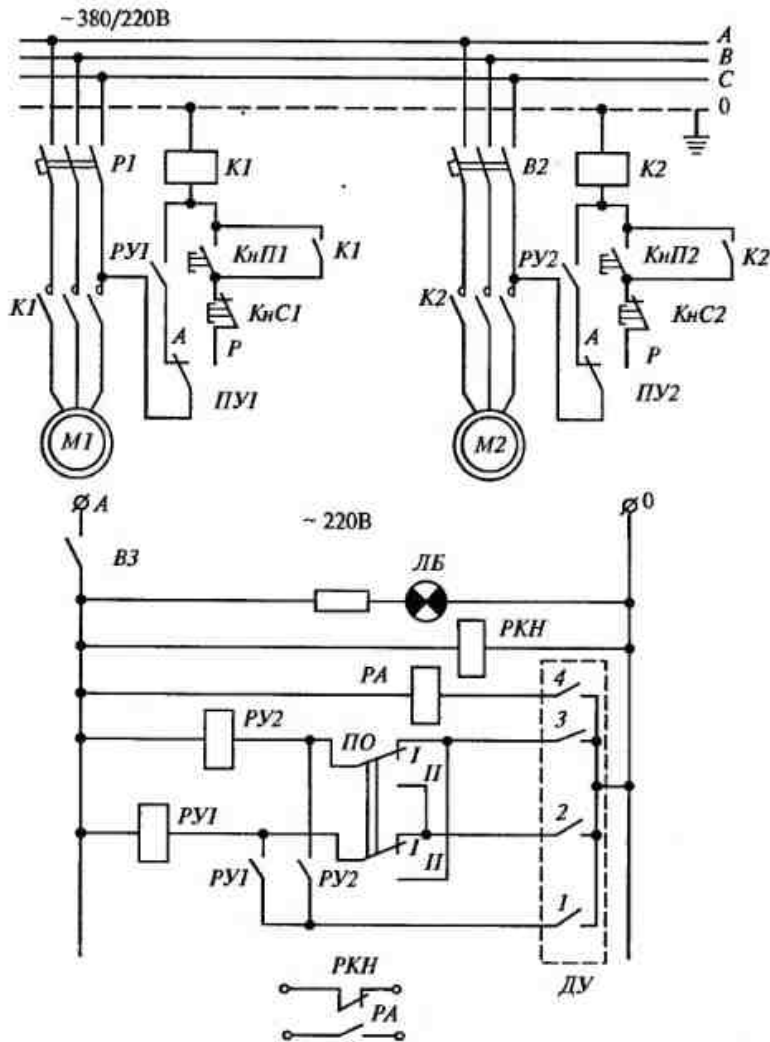


Рис. 7.17. Электрическая схема установки с двумя насосами

КнС1, КнП2, КнС2, расположенных непосредственно у насосных агрегатов. Переключатели *ПУ1* и *ПУ2* исключают возможность одновременного автоматического и кнопочного управления.

Приведенная схема составлена применительно к двигателям малой мощности (примерно до 10 кВт), поэтому цепи катушек магнитных пускателей защищаются теми же автоматами, что и двигатели. При двигателях большей мощности для катушек магнитных пускателей предусматривается самостоятельная защита.

Контрольные вопросы и задания

1. Какими основными параметрами характеризуется работа насосов, вентиляторов, компрессоров?
2. По какому закону изменяется статическая мощность на валу механизмов центробежного типа?
3. По какому закону изменяется мощность насосов и компрессоров поршневого типа? В чем разница механизмов одинарного и двойного действия?
4. Каким образом можно осуществить регулирование подачи?
5. Как рассчитывается мощность на валу рассматриваемых механизмов?
6. Назовите основные свойства машин для подачи жидкостей и газов, определяющих требования к электроприводу.
7. Какие системы электропривода применяются для механизмов, работающих с постоянной скоростью?
8. Объясните работу синхронного двигателя в качестве генератора реактивной энергии.
9. Какие системы регулируемого электропривода характерны для насосов, компрессоров, вентиляторов?
10. Как устроена гидромолта? Какие возникают потери при ее работе?
11. Какая специальная аппаратура используется в схемах автоматического управления компрессорами? Как устроен электроконтактный манометр?
12. Объясните работу схемы компрессорной установки, показанной на рис. 7.10.
13. Назовите специальные аппараты для автоматизации насосных установок. Объясните принцип действия каждого из них.
14. Каким образом работает схема простейшей насосной установки?

Глава 8. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ БЫТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

8.1. Общие сведения

Для сокращения затрат времени и облегчения домашнего труда широкое применение находят бытовые электроприборы. Наряду с общепризнанными, такими как холодильники, стиральные машины, пылесосы, все большее признание получают кухонные электромеханические приборы: миксеры, кофемолки, универсальные кухонные комбайны.

Во многих семьях используются электрифицированные швейные машины, различные электроинструменты для обработки металла, дерева. В нашем быту распространены электрифицированные приборы индивидуального пользования: бритвы, фены и др.

Одним из основных элементов бытовых машин является электродвигатель. Его правильный выбор, эксплуатационные характеристики в значительной степени определяют надежность работы всей машины в целом.

Электродвигатели классифицируются по различным признакам. К основным из них относятся: род и величина питающего напряжения, конструкция, принцип действия.

По роду питающего напряжения электродвигатели для бытовых механизмов могут быть постоянного и переменного тока, а также с универсальным питанием. Величина питающего напряжения 127 или 220 В. Для автомобильных электроприборов и пылесосов применяется напряжение 12 В постоянного тока аккумулятора. По конструктивному исполнению электродвигатели различаются наличием или отсутствием коллекторно-щеточного узла. По принципу действия они подразделяются на коллекторные, асинхронные и синхронные.

Коллекторные электродвигатели необходимы в тех случаях, когда требуется частота вращения более 3000 мин⁻¹. Их устанавливают в пылесосах, полотерах, миксерах, кофемолках и др. Если достаточно сравнительно невысокой частоты вращения 1500 ... 3000 мин⁻¹ (например, для привода активатора или центрифуги стиральной машины), используют асинхронные электродвигатели. В табл. 8.1 приведены основные технические требования к асинхронным двигателям при их применении в различных механизмах бытовой техники.

Однофазные асинхронные двигатели отличаются простотой в изготовлении и обслуживании, повышенной надежностью и долговечностью. Они получают широкое распространение с появлением малогабаритных и дешевых тиристорных преобразователей частоты. В некоторые бытовые приборы (для массажа, электробритвы и др.) встраиваются синхронные электродвигатели с пульсирующим магнитным потоком. Они также имеют простую конструкцию и высокую степень надежности.

Таблица 8.1

Основные технические требования к бытовым асинхронным двигателям по условиям применения

Область применения	$P_n, \text{Вт}$	$n_s, \text{мин}^{-1}$	Кратность моментов		Продолжительность работы за год, ч
			максимального K_M	пускового K_n	
Аппараты звукозаписи и звуковоспроизведения: магнитофоны, диктофоны, электропроигрыватели	1,6 ... 10	1500	1,8 ... 2	0,6 ... 1	100 ... 500
Приборы микроклимата: вентиляторы, тепловентиляторы, фены, рукосушители, надплитные воздухоочистители	1,6 ... 10	3000 1500	1,3	0,3	30 ... 1000
Кино- и диапроекторы	2,5 ... 25	3000	1,4 ... 1,8	0,4 ... 1	5 ... 50
Кассовые аппараты, мусороробилки, маникюрные приборы, ножеточки	6 ... 60	3000 1500	1,8	0,6	150 ... 2000
Мясорубки, соковыжималки	60 ... 120	3000	1,7	0,6	30
Посудомоечные, сушильные и гладильные машины	90 ... 250	3000 1500	1,7	0,6	100 ... 200
Холодильники и морозильники	60 ... 250	3000 1500	2,3 ... 3,1	1,9 ... 4	3000 ... 5000
Стиральные машины	120 ... 180	1500 3000	1,7	0,55 ... 1,2	100
Кондиционеры	180 ... 250	3000	3,1 ... 3,2	3	1000 ... 2500

Выбор характеристик и параметров двигателя должен учитывать характер нагрузки, его работоспособность при допустимых колебаниях напряжения сети, условия охлаждения. Таким образом, при выборе двигателя для привода бытовых электроприводов необходимо учитывать весь комплекс параметров, влияющих на надежность, экономичность и эксплуатационные характеристики изделия.

8.2. Бытовые приборы для кухни

8.2.1. Схемы регулирования универсальных коллекторных двигателей

Распространенным для бытовых кухонных приборов является универсальный коллекторный электродвигатель (коллекторный электродвигатель последовательного возбуждения). Универсальность этого двигателя определяется тем, что он может включаться в сеть постоянного или переменного тока, а также питаться пульсирующим током. Двигатель имеет сравнительно малую массу и высокий $\cos \phi$ (0,92 ... 0,98). Положительное качество универсального коллекторного двигателя – высокое значение начального пускового момента и возможность регулирования частоты вращения в относительно широких пределах путем использования довольно простых регуляторов напряжения питания.

Следует отметить, что наличие коллекторно-щеточного узла, обмотки якоря и необходимость относительно высоких частот вращения ограничивают продолжительность работы этих двигателей.

Регулирование частоты вращения электроприводов бытовых машин с универсальными коллекторными двигателями производится ступенями или плавно. Наиболее часто применяются схемы ступенчатого регулирования частоты вращения (рис. 8.1).

Ступенчатое регулирование частоты вращения двигателя осуществля-

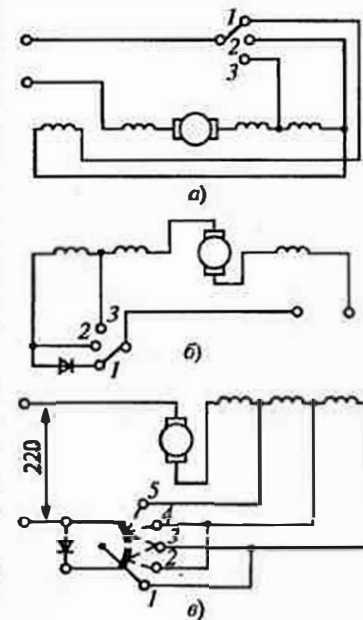


Рис. 8.1. Схемы ступенчатого регулирования частоты вращения коллекторного двигателя: а – изменением магнитного потока; б, в – изменением напряжения

ется изменением величины магнитного потока путем переключения числа витков обмотки возбуждения (см. рис. 8.1, а) или ступенчатым изменением напряжения питания путем последовательного включения в цепь двигателя диода (см. рис. 8.1, б, в).

Для регулирования частоты вращения можно использовать схемы однополупериодного и двухполупериодного питания, основанные на принципе фазового управления, рассмотренного в гл. 3.

При двухполупериодной схеме питания через обмотку электродвигателя протекает ток в течение определенной части каждого полупериода напряжения питающей сети, а при однополупериодной — в течение определенной части одного полупериода. В первом случае в кривой напряжения будут только переменные составляющие, а во второй — переменные и постоянные.

Наиболее часто используются схемы регулирования частоты вращения универсальных коллекторных электродвигателей по однополупериодной схеме питания, относительно простые и позволяющие легко стабилизировать заданную частоту вращения.

Схема регулирования частоты вращения универсального электродвигателя по однополупериодной схеме питания, которую можно использовать для привода миксеров, швейных машин и других бытовых электроприборов, показана на рис. 8.2.

Резисторы $R1$, $R2$ и диод $VD1$ образуют делитель напряжения. Благодаря диоду $VD1$ ток по цепи протекает только в одном направлении. Последовательно с якорной обмоткой электродвигателя подключен тиристор VS , управляющий электрод которого через диод $VD2$ соединен с делителем напряжения $R1$, $R2$. Диод $VD2$ служит для защиты тиристора VS от попадания на его управляющий электрод отрицательного потенциала по отношению к катоду.

Частоту вращения электродвигателя можно регулировать потенциометром $R2$, который изменяет напряжение, подаваемое на управляющий электрод тиристора. При перемещении движка потенциометра вверх увеличивается амплитуда напряжения на управляющем электроде. Это приводит к тому, что тиристор VS переходит в проводящее состояние и находится в нем большую часть полупериода напряжения питающей сети, а частота вращения электродвигателя возрастает. При перемещении движка потенциометра в противоположном направлении про-

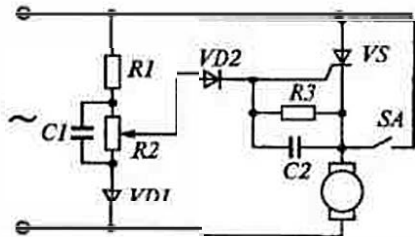


Рис. 8.2. Однополупериодная схема регулирования частоты вращения универсального коллекторного двигателя

исходит обратный процесс. Если обмотка электродвигателя рассчитана на номинальное напряжение сети, то максимальную частоту вращения можно получить при шунтировании цепи анод-катод тиристора VS ключом SA . В этом случае обмотка якоря электродвигателя будет питаться непосредственно от сети в течение полного периода питающего напряжения.

8.2.2. Электропривод миксеров и взбивалок

Электромиксеры предназначены для смешивания холодных напитков, взбивания яиц, молочных коктейлей, приготовления теста и других операций по взбиванию и растиранию продуктов. С помощью некоторых миксеров также размалывают твердые продукты: кофе, орехи, горох, фасоль и различные пряности.

Приводом миксера служит универсальный коллекторный двигатель. Электромиксер не имеет редуктора и служит для выполнения операций с использованием быстроходных ножей, насаживаемых на свободный конец вала.

Для привода взбивалки применяется коллекторный двигатель со встроенным редуктором, причем используются два тихоходных вала редуктора. Свободного конца вала самого двигателя привод взбивалки не имеет. Для привода миксера-взбивалки применяется коллекторный двигатель со встроенным редуктором, при этом используются быстроходный вал двигателя и тихоходные валы редуктора.

В настольно-ручных моделях возможны два варианта решения конструкции привода: в первом случае электропривод совместно с редуктором образует единый блок, заключенный в общий корпус с выходами для тихоходного и быстроходного валов; во втором случае редуктор выполнен в виде самостоятельного блока, а в корпусе привода размещается электродвигатель с выходом только быстроходного вала. Блок редуктора соединяется с блоком привода, когда прибор используется с тихоходными насадками (например, для замешивания теста или взбивания).

Конструктивное исполнение электропривода миксера-взбивалки показано на рис. 8.3. Якорь 6 и индуктор 5 двигателя собираются в корпусе 4. Индуктор, щеткодержатель 7 и подшипники 9 якоря крепятся в гнездах корпуса при помощи специальных пружин 2, 3, 8. Корпус двигателя одновременно является корпусом редуктора 1 и отливается из алюминиевого сплава АЛ-2. Исполнение двигателя — открытое обдуваемое. Пакеты магнитопроводов индуктора и якоря набираются из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм.

Регулирование частоты вращения осуществляется плавно или ступенчато. Для плавного регулирования применяются движковые

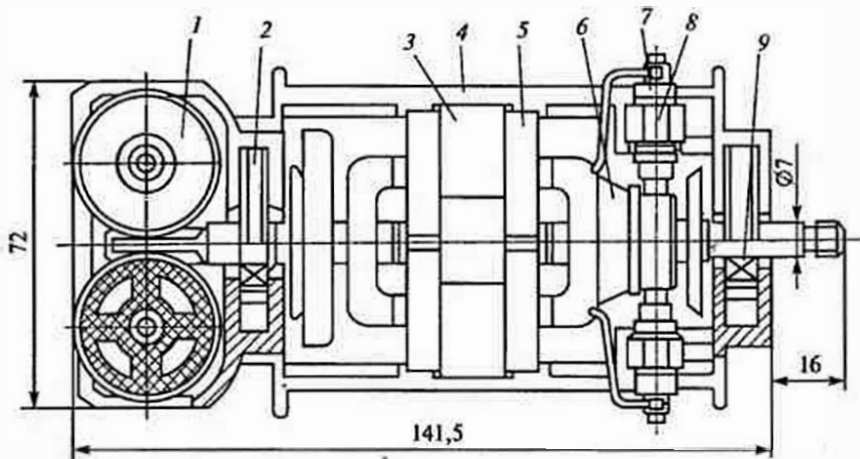


Рис. 8.3. Конструкция электропривода миксера-взбивалки

или поворотные переключатели, для ступенчатого — рычажные на три—четыре позиции.

Для повышения безопасности работы с прибором выход быстрого вала оснащается устройством блокировки включения двигателя, который не включается, если насадка неправильно установлена на приводе (кофемолка, миксерный стакан, нож-измельчитель).

Настольные миксеры состоят из электропривода, заключенного в корпус, в котором размещены переключатели режимов работы и насадок: миксерного стакана, кофемолки, соковыжималки и др. Насадки устанавливаются на корпусе электропривода сверху, весь прибор в сборке имеет вертикальную компоновку.

Число режимов работы привода зависит от уровня комфортности прибора и может достигать до восьми. Приборы оснащены таймерами или более сложными программными устройствами. Зарубежные фирмы используют в настольных миксерах электроприводы мощностью до 400 ... 450 Вт, что позволяет оснащать их, помимо миксерных стаканов и кофемолок такими энергоемкими насадками, как куттерные мясорубки, где требуется высокая полезная мощность при большой частоте вращения рабочих органов. Широкий диапазон скорости вращения позволяет применять и насадки-соковыжималки для citrusовых и центробежные соковыжималки.

В табл. 8.2 представлены характеристики электровзбивалок отечественного производства с коллекторными двигателями.

Таким образом, в электровзбивалках отечественного производства используются пять типов электроприводов, имеющих потреб-

ляемую мощность от 120 до 160 Вт и частоту вращения от 12000 до 18000 мин⁻¹. Конструкция электропривода выполнена как единый блок, состоящий из электродвигателя и шестеренчатого редуктора, имеющего два вала с пониженной по сравнению с электродвигателем частотой вращения (передаточное число редуктора от 9 до 14 в разных моделях). Во всех моделях можно изменять частоту вращения рабочих валов в зависимости от выполнения операций посредством изменения частоты вращения двигателя.

Таблица 8.2

Технические характеристики приводов электровзбивалок

Параметры	Тип электропривода				
	ПК-58-180-20	ДК-58-60-12	ЭМ	УДК	УДК-М
Потребляемая мощность, Вт	130	120	120	130	160
Частота вращения, мин ⁻¹	18000	12000	18000	12000	12000
Масса, кг	0,70	0,72	0,72	0,94	0,90

Мощность и частота вращения электропривода выбирается из условия обеспечения необходимых эксплуатационных параметров обработки тех или иных продуктов. Например, при измельчении овощей и фруктов быстрого конца вала привода нагружается моментом 0,04 Н·м при частоте вращения 18000 мин⁻¹, а при замешивании теста момент нагрузки тихоходных концов вала достигает 0,6 Н·м при частоте вращения 600 ... 800 мин⁻¹. Значительное влияние на момент нагрузки двигателя оказывает также конструкция насадок взбивалок. Оптимальный диапазон частот вращения двигателя, позволяющий обеспечить применение разнообразных насадок для обработки различных продуктов, составляет 15000 ... 18000 мин⁻¹, при этом мощность на валу двигателя должна быть 70 ... 90 Вт, а передаточное число редуктора (20 ... 24): 1.

Этим условиям полностью соответствует унифицированный электропривод, серийно выпускаемый в двух типоразмерах: ПК58-01.01 для взбивалок и ПК 58-03.01 для миксеров-взбивалок. По параметрам и массе он не уступает лучшим зарубежным аналогам. Оба типоразмера электропривода снабжены схемой плавного регулирования частоты вращения при моменте нагрузки 0,044 Н·м в пределах 8000 ... 16000 мин⁻¹ и имеют встроенный червячный редуктор с передаточным числом 22 : 4.

8.2.3. Электропривод кофемолок

Электрокофемолки предназначены для размола зерен кофе непосредственно перед заваркой. Это позволяет сохранить аромат, который исчезает даже при кратковременном хранении размолотого кофе. Электрокофемолки можно использовать для размола сахара, орехов, сухарей, соли и различных пряностей.

По принципу действия кофемолки делят на две группы: ударного и жернового типа. В кофемолках ударного типа размол зерен производится с помощью двух- или четырехлезвийного ножа, вращающегося с частотой $15\,000 \dots 25\,000 \text{ мин}^{-1}$, а жернового типа — с помощью зубчатых (неподвижного и подвижного) дисков. Преимуществом кофемолок жернового типа является возможность регулирования степени помола изменением расстояния между дисками. Степень помола может регулироваться ступенчато или плавно. Кофемолки жернового типа по конструкции сложнее, чем кофемолки ударного действия.

Для привода кофемолок применяют универсальные коллекторные электродвигатели мощностью $40 \dots 60 \text{ Вт}$.

Механические характеристики отечественных двигателей ЭДМ-3, ДК 58-60-20, КВП-40 и 505 СОДЕ222 фирмы «Мулинекс» (Франция) представлены на рис. 8.4. На этом же рисунке показана зависимость момента сопротивления от частоты вращения. Аналогичный характер имеют механические характеристики всех универсальных коллекторных двигателей. Эти двигатели имеют запас по нагреву обмоток и могут работать в повторно-кратковременном режиме с ПВ 25 % при продолжительности включения 1 мин. Принято считать, что кофемолкой пользуются ежедневно для двух-трех помолов кофе, тогда наработка за месяц не превышает 1 ч, за год — 12 ч, за 10 лет — 120 ч. По сравнению с электродвигателями других бытовых приборов средняя наработка за весь срок

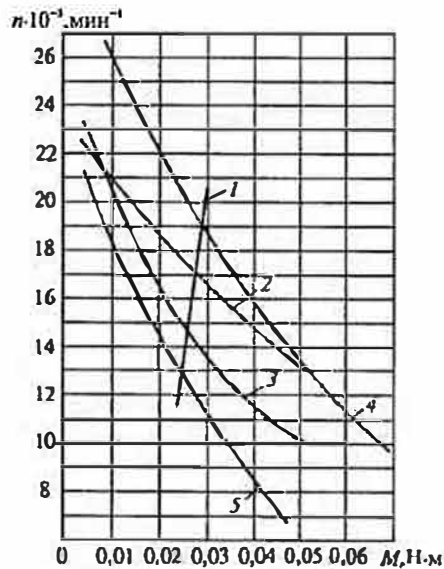


Рис. 8.4. Механические характеристики электродвигателей кофемолок и характеристики момента нагрузки:

1, 2 — электродвигатели фирмы «Мулинекс» (Франция); 3 — ЭДМ-3; 4 — ДК 58-60-20; 5 — КВП-40

эксплуатации кофемолки относительно мала, и это существенно сказывается на конструктивном исполнении ее электропривода.

8.2.4. Электропривод мясорубок

По конструкции и способу измельчения мяса электромясорубки выпускаются двух типов: шнековые и куттерные. Шнековая электромясорубка — прибор для измельчения мяса, рыбы, овощей и подобных пищевых продуктов, снабженный вращающимся ножом. Мясо подается вращающимся шнеком к ножу и продавливается через перфорированный диск (решетку).

Куттерная электромясорубка — прибор для измельчения мяса, рыбы, снабженный вращающимся ножом, который рубит мясо или рыбу на мелкие части.

Кроме основной функции — помола мяса — некоторые мясорубки могут выполнять другие функции, для чего комплектуются дополнительными приставками или насадками: для помола кофе, измельчения овощей, профилирования теста, набивки колбас и др.

Кратность пускового момента коллекторных двигателей составляет 3 ... 5, поэтому они являются наиболее пригодными для привода электромясорубок.

8.2.5. Электропривод универсальных кухонных машин

Универсальные кухонные машины (УКМ) отличаются от рассмотренных бытовых приборов тем, что позволяют выполнять операции по переработке различных продуктов. Большинство кухонных машин комплектуется насадками для выполнения функций кофемолки, соковыжималки, мясорубки, овощерезки, тестомешалки, электровзбивалки, миксера и др. Широкий диапазон выполняемых функций определяет специфические требования к их электроприводу.

Параметры рабочего диапазона определяются, с одной стороны, насадкой-кофемолкой, с другой — насадкой-тестомешалкой. Для работы кофемолки необходима частота вращения $18\,000 \dots 20\,000 \text{ мин}^{-1}$ при моменте нагрузки $0,03 \text{ Н·м}$; в то же время для работы тестомешалки двигатель должен развивать момент $0,25 \text{ Н·м}$ при частоте вращения $10\,000 \text{ мин}^{-1}$.

Мощность и масса двигателей, применяемых в различных моделях УКМ, значительно отличаются между собой, при этом с увеличением мощности функциональные возможности УКМ расширяются. Этому способствует также возможность регулирования частоты вращения. Аналогично электроприводам взбивалок регулирование частоты вращения двигателя УКМ осуществляется ступенями или плавно. Применение многоскоростных двигателей обусловлено необходимостью получения оптимальных значений на-

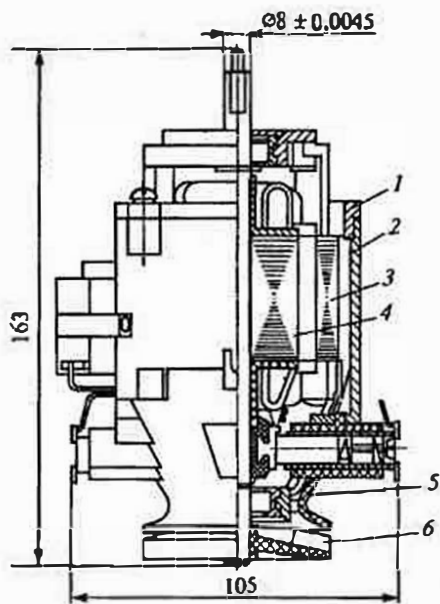


Рис. 8.5. Конструкция универсальной кухонной машины

имеет модель ДК90-250-12 (рис. 8.5). Конструктивно он состоит из корпуса 2, подшипникового шита 1, индуктора 3, якоря 4 и вентилятора 6 с диффузором 5.

Индуктор, якорь с подшипниками и щеткодержатели собираются в корпусе. На корпус устанавливается диффузор, служащий для направления потока воздуха вентилятора и повышения эффективности охлаждения двигателя.

Аналогичную конструкцию, за исключением диффузора, имеет большинство электродвигателей зарубежных фирм.

грузочного момента и частоты вращения для разных насадок. Частота вращения и нагрузочный момент изменяются для режима максимальной нагрузки. Как правило, таким режимом для УКМ является режим работы с приставкой для приготовления мясного фарша или тестомешалкой. Двигатель кухонной машины имеет сравнительно большую массу — около 2 кг. При работе с насадкой-кофемолкой и электромиксером-взбивалкой он используется не полностью, а при работе в качестве мясорубки, тестомешалки и соковыжималки двигатель работает в режимах, близких к номинальному.

Наиболее высокие технические показатели среди двигателей УКМ, выпускаемых отечественной промышленностью,

8.3. Электрические машины для уборки и ремонта помещений

8.3.1. Пылесосы

Бытовые электрические пылесосы предназначены для механизации домашних работ по уборке и ремонту помещений, а также для очистки от пыли одежды, занавесей, ковров, книг, музыкальных инструментов, радио и телеаппаратуры и других предметов обихода. Использование пылесоса существенно облегчает выполнение этих работ и делает труд более приятным и привлека-

тельным. С его помощью удается в 2,5... 3 раза сократить затраты времени на уборку квартиры. Такая уборка оздоравливает жилые помещения благодаря практически полному удалению пыли, вместе с которой собираются вредные для здоровья человека частицы промышленных загрязнений, а также болезнетворные микроорганизмы. Кроме того, пылесос собирает наиболее вредную для человека мельчайшую пыль. Регулярная уборка жилья пылесосом — важный фактор для сохранения здоровья.

При ремонте помещения, мебели и т. п. пылесос эффективно используют для побелки потолка и стен, нанесения водоэмульсионных красок, лака, а также для увлажнения помещения и распыления порошкообразных веществ.

Пылесосы выпускаются двух типов: напольные (ПН) и ручные (ПР). В зависимости от организации пылевоздушного потока напольные пылесосы бывают прямоточные (ПНП) и вихревые (ПВН). В прямоточных частицы внутри пылесоса движутся прямолинейно, в вихревых — по траектории, напоминающей петлю. Напольные пылесосы прямоточного типа имеют удлиненный корпус в виде цилиндра, ось расположена горизонтально. Пылесосы вихревого типа разработаны с корпусом в форме цилиндра, имеющего вертикальную ось, переходящего в сферу или усеченный конус. В качестве материала для корпуса используется малоуглеродистая сталь, алюминиевый сплав или пластик АБС.

К наиболее важным показателям, характеризующим технический уровень, качество работы, безопасность обслуживания и другие свойства пылесосов относятся: максимальное разрежение (P_{max}) при закрытом всасывающем отверстии, потребляемая мощность (N) при открытом всасывающем отверстии, максимальный расход воздуха (Q_{max}). Технические характеристики пылесосов приведены в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Технические характеристики пылесосов

Тип пылесоса	P_{max} , кПа, не менее*	N , Вт, не более	Q_{max} , дм ³ /с, не менее
ПР-70	1,6/2	70	5
ПР-100	3,5/4	100	9
ПР-280	8/9,4	280	14
ПР-400	11/11,4	400	19
ПН-400	11/11,4	400	19
ПН-600	13,5/13	600	25
ПН-800	14/15	800	32

* В знаменателе приведены значения для изделий высшей категории качества.

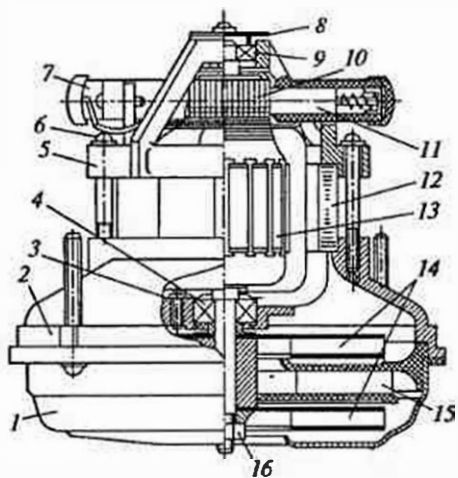


Рис. 8.6. Конструкция воздуховсасывающего агрегата

ного двигателя и два рабочих колеса 14 («турбинки») вентилятора. Подшипники закрыты крышками 3 и 8, препятствующими вытеканию смазки.

На щите установлены щеткодержатели 7 для угольных щеток 11, которые прижимаются к коллекторным пластинам 10. Рабочее колесо изготовлено из двух дисков, скрепленных лопатками. Оно присоединяется к валу гайкой 16. Наличие двух колес обеспечивает большое разрежение, создаваемое воздуховсасывающим агрегатом. Статор 12 с двумя обмотками установлен между щитом 5 и верхним корпусом 2, стягиваемыми винтами 6. Якорь 13 электродвигателя жестко крепится к валу.

Для уменьшения вибраций корпуса, передающихся от агрегата, между ними помещают эластичную резиновую прокладку. Коллекторные двигатели последовательного возбуждения при питании от сети как переменного, так и постоянного тока позволяют получить практически любую частоту вращения. С целью уменьшения габаритных размеров воздуховсасывающих агрегатов конструкторы стремятся увеличить частоту вращения двигателей. У современных пылесосов она находится в пределах 18 000 ... 26 000 мин⁻¹.

Снижению массы двигателей способствует также интенсивное охлаждение активных частей. В связи с увеличением частоты вращения должно уделяться большое внимание обеспечению удовлетворительной коммутации. Она достигается за счет высокой точности механической обработки рабочей поверхности коллектора, его механической прочности, а также правильного выбора марки

электрощеток, силы нажатия на них и конструкции щеткодержателей.

Интенсивное охлаждение активных частей двигателя обеспечивается потоком воздуха, нагнетаемого вентилятором агрегата. Для улучшения условий прохождения воздуха через двигатель якорь обычно выполняется несколько увеличенного диаметра: отношение длины пакета якоря к его диаметру составляет 0,4 ... 0,9. Однако такое увеличение поперечных размеров магнитопровода ведет к увеличению расхода электротехнической стали и массы агрегата в целом. Поэтому разработаны конструкции, в которых хорошие условия прохождения воздуха через двигатель достигаются путем устройства специальных каналов между наружной поверхностью индуктора и внутренней поверхностью корпуса агрегата.

В комплект пылесоса входят: гибкий шланг, удлинитель, насадки (для чистки полов, ковров, одежды, мебели, разбрызгивания жидкости и др.). Для разбрызгивания жидкости используется давление воздуха, создаваемое вентилятором. При этом всасывающее отверстие пылесоса полностью открыто, а к выходному отверстию подсоединяется шланг с разбрызгивателем жидкости.

Пылесос повышенной комфортности включает еще не менее трех из следующих приспособлений: указатель (сигнализатор) заполнения пылесборника пылью; устройство для регулирования расхода воздуха через насадки, автоматической уборки соединительного шнура, очистки фильтров; сменные бумажные фильтры разового заполнения или устройство для прессования собранной пыли.

Фильтр, установленный в корпусе, изготавливается из молекулярной вельветона или других материалов, обеспечивающих необходимую эффективность пылеулавливания (сукно, бязь, платочное полотно, хлопчатобумажная ткань). Сменные бумажные фильтры, содержащие более 50 % вискозного штапельного волокна и выполненные в виде мешка, предохраняют матерчатые фильтры от загрязнения, улучшают гигиену очистки пылесоса и удаляются вместе с пылью. С целью увеличения вместимости пылесборника в некоторых конструкциях осуществляется двухступенчатая фильтрация: фильтр грубой очистки задерживает и уплотняет крупные частицы, тонкой очистки — мелкие. В качестве фильтрующего элемента на первой ступени используется проволочная сетка, бумажный разовый мешок-фильтр, на второй — указанные выше ткани. В некоторых конструкциях на выходе воздуха из пылесоса устанавливается еще фильтр тонкой очистки, улавливающий мельчайшие частицы пыли.

Устройство для автоматической уборки шнура выполняется в виде барабана, вращающегося вокруг своей оси под действием упругой силы спиральной пружины. При вытягивании шнура на определенную длину барабан фиксируется собачкой. При нажа-

тии кнопки она утапливается, барабан освобождается и, вращаясь под действием пружины, наматывает шнур. Пружина при этом ослабляется, а «заводится» она при вытягивании шнура.

Питание к электродвигателю подается через подвижные контактные кольца барабана, соединенные с проводами шнура, и неподвижные контакты. Гибкие шланги воздухопроводы, гофрированные или нерастягивающиеся, изготавливаются из полихлорида, стальной пружины, покрытой пластиком и являющейся каркасом, резинокани с оплеткой из синтетических волокон и др. Для удлинителей воздухопроводов применяют алюминиевый сплав или ударопрочную пластмассу.

Насадки, присоединяемые к шлангу или удлинителю, имеют разнообразные конструкции: для чистки одежды, мягкой мебели их выполняют в виде сопла и щетки; для чистки полов и других больших поверхностей — в виде сопла с длинной щелью и волосных щеток; для чистки мебели, картин — в виде круглых щеток с длинным мягким ворсом и др.

В пылесосах с номинальной потребляемой мощностью 250 Вт и более предусматривается регулирование расхода воздуха, при этом изменяется величина разрежения. Регулятор представляет собой кольцо с отверстием. Его устанавливают на всасывающий трубопровод. Необходимый режим достигается совмещением или частичным перекрытием отверстий на кольце и трубопроводе.

Сигнализатор заполнения пылесборника изготавливается в виде прозрачного цилиндра, внутри которого движется поршень, закрепленный на пружине. Цилиндр соединен с камерой пылесоса, поэтому положение поршня зависит от создаваемого разрежения, которое в свою очередь зависит от запыленности фильтра. При положении поршня, свидетельствующем о необходимости чистки фильтра и пылесборника, может включаться сигнализация.

Напольный пылесос прямооточной конструкции представляет собой воздухопроницаемую камеру 2 (рис. 8.7), разделенную на

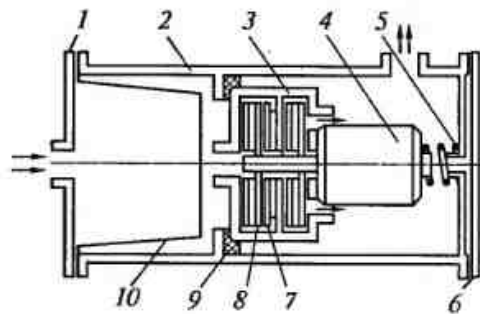


Рис. 8.7. Конструкция прямооточного пылесоса

два отсека перегородкой. Передняя крышка 1 закрывает всасывающий отсек, а задняя крышка 6 — нагнетательный. Воздуховсасывающий агрегат закреплен в камере 2 пружиной 5, прижимающей корпус 3 воздухоподсасывающего агрегата к амортизатору 9, который обеспечивает герметичность соединения так, что воздух из всасывающего отсека в нагне-

тательный может попадать только через вентиляционное устройство воздухоподсасывающего агрегата. Вентиляционное устройство представляет собой двухступенчатый центробежный компрессор, подвижные диски 8 которого приводятся во вращение с большой частотой электродвигателем 4. Неподвижный диск 7 смонтирован в корпусе 3 воздухоподсасывающего агрегата между подвижными дисками 8. Диски компрессора состоят из двух круглых пластин, между которыми закреплены специально спроектированные лопасти.

При подаче электрического напряжения на электродвигатель 4 его якорь начинает вращаться с большой частотой (порядка 15000 мин⁻¹). Вместе с валом якоря начинают вращаться подвижные диски 8 центробежного компрессора. Лопасти подвижного диска компрессора первой ступени заставляют быстро вращаться частицы воздуха, находящиеся в пространстве между лопатками. Под действием возникающей центробежной силы частицы воздуха отбрасываются от центра подвижного диска к его периферии и попадают на направляющие лопасти неподвижного диска 7. Обладая кинетической энергией, сообщенной диском первой ступени, под динамическим напором последующих порций воздуха частицы воздуха скользят по межлопаточным каналам неподвижного диска от периферии к центру и попадают на вход второй ступени компрессора. От подвижного диска второй ступени компрессора частицы воздуха получают дополнительную кинетическую энергию и с большой скоростью истекают в правый отсек пылесоса и далее в его выходное отверстие. При своем движении воздушный поток охлаждает электродвигатель 4 воздухоподсасывающего агрегата. Таким образом, в камере пылесоса устанавливается направленное движение воздушного потока из всасывающего отсека в нагнетательный, в результате чего во всасывающем отсеке возникает некоторое разрежение, а в нагнетательном отсеке — избыточное давление воздуха.

Разность этих давлений используется для подъема, засасывания и транспортирования частиц пыли и иных загрязнений вместе с воздухом по гибкому шлангу — воздухопроводу пылесоса. Шланг пристыковывается к передней крышке 1.

Вследствие скачкообразного увеличения сечения пылевоздушной струи при истечении ее из шланга во всасывающий отсек пылесоса скорость потока воздуха резко падает и крупные частицы загрязнений выпадают вниз. Мелкая пыль задерживается пылесборником 10 и скапливается в нем, а прошедший сквозь ткань очищенный воздух поступает в нагнетательный отсек.

Воздушную струю, истекающую из выходного отверстия пылесоса, используют для распыления жидкостей и порошкообразных веществ с помощью пульверизатора, который присоединяют к гибкому шлангу пылесоса, пристыкованному к задней крыш-

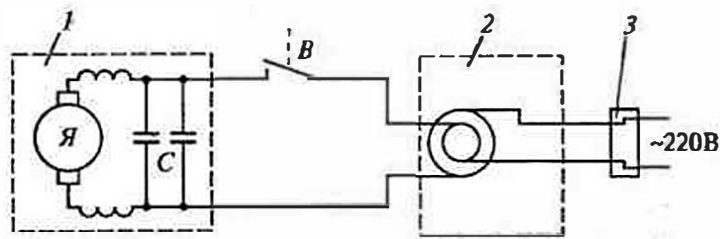


Рис. 8.8. Электрическая схема прямоточного пылесоса «Чайка-10»:

1 — электродвигатель; 2 — механизм уборки соединительного шнура; 3 — вилка

ке б. Воздушную струю можно также использовать для выдувания пыли из тех труднодоступных мест, откуда сбор пыли с помощью насадок неэффективен.

На рис. 8.8 приводится электрическая схема пылесоса прямоточной конструкции типа «Чайка-10». Индуктивности и емкости в этой схеме выполняют роль помехозащитных фильтров.

Корпус напольного пылесоса вихревого типа располагается вертикально. Он состоит из двух отсеков, притянутых друг к другу откидными замками. Воздухонепроницаемость соединения обеспечивается уплотнительным резиновым кольцом. Отсеки разделены пылесборником большого диаметра, изготовленным из мелкопористой ткани. Воздушный поток с пылью, проходя через нижний всасывающий отсек, завихряется, при этом мусор и крупные частицы пыли оседают на дно. Через пылесборник отфильтрованный воздух поступает в верхний нагнетательный отсек, а из него через выходное отверстие наружу. Благодаря завихрению пылевоздушной смеси пылесборник засоряется менее интенсивно.

Пылесосы вихревого типа содержат те же конструктивные узлы (воздуховсасывающий агрегат, гибкий шланг-воздуховод, насадки), что и прямоточные пылесосы.

На рис. 8.9 приводится конструкция пылесоса вихревого типа. Пылесос состоит из штампованного поддона 1, на котором закреплены четыре колеса, два из которых могут вращаться вокруг стоек, чем обеспечивают удобство перемещения пылесоса в процессе работы. К поддону прикреплены замки 10, с помощью которых

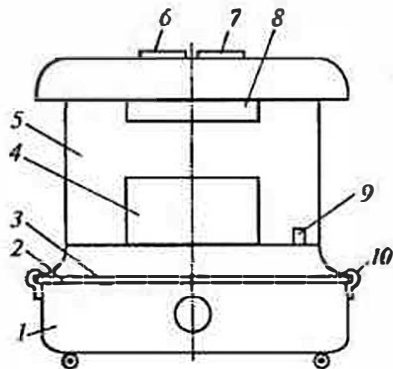


Рис. 8.9. Конструкция пылесоса вихревого типа

через резиновое уплотнительное кольцо 3 закрепляется верхняя часть пылесоса.

В центре нижней части корпуса 5 с помощью пластмассовых стоек и винтов укреплен воздуховсасывающий агрегат 4 и фильтр 2. Для обеспечения герметичности и снижения уровня шума под всасывающим агрегатом установлено резиновое кольцо.

На этой же части корпуса закреплен мембранный датчик индикатора запыленности 9. Нижняя часть корпуса при помощи винтов соединяется со средней цилиндрической частью. Цилиндрическая часть для снижения шума и обеспечения дополнительной электроизоляции обклеена изнутри листовым поролоном и изолирована электротехническим картоном.

Сверху к цилиндрической части с помощью резьбовых скоб и винтов прикрепляется верхняя часть корпуса, внутри которой расположены кнопка уборки шнура б, механизм уборки шнура 8 и выключатель 7. На верхней панели корпуса имеется ручка для переноса пылесоса.

Ручные пылесосы в силу ограниченности их возможностей менее распространены. Они выпускаются в виде электрощеток-пылесосов и переносных или штанговых электропылесосов. Переносные и штанговые пылесосы выполнены по схеме прямоточных и представляют собой как бы уменьшенную копию напольных пылесосов.

Электрощетку-пылесос используют и как волосяную щетку для чистки одежды. Удаляемая пыль задерживается пылесборниками и скапливается внутри электрощетки. В разъемном пластмассовом корпусе такого пылесоса, выполненном заодно с ручкой, находится воздуховсасывающий агрегат упрощенной конструкции, пылесборник, волосяная щетка и выключатель.

Большую помощь автомобилистам могут оказать ручные автомобильные пылесосы, электродвигатель которых рассчитан на питание постоянным электрическим током напряжением 12 В, получаемым от автомобильного аккумулятора. В остальном конструкция автомобильных пылесосов схожа с конструкцией переносного пылесоса, рассчитанного на переменный однофазный ток напряжением 220 В.

8.3.2. Полотеры

Для натирания полов в квартирах и других небольших помещениях служат электрополотеры. Они выпускаются без отсоса (типа ЭП) и с отсосом (типа ЭПО) пыли. Различают однощеточные (ЭП-1), двухщеточные (ЭП-2, ЭРО-2) и трехщеточные (ЭП-3, ЭПО-3) модели. В зависимости от числа щеток и их ширины захвата производительность полотеров колеблется от 28 до 80 м²/ч, а потребляемая мощность — от 220 до 450 Вт.

Конструкция полотеров повышенной комфортности типа ЭПО должна предусматривать не менее трех из указанных ниже приспособлений: устройства для нанесения мастики, автоматической намотки шнура, хранения щеток и других принадлежностей, сменные бумажные фильтры грубой очистки разового заполнения, полировальные шайбы, натирочные щетки со свободной ориентацией в щеткодержателе.

Для привода рабочих органов электрополотера (щеток) применяются коллекторные электродвигатели. Щеткодержатели приводятся в движение при помощи ременного привода, снижающего частоту вращения электродвигателя. Управляется электрополотер при помощи рычага. Рассмотрим схему электрополотера ЭПО-3М, отличающегося высокими техническими показателями (рис. 8.10). Основание 13 изготовлено из легкого сплава. К нему крепятся винтами 15 и 5 полистироловые заборник 12 и поддон 14, а также три оси 8. Вокруг осей на шарикоподшипниках 7 вращаются щеткодержатели 6, в которые вставляются щетки (на рисунке не показаны) путем совмещения квадратных отверстий щеток с фиксаторами 9.

Винтами 16 к основанию присоединяются электродвигатель 1 (типа КВЛ 250-220 или ЭД-9-7). Под его фланец устанавливается эластичная прокладка 3. Валу электродвигателя вращение передается от ведущего бочкообразного рифленого шкива 11 через приводной ремень 10. Одновременно приводится в действие вентиляторное устройство, рабочее колесо 2 которого крепится на валу электродвигателя и имеет лопатки с обеих сторон диска. Всаива-

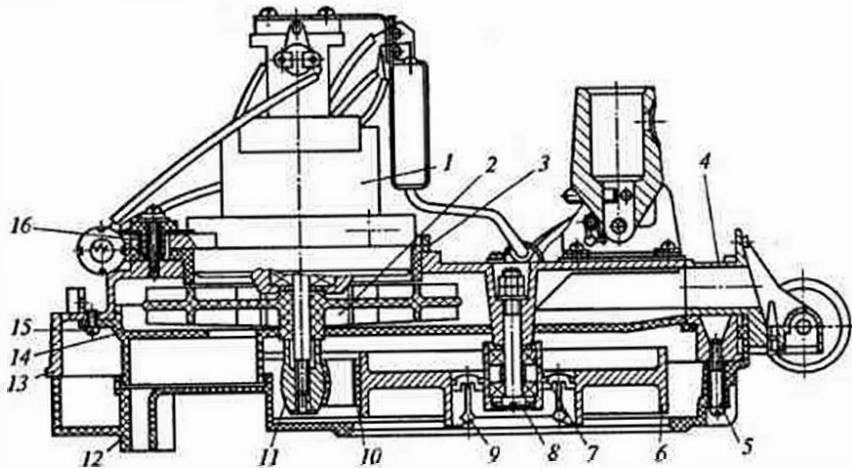


Рис. 8.10. Конструкция основания электрополотера ЭПО-3М

ющие и нагнетательный каналы расположены в корпусных деталях. Верхняя сторона крыльчатки служит для создания потока воздуха, охлаждающего электродвигатель. Воздух засасывается через щели кожуха (на рисунке не показан), обтекает электродвигатель сверху вниз, охлаждает обмотки и попадает во всасывающую часть верхней стороны крыльчатки, затем отбрасывается по межлопаточным каналам к периферии крыльчатки, откуда через отверстие в переходнике 4 проходит через пылесборник в атмосферу.

Пылевоздушный поток засасывается нижней стороной крыльчатки через отверстие в заборнике 12, отбрасывается по межлопаточным каналам к периферии крыльчатки и, соединяясь с первым воздушным потоком, через отверстие в переходнике 4 поступает в пылесборник, где накапливается пыль, а очищенный от нее воздух выходит в атмосферу. Расход пылевоздушной смеси несколько больше, чем расход охлаждающего электродвигатель воздуха, так как нижние лопатки крыльчатки на 1 мм шире верхних.

В электрополотере ЭПО-3М применен встроенный в узел поворота штанги управления микровыключатель, включающий электродвигатель при отклонении штанги и выключающий его при возвращении штанги в вертикальное положение.

8.4. Электрооборудование бытовых стиральных машин

8.4.1. Технологический процесс стирки в машинах активаторного и барабанного типов

Стирка в стиральных машинах осуществляется механическим перемешиванием белья в стиральном растворе. Перемешивание белья и активация стирального раствора в машинах производится вращающимся лопастным диском (активатором) или барабаном.

Сущность активации состоит в сообщении энергии моющему раствору, что вызывает движение его, а вместе с ним и белья. Активация моющего раствора способствует улучшению смачиваемости белья, равномерному распределению моющих растворов в воде, проникновению моющего раствора между волокнами ткани и загрязненными и отстирыванию загрязнений.

Общая тенденция развития бытовых стиральных машин определяется переходом к выпуску автоматических программных моделей. Так как 70...80% трудоемкости приходится на сушку, то этому уделяется большое внимание: стиральный автомат постепенно должен превратиться в стирально-сушильный.

В стиральных машинах, выпускаемых США и другими странами, сушка производится непосредственно в стиральном барабане. Сначала влага удаляется центрифугированием, затем включается

электронагрев и сушка производится потоком горячего воздуха. Белье при этом разрыхляется и расслаивается за счет медленного вращения (с реверсированием). За 8... 10 мин до конца сушки электронагрев отключается, а вентилятор и барабан продолжают вращаться, чем достигается охлаждение и устранение складок.

Если при переходе от ручной стирки к стирке в неавтоматической стиральной машине производительность труда увеличилась в три-четыре раза, то при переходе к автоматизированным машинам производительность увеличивается в 20... 25 раз.

В настоящее время выпускается четыре типа стиральных машин: СМ, у которой механизирована стирка и полоскание; СМР, которая имеет дополнительно ручной отжим валиками; СМП (полуавтоматическая), в которой механизированы стирка, полоскание, отжим и откачка жидкости; СМА (автоматическая), в которой все операции производятся по заданной программе.

Для обеспечения новых режимов в наиболее современных стиральных машинах применяются двигатели с реверсированием в приводе активаторов, многоскоростные двигатели автоматических СМ для торможения центрифуги, для привода насоса (двигатель-насос) и др.

В электрооборудование машин типа СМП активаторного типа входят электродвигатели и защитные реле, реле времени, выключатели, переключатели и другие элементы. В машине может быть один или два электродвигателя. Если электродвигатель один, то вращение передается активатору и центрифуге с помощью обгонных муфт и клиноременных передач. Стирка и отжим белья в таких машинах производятся поочередно. Если электродвигателей два, то один из них используется для привода активатора, другой — для привода центрифуги. Вращение передается активатору и центрифуге через ременные передачи. В некоторых машинах центрифуга непосредственно связана с валом электродвигателя.

Одноводвигательный привод дешевле двухдвигательного, однако не позволяет одновременно стирать и отжимать белье, что снижает производительность машины. Выпускаемые в настоящее время и вновь разрабатываемые двухбаковые стиральные машины СМП имеют по два электродвигателя.

В автоматических и полуавтоматических стиральных машинах барабанного типа процесс стирки, полоскания и отжима совмещен в одном вращающемся барабане. Это значительно сокращает затраты ручного труда по сравнению с двухбаковыми машинами. Участие человека сводится лишь к выполнению таких операций, как наполнение машины водой, загрузка белья и моющих средств, включение машины и переключение ее на необходимый режим. Потеря прочности белья в барабанных машинах ниже, чем в двухбаковых активаторных, что позволяет стирать в них синтетические, шелковые и шерстяные изделия.

К недостаткам стиральных машин барабанного типа следует отнести большое время стирки, меньшую степень отстирываемости и более высокую остаточную влажность белья после отжима по сравнению с двухбаковыми машинами активаторного типа. Время стирки белья средней степени загрязненности для машин барабанного типа составляет 10... 15 мин, для активаторных — 3... 6 мин; остаточная влажность 100... 120 % вместо 50... 60 % в активаторных машинах.

При отжиме белья в машинах барабанного типа время и качество процесса находятся в прямой зависимости от частоты вращения барабана. Этим объясняется стремление увеличить ее до возможно большей (1000 мин^{-1}).

Одновременно для лучшего распределения белья в барабане и, следовательно, уменьшения вибрации машины желательно начинать отжим при низких частотах вращения и плавно переходить в процессе отжима на более высокие.

8.4.2. Электрическая схема включения и устройство машин барабанного типа

Для привода барабана используются двухскоростной конденсаторный электродвигатель ДАСМ-2 с переключением числа полюсов в отношении 2/12 и двухскоростной конденсаторный унифицированный электродвигатель ДАСМ-4 с соотношением переключаемого числа полюсов 2/16.

В двигателе ДАСМ-2 обмотка, образующая 12 полюсов (6 пар полюсов), и обмотка, образующая 2 полюса (одна пара полюсов), выполнены как у однофазных двигателей с рабочим конденсатором (рис. 8.11, а). У двигателей ДАСМ-4 обмотка, образующая 16 полюсов (8 пар полюсов) выполнена по типу трехфазной (рис. 8.11, б). Двигатель ДАСМ-2 имеет синхронные частоты вращения 3000 и 500 мин^{-1} и номинальные мощности 400 и 60 Вт соответственно. У двигателя ДАСМ-4 эти частоты составляют 3000 и 375 мин^{-1} при номинальных мощностях 180 и 60 Вт.

При замкнутых контактах К1 и К2

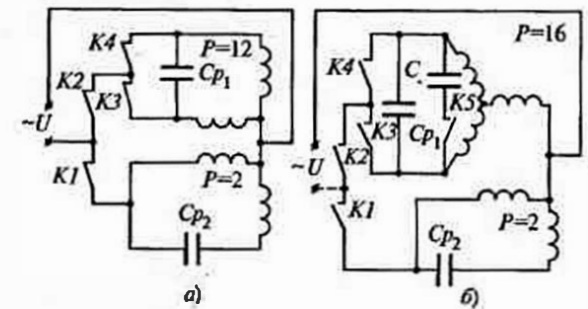


Рис. 8.11. Схемы включения однофазных двухскоростных электродвигателей ДАСМ-2 (а) и ДАСМ-4 (б)

большее число полюсов, будет подключена к сети, что соответствует минимальной частоте вращения двигателя. Выключатели *K3* и *K4* предназначены для осуществления реверса. Так, замкнутое состояние контактов *K3* и разомкнутое *K4* соответствует одному направлению вращения двигателя (при разомкнутых *K3* и *K4* двигатель отключен от сети); замкнутое состояние *K4* и разомкнутое *K3* приводят к изменению направления вращения двигателя на противоположное. Выключатель *K5* предназначен для подключения добавочной емкости C_n на время пуска для увеличения пускового момента.

За рубежом производятся автоматические стиральные машины с частотой вращения барабана при отжиге до 1000 мин^{-1} . Это достигается применением двухскоростных двигателей с переключением числа полюсов 2/16; 2/18 и 2/24. К недостаткам АД с переключением числа пар полюсов относятся большие габаритные размеры и масса, технологическая сложность производства.

Известны и другие технические решения. Одно из них — применение двухдвигательного привода. В режиме стирки работает асинхронный, а в режиме отжима — коллекторный двигатель последовательного возбуждения. Оба двигателя расположены на одном валу и включаются попеременно в соответствующих режимах.

Перспективным является вариант, когда питание АД осуществляется от полупроводникового преобразователя частоты. Этим достигается плавное изменение частоты вращения двигателя.

Стиральная машина барабанного типа (рис. 8.12) имеет прямоугольную форму. Ее основанием является штампованный из листовой стали короб с чугунной плитой, служащей одновременно и балансирующим грузом, который предохраняет машину от перемещения при работе.

Машина состоит из корпуса 4 с крышкой 2, внутри которого установлен бак 3 с барабаном 1. Привод барабана осуществляется от электродвигателя 6 посредством клиноременной передачи 7. Насос 5 служит для откачки моющего раствора.

Для стирки белье загружают в перфорированный барабан с гребнями внутри, которые увлекают белье при вращении барабана. Барабан помещен в стиральный бак, который после загрузки барабана бельем наполняется водой. Моющие средства засыпают через верхнее загрузочное отверстие стирального бака. При

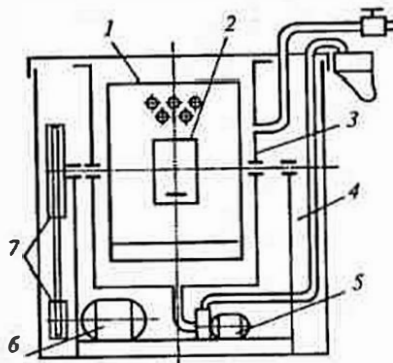


Рис. 8.12. Конструкция стиральной машины барабанного типа

стирке в реверсивно вращающемся барабане белье захватывается гребнями, приподнимается и под действием собственной массы подается в моющий раствор. Одновременно белье трется о гребни барабана. Для предотвращения скручивания белья в жгут предусмотрено цикличное реверсивное вращение барабана: 12 с — вращение в одном направлении, 2 с — пауза, 12 с — вращение в противоположном направлении. Отжим белья осуществляется в том же стиральном барабане при увеличенной частоте вращения.

8.4.3. Стиральные машины «Мини»

Большую популярность завоевали малогабаритные стиральные машины («Мини») или по принятой классификации — машины типа СМ. Такие машины рассчитаны на одновременную загрузку 1 ... 1,5 кг белья. Их весьма существенное достоинство — малые габаритные размеры и простота эксплуатации. Малые габаритные размеры стиральных машин «Мини» и возможность установки их с помощью специальной подставки непосредственно на ванну позволяют держать такие машины в постоянной готовности к работе. В случае необходимости переноса машины эта операция не доставит много хлопот по причине их малой массы.

Малогабаритные стиральные машины СМ по конструктивному исполнению можно в основном разделить на две категории: машины с вертикальным расположением активатора (как наиболее распространенную среди стиральных машин подобного исполнения можно назвать машину «Малютка») и машины с горизонтальным или донным расположением активатора (характерный пример такого исполнения — машина «Фея»).

В настоящее время появились новые разработки малогабаритных стиральных машин с применением барабана.

Стиральные машины «Мини» особенно удобны для стирки мелких изделий (детского белья, носков, носовых платков и т. п.), они незаменимы для молодой семьи, имеющей маленьких детей. Стиральные машины СМ-1,5 позволяют стирать более широкий ассортимент изделий, вплоть до постельного белья.

Опыт эксплуатации различных типов стиральных машин показывает, что в большой семье целесообразно иметь две стиральные машины: автоматическую (СМА) — для стирки крупного белья и СМ-1 или СМ-1,5 — для оперативной стирки мелкого белья.

В настоящее время промышленность выпускает много наименований малогабаритных машин типа СМ-1 и СМ-1,5. Рассмотрим как характерную — стиральную машину «Фея», которая по своим функциональным возможностям мало в чем уступает более сложным машинам, рассчитанным на большую загрузку. Ее конструкция характерна для целой группы малогабаритных стиральных машин типа СМ-1,5, выпускаемых различными отечественными заводами.

8.4.4. Автоматические стиральные машины

Устройство машины «Фея» показано на рис. 8.13. Машина состоит из стирального бака 8 прямоугольной формы, кожуха электропривода 5, крышки бака 7, активаторного узла 9, соединительного шнура 10.

Стиральный бак, кожух электропривода и крышка бака выполнены из пластмассы. Стиральный бак имеет выемку в днище для установки активатора. На внутренней стенке бака имеются выступы, указывающие уровень воды, необходимый для стирки и полоскания. Активатор приводится во вращение электродвигателем 1 через ремennую передачу 10. Электропривод машины состоит из электродвигателя 1, реле времени 4, конденсаторов 2 и 3.

Пуск и остановка электропривода активатора осуществляются при помощи реле времени 4, ручка 6 которого выведена на панель управления. На дне стирального бака расположен сливной патрубок с закрепленным на нем сливным шлангом.

Машина комплектуется наливным шлангом, комом для соединительного шнура, захватом для белья и подставкой. Подставка для машины устанавливается на ванну.

В машине установлено реверсирующее реле времени, которое обеспечивает управление работой машины по следующему циклу: рабочий период, соответствующий вращению электродвигателя в одну сторону, — 50 с; пауза — 10 с;

рабочий период, соответствующий вращению электродвигателя в противоположную сторону, — 50 с; пауза — 10 с и т. д.

Время стирки регулируется вручную при помощи реверсирующего реле времени в интервале от 1 до 6 мин.

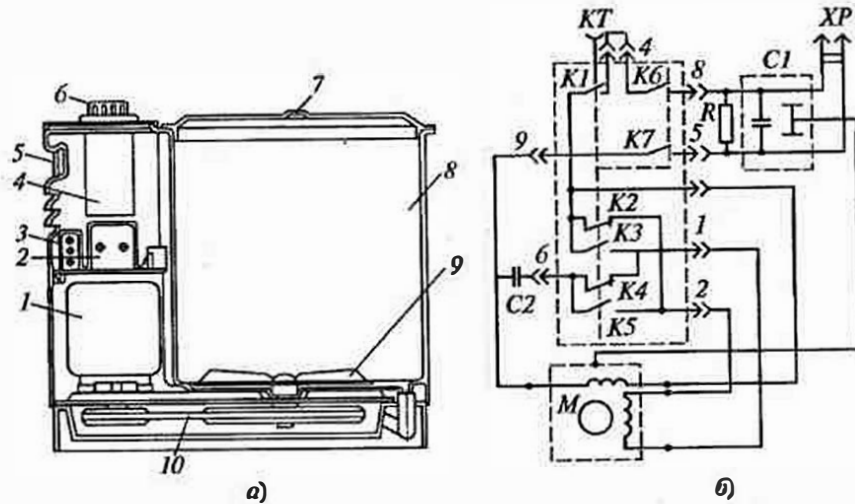


Рис. 8.13. Конструкция (а) и электрическая схема (б) стиральной машины «Фея»

Бытовые автоматические стиральные машины типа СМА предназначены для стирки по заданной программе. Стирка, замачивание и полоскание осуществляются механическим перемешиванием белья, помещенного в перфорированный барабан в стиральном растворе. Отжим белья производится центрифугированием в том же барабане.

Автоматические стиральные машины принципиально отличаются от машин типов СМ, СМР и СМП как по конструкции, так и по сложности электросхем; в них широко используются элементы автоматики, не применяющиеся в других бытовых стиральных машинах. Залив и слив воды для всех операций, ввод моющих средств, замачивание, стирка с нагревом воды с бельем в баке стиральной машины до заданной температуры, полоскание и отжим в этих машинах полностью автоматизированы. Разнообразный набор программ позволяет стирать белье разной загрязненности, прочности и химического состава материала, не снижая степени износа.

Для автоматического управления процессами стирки с учетом физико-химических и механических свойств материалов в автоматических стиральных машинах установлен целый ряд приборов контроля и регулирования процессов стирки, осуществляющих взаимодействие органов машин в определенной, заранее заданной последовательности во времени. К этим приборам относятся: командоаппарат, датчик реле уровня стирального раствора в баке, датчики-реле температуры стирального раствора.

Разработчик стиральной машины составляет описание и технологию ее работы или схему алгоритма.

Схема алгоритма — это графическое представление процесса решения задачи или технологического цикла.

Схема алгоритма изображается специальными символами. Алгоритм технологического процесса основной стирки в автоматической стиральной машине приведен на рис. 8.14. После пуска программы включается магнитный клапан горячей воды и заливается горячая вода до уровня 14 л. В это время происходит регулярный опрос датчика уровня воды в баке стиральной машины. По достижении уровня 14 л клапан горячего водоснабжения закрывается и включается трубчатый электронагреватель, который нагревает воду до температуры 60 °С, при этом двигатель вращает барабан «по часовой стрелке — пауза — против часовой стрелки» (с периодом 5—10—5 с соответственно). Затем вода нагревается до 90 °С с реверсированием вращения барабана соответственно 10—5—10 с, после чего происходит включение ТЭНа; стирка в течение 5 мин с реверсированием соответственно 12—3—12 с; слив моющего раствора путем включения насоса слива на 2 мин с реверсирова-

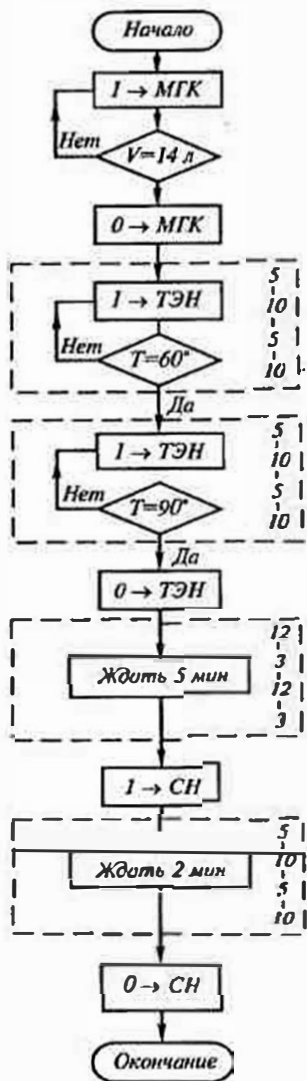


Рис. 8.14. Схема алгоритма технологического процесса основной стирки в автоматической стиральной машине

барaban установлен внутри бака и вращается в подшипниковом узле, расположенном в крестовине 10. Вращение барабану передается от электродвигателя через шкивы 11 и 16 и клиновой

ремнем 10—5—10 с; остановка сливного насоса, окончание программы.

На основании алгоритма программист составляет программу. Программа — это последовательность команд, которые надо вводить, объяснения, как их обрабатывать и какие выводить к исполнительным механизмам, индикаторам и др.

Рассмотрим конструкцию автоматической стиральной машины на примере отечественной «Вятка-автомат-12», приведенной на рис. 8.15. Корпус 38 выполнен из листов стали и состоит из штампованных деталей, соединенных между собой сваркой. Сверху корпус закрывается крышкой 40, которая крепится самонарезающимися винтами. Внутри корпуса установлен бак 25 с закрепленным на нем двухскоростным электродвигателем 17, предназначенными для вращения перфорированного барабана. Бак подвешен на двух цилиндрических пружинах 1, которые крепятся к упорам 3 корпуса. К нижней части бака с двух сторон приварены металлические пластины 24, взаимодействующие с фрикционными башмаками рессор 21, закрепленными на корпусе. Эта система вместе с противовесами 30, установленными на бак, служит для уменьшения вибрации машины.

Нагрев и контроль температуры моющего раствора осуществляется соответственно при помощи нагревателя 14 и датчиков реле температуры 13. Выход пара из бака происходит через патрубок 7. Белье загружают в перфорированный барабан через люк 35. Стирка производится по заданной программе в зависимости от вида и степени загрязненности ткани. Нужную программу набирают ручкой командоаппарата 29. Барабан

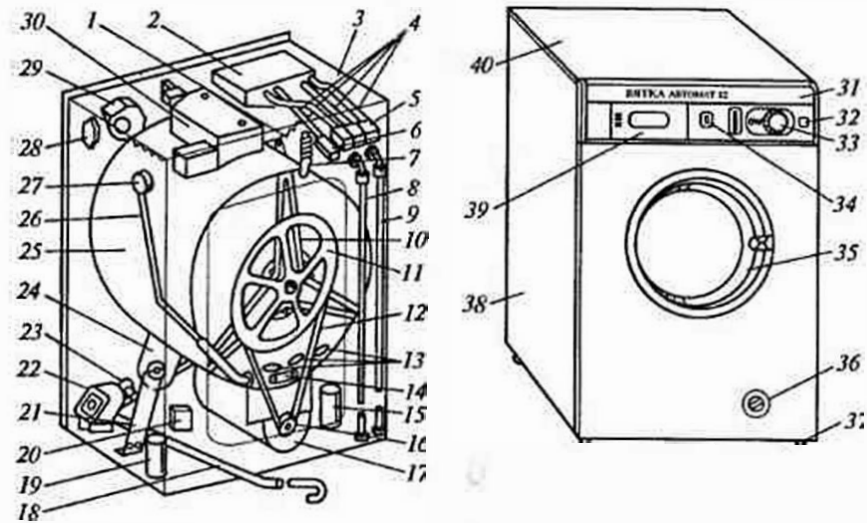


Рис. 8.15. Конструкция стиральной машины «Вятка-автомат-12»

ремень 12. Барабан имеет три ребра, служащие для лучшего перемешивания белья в процессе стирки.

Сзади машины в верхней части корпуса расположены: блок подключения к водопроводной сети, который состоит из двух электромагнитных клапанов 5 и 6, соединенных шлангами 4 с дозатором 2; реле уровня жидкости 27, соединенное с нижней частью шлангом 26; помехоподавляющий фильтр 28 с соединительным шнуром для подключения машины к электросети. Дозатор 2 служит для ввода в бак моющих средств и средств для специальной обработки белья во время заполнения бака водой через электромагнитные клапаны.

В верхней части на лицевой стороне корпуса расположена пластмассовая панель 31, на которую выведены: ручка 33, выключатель 34 для включения экономичного режима стирки, индикатор 32, сигнализирующий о работе машины, ручка бункера дозатора 39. На панели нанесены надписи с номерами и наименованиями программ.

В нижней части машины установлены электронасос 22 для откачки отработанного моющего раствора; съемный фильтр 23 с крышкой 36, расположенный на передней стенке корпуса; конденсаторы 15 и 19; реле напряжения 20. Машина снабжена съемными наливными шлангами 8 и 9 для подвода горячей и холодной воды, сливным шлангом 18, ванночкой для слива остатка жидкости и кронштейна для укладки соединительного шнура. Для устойчивого положения машины на полу служат ножки 37, регулируемые по высоте.

8.5. Бытовые холодильники

8.5.1. Классификация холодильников

Бытовые холодильники предназначены для кратковременного хранения скоропортящихся пищевых продуктов в охлажденном или замороженном виде.

Классифицируют холодильники по следующим признакам: способ искусственного охлаждения (тип), общий внутренний объем шкафа, форма корпуса, назначение.

По типу различают компрессионные (К), абсорбционные (А) и термоэлектрические (ТЭ) бытовые холодильники.

Бытовые холодильники выпускают различной вместимости, которая определяется герметическим объемом холодильной камеры. С увеличением общего внутреннего объема холодильников возрастает и расход электроэнергии.

Расход электроэнергии холодильниками обычной комфортности с холодильной камерой из полимерных материалов при температуре окружающего воздуха 32°C, средней температуре в холодильной камере 5°C, температуре в низкотемпературном отделении -6°C и минимальном объеме низкотемпературного отделения не должен превышать приведенных в табл. 8.4 значений, кВт·ч/сут.

Таблица 8.4

Расход электроэнергии бытовыми холодильниками

Общий внутренний объем холодильника, дм ³	Расход электроэнергии, кВт·ч/сут	
	компрессионными холодильниками	абсорбционными холодильниками
60	1,21	2,20
80	1,28	2,40
100	1,35	2,65
120	1,40	2,90
140	1,50	3,15
160	1,57	3,55
180	1,63	3,90
200	1,72	4,10
220	1,82	—
240	1,90	—
260	2,00	—
280	2,10	—

Бытовые холодильники делят также на однокамерные (для хранения охлажденных и замороженных продуктов в одном шкафу) и двухкамерные (для замораживания и хранения замороженных продуктов предназначена отдельная камера). Морозильное (низкотемпературное) отделение (камера) холодильника имеет маркировку (по числу звездочек), соответствующую создаваемому температурному режиму. Каждая звездочка означает 6°C.

8.5.2. Принцип действия компрессионного холодильника

Основным узлом холодильника является холодильный агрегат, служащий для отвода тепла из холодильной камеры и передачи его окружающей среде.

Холодильные агрегаты однокамерных холодильников (рис. 8.16) состоят из мотор-компрессора 7, конденсатора 4, испарителя 2, которые соединены трубопроводами и образуют замкнутую герметическую систему, заполненную хладагентом.

Хладагентом чаще всего является фреон-12 (CF₂Cl₂ — дифтордихлорметан). Это тяжелый бесцветный газ с очень слабым специфическим запахом, ощущаемым лишь при большой (более 20 %) концентрации в воздухе.

Рабочий процесс в холодильном агрегате протекает следующим образом. При работе мотор-компрессора 7 жидкий хладагент под давлением поступает в испаритель 2. Проходя через капиллярную трубку 3, имеющую малое проходное сечение, жидкий фреон дросселируется, при этом давление его падает, а температура снижается. В испарителе 2 жидкий фреон, превращаясь при низкой температуре в пар, отбирает необходимую для испарения теплоту от окружающей среды (камеры), снижая ее температуру. В испарителе все время поддерживается низкое давление за счет отсасывания мотор-компрессором паров фреона.

В мотор-компрессоре пары хладагента сжимаются и выталкиваются в конденсатор 4. Механическая работа, затрачиваемая на сжатие паров, превращается в теплоту, следовательно, температура паров хладагента в процессе сжатия повышается.

В конденсаторе 4 нагретые при сжатии пары фреона охлаждаются воздухом. Вследствие отвода тепла пары конденсируются.

Таким образом совершается циркуляция хладагента, который сам не расходуется, а на получение холода затрачивается лишь механическая энергия мотор-компрессора, приводимого в действие электродвигателем.

Мощность компрессионного холодильного агрегата определяется холодопроизводительностью (кДж/ч), т. е. количеством теплоты, которое агрегат может отнять от охлаждаемой среды в течение часа. Холодопроизводительность зависит от температуры ки-

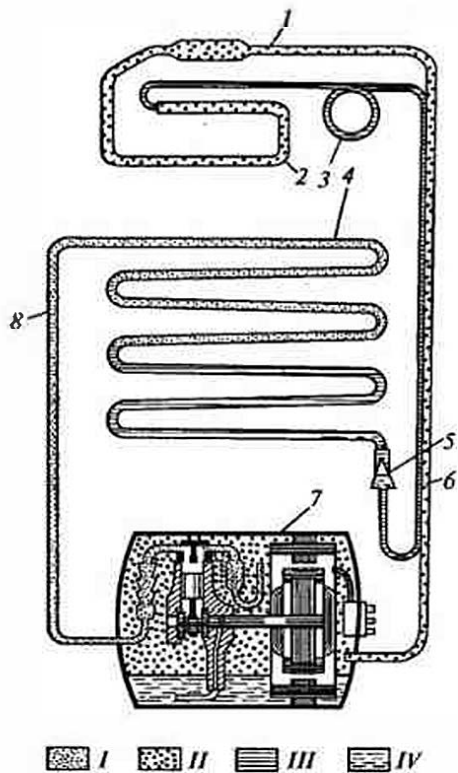


Рис. 8.16. Конструкция компрессионного холодильного агрегата однокамерного холодильника:

1 — осушительный патрон; 2 — испаритель; 3 — капиллярная трубка; 4 — конденсатор; 5 — фильтр; 6 — всасывающая трубка; 7 — мотор-компрессор; 8 — нагнетательная трубка; I — пары высокого давления; II — пары низкого давления; III — жидкий хладагент; IV — масло

дуктов, кДж/ч; Q_3 — расход холода на охлаждение воздуха в камерах, кДж/ч; Q_4 — расход холода на эксплуатационные нужды, кДж/ч.

Требуемая холодопроизводительность холодильного агрегата Q должна быть обеспечена компрессором. Если известны ход поршня S , мм, диаметр поршня d , мм, и частота вращения коленчатого вала n , мин⁻¹, можно найти часовой расход воздуха, выталкиваемого поршнем компрессора:

пения, температуры конденсации и температуры переохлаждения хладагента перед капиллярной трубкой. Холодопроизводительность хладагента представляет собой количество теплоты, требующееся на образование 1 м³ пара хладагента, и определяется по формуле

$$Q_0 = q/v,$$

где q — удельная холодопроизводительность, т. е. количество теплоты, требующееся на испарение 1 кг хладагента, кДж/кг; v — удельный объем паров хладагента, м³/кг.

Для расчета холодопроизводительности холодильного агрегата необходимы следующие исходные данные: объем и расчетные температуры холодильной и морозильной камер, их геометрические размеры и принятые конструкции ограждения.

Общий расход холода (холодопроизводительность) в единицу времени:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4,$$

где Q_1 — потери холода через ограждение камер, кДж/ч; Q_2 — расход холода на охлаждение и замораживание про-

$$v = \frac{\pi d^2}{4} S n \cdot 60,$$

где Sn — объем, выталкиваемый поршнем, л.

В бытовых компрессионных холодильниках обычно используются одноцилиндровые поршневые компрессоры, приводимые в движение электродвигателем. Диаметр цилиндра компрессоров принят одинаковым и равен 27 мм. Частота вращения вала 1500 мин⁻¹. Ход поршня (в пределах 14 ... 20 мм) определяет производительность компрессора.

В бытовых холодильниках отечественного производства применяют компрессоры трех типов: ДХ с кривошипно-шатунным механизмом; ФГ и ХКВ с кривошипно-кулисным механизмом.

Компрессор ДХ (рис. 8.17) имеет наружную мягкую подвеску 1. Горизонтально расположенный коленчатый вал 6 приводится во вращение электродвигателем 7 с частотой вращения 1500 мин⁻¹. В цилиндре 3, расположенном в корпусе 2, движется поршень 4. К верхнему торцу цилиндра 3 привернута головка 5 с клапаным устройством, состоящим из камеры всасывания, всасывающего и нагнетательного клапанов (на рисунке не показаны). При движении поршня 4 вниз пары хладагента через всасывающий клапан поступают в камеру, а при движении поршня вверх всасывающий клапан закрывается и хладагент через нагнетательный клапан подается в систему.

Компрессор ХКВ (рис. 8.18) имеет вертикально расположенный вал 3, который соединен с выходным валом электродвигателя 4 и вращается с частотой 3000 мин⁻¹. Через кулисный механизм 2 вращение вала передается поршню 1. В этой конструкции используется электродвигатель однофазный асинхронный с пусковой обмоткой. Для его пуска и защиты применено пускозащитное

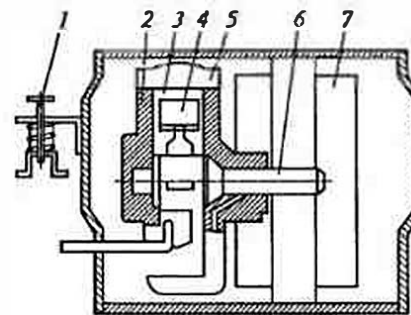


Рис. 8.17. Конструкция компрессора ДХ

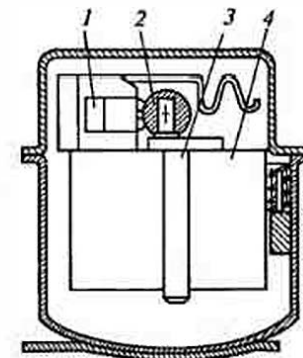


Рис. 8.18. Конструкция компрессора ХКВ

реле. Компрессор ХКВ можно транспортировать только в вертикальном положении.

Высокооборотный компрессор кривошипно-кулисного типа является более современным. К достоинствам компрессоров такого типа следует отнести меньшую массу и габаритные размеры, лучшие показатели по теплоэнергетическим характеристикам, низкий уровень звука и вибраций.

Холодильные агрегаты выпускаются на напряжение 127 или 220 В. Электродвигатель холодильника в нормальных условиях работает циклично, т. е. периодически включается и выключается через определенные промежутки времени. Отношение части цикла, в продолжении которой электродвигатель работает, к общей продолжительности цикла называют *коэффициентом рабочего времени*. Чем больше коэффициент рабочего времени (при постоянной температуре в помещении), тем ниже температура в холодильной камере и тем больше среднечасовой расход электроэнергии. Определенную цикличность в работе холодильника обеспечивает датчик реле температуры — прибор, регулирующий температуру в шкафу холодильника.

Для привода герметичных компрессоров применяются однофазные короткозамкнутые асинхронные электродвигатели. Они выпускаются на номинальные напряжения 127 и 220 В и номинальную мощность 600, 90, 120 Вт. Частота вращения 1500 и 3000 мин⁻¹.

На статоре двигателя расположены две обмотки: рабочая и пусковая. При включении обеих обмоток образуется вращающееся магнитное поле, которое увлекает за собой ротор. Когда частота вращения ротора достигает 75 ... 80 % частоты вращающегося магнитного поля, пусковая обмотка отключается пусковым реле. Двигатели с пусковой обмоткой имеют ряд недостатков, особенно

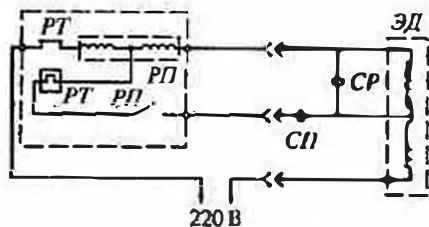


Рис. 8.19. Схема включения электродвигателя с пусковым конденсатором.

ЭД — электродвигатель; СП и СР — пусковой и рабочий конденсаторы; РТ — нагреватель и контакт защитного реле; РП — контакт и катушка пускового реле

сильно проявляющихся при пониженном напряжении сети. В этом случае пусковой момент, пропорциональный квадрату напряжения, сильно падает, пуск двигателя затягивается, пусковая обмотка нагревается и перегорает. Поэтому используются схемы с применением пусковых и рабочих конденсаторов. Конденсаторный пуск повышает пусковой момент, уменьшает время пуска холодильника, обеспечивает пуск при напряжении сети 150 ... 250 В. На рис. 8.19 при-

водится схема включения электрического двигателя с пусковым и рабочим конденсаторами.

8.5.3. Приборы автоматики

Для запуска электродвигателя и защиты его обмоток от перегрузок в бытовых холодильниках применяют комбинированные пускозащитные реле типа ДХР, РТП, РТК-Х, РПЗ, РТК-1-00 и др. Они отличаются друг от друга устройством, техническими характеристиками, способом монтажа в холодильнике, но принцип их действия одинаков. Рассмотрим этот принцип на примере пускозащитного реле РТК-1-00 (рис. 8.20).

Реле смонтировано на основании 14. Это реле электромагнитного (соленоидного) типа с двойным разрывом контактов. В контактном устройстве 13 находится сердечник, свободно перемещающийся на стержне 18. В верхней части стержня имеется планка 17 с контактами пускового реле 16, поднимаемая пружиной. При включении двигателя сердечник поднимается вместе со стержнем, подтягивая планку, которая замыкает неподвижные контакты. После того как частота вращения двигателя увеличится, контакты 16 разомкнутся.

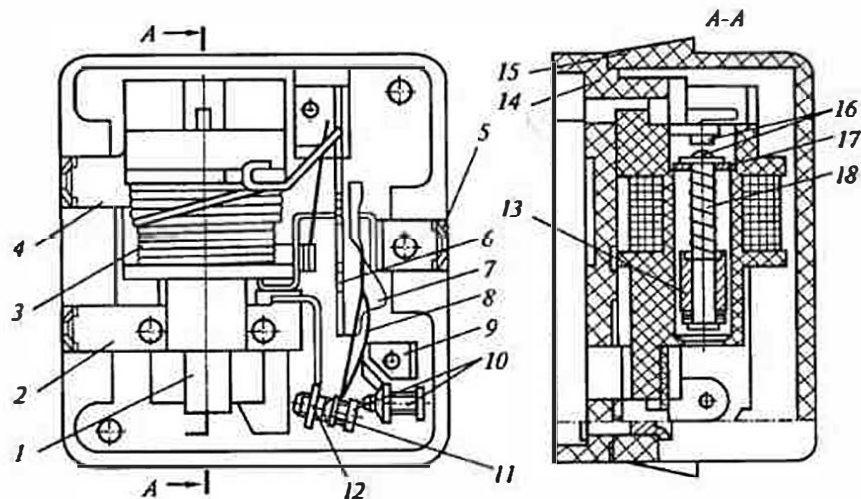


Рис. 8.20. Конструкция реле РТК-1-00:

1 — вставка; 2, 4, 5, 9 — контактные стойки; 3 — катушка; 6 — биметаллическая пластина; 7 — нагревательное устройство; 8 — контактодержатель; 10 — регулировочный винт; 11 — подвижный контакт; 12 — неподвижный контакт; 13 — контактное устройство; 14 — основание; 15 — крышка; 16 — контакты пускового реле; 17 — планка; 18 — стержень

В защитном реле биметаллическая пластина *б* одним концом соединена с проводом катушки пускового реле, а другим — через упор с контактодержателем *д*. На противоположном конце держателя закреплен подвижный контакт *11*, нормально замкнутый неподвижным контактом *12*. Рядом с биметаллической пластиной расположена нихромовая спираль нагревательного устройства *7*, включенная последовательно в цепь пусковой обмотки. Одним концом спираль соединена с контактом пускового реле *16*, а другим — с биметаллической пластиной. В случае возрастания тока в цепи рабочей обмотки электродвигателя биметаллическая пластина деформируется от тепла, выделяемого при прохождении через нее тока. При возрастании тока в цепи пусковой обмотки биметаллическая пластина деформируется под действием тепла, выделяемого нагревателем. При этом контакты *11* и *12* размыкаются. При остывании пластина занимает первоначальное положение и контакты вновь замыкаются. Параметры защитного реле регулируются винтами *10*. Реле работает только в вертикальном положении.

Для поддержания заданной температуры в холодильной или низкотемпературной камере бытового холодильника применяются манометрические датчики: реле температуры или терморегуляторы. Применяются следующие терморегуляторы: ДХВ, АРТ-2 и Т-100. Кроме рабочих режимов (режимов охлаждения) имеется режим полуавтоматического оттаивания снеговой шубы. Прибор монтируется на щитке, прикрепляемым к испарителю. Изменение температурной характеристики прибора осуществляется путем перестановки ручки, которая насажена на мелких шлицах регулировочного винта силовой пружины.

Бытовые холодильники с одним испарителем, работающим на низкотемпературное отделение и холодильную камеру, получили большое распространение. В этих холодильниках на поверхности испарителя, открытой для доступа влаги от хранимых продуктов, происходит интенсивное намораживание инея. Слой инея толщиной 5 мм препятствует теплообмену, ухудшая температурно-энергетические показатели и условия эксплуатации холодильника.

Работа холодильника без инеобразования или с периодическим оттаиванием испарителя и удаления талой воды является одним из показателей комфортности бытового холодильника.

Работы по усовершенствованию способа оттаивания испарителей в бытовых холодильниках с одним испарителем ведутся в двух направлениях. Первое из них связано с созданием активного нагрева испарителя, при этом устройство нагрева включается через реле времени полуавтоматически или автоматически. Второе направление отличается созданием более совершенных конструкций холодильников, в которых испаритель морозильного отделения огражден от попадания влаги, а испаритель холодильной ка-

меры освобождается от выпадающей влаги в течение каждого цикла работы холодильника. Во всех вариантах конструкций холодильников воду, собираемую от испарителя, необходимо удалять (например, методом испарения). Предложено несколько устройств, использующих нагретые части холодильного агрегата. Так, в некоторых моделях холодильников под испарителем размещен поддон с отверстием для стока воды через специальную воронку и трубку в сосуды, каскадно расположенные на конденсаторе. Между двумя циклами оттаивания талая вода удаляется из резервуаров испарителя. В некоторых моделях холодильников талую воду отводят по трубопроводу в поддон, расположенный под холодильником рядом с компрессором. Это наиболее эффективный способ, так как кроме испарения талой воды происходит охлаждение кожуха компрессора и увлажнение воздуха в помещении.

8.6. Электроприборы личного пользования

8.6.1. Электрические бритвы

Электрические бритвы подразделяются по типу электродвигателя, виду ножей и способу питания. По типу электродвигателя различают электробритвы с электромагнитным вибратором, коллекторным двигателем, импульсным двигателем с кулисным механизмом. По виду ножей бритвы бывают с сетчатой головкой и возвратно-поступательным или вращательным движением ножей, двумя или тремя крутыми ножами с вращательным движением, гребенчатыми ножами с возвратно-поступательным движением. Электробритвы выпускаются на напряжение питания 127 и 220 В переменного тока или 110 и 220 В постоянного тока с переключением с одного напряжения на другое. Выпускаются электробритвы на 12 В постоянного тока, а также электробритвы с микродвигателем, рассчитанным на питание от гальванических элементов или аккумуляторов.

Работа электромагнитного вибратора основана на взаимодействии магнитного потока обмотки возбуждения и подвижного ротора (рис. 8.21). При подключении обмотки возбуждения к сети по ней потечет ток, который создаст магнитный поток возбуждения. Поток замыкается по статору *2* и ротору *1*, намагничивая ротор. Силовые линии

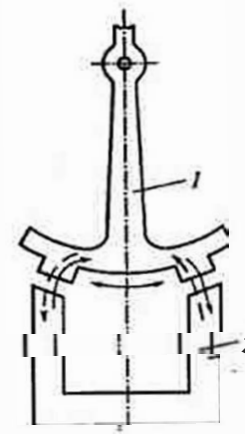


Рис. 8.21. Конструкция электромагнитного вибратора

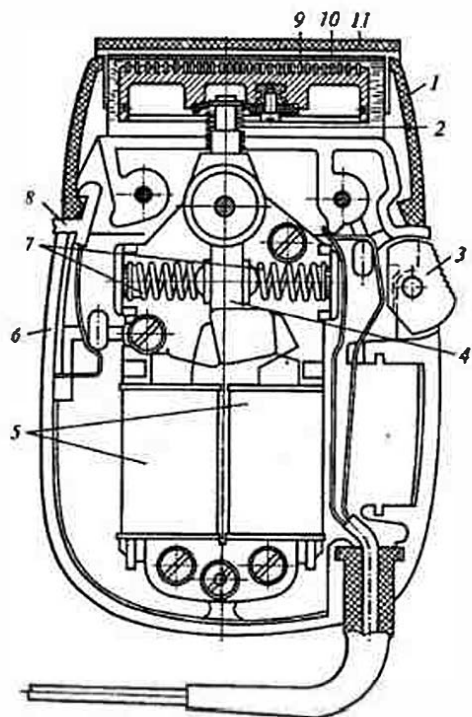


Рис. 8.22. Конструкция бритвы с электромагнитным вибратором:

1 – предохранительный колпачок; 2 – ножевой блок; 3 – корпус; 4, 8 – пружины; 5 – защелка; 6 – подвижный нож; 7 – сетка; 9 – вибратор; 10 – выключатель; 11 – электро-вибратор

6000 раз в 1 мин. Электробритвы с электромагнитным вибратором надежны в работе, долговечны. Недостатками же бритв этого типа являются большой шум и вибрация корпуса вследствие неуравновешенности подвижных ножей.

На рис. 8.22 представлена конструкция бритвы с электромагнитным вибратором. Электробритва состоит из корпуса 3, электро-вibrатора 11 с якорем и статором с катушками; ножевого блока 2, включающего подвижный нож 6, соединенный с якорем, и неподвижный нож, представляющий собой сетку с отверстиями. При колебаниях подвижного ножа и совершается процесс бритья. Амплитуда колебаний в зависимости от типа электробритвы составляет 1,5 ... 3,5 мм.

Наиболее распространенной группой электробритв являются бритвы с коллекторным электродвигателем. Рассмотрим кон-

при этом выходят из полюса статора и входят в полюс ротора и, соответственно, выходят из полюса ротора и входят в полюс статора.

Таким образом, сердечники статора и ротора оказываются обращенными друг к другу разноименными полюсами, благодаря чему ротор притягивается к полюсу сердечника статора.

При смене полярности напряжения изменяется магнитный поток. При этом соответственно изменяется полярность сердечников статора и ротора. В результате в любой момент времени они обращены друг к другу разноименными полюсами. Следовательно, сила притяжения не зависит от направления тока в обмотке катушки возбуждения: за один период магнитного потока ротор будет притягиваться к статору положительной и отрицательной полуволнами, т. е. два раза за период или

струкцию электробритвы «Харьков-15М». Бритва оснащена универсальным коллекторным электродвигателем, рассчитанным для работы от сети переменного тока напряжением 127 или 220 В и от сети постоянного тока напряжением 110 или 220 В.

Узел привода зубчатых колес бритвы изображен на рис. 8.23. На валу якоря 1 электродвигателя с подшипниками 8 с помощью винта 3 закреплена шестерня 4, передающая вращение на зубчатые колеса 2. Они приводят в работу подвижные ножи и через эксцентрик зубчатого колеса и рычаг 6 – подвижный нож 7 стригущего блока. Поводок 5 с пружиной обеспечивает прижим подвижного ножа к неподвижному. Якорь электродвигателя имеет три обмотки, соединенные по схеме «звезда». Бреющий блок состоит из двух неподвижных и двух подвижных ножей, притертых друг к другу. Рабочая часть неподвижных ножей имеет толщину режущей сетки не более 0,11 мм.

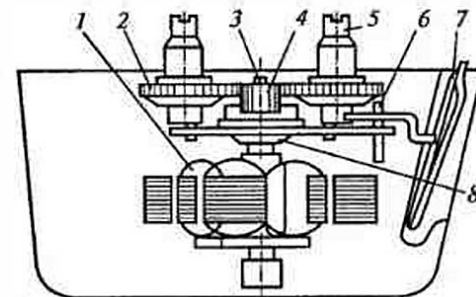


Рис. 8.23. Конструкция узла привода зубчатых колес бритвы «Харьков-15М»

8.6.2. Вентиляторы

Электровентиляторы позволяют осуществлять интенсивный обмен воздуха в помещении, что создает более благоприятные условия для жизнедеятельности человека. С помощью вентилятора снижается концентрация вредных примесей в окружающей воздушной среде, оптимизируется ионный состав, регулируются температура и влажность. В конечном итоге повышается комфортность помещения.

Бытовые электровентиляторы могут иметь различное исполнение, что определяется их основным назначением. Отечественная промышленность выпускает их в настоящее время в настольном, настольно-настенном, оконном, кухонном и потолочном исполнении. Кроме того, выпускаются электровентиляторы для использования в автомобилях, рассчитанные на напряжение постоянного тока 12 В, а также электровентиляторы ручного исполнения. В значительной части выпускаемых электровентиляторов предусмотрена возможность изменения частоты вращения крыльчатки. Выпускаются также вентиляторы, позволяющие изменять направление потока воздуха как автоматически, так и вручную.

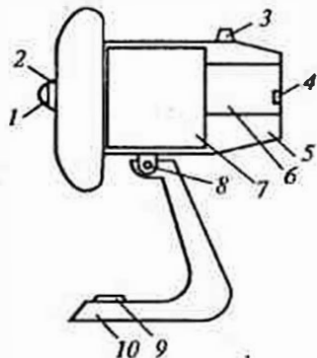


Рис. 8.24. Конструкция электро-вентилятора «Пингвин»

Основными техническими характеристиками вентиляторов являются напряжение питания, потребляемая мощность, производительность, частота вращения.

Рассмотрим работу электровентилятора «Пингвин» (рис. 8.24). Вентилятор состоит из металлической стойки 10, лицевая сторона которой облицована пластмассовой накладкой. Под накладкой в нижней части стойки на резиновых амортизаторах расположена литая чугунная плита, обеспечивающая устойчивость вентилятора. Здесь же размещен выключатель вентилятора 9.

В верхней части стойки на шарнирном соединении 8 с помощью винта барашкового типа крепится блок привода, в который входят асинхронный электродвигатель 7 и редуктор 6 с кривошипно-шатунным механизмом. Блок привода закрыт пластмассовым кожухом 5, фиксируемым винтом 4 на корпусе редуктора.

На свободном конце вала ротора электродвигателя закреплена крыльчатка, в состав которой входят держатель, три лопасти и прижимной колпак 2. Держатель закреплен на валу с помощью винта, ввинченного в держатель перпендикулярно к валу. Прижимной колпак прикреплен винтом 1 к держателю в осевом направлении.

Особенностью вентилятора «Пингвин» является возможность изменения направления потока воздуха как по горизонтали, так и по вертикали. В вертикальном направлении это достигается автоматически в процессе работы. Это происходит за счет применения шатунно-кривошипного механизма, приводимого в движение электродвигателем через редуктор. Поворот корпуса вентилятора в горизонтальном направлении может осуществляться в пределах 60...80 °С и устанавливается ручкой 3. Технические характеристики электровентилятора «Пингвин»:

Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, Вт	55
Производительность, м ³ /мин	18
Частота вращения, мин ⁻¹	1500

8.6.3. Фены

Бытовые электрофены предназначены для ускоренной сушки, расчесывания и укладки волос. Фены снабжаются комплектом

насадок, которые позволяют моделировать прически различной сложности в домашних условиях.

Сушка волос осуществляется струей воздуха, подогретого до температуры 50...60 °С. Нагрев воздуха осуществляется электронагревателем, через который воздух прогоняется вентилятором.

Электродвигатель вентилятора может быть как асинхронным, так и коллекторным.

Основными техническими характеристиками фенов являются номинальная производительность, число режимов нагрева и для ручных фенов — масса.

Цикл работы фенов: длительность работы — 1 ч, охлаждение во включенном состоянии — 0,5 ч.

Рассмотрим конструкцию электрофена «Алеся» (рис. 8.25). Электрофен имеет корпус 1 и его переднюю часть — сопло, соединенные между собой винтами. Внутри расположены нагревательный элемент 2, электродвигатель 3, плотно размещенный в корпусе вентилятора 4. На валу электродвигателя напрессована полиэтиленовая крыльчатка 5.

В задней части корпуса расположен блок выключателя и скользящие контакты, обеспечивающие возможность свободного вращения соединительного шнура. В блоке выключателя 6 размещен выпрямительный диод. Блок выключателя закреплен при помощи винта 7 и крышки 8 в корпусе фена.

В комплект фена «Алеся» входят различные насадки и капюшон. Дополнительные удобства при пользовании феном создает съемная ручка. Фен может устанавливаться под наклоном в нишу для соединительного шнура упаковочной коробки, что позволяет использовать капюшон и работать с электрофеном, не держа его в руках. Электрофен имеет два режима работы (режим I и режим II). Основные технические характеристики его следующие:

Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, Вт	330
Температура нагретого воздуха, °С:	
в режиме I	40
в режиме II	60
Масса, кг	0,45

Необходимо помнить, что электрофеном нельзя пользоваться в ванной комнате и других помещениях с повышенной влажностью.

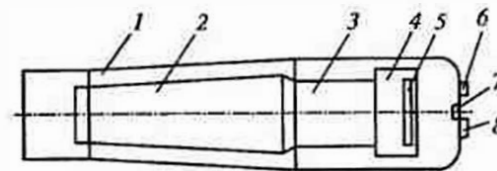


Рис. 8.25. Конструкция электрофена «Алеся»

8.6.4. Массажные приборы

Массажные приборы используются как в лечебных, так и косметических целях. Существуют также электромассажеры, применяемые для спортивного массажа.

Рассмотрим массажный прибор «Харьковчанка» (рис. 8.26). Он состоит из разъемного пластмассового корпуса б, соединенного со стороны утолщенной части с помощью винта 7 и скобки 8. Со стороны более тонкой части половинки корпуса стягиваются двумя пружинными скобами, расположенными под корпусом крышки.

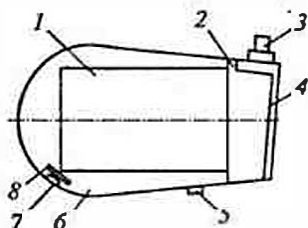


Рис. 8.26. Конструкция массажного прибора «Харьковчанка»

К одной из половинок корпуса б прикреплена с помощью двух гаек электромагнитная виброголовка 1. Между половинками корпуса б помещается плата с переходной вилкой для подключения соединительного шнура и плата с регулятором, согласующим массажный прибор с питающим напряжением 127 и 220 В. Кроме того, между половинками корпуса расположены выключатель 5 с декоративным толкателем и два подпружиненных полиэтиленовых фиксатора. С помощью этих фиксаторов осуществляется крепление основания 2 с крышкой 4 на корпусе б самого массажного прибора. В пазах крышки расположены подпружиненный полиэтиленовый шток 3, на свободный конец которого можно надевать различные насадки. Крышка 4 крепится на основании 2 за счет пружинных лапок, отлитых заодно с крышкой. Массажный прибор комплектуется пятью насадками, имеющими различные формы и жесткость.

8.7. Электрифицированные инструменты и машины для «хобби»

8.7.1. Устройство и особенности эксплуатации электрифицированных инструментов

Электрифицированные инструменты, станки и машины бытового назначения — хорошее подспорье для домашнего мастера, автолюбителя, садовода и сельского жителя, человека, занимающегося индивидуальной трудовой деятельностью. С их помощью можно выполнять самые разнообразные работы по ремонту жилья, предметов обихода, транспортных средств. Электрифицированные инструменты, станки и машины высокоэффективны, портативны, безопасны и надежны в эксплуатации; использование

их в пять-восемь раз сокращает время на обработку материалов по сравнению с немеханизированным выполнением работ. С помощью электрифицированных инструментов можно обрабатывать предметы из металла, неметаллических материалов (дерева, пластмассы), стеновых материалов (бетон, кирпич и т. п.). Ассортимент электрифицированных инструментов очень разнообразен, это электрические ручные сверлильные машины (электродрели), электроточила, электропилы, рубанки, лобзики, шлифовальные машины для обработки дерева. Кроме того, отечественной промышленностью выпускаются малогабаритные токарные и токарно-винторезные станки для обработки металла, универсальные деревообрабатывающие станки. Хотя такие станки существенно расширяют возможности домашнего мастера, но они дорогостоящие и для их размещения требуется значительная площадь. Весьма практичны и относительно недороги комплекты инструментов на основе электродрелей разного состава и, соответственно, различной стоимости.

Специально для автолюбителей выпускаются электрифицированные инструменты и комплекты с питанием постоянным током низкого напряжения от аккумуляторных батарей автомобиля или мотоцикла. К ним относятся электродрели, электрополировальные машины, электронасосы для мойки машин, электрокомпрессоры для накачивания камер колес.

Рассмотрим основные технические характеристики некоторых ручных электроинструментов, питающихся однофазным переменным током с номинальным напряжением 220 В и частотой 50 Гц (табл. 8.5).

Таблица 8.5

Технические характеристики ручных электроинструментов

Параметр	Тип электроинструмента	
<i>Ручные электрические сверлильные машины (электродрели)</i>		
	ИЭ 1003Б	ИЭ 1032-1
Потребляемая мощность, Вт	270	420
Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	1500	940
Наибольший диаметр сверла, мм	6	9
<i>Ручные электрические пилы</i>		
	ИЭ 5106	ИЭ 5107
Потребляемая мощность, Вт	370	1150
Глубина пропила, мм	45	65
Диаметр плоской пилы, мм	160	200
Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	2880	2880

Параметры	Тип электроинструмента	
<i>Ручные электрические рубанки</i>		
	ИЭ 5701А	ИЭ 5706
Потребляемая мощность, Вт	600	340
Глубина строгания за 1 проход, мм	75	100
Глубина строгания за один проход, мм	2	2
Частота вращения поршневого барабана, мин ⁻¹	9500	5800
<i>Электропила «Томск 1 У4.2»</i>		
Потребляемая мощность, Вт	460	
Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	280	

Все ручные электрические инструменты, рассчитанные на включение в бытовую электрическую сеть напряжением 220 В, имеют двойную изоляцию, что обеспечивает их безопасное использование в жилых помещениях.

В электрифицированных инструментах рабочий орган приводится в главное движение электродвигателем, а вспомогательное движение (подача) и управление осуществляется вручную. Для электропривода рабочего органа применяют коллекторные электродвигатели переменного тока последовательного возбуждения или однофазные асинхронные конденсаторные электродвигатели.

Сменные инструменты устанавливают либо непосредственно на валу электродвигателя, либо на выходном валу (шпинделе) редуктора. Понижающие редукторы разнообразной конструкции увеличивают вращающий момент инструмента за счет понижения частоты его вращения. В электрифицированных инструментах широко применяются одно- и двухступенчатые редукторы с косозубыми и примозубыми зубчатыми колесами, а также ременные передачи.

В двухскоростных электродвигателях на корпусе имеется рукоятка или ползун, перемещением которых блок зубчатых колес вводят в зацепление с одной или другой парой зубчатых колес. В четырехскоростных электродвигателях с бесступенчатым регулированием скорости инструмента частота вращения коллекторного электродвигателя регулируется тиристором путем изменения фазового угла, при котором он отпирается. Работа этой схемы регулирования была рассмотрена ранее.

В перспективе электрифицированные инструменты будут многоскоростными с бесступенчатым регулированием частоты вращения инструмента, будут содержать микропроцессоры для автоматического выбора рациональных режимов обработки и экономного расходования электроэнергии. Предполагается оснастить их

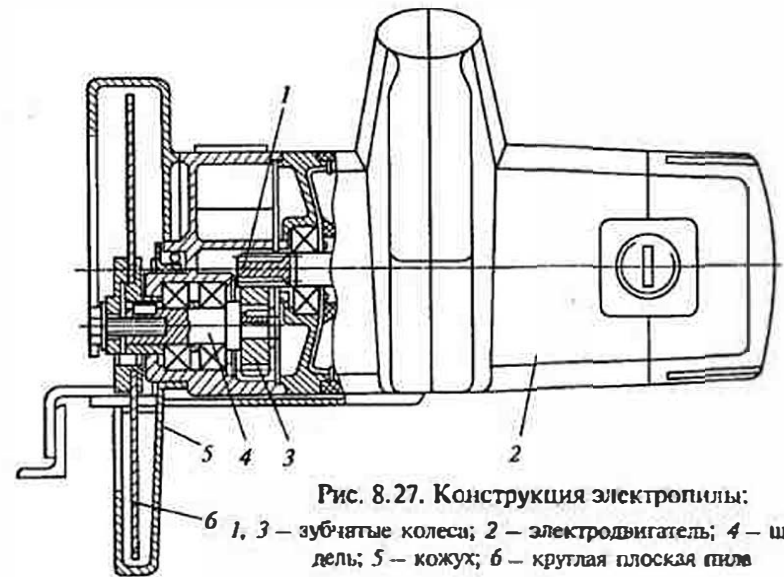


Рис. 8.27. Конструкция электропилы:
1, 3 — зубчатые колеса; 2 — электродвигатель; 4 — шпиндель; 5 — кожух; 6 — круглая плоская пила

устройствами для автоматического отключения при перегрузке. Увеличится номенклатура насадок, что расширит функциональные возможности этих изделий.

Конструкция электропилы приведена на рис. 8.27. Вращение от электродвигателя 2 через зубчатые колеса 1, 3 передается инструменту (пиле).

8.7.2. Устройство и принцип действия швейных машин

Одной из первых технически сложных машин, вошедших в быт человека, была швейная машина. Более 80 % времени, необходимого для пошива одежды, занимало выполнение швейных операций. Швейная машина механизмирует монотонный и трудоемкий процесс шитья, многократно ускоряя и существенно облегчая его. В еще большей степени это относится к электрическим швейным машинам. Современные швейные машины обладают широким спектром функциональных возможностей. Они выполняют не только прямую строчку одной или двойной иглами, но и зигзагообразные строчки, декоративные фигурные строчки, шьют материалы встык зигзагообразной строчкой, выполняют запошивочный шов и многие другие операции.

Бытовые швейные машины имеют приводные устройства трех видов: ручной привод, ножной и электрический. Некоторые машины могут быть скомплектованы с любым из названных приводов, например все модели Подольского механического завода, «Радом» и «Лучник» (Польша) и др.

Рассмотрим конструкцию швейной машины «Чайка-III» Подольского механического завода (рис. 8.28). Машина предназначена для стачивания различных тканей прямой или зигзагообразной строчкой одной или двумя иглами. Главный вал 5, расположенный в двух втулках, является распределительным. Он получает движение от привода машины через маховое колесо, закрепленное на этом валу функциональным устройством. Механизмом иглы и нитепритягивателя движение передается от кривошипа, установленного на переднем конце главного вала, механизму горизонтального перемещения иглы — от червячной шестерни, механизму челнока — от колена главного вала, а механизму перемещения материала — от трехцентрового кулачка 6. Игла получает от двух механизмов движение двух видов: возвратно-поступательное в вертикальной плоскости и горизонтальное, перпендикулярное перемещению материала (для выполнения зигзагообразной строчки).

Кривошипно-шатунный механизм возвратно-поступательного движения иглы имеет следующее устройство. На переднем конце главного вала устанавливается кривошип игловодителя 7. В отверстии кривошипа зафиксирован палец 4, который охватывается верхней головкой шатуна. Нижняя головка шатуна надевается на палец поводка 8. Головка поводка охватывает цилиндр, закрепленный на игловодителе. Такое соединение поводка с игловодителем

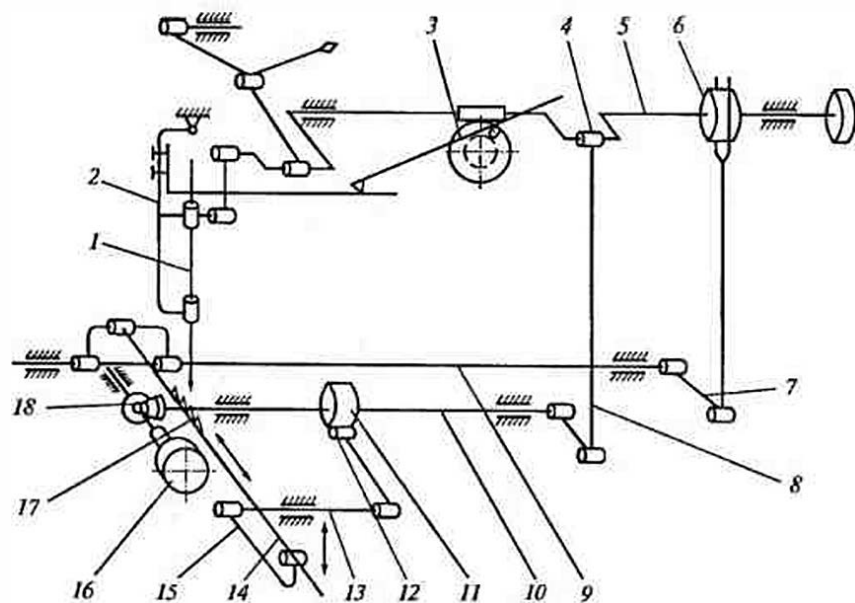


Рис. 8.28. Кинематическая схема швейной машины «Чайка-III»

лем позволяет последнему двигаться как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях, перемещаясь в отверстиях качающейся рамки 2. На конце игловодителя находится иглодержатель, в который до упора вставляется колба иглы длинным желобком к работающему.

Таким образом, вращательное движение главного вала с помощью кривошипа, пальца, шатуна и поводка преобразуется в возвратно-поступательное движение игловодителя. Для согласования работы иглы с носиком челнока необходимо отрегулировать ее положение по высоте путем перемещения игловодителя вверх или вниз.

Механизм горизонтального смещения иглы сообщает ей горизонтальное (поперечное) движение и имеет устройство для смещения строчки вправо или влево от среднего положения.

На машине можно получать не только простую зигзагообразную строчку, но и четыре отделочные. При выполнении отделочной строчки ее ширина автоматически изменяется с помощью одного из копиров 3, а вместе с перемещением материала за 24 прокола иглы создается соответствующий рисунок. Поэтому блок копиров делает один оборот за 24 оборота главного вала.

В машине применен правоходный центрально-шпульный колеблющийся челнок 16, ось качания которого перпендикулярна оси платформы. Челнок получает движение от колена главного вала, передающего через шатун качательное движение челночному валу 10. На переднем конце вала 10 закреплен зубчатый конический сектор, который находится в зацеплении с конической шестерней 18, зафиксированной двумя стопорными винтами на оси. Передаточное отношение зубчатого сектора с шестерней — 1:2,5. С одной стороны ось проходит через отверстие в корпусе челнока, а с другой стороны — через отверстие во втулке, закрепленной в корпусе, и удерживается стопорным кольцом. В передней плоскости корпуса челнока на конце вала штифтом зафиксирован толкатель челнока с роликами, к которым двумя винтами прикреплена плоская пружина.

Таким образом, механизм челнока представляет собой четырехзвенник в сочетании с конической зубчатой передачей. Вращение колена главного вала с помощью шатуна и коромысла преобразовывается в качательное движение нижнего вала, а через зубчатый сектор и коническую шестерню качание передается челноку, угол качания которого 220...224°.

Корпус челнока имеет ось, расположенную в отверстии прилива платформы и жестко закрепленную двумя винтами крышки.

В процессе эксплуатации машины работают механизмы горизонтального и вертикального перемещения рейки и узел лапки.

На главном валу 5 зафиксирован трехцентровой кулачок 6, охватываемый роликами вилки. Нижняя головка вилки шарнирно со-

единена с коромыслом 7, закрепленным стягивающим винтом клеммового зажима на валу продвижения 9. В проушинах коромысла шарнирно установлен вал подъема 13, на котором двумя винтами закреплена зубчатая рейка 17.

Таким образом вращательное движение главного вала вместе с кулачком 6 через втулку преобразуется в качательное движение коромысла 7 и вала продвижения 9, а рычаг 14 с рейкой 17 получают горизонтальное перемещение.

Механизм вертикального перемещения рейки имеет следующее устройство. На нижнем качающемся челночном валу закреплен кулачок 11, к которому поджимается ролик 12 заднего коромысла 15 вала подъема 13. Вал подъема изготовлен с коромыслом как одна деталь и установлен в отверстии прилива платформы. Пластмассовая рукоятка выполнена вместе с эксцентриком и соединена с указателем.

Качательное движение челнока вала и кулачка через ролик с коромыслом преобразуется в качательное движение вала подъема с передним коромыслом и эксцентриком с рукояткой, а через ролик 12 рычаг 14 и рейка 17 получают вертикальное перемещение.

На торце рукоятки нанесены буквы «Н», «Ш» и «В», расположение которых зависит от радиуса эксцентрика. Максимальному радиусу соответствует буква «Н» (нормальный). Такое положение эксцентрика обеспечивает нормальный подъем зубьев рейки над плоскостью игольной пластины (1,2 мм), что необходимо при стачивании толстых и средних тканей.

При работе с очень тонкими тканями рукоятку надо повернуть настолько, чтобы риска стояла против буквы «Ш» (шелк), а при вышивании и штопании — против буквы «В».

Механизм горизонтального смещения иглы (рис. 8.29) имеет следующее устройство: на неподвижной оси свободно посажено червячное колесо 17 вместе с блоком копиров 8. Червячное колесо и копиры получают вращение по часовой стрелке от червяка, установленного на главном валу машины. Один из пяти съемников головкой поджимается к соответствующему копиру, на наружной поверхности которого имеются впадины. От глубины впадин зависит величина отклонения иглы. Каждый съемник свободно посажен на эксцентричную втулку, установленную на оси 21, и своим хвостовиком контактирует с пальцами вертикального рычага, жестко закрепленного на горизонтальном рычаге 18, образуя угловой рычаг. Рычаги свободно посажены на оси 21. Горизонтальный рычаг снизу поджимает кулису 16. Над ней находится ролик тяги, шарнирно связанный с коромыслом, зафиксированным на оси. Ось качания кулисы шарнирно соединена с угловым рычагом держателя кулисы, который в свою очередь шарнирным винтом закреплен в корпусе механизма. Палец 12 вертикального

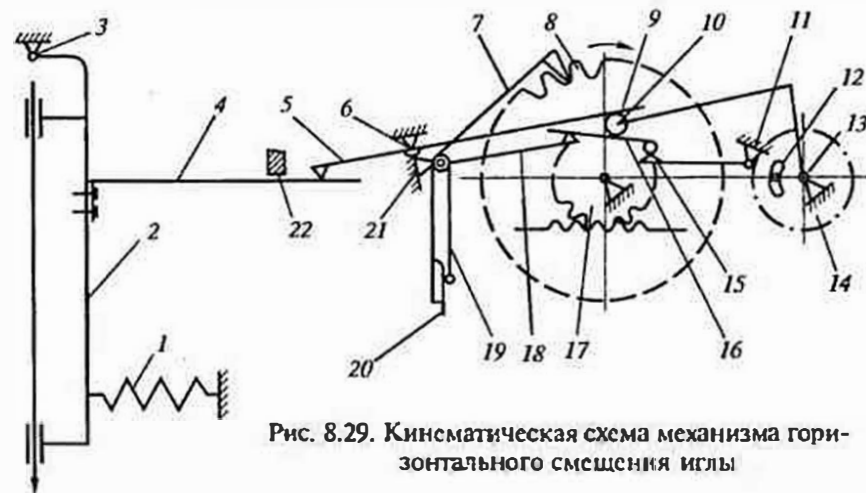


Рис. 8.29. Кинематическая схема механизма горизонтального смещения иглы

держателя кулисы входит в спиральный паз рукоятки 14 регулятора смещения строчки вправо или влево.

Ролик взаимодействует с правым плечом 5 двухплечевого коромысла, качающегося на оси. Левое его плечо контактирует с горизонтальным рычагом 4, прикрепленным двумя винтами к рамке игловодителя, которая на оси 3 шарнирно соединена с корпусом машины. Пружина 1 прижимает рамку 2 вправо и создает контакт между соприкасающимися звеньями. Крайнее правое и левое положения рамки игловодителя ограничиваются упорами 22.

Механизм работает следующим образом. При вращении копира по часовой стрелке головка 7 съемника из впадины перемещается на выступ копира и съемник поворачивается на оси 21 против часовой стрелки. Хвостовик 20 отводит палец вправо, благодаря чему рычаги 19 и 18 вращаются против часовой стрелки вокруг оси 21. Горизонтальный рычаг 18 поворачивает кулису 16 относительно оси по часовой стрелке, а ролик перемещается вверх. Двуплечее коромысло получает качание против часовой стрелки относительно оси 6. Его левое плечо передвигает конец рычага вниз. Рычаг вместе с качающейся рамкой игловодителя поворачивается вокруг оси 3 по часовой стрелке, а игла получает поперечное отклонение влево.

При дальнейшем вращении копира 8 головка съемника с выступа перемещается во впадину копира и под действием пружины 1 через систему рычагов съемник поворачивается по часовой стрелке относительно оси 6, а рычаг 4 и качающаяся рамка 2 вращаются против часовой стрелки относительно оси 3. Игла передвигается вправо.

Величина поперечного смещения (ширина) строчки зависит от положения ролика 10 относительно оси 15 качания кулисы. Чем

далее ролик будет установлен от этой оси, тем на большую величину он переместится вверх и на больший угол отклонятся рычаг 4 и качающаяся рамка 2, а игла будет иметь большее горизонтальное перемещение. Если ролик расположен против оси 15 качания кулисы, то он не получит вертикального перемещения, а игла — горизонтального отклонения, т. е. образуется прямая строчка.

При повороте рукоятки 14 (со специальным пазом) по часовой стрелке палец кулисы 16 приблизится к оси 13 и повернет держатель кулисы относительно оси 11 против часовой стрелки. Ось 15 кулисы 16 и ролик 10 опустятся. Двуплечее коромысло 9 и плечо 5 повернутся по часовой стрелке относительно оси 6, а горизонтальный рычаг 4 и качающаяся рамка 2 игловодителя — против часовой стрелки относительно оси 3. Игла сместится вправо относительно среднего положения.

При повороте рукоятки 14 против часовой стрелки произойдет отклонение иглы влево относительно среднего положения.

8.7.3. Электрический привод швейных машин

Электрический привод состоит из однофазного коллекторного асинхронного электродвигателя и пускорегулирующего реостата. Электродвигатель может быть встроенным или навесным. Встроенный электродвигатель делает машину более компактной, он лучше защищен от внешних воздействий. Навесной проще ремонтировать.

На рис. 8.30 показана конструкция электропривода МШ-2 швейной машины. Навесной электродвигатель 4 крепится к кронштейну 5 двумя скобами посредством гаек. Шкив 3, установленный на главном валу машины, через клиновое ремнем 2 передает вращение маховику 1, закрепленному на валу электродвигателя.

В схеме электропривода (рис. 8.31) кроме электрического двигателя (ЭД) и пускорегулирующего реостата (ПР) предусмотрены конденсаторы C_1 , C_2 , C_3 и индуктивные катушки L_1 , L_2 , кото-

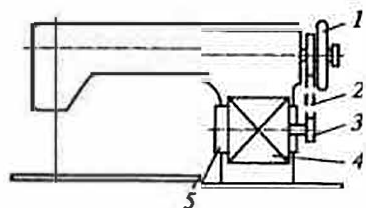


Рис. 8.30. Конструкция электропривода МШ-2 швейной машины

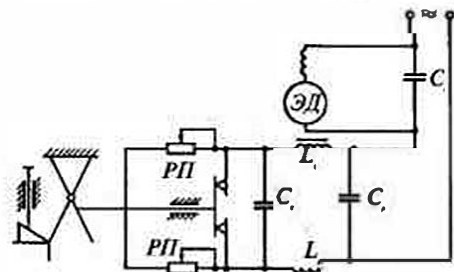


Рис. 8.31. Схема электропривода

рые являются фильтром, препятствующим проникновению помех в бытовую сеть.

Пускорегулирующий реостат, выполненный в виде педали, находится в карболитовом корпусе и служит для включения машины и регулирования частоты вращения главного вала в процессе ее работы.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите области применения асинхронных микродвигателей.
2. Чем отличаются основные требования к бытовым асинхронным микродвигателям в зависимости от условий их применения?
3. В каких бытовых приборах применяются универсальные коллекторные двигатели?
4. Чем отличается электропривод миксера и взбивалки?
5. Как устроен миксер-взбивалка?
6. На какие группы делятся кофемолки по принципу действия?
7. Какие функции выполняет универсальная кухонная машина, каковы требования к ее электроприводу?
8. Какие существуют схемы управления универсальными коллекторными двигателями?
9. Как устроен бытовой пылесос?
10. Назовите основные типы стиральных машин. В чем отличие стиральных машин барабанного и активаторного типов?
11. Как работает стиральная машина барабанного типа?
12. Чем отличаются автоматические стиральные машины?
13. Что такое алгоритм технологического процесса стирки?
14. Назовите основные узлы холодильника компрессионного типа. Как он работает?
15. Какие приборы автоматики и для чего используются в холодильниках?
16. Объясните принцип действия электромагнитного вибратора.
17. Как устроены вентилятор, фен?
18. Назовите основные детали электрической швейной машины.

$$L = I/S. \quad (9.3)$$

Единица яркости – кандела на квадратный метр, кд/м². Яркость освещенных поверхностей зависит от их световых свойств, степени освещенности, а в большинстве случаев также от угла, под которым поверхность рассматривается.

Свет, а следовательно, и зрительная информация об окружающем нас мире, воспринимаемая глазом человека, передаются по зрительному нерву в мозг, в котором формируется субъективный зрительный образ. Основными показателями работоспособности глаза являются контрастность, острота зрения, вероятность различения, время зрительного восприятия, поле зрения и ослепленность.

Для различения предметов человеком прежде всего необходима разность яркости предмета и фона, т. е. контрастность. Количество контрастности определяют как отношение разности яркости предмета и фона к яркости предмета (фона):

$$K_{\text{сп}} = (B_{\Phi} - B_{\text{п}}) / B_{\Phi}.$$

Оптимальным значением контрастности считают 0,6 ... 0,9.

Нормальная видимость предметов зависит от угловых размеров предметов, различения, времени экспозиции и вероятности различения. Характеристикой пространственного порога зрения является острота зрения. Она определяется величиной, обратной минимальным размерам предмета, при которых он различим глазом. Размеры предмета выражают в угловых величинах, которые связаны соотношением

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{h}{2l}$$

где α – угловой размер предмета различения; h – его линейный размер; l – расстояние от глаз до предмета.

У людей с нормальным зрением порог остроты зрения при нормальной яркости соответствует примерно 1'. Оптимальные условия различения предметов будут при $\alpha \geq 30' \dots 40'$.

Основными временными характеристиками являются латентный период зрительной реакции, критическая частота слияния мельканий, минимальная длительность сигнала, вызывающего ощущение и время адаптации. *Латентным периодом* называется промежуток времени от момента подачи сигнала до возникновения ощущения. Для большинства людей $\tau_{\text{лат}} = 160 \dots 240$ мс.

Критическая частота слияния мельканий – минимальная частота сигналов, при которой возникает их слитое восприятие. При нормальной яркости $f_{\text{кр}} = 20 \dots 25$ Гц .

Глава 9. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

9.1. Основные светотехнические показатели и величины

В результате преобразования подводимой к телам энергии, в частности тепловой или электрической, при определенных условиях возникает электромагнитное излучение, количественно характеризующееся мощностью – лучистым потоком. Та часть лучистого потока, которая воспринимается зрением человека как свет, называется *световым потоком* Φ и измеряется в люменах, лм.

Световой поток может быть различно распределен в пространстве. Интенсивность его излучения в любом направлении характеризуется силой света I , определяемой отношением светового потока к телесному углу ω , в пределах которого он распространяется:

$$I = \Phi/\omega. \quad (9.1)$$

В свою очередь телесный угол определяется отношением площади S , вырезаемой им из сферы произвольного радиуса R , к квадрату последнего:

$$\omega = S/R^2.$$

Полный телесный угол пространства, окружающего точку, равен 4π ср (стерадиан); телесный угол каждой из полусфер, верхней и нижней, равен 2π ср. Единица силы света – кандела (кд). Кандела – это световой поток в люменах, испускаемый точечным источником в телесном угле 1 ср, лм/ср. Понятие силы света приложимо только к точечным источникам, размеры которых малы по сравнению с расстоянием до них.

Падая на поверхность площадью S , световой поток Φ создает ее освещенность E , определяемую следующим соотношением:

$$E = \Phi/S. \quad (9.2)$$

Единица освещенности – люкс, лк. Это освещенность поверхности площадью 1 м² световым потоком 1 лм, лм/м². Освещенность поверхности не зависит от ее световых свойств. Зрительное восприятие в основном определяется яркостью L равномерно светящейся плоской поверхности площадью 1 м² в перпендикулярном к ней направлении при силе света 1 кд. Тогда справедливо соотношение

При разработке освещения важное место уделяют процессу адаптации глаза. При переходе от высоких яркостей к практической темноте процесс адаптации происходит медленно и составляет 60 ... 90 мин. Обратный процесс происходит быстрее 5 ... 10 мин. В период адаптации глаз работает с пониженной работоспособностью, поэтому необходимо избегать создания условий, требующих частой и «глубокой» переадаптации.

Все поле зрения человека в зависимости от четкости различения деталей предметов принято разбивать на три зоны: центрального зрения (2°), где детали различаются четко; ясного видения ($30 \dots 35^\circ$), где при неподвижном глазе можно опознать предмет без различения мелких деталей; периферическое зрение ($75 \dots 90^\circ$), где предметы только обнаруживаются.

Слепящее действие света на глаза человека называют блескостью. Чем больше блескость, тем больше теряет человек зрительные функции, т. е. перестает различать предметы. За показатель слепящего действия принят коэффициент блескости, характеризующий углом перекрытия светового потока источника света.

Рассмотренные характеристики работоспособности глаза взаимосвязаны и взаимозависимы. Одним из основных факторов благоприятного функционирования зрения является достаточная яркость или освещенность рабочих поверхностей и участков.

Опыт показывает, что при недостаточных характеристиках освещенности производственное освещение может быть вредным и опасным фактором. При неудовлетворительной освещенности ухудшаются условия для осуществления зрительных функций и жизнедеятельности организма: появляются утомление, глазные болезни, головные боли, что может быть косвенной причиной несчастных случаев. Плохо освещенные опасные зоны, слепящие прожекторы и лампы, блики от них, резкие тени ухудшают или вызывают полную потерю ориентации работающих. При увеличении освещенности возрастает производительность труда и уменьшается утомление.

9.2. Выбор необходимой освещенности

9.2.1. Основные требования к производственному освещению

Изучение мероприятий для создания наилучших условий работы зрения человека в процессе труда позволяет сформулировать следующие основные требования.

Освещенность на рабочих местах должна соответствовать характеру зрительной работы. Увеличение освещенности рабочих поверхностей улучшает условия видения объектов, повышает производительность труда. Однако существует предел, при котором

дальнейшее увеличение освещенности почти не даст эффекта и является экономически нецелесообразным.

Должно быть обеспечено равномерное распределение яркости на рабочей поверхности. При неравномерной яркости в процессе работы глаз вынужден переадаптироваться, что ведет к утомлению зрения.

На рабочих поверхностях не должно быть резких теней. В поле зрения человека резкие тени искажают размеры и формы объектов различения, что повышает утомление зрения, а движущиеся тени могут привести к травмам.

Освещение должно быть организовано так, чтобы отсутствовала блескость, нарушающая зрительные функции. Должно быть обеспечено постоянство освещенности во времени. Колебания освещенности вызывают переадаптацию глаза, приводят к значительному утомлению.

Спектральный состав света должен отвечать характеру работы, т. е. должна быть гарантирована правильная цветопередача. Освещение должно быть электро-, взрыво- и пожаробезопасным.

Для выполнения указанных требований при проектировании установок производственного освещения и их эксплуатации проводят следующие мероприятия: выбор типа и вида освещения; источника света и осветительной установки, уровня освещенности, а также своевременное обслуживание осветительных установок.

9.2.2. Виды и системы освещения

В зависимости от природы источника световой энергии различают естественное, искусственное и совмещенное освещение. Естественное освещение — освещение помещений светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы (окна) в наружных стенах.

Естественное освещение подразделяется на боковое, верхнее и комбинированное. Во всех производственных помещениях с постоянным пребыванием в них людей для работ в дневное время следует предусмотреть естественное освещение как более экономичное и совершенное с точки зрения медико-санитарных требований по сравнению с искусственным освещением. Особенность естественного освещения — чрезвычайно широкий диапазон изменения и непостоянство. Поэтому оценивать естественное освещение в абсолютных единицах освещенности — люксах не представляется возможным. В качестве нормируемой величины принята относительная величина — коэффициент естественной освещенности e (КЕО), который представляет собой выраженное в процентах отношение освещенности в данной точке внутри помещения, $E_{\text{ин}}$, к одновременной, замеренной наружной освещенности, $E_{\text{нар}}$, создаваемой рассеянным светом всего небосвода:

$$e = (E_{\text{нн}} / E_{\text{нпр}}) \cdot 100 \text{ \%}$$

Достаточность естественного освещения в помещении регламентируется специальными нормами, которыми установлены значения КЕО в зависимости от следующих четырех факторов:

- характера и точности зрительной работы;
- системы освещения;

- коэффициента светового климата, определяемого в зависимости от района расположения здания на территории России;

- коэффициента солнечности, зависящего от ориентации здания относительно света.

Для зданий, расположенных в центре европейской части России, независимо от их ориентации коэффициенты светового климата и солнечности равны единице. В помещениях с боковым односторонним освещением нормируется минимальное значение КЕО в точке на рабочей поверхности, наиболее удаленной от светового проема. Значение КЕО меняется в зависимости от точности зрительной работы и может быть при верхнем и комбинированном освещении от 2 до 10 %, при боковом – от 0,5 до 3,5 %. Установленные нормируемые значения КЕО используются при проектировании производственных зданий (помещений). На стадии проектирования основной задачей светотехнических расчетов при естественном освещении является определение требуемой площади световых проемов.

В том случае, если естественное освещение оказывается недостаточным, его дополняют искусственным. Такое освещение называют *совмещенным*.

Искусственное освещение применяется в часы суток, когда естественный свет не достаточен, или в помещениях, где он отсутствует. Существуют следующие виды искусственного освещения по функциональному назначению: рабочее, аварийное, эвакуационное и дежурное.

Рабочее освещение устраивается во всех помещениях и создает на рабочих поверхностях нормируемую освещенность, аварийное освещение позволяет не прекращать работу в случае аварии в сети обычного освещения, освещение безопасности дает возможность людям легко и уверенно выйти из здания при аварии в сети обычного освещения.

Аварийное освещение устраивается в очень ответственных помещениях и, как правило, в зданиях управления не применяется, за исключением гардеробов с числом мест хранения 300 и более, помещений диспетчерских, узлов связи и некоторых других. Оно должно обеспечивать освещенность 5 % нормируемой для рабочего освещения при системе общего освещения, но не менее 2 лк.

Освещение безопасности (аварийное для эвакуации) должно устраиваться в основных проходных помещениях, коридорах и на

лестницах, служащих для эвакуации людей из административных зданий, где работают или пребывают одновременно более 50 человек, а также из здравпунктов, книго- и архивохранилищ независимо от числа лиц, пребывающих там; актовых залах, гардеробных, в помещениях, где одновременно могут находиться более 100 чел. (большие аудитории, обеденные, актовые залы, конференц-залы).

Освещение безопасности должно обеспечивать освещенность не менее 0,5 лк на полу основных проходов и на ступеньках лестниц.

В административных зданиях следует устанавливать световые указатели «Выход» у выходов из обеденных помещений и актовых залов, конференц-залов и других помещений, рассчитанных на одновременное пребывание более 100 чел.; у выходов из коридоров, к которым примыкают помещения, где одновременно могут находиться более 50 чел.; у выходов с эстрад конференц-залов и актовых залов, вдоль коридоров длиной более 25 м. Световые указатели «Выход» должны присоединяться к сети освещения безопасности (эвакуационного), а световые указатели со встроенными автономными источниками питания – подсоединяться к сети рабочего освещения и автоматически переключаться на автономный источник питания при аварийном погасании рабочего освещения.

Для дежурного освещения вестибюлей, коридоров, конференц-залов, актовых залов следует использовать светильники освещения безопасности или часть светильников рабочего освещения с питанием их от самостоятельной групповой линии.

Для освещения безопасности рекомендуется использовать часть светильников общего освещения.

Для освещения аварийного и безопасности (эвакуационного) следует применять лампы накаливания или люминесцентные, работа которых рассмотрена ниже. При этом лампы должны питаться во всех режимах переменным током с напряжением 90 % номинального и температуре воздуха в помещении не ниже +5 °С. Освещение аварийное и безопасности в достаточной степени должно быть резервировано за счет рационального выбора схемы питания, особенно если оно может быть осуществлено при минимальной затрате средств.

Искусственное освещение проектируется общим и комбинированным. Общее – при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно (общее равномерное освещение) или применительно к расположению оборудования (общее локализованное освещение). При комбинированном освещении к общему добавляется местное от светильников, концентрирующих световой поток непосредственно на рабочих местах. Искусственное освещение должно обеспечивать освещенность на рабочих

местах в соответствии с разработанными нормами. В основу нормирования освещенности положены следующие показатели, характеризующие условия зрительной работы: размер объекта и его коэффициент отражения, фон, контраст объекта с фоном.

Размер объекта — наименьший размер, который необходимо выделить при проведении работ. Например, при чтении текста этим размером будет толщина линии буквы, при работе с приборами — толщина линии градуировки шкалы или толщина стрелки.

Коэффициент отражения объекта ρ_0 различается по светлоте так же, как и фон. Объект может быть светлым при $\rho_0 > 0,4$, средним при $0,2 \leq \rho_0 \leq 0,4$ и темным при $\rho_0 < 0,2$.

Фон — величина, определяемая коэффициентом отражения поверхности ρ_f , на которой рассматривается объект.

Контраст объекта с фоном K характеризуется отношением абсолютной величины разности между яркостью объекта и фона к яркости фона или между их коэффициентами отражения к коэффициенту отражения фона. Контраст объекта с фоном бывает большим, средним или малым в зависимости от его численного значения:

большим — при $K > 0,5$ (объект и фон резко различаются по яркости);

средним — при $0,2 \leq K \leq 0,5$ (объект или фон заметно отличаются по яркости);

малым — при $K < 0,2$ (объект и фон мало отличаются по яркости).

В некоторых случаях фон и контраст объекта с фоном можно определить визуально, например при чертежных работах: фон — светлый, контраст объекта с фоном — большой.

При нормировании осветительных условий (определении уровня освещенности по разработанным нормам) для заданной зрительной работы при искусственном освещении необходимо знать:

разряд работы, который зависит от размера объекта различения;

подразряд работы, который зависит от контраста объекта с фоном и характеристики фона.

Принимая во внимание параметры, указанные выше, определяется нормируемое значение искусственного освещения. Предусматриваемое число разрядов для промышленных предприятий составляет 8, первые 5 разрядов имеют подразряды работ. В основу норм положена шкала со степенями освещенности: 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 750, 1000, 1250, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 лк. Освещенность повышают на одну ступень по шкале освещенности в тех случаях, когда работа связана с повышенной опасностью, при непрерывной зрительной работе более 4 ч, отсутствии естественного света, в помеще-

ниях для работы и обучения подростков, при рассмотрении объектов, расположенных от глаз далее чем на 0,5 м, или движущихся поверхностях. В помещении должна быть обеспечена равномерность и устойчивость уровня освещенности во избежание частоты переадаптации и утомления зрения. В поле зрения должна отсутствовать прямая (от самих источников) и отраженная блескость.

9.3. Источники света и светильники

9.3.1. Общие сведения

Осветительной установкой называется электроустановка, состоящая из источника света вместе с арматурой и пускорегулирующей аппаратурой.

Источник света устанавливается в арматуре, имеющей детали крепления и защиты от внешней среды, защиты глаз человека от прямых лучей света. Совокупность этих деталей составляет светильник.

Электрические источники света по способу генерирования ими оптического излучения делятся на температурные и люминесцентные. Первую группу составляют лампы накаливания (тепловое излучение), вторую — газоразрядные лампы (излучение в результате электрического разряда в газах, парах или их смесях), в том числе и различные люминесцентные лампы (ЛЛ) (электрофотолюминесценция).

Основными параметрами электрических источников света являются: номинальная мощность, световая отдача, измеряемая числом люменов на 1 Вт, лм/Вт, напряжения питающей сети и на лампе, пусковые и рабочие токи, номинальный световой поток и спад светового потока через определенное время эксплуатации, средний или номинальный срок службы.

9.3.2. Электрические лампы накаливания

Принцип действия лампы накаливания основан на свечении спирали в стеклянной колбе, заполненной инертным газом. Лампы накаливания изготавливаются на напряжение от единиц до сотен вольт и мощности от долей ватта до киловатт (табл. 9.1).

Так как температура спирали зависит от напряжения сети, к которой присоединяется лампа, то срок ее службы в основном определяется величиной напряжения сети. В сетях, где возможны колебания напряжения, лампы быстро выходят из строя. Более надежными являются лампы на повышенное напряжение, например до 240 В.

Таблица 9.1

Технические характеристики лампы накаливания

Тип	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световой поток, лм	Продолжительность горения, ч	Тип цоколя
<i>Лампы накаливания общего назначения</i>					
Б215-225-40	40	215...225	415	1000	E27/27
Б215-225-60	60	215...225	715	1000	E27/27
Б215-225-75	75	215...225	1020	1000	E27/27
Б215-225-100	100	215...225	1350	1000	E27/27
НВ220-235-40	40	220...235	300	2500	P27/25
НВ220-235-60	60	220...235	500	2500	P27/25
НВ220-235-100	100	220...235	1000	2500	P27/25
<i>Лампы накаливания местного освещения</i>					
М 012-15	15	12	200	1000	E27/27
М 012-60	60	12	1000	1000	E27/27
МОД 24-60	60	24	950	1000	E27/27
МОД 24-100	100	24	1740	1000	E27/27
МОД 36-60	60	36	760	1000	E27/27
М 036-100	100	36	1590	1000	E27/27
<i>Лампы люминесцентные ртутные общего назначения</i>					
ЛБ-40	40	103	2400	7500	Ц2Ш-13/35
ЛБ-20	20	57	1200	7500	Ц2Ш-13/35
<i>Лампы люминесцентные ртутные высокого давления</i>					
ДРЛ-125	125	125	4800	10000	P27/32
ДРЛ-250	250	130	11000	7500	P40/45
ДРЛ-400	400	135	19000	7500	P40/45
ДРЛ-700	700	140	35000	7500	P40/45

На практике может быть превышено и это напряжение, например при замыкании на корпус оборудования другой фазы, к которой лампа не присоединена. Так как лампа присоединяется к фазному и нулевому проводу, связанному с корпусом оборудования, то она оказывается включенной кратковременно на две фазы, что приводит к ее перегоранию.

Так же отрицательно действуют плохие зажимы и контакты в цепи лампы, которые приводят к колебаниям тока в лампе. Отрицательно действуют на лампы всякие перенапряжения в сети, частые включения и отключения самих ламп. Средняя продолжительность

горения лампы накаливания общего назначения при расчетном напряжении должна быть не менее 1000 ч. Продолжительность горения каждой лампы должна быть не менее 700 ч.

В последнее время широкое распространение получили лампы накаливания, колбы которых покрыты отражающим слоем (зеркальным или белым диффузным). Лампы накаливания с отражающими покрытиями не нуждаются в чистке, их световой поток более стабилен в процессе эксплуатации, что обеспечивает высокую экономичность осветительной установки с такими лампами.

Широкое распространение получили и галогенные лампы накаливания, на стенках которых при определенных условиях образуются галогениды вольфрама. Последние, испаряясь со стенок колбы лампы накаливания, разлагаются на теле накала и возвращают ему атомы вольфрама. Это позволяет повысить вдвое срок их службы при несколько повышенной световой отдаче.

9.3.3. Люминесцентные лампы низкого давления

Принцип действия люминесцентных ламп низкого давления (ЛЛНД) основан на дуговом разряде в парах ртути низкого давления. Получающееся при этом ультрафиолетовое излучение преобразуется в видимое в слое люминофора, покрывающего внутренние стенки лампы.

По характеру разряда можно выделить люминесцентные лампы дугового разряда с горячими катодами (специального назначения и общего) и тлеющего разряда с холодными катодами (для сигнализации и световой рекламы).

Дуговые люминесцентные лампы общего назначения — это трубчатые лампы прямой или изогнутой формы в основном стартерного зажигания для сетей с напряжением 127 и 220 В. Лампы специального назначения имеют особенности в конструкции: малогабаритные, с фигурной колбой, амальгамные, быстрого зажигания, высокоинтенсивные, рефлекторные, панельные и со специальным спектром излучения (цветовые, зрительные, для фотосинтеза и т. д.).

Трубчатые люминесцентные лампы низкого давления с дуговым разрядом в парах ртути по цветности излучения делятся на лампы белого света (ЛБ), тепло-белого света (ЛТБ), холодно-белого света (ЛХБ), лампы дневного света (ЛД) и лампы дневного света с исправленной цветностью (ЛДЦ) для правильной цветопередачи, обеспечивающие сохранение цвета объекта таким же, каким он был при стандартном источнике.

Наиболее широко применяются люминесцентные лампы типа ЛБ. При повышенных требованиях к передаче цветов освещением применяются лампы типов ЛХБ, ЛД, ЛДЦ. Лампы типа ЛТБ применяются для правильной цветопередачи человеческого лица.

Средняя продолжительность горения всех типов люминесцентных ламп должна быть не менее 12 000 ч. Световой поток каждой лампы после 70 % средней продолжительности горения должен быть не менее 70 % среднего номинального потока. Вследствие значительной яркости люминесцентных ламп открытая их установка (без светильников), как правило, не допускается.

Люминесцентные лампы применяются для освещения общественных, жилых зданий и промышленных предприятий. Их применение по сравнению с лампами накаливания оказывается значительно экономичнее вследствие высокой световой отдачи и большого срока службы.

Особенностями люминесцентных ламп являются:

включение в сеть только с пускорегулирующим аппаратом (ПРА), так как напряжение на лампе при горении должно быть примерно вдвое ниже напряжения сети;

работа в ограниченном диапазоне температур (от 5 до 40 °С);

большая чувствительность к отклонениям напряжения сети (например, его снижение на 20 % приводит к отказу в зажигании);

повышение напряжения зажигания при повышенной влажности.

Рассмотрим устройство пускорегулирующего аппарата со стартерным зажиганием для люминесцентных ламп низкого давления. Стартерный пускорегулирующий аппарат (рис. 9.1, а) состоит из дросселя LL и стартера VL . Дроссель служит для стабилизации режимов работы лампы EL . На рис. 9.1, б представлена схема устройства стартера тлеющего разряда. Он представляет собой баллон 5 из стекла, наполненный инертным газом, в котором находятся металлический 4 и биметаллический 1 электроды, выводы которых соединены с выступами в цоколе 2 для контакта со схемой лампы. При включении лампы EL согласно схеме на рис. 9.1, а на электроды лампы и стартера подается напряжение сети, которое является достаточным для образования тлеющего разряда между электродами стартера. Вследствие этого в цепи протекает ток тлеющего разряда $I_{тл} = 0,01 \dots 0,04$ А. Теплота, выделяемая при протекании тока через стартер, нагревает биметаллический электрод, который выгибается в сторону второго электрода. Через промежуток времени тлеющего разряда $t_{тл} = 0,2 \dots 0,4$ с контакты 3 стартера замыкаются, по цепи начи-

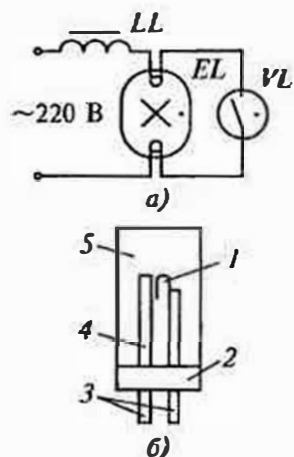


Рис. 9.1. Схема включения (а) и конструкция стартера (б) люминесцентной лампы

нает протекать пусковой ток $I_{пуск}$, значение которого определяется напряжением сети и сопротивлениями дросселя и электродов лампы. Этого тока недостаточно для нагревания электродов стартера, и биметаллический электрод стартера разгибается, разрывая цепь пускового тока. Предварительно пусковой ток разогревает электроды лампы. Благодаря наличию в цепи индуктивности при размыкании контактов стартера в цепи возникает импульс напряжения в момент времени t_2 , зажигающий лампу. Время разогрева электродов лампы составляет 0,2 ... 0,8 с, что в большинстве случаев недостаточно, и лампа может не загореться с первого раза. Тогда весь процесс может повториться. Общая длительность пускового режима лампы $t_{пуск}$ составляет 5 ... 15 с. Длительность пускового импульса при размыкании контактов стартера составляет 1 ... 2 мкс, что недостаточно для надежного зажигания лампы, поэтому параллельно контактам стартера в схему включают конденсатор емкостью 5 ... 10 пФ.

Бесстартерные ПРА быстрого зажигания тех же ламп работают с помощью накальных трансформаторов (НТ) (рис. 9.2), которые предварительно нагревают катоды лампы. В момент возникновения разряда в лампе ток накала ПРА автоматически снижается.

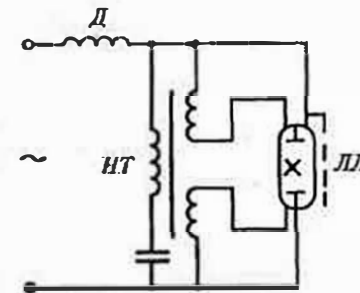


Рис. 9.2. Резонансная бесстартерная схема включения люминесцентной лампы

Бесстартерные ПРА быстрого зажигания тех же ламп работают с помощью накальных трансформаторов (НТ) (рис. 9.2), которые предварительно нагревают катоды лампы. В момент возникновения разряда в лампе ток накала ПРА автоматически снижается.

9.3.4. Дуговые ртутные лампы высокого давления

При повышении давления в лампе и плотности тока разряд в ней становится более интенсивным по излучению. Наряду с излучением в видимой области спектра получится излучение в ультрафиолетовой области. При использовании такого разряда в источниках света требуется исправление его цветности путем преобразования ультрафиолетового излучения в красное.

Для получения такого излучения используются трубчатые кварцевые лампы, называемые горелками. Горелка представляет собой кварцевую трубку с впаянными по концам катодами на больший ток, чем при разряде низкого давления. С целью облегчения зажигания кроме основного электрода 1 (рис. 9.3) впаяваются дополнительные электроды зажигания 3 в один или оба

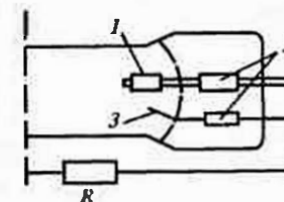


Рис. 9.3. Конструкция горелки дуговой ртутной лампы

конца трубки, соединенные с противоположным катодом через добавочное сопротивление R . Питание подается через вводы 2.

Вследствие малого расстояния между основным и дополнительным электродами между ними происходит разряд при включении лампы, приводящий к ионизации газа в трубке. Когда сопротивление столба разряда в трубке станет меньше добавочного сопротивления в цепи дополнительного электрода, начинается разряд между основными электродами. Такие горелки применяются в дуговых ртутных лампах высокого давления. Так как работа горелки зависит от действия внешней среды, то она размещается внутри колбы лампы, покрытой изнутри люминофором, который поглощает ультрафиолетовое излучение и превращает его в видимое красное.

Внешняя колба лампы наполняется инертным газом. Время, в течение которого происходит установление нормального режима работы лампы, называемое временем разгорания, составляет 7... 10 мин. Повторное зажигание лампы возможно только после ее остывания. Рассмотренные лампы требуют для своей работы ПРА.

Лампа с горелкой и нитью накала в колбе не требует специальных устройств для включения и может прямо включаться в сеть. Основные области применения ламп высокого давления: наружное освещение, освещение промышленных предприятий с высотой потолков более 4 м.

Наиболее современными источниками света являются металлогалогенные лампы, в колбу которых вводятся добавки в виде галогенидов разных металлов. Галогениды металлов испаряются легче, чем сами металлы, поэтому внутри разрядных колб этих ламп кроме ртути и аргона имеются различные соединения этих элементов. Это позволяет широко варьировать спектральное распределение излучения и вследствие этого увеличивать их световую отдачу.

9.3.5. Светильники

Светильники – световые приборы, перераспределяющие свет источника внутри больших телесных углов (до 4π). В светильниках могут устанавливаться один или несколько источников света.

Выбор типа светильника является одной из ответственных задач проектирования осветительной установки. Обеспечение качества освещения при минимальной мощности установки гарантируется обоснованным выбором светотехнических характеристик светильника. Важнейшей светотехнической характеристикой светильников является светораспределение, которое принято характеризовать кривой силы света, коэффициентами светораспределения и формы.

Кривые силы света (КСС) представляют собой изображение в полярных координатах, в меридиональной плоскости линий постоянной силы света. Обычно эти кривые строят для условного источника света со световым потоком 1000 лм (рис. 9.4).

Для освещения производственных помещений используют в основном КСС типов K , G , D и L .

По коэффициенту светораспределения K_c , равному отношению светового потока, направляемого в нижнюю полусферу, и полного светового потока лампы Φ_d , все светильники делятся на пять классов:

- прямого света (П) – $K_c > 80 \%$;
- преимущественно прямого света (Н) – $K_c = 60 \dots 80 \%$;
- рассеянного света (Р) – $K_c = 40 \dots 60 \%$;
- преимущественно отраженного света (В) – $K_c = 20 \dots 40 \%$;
- отраженного света (О) – $K_c < 20 \%$.

Под коэффициентом формы светового прибора (СП), K_f , понимают отношение максимальной силы света I_{max} в меридиональной плоскости к условному среднесрифметическому значению силы света I_{cp} . Для КСС коэффициент формы $2 < K_f < 3$ для типа G ; $1,3 \leq K_f < 2$ для типа D .

Разнообразие типов и мощностей источников света, условий среды, а также светотехнических и конструктивных требований к светильникам определяют необходимость иметь в сортаменте большее число их типоразмеров, которое в настоящее время достигло примерно 1000.

Возрастанию этого числа способствует и выпуск светильников специализированного назначения, например для школ, больниц, улиц и т. д.

Каждый типоразмер светильника с газоразрядными лампами и галогенными лампами накаливания типов K , G предназначается для ламп определенной мощности. Практически все светильники с люминесцентными лампами имеют встроенный ПРА (в большинстве, но не во всех случаях со стартерными схемами), большинство светильников с другими типами газоразрядных ламп (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, ДКсТ) поставляются комплектно с выносными ПРА.

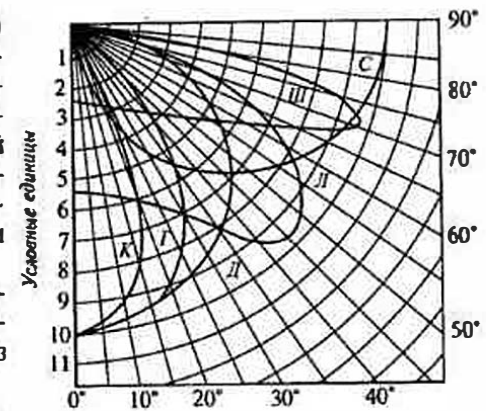


Рис. 9.4. Типы кривых силы света:

G – глубокая; D – косинусная; L – полуширокая; K – концентрированная; C – синусная; $Ш$ – широкая

Светильники с лампами накаливания маркируются на определенную номинальную мощность, которая является предельной, но в них могут использоваться и лампы меньшей мощности, имеющие тот же тип цоколя. Однако это допустимо лишь в определенных пределах.

На рис. 9.5 показаны почти все применяемые конструктивно-светотехнические схемы светильников. Каждая из них может варьироваться таким образом, что отражатель может быть диффузным, зеркальным или имеющим смешанное отражение; контактная полость может иметь или не иметь уплотнения; стеклянный колпак может выполняться из прозрачного, рифленого, матированного, опалового или молочного стекла и соединяться с корпусом с уплотнением или без него.

Сплошные линии обозначают непрозрачные отражающие поверхности, штриховые — стеклянные рассеиватели или защитные стекла, короткие вертикали — планки экранирующей решетки. Штрихами обозначены принципиально неотличающиеся варианты схем: ' — специально для люминесцентных ламп, '' — для потолочных

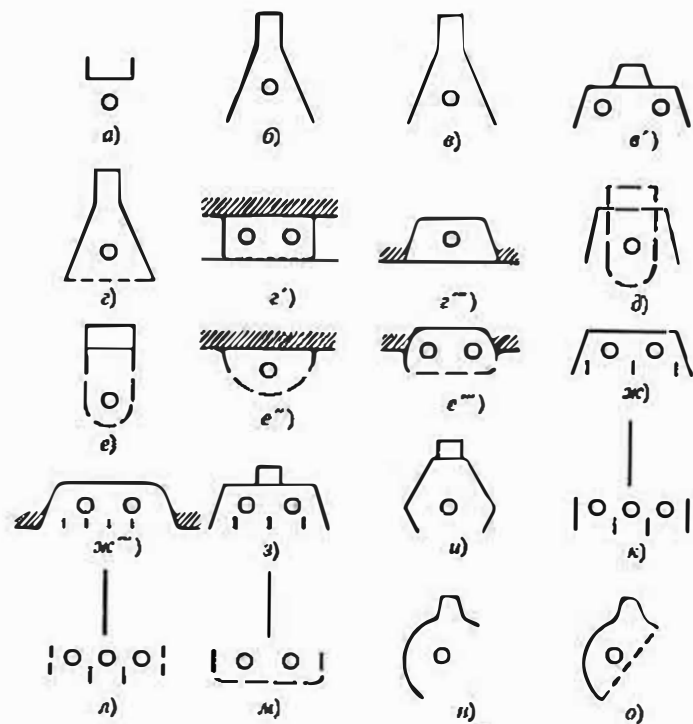


Рис. 9.5. Конструктивно-светотехнические схемы светильников

лочных светильников, ''' — для светильников, встраиваемых в потолок.

Поясним особенности и области применения светильников с разными конструктивно-светотехническими схемами. Патрон с лампой накаливания (см. рис. 9.5, а) в матированной колбе или блок с открытой люминесцентной лампой применяется в тех случаях, когда не требуется ограничения слепящего действия: при установке в устройствах отраженного света, в помещениях очень малой площади, в проходах за электрическими щитами и т. п.

На рис. 9.5, б приведена основная, широко применяемая схема светильников прямого света с любыми лампами. При эмалированных отражателях имеет кривую силы света типа Д, при алюминиевых или иных отражателях со смешанным или зеркальным отражением может иметь также кривые типов К, Г или Л.

Светильник, изображенный на рис. 9.5, в, отличается от светильника на рис. 9.5, б тем, что между корпусом и отражателем имеется просвет (а при использовании люминесцентных ламп отражатель имеет перфорацию), что обеспечивает некоторую подсветку верхней зоны помещения. В остальном характеристики и область применения такие же, как у светильников на рис. 9.5, б.

Светильник на рис. 9.5, г в светотехническом отношении эквивалентен изображенному на рис. 9.5, б; конструктивно отличается наличием плоского или выпуклого стекла, закрывающего выходное отверстие. Если это стекло укреплено с уплотнением, то схема становится оптимальной для помещений, содержащих пыль.

Традиционная схема светильников прямого света приведена на рис. 9.5, д для помещений с наличием влаги и пыли. Эти светильники используются при невозможности применения изображенных на рис. 9.5, б (например, из-за пожарной опасности помещения) и 9.5, г. При отсутствии уплотнений защитное стекло (в данном случае рассеивающее) служит для ограничения слепящего действия. Кривые силы света для таких светильников почти всегда типа Д.

Столь же традиционны светильники, представленные на рис. 9.5, е, но уже классов Н или Р, для помещений с тяжелыми условиями среды. В этих светильниках применение защитных рассеивающих стекол обязательно. Характер светораспределения обеспечивает хорошую вертикальную освещенность, освещение высокорасположенных поверхностей и подсветку верхней зоны, что определяет широкое применение светильников в помещениях с нормальной средой. По схеме 9.5, е'' выпускаются разнообразные потолочные светильники с лампами накаливания, как с уплотнениями — для тяжелых условий среды, так и без уплотнений — для общественных зданий. К вариантам светильников (см. рис. 9.5, е'' и е''') относятся также и многочисленные потолочные светильники для люминесцентных ламп, широко применяемые в общественных и производственных зданиях.

Светильники, изображенные на рис. 9.5, ж и з, являются модификациями светильников на рис. 9.5, б и в; они предназначены специально для люминесцентных ламп. Большие размеры этих ламп (вследствие их малой единичной мощности) затрудняют создание защитного угла с помощью только отражателя, что вызывает необходимость применения экранирующих решеток: системы пересекającychся продольных и поперечных планок, разбивающих выходное отверстие на ряд мелких элементов.

Светильники (см. рис. 9.5, и) широко применяются в жилых и общественных зданиях, преимущественно с лампами накаливания. Стекло здесь должно быть рассеивающим, молочным. В этих светильниках хорошо сочетаются благоприятный внешний вид, экономичность и качество освещения.

Светильники на рис. 9.5, к и л близки друг к другу и отличаются лишь наличием прозрачных или непрозрачных боковин. Имея светораспределение класса В, реже Р, они рекомендуются для общественных и производственных зданий с нормальными условиями среды, при высоких требованиях к качеству освещения.

Светильник (см. рис. 9.5, м) имеет ограниченное применение, почти исключительно в жилых помещениях. Светораспределение у него — класса В.

Светильники (см. рис. 9.5, н и о) с наклонно расположенными отражателями, со стеклом или без него, известны под названием «кососветы». Их применение целесообразно в случаях, когда они располагаются по одну сторону от возможного места установки, например при размещении последних на стенах с помощью кронштейнов.

9.3.6. Расположение светильников

Выбор расположения светильников общего освещения является одним из основных вопросов, решаемых при создании осветительных установок, влияющих на экономичность последних, качество освещения и удобство эксплуатации.

На рис. 9.6 представлены типичные схемы размещения светильников. Приняты следующие обозначения: H — высота помещения, а при ферменном покрытии — высота до затяжки ферм; h_c — расстояние светильников от перекрытия или затяжки ферм; h_p — высота рабочей поверхности над полом; h_n — высота установки светильников над полом; $h = h_n - h_p = H - h_c - h_p$ — расчетная высота; L — расстояние между светильниками или их рядами; L_a , L_b — расстояния между светильниками в направлении вдоль и поперек помещения, если они неодинаковы; l — расстояние крайних рядов светильников от стены. Все размеры, приведенные выше, указываются в метрах, м.

Из названных размеров H и h_p являются заданными; h_c , кроме случаев установки светильников на стенах, принимается в преде-

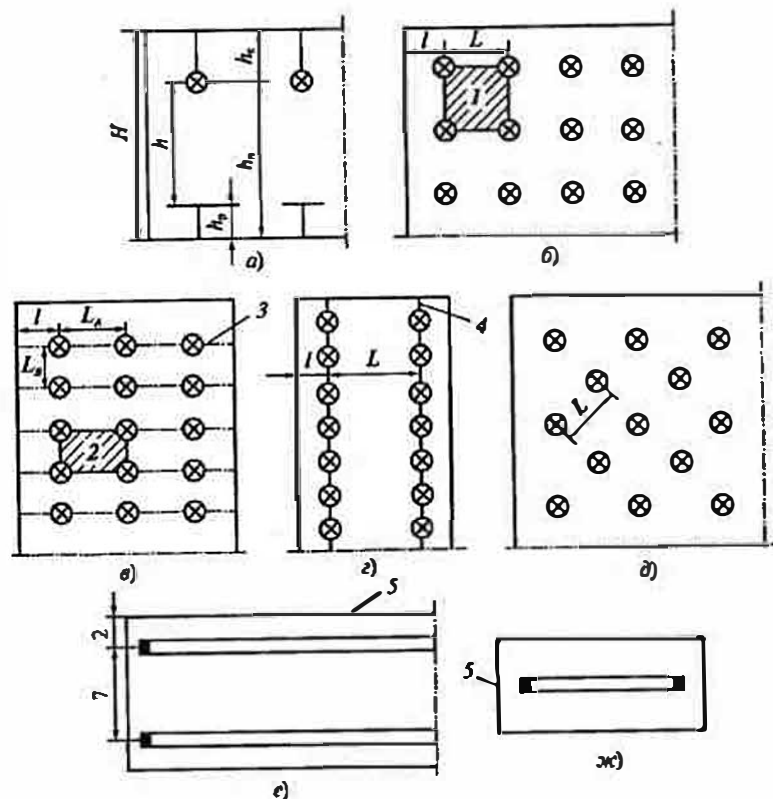


Рис. 9.6. Схемы размещения светильников:

1 — угловое поле; 2 — одно из центральных полей; 3 — оси ферм; 4 — оси мостиков обслуживания; 5 — стена с окнами

лах от 0 при установке на потолке или заподлицо с фермами и обычно до 1,5 м. Большие значения h_c , как правило, не рекомендуются, и если они принимаются, то должны быть предусмотрены меры против раскачивания светильников потоками воздуха (необходим жесткий подвес). Расстояние l рекомендуется принимать около $1/2L$ при наличии у стен проходов и около $1/3L$ в остальных случаях. При безусловной необходимости обеспечить у стен такую же освещенность, как по всей площади, расстояние l может быть уменьшено почти до нуля путем установки светильников на кронштейнах, укрепленных на стенах.

На рис. 9.6, б показан классический случай равномерного размещения светильников с лампами накаливания или лампами ДРЛ по вершинам квадратных полей. По условиям размещения светильников в конкретных помещениях часто приходится прини-

мать поля прямоугольной формы, причем в этом случае желательно, чтобы отношение $L_A:L_B$ не превышало 1,5.

В помещениях с ферменным перекрытием (см. рис. 9.6, в) в большинстве случаев светильники могут устанавливаться только на фермах. В этом случае допустимы и увеличенные значения $L_A:L_B$, так как по сетевым и эксплуатационным соображениям следует по возможности сокращать число продольных рядов светильников. Особенно это важно при наличии специальных мостиков для обслуживания светильников, вдоль которых светильники размещаются, как правило, учащено (см. рис. 9.6, з). В том же случае нередко светильники располагаются блоками из двух-четырёх штук, если это необходимо для снижения коэффициента пульсации освещенности или если наибольшая возможная мощность лампы меньше требуемой по расчету.

На рис. 9.6, д показано так называемое шахматное расположение светильников, в данном случае по вершинам квадратных, но диагонально расположенных полей. Теоретически оптимальным является шахматное расположение по вершинам ромбов с острым углом 60° . В узких помещениях иногда неизбежно однорядное расположение светильников, но в помещениях, где производятся работы, его следует избегать, так как при нем (и при светильниках прямого света) создаются глубокие тени и не всегда обеспечивается удачное направление света.

Светильники с трубчатыми, т.е. в основном люминесцентными лампами, преимущественно размещаются рядами, желательной параллельными стене с окнами (см. рис. 9.6, е) или длинной стороне узкого помещения (см. рис. 9.6, ж). Расположение светильников по схеме, приведенной на рис. 9.6, е, иногда оспаривается архитекторами по эстетическим соображениям как психологически подчеркивающее удлиненность помещения. Но в помещениях, предназначенных для работы, оптимальным является такое расположение светильников, при котором направление света приближается к направлению естественного света. Ориентация рабочих мест такая, что естественный свет падает на них слева, уменьшая прямую и отраженную блещкость.

9.4. Расчет освещенности

Светотехнические расчеты являются одними из наиболее массовых инженерных расчетов; их приходится постоянно выполнять многим тысячам людей. Обычной задачей расчета освещенности является определение числа и мощности светильников, необходимых для обеспечения заданного значения освещенности. Рассмотрим один из упрощенных способов расчета освещенности, основанный на методе коэффициента использования.

Пусть в помещении установлено N светильников, поток в каждом из которых равен Φ , так что всего в помещение внесен поток $N\Phi$. Часть этого потока теряется в светильниках, часть падает на стены и потолок помещения. Отношение потока, падающего на освещаемую поверхность ко всему потоку ламп, называется коэффициентом использования η . Распределяясь на площади S , поток $N\Phi\eta$ создает на ней среднюю освещенность

$$E_\Phi = N\Phi\eta/S. \quad (9.4)$$

Расчет обычно проводят на минимальную освещенность E_{\min} . Введя коэффициент минимальной освещенности $Z = E_\Phi/E_{\min}$, получим

$$E_{\min} = N\Phi\eta/(SZ). \quad (9.5)$$

Нормированная освещенность $E = E_{\min}$ должна быть обеспечена во все время эксплуатации. Поэтому в формулу для ее определения должен быть введен коэффициент запаса K . Для люминесцентных ламп коэффициент запаса принимается равным 1,5 для ламп накаливания — 1,3. Эти значения установлены с учетом двухразовой чистки светильников в год. Тогда

$$E = N\Phi\eta/(SKZ). \quad (9.6)$$

Последнюю формулу используем для определения светового потока

$$\Phi = ESKZ/(N\eta). \quad (9.7)$$

Тогда число светильников получим следующим:

$$N = ESZK/(\Phi\eta). \quad (9.8)$$

Коэффициент Z зависит от размеров и формы помещения, коэффициента отражения его поверхностей, характеристик светильника и в наибольшей степени от значения

$$\lambda = L/h,$$

где L — расстояние между светильниками или их рядами; h — расчетная высота.

С увеличением λ сверх оптимальных значений Z начинает быстро возрастать, что энергетически невыгодно. В области оптимальных значений λ коэффициент Z относительно невелик ($Z = 1,15$ при освещении светильниками и $Z = 1,1$ при освещении линиями люминесцентных светильников). При расчете средней освещенности коэффициент Z не учитывается, в установках отраженного света при хорошо отражающих стенах этот коэффициент приближается к единице.

Зависимость от площади, высоты и формы помещения учитывается комплексной характеристикой i :

$$i = S/[h(A + B)],$$

где S — площадь помещения; h — расчетная высота; A и B — стороны помещения.

По величине i с помощью таблиц для каждого типа светильника определяется η . Отметим, что коэффициент использования η прямо пропорционален коэффициенту полезного действия светильников. Он также зависит от формы кривой силы света светильников, возрастая с увеличением степени концентрации светового потока и убывая с увеличением доли потока, направляемой светильником в верхнюю часть пространства. Коэффициент использования возрастает с увеличением площади помещения, так как при этом увеличивается телесный угол, в пределах которого поток падает непосредственно на расчетную поверхность. По той же причине возрастает с уменьшением расчетной высоты. Он возрастает с увеличением λ , так как при этом увеличивается среднее расстояние светильников от стен, и с увеличением коэффициентов отражения потолков, стен и полов помещения.

Определив с помощью формулы (9.7) световой поток лампы Φ , по таблицам подбирают ближайшую стандартную лампу и определяют электрическую мощность всей осветительной системы.

В практике допускается отклонение потока выбранной лампы от расчетного до $-10\% \dots +20\%$. Если отклонение не укладывается в указанные пределы, выбирают другую схему расположения светильников.

Приведенную методику расчета освещенности поясним примером.

Пример. Для освещения машинного зала вычислительного центра (ВЦ) с размерами $A = 20$ м, $B = 9$ м и высотой $H = 3$ м предусмотрены потолочные светильники типа УСП-35 с двумя люминесцентными лампами типа ЛБ-40. Коэффициенты отражения светового потока от потолка, стен и пола соответственно $\rho_n = 70\%$, $\rho_c = 50\%$, $\rho_{\text{пол}} = 10\%$. Затенения рабочих мест нет. Определим необходимое число светильников при общем равномерном освещении.

Для машинных залов уровень рабочей поверхности над полом составляет 0,8 м. Тогда

$$h = H - 0,8 = 2,2 \text{ м.}$$

У светильников УСП-35 наиболее выгодное отношение $L/h = 1,4$. Отсюда расстояние между рядами светильников $L = 1,4 \cdot 2,2 = 3$ м. Располагаем светильники вдоль длинной стороны помещения.

Расстояние между стенами и крайними рядами светильников принимаем равным $l = (0,3 \dots 0,5)L$. При ширине машинного зала $B = 9$ м имеем число рядов светильников $n = B/L = 3$.

Для машинных залов установлена норма освещенности $E_n = 400$ лк. С учетом заданных коэффициентов отражения светового потока от потолка, стен и пола при $i = 180/[2,2(20+9)] = 2,82$ из справочных данных находим $\eta = 0,45$.

Номинальный световой поток лампы ЛБ-40 $\Phi_n = 3120$ лм, тогда световой поток, излучаемый светильником, составит $\Phi_{\text{св}} = 2\Phi_n = 2 \cdot 3120 = 6240$ лм. По приведенной выше формуле определяем необходимое число светильников в ряду:

$$N = 400 \cdot 1,5 \cdot 180 \cdot 1,15 / (3 \cdot 6240 \cdot 0,45) \approx 15.$$

При длине одного светильника типа УСП-35 с лампами ЛБ-40 $l_{\text{св}} = 1,27$ м и их общая длина составит $Nl = 1,27 \cdot 15 = 19,05$ м, т. е. светильники размещаются практически в непрерывный сплошной ряд, что является наиболее желательным.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие величины относятся к основным показателям, характеризующим свет?
2. Дайте определение и назовите единицы измерения светового потока.
3. Какой величиной характеризуется пространственная плотность светового потока?
4. В каких единицах измеряется сила света?
5. Дайте определение и назовите единицы измерения освещенности.
6. Дайте определение и назовите единицы измерения яркости.
7. От каких параметров зависит яркость освещенных поверхностей?
8. Назовите виды и системы освещения.
9. Что такое коэффициент естественной освещенности и как он измеряется?
10. Что называется осветительной установкой?
11. Каким образом делятся источники света по способу генерирования ими оптического излучения?
12. Какими основными параметрами характеризуются источники света?
13. В чем состоит принцип действия лампы накаливания?
14. Как работает люминесцентная лампа низкого давления?
15. Почему люминесцентную лампу низкого давления включают в сеть только с пускорегулирующим аппаратом?
16. Как устроен пускорегулирующий аппарат со стартерным зажиганием?
17. Как устроена дуговая ртутная лампа высокого давления?
18. В чем заключается расчет освещения по методу коэффициента использования?

Список литературы

1. Алексеев А.А., Шевырев Ю.В., Акимов В.Д. Основы автоматики и автоматизация горных и геологоразведочных работ. — М.: Недра, 1998. 431 с.
2. Бондарь Е.С., Кравченко В.Я. Современные бытовые электроприборы и машины. — М.: Машиностроение, 1987. 219 с.
3. Зимин Е.Н., Чувашев И.И. Электрооборудование промышленных предприятий. Ч. 1. — М.: Стройиздат, 1977. 431 с.
4. Кацман М.М. Электрические машины. — М.: Высш. шк., 1990. 462 с.
5. Кисаримов Р.А. Справочник электрика. — М.: КубК-а, 1997. 319 с.
6. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. — М.: Энергия, 1980. 368 с.
7. Кнорринг Г.М. Осветительные установки. — Л.: Энергоиздат, 1981. 283 с.
8. Лепаев Д.А. Электрические приборы бытового назначения. — М.: Лепромышлениздат, 1998. 100 с.
9. Масандылов Л.Б. Электропривод подъемных кранов. — М.: Изд-во МЭИ, 1998. 100 с.
10. Пособие по ремонту электробытовой техники / В.И. Златопольский, Г.Д. Кортын, С.Ф. Привалов и др. — Л.: Лениздат, 1989. 208 с.
11. Соколова Е.М. Электронные устройства в схемах трансформаторов и асинхронных двигателей. Учеб. пособие. — М.: Изд-во МЭИ, 1996. 70 с.
12. Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов. — М.: Энергия, 1976. 487 с.
13. Соколов М.М., Сорокин Л.К. Электропривод с линейными асинхронными двигателями. — М.: Энергия, 1974. 135 с.
14. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. / Под ред. А.А. Федорова. Т. 2. — М.: Энергоатомиздат, 1987. 591 с.
15. Токарев Б.Ф. Электрические машины. — М.: Энергоатомиздат, 1990. 623 с.
16. Фишман Б.Е. Ремонт, наладка, испытания бытовых электроприборов. — Л.: Ленпроиздат, 1991. 239 с.
17. Черницкий И.И., Потупиков И.Л. Ремонт бытовых электрических приборов и машин в домашних условиях. — М.: Машиностроение, 1992. 159 с.
18. Электротехнический справочник: В 3 т. / Под ред. профессоров МЭИ. Т. 3. — М.: Энергоатомиздат, 1988. 614 с.
19. Электротехнический справочник: В 4 т. / Под ред. профессоров МЭИ (технического университета). Т. 2. — М.: Изд-во МЭИ, 1998. 517 с.

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1. Электрические машины в электрооборудовании общепромышленных механизмов	5
1.1. Применение электрических машин общего назначения	5
1.2. Электродвигатели крановых механизмов	8
1.3. Двигатели специальной конструкции	11
1.4. Выбор электродвигателей	14
1.4.1. Выбор электродвигателей по техническим условиям	14
1.4.2. Выбор двигателей по мощности для механизмов повторно-кратковременного режима работы	15
1.5. Монтаж двигателей	17
Глава 2. Электрические аппараты управления общепромышленными механизмами	19
2.1. Общие сведения и определения	19
2.2. Контактные и магнитные пускатели	20
2.3. Контроллеры и командоконтроллеры	22
2.4. Тормозные устройства	24
2.5. Электромагнитные реле	25
2.6. Магнитоуправляемые герметизированные контакты (герконы)	28
2.7. Электрические датчики	29
2.7.1. Датчики положения	29
2.7.2. Герконовые датчики	31
2.7.3. Дискретный индуктивный датчик	32
2.7.4. Датчики скорости	32
2.8. Электромеханические исполнительные устройства	33
2.8.1. Электромагнитный клапан	33
2.8.2. Фрикционная электромагнитная муфта	34
2.8.3. Электромагнитный подъем	35
2.9. Магнитный усилитель	36
Глава 3. Системы регулируемого электропривода	40
3.1. Общие сведения	40
3.2. Система тиристорный преобразователь — двигатель постоянного тока	40
3.3. Импульсное регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока	44
3.4. Асинхронный электропривод с тиристорным регулятором напряжения	46

3.5. Частотный вентиляционный асинхронный электропривод	49
3.6. Асинхронный электропривод с импульсным регулированием добавочного сопротивления	52
3.7. Асинхронный вентиляционный каскад	54
Глава 4. Электрооборудование крановых механизмов	58
4.1. Общие сведения	58
4.2. Статические нагрузки двигателей основных механизмов кранов	62
4.3. Требования к механическим характеристикам электроприводов крановых механизмов	65
4.4. Системы управления крановыми электроприводами	67
4.5. Электроприводы тельферов	69
4.6. Электропривод с асинхронным двигателем механизмов подъема с магнитным контроллером	71
4.7. Электроприводы с импульсно-ключевым управлением	73
Глава 5. Электрооборудование лифтов	78
5.1. Общие сведения. Конструкция лифта	78
5.2. Выбор электродвигателя лифта	81
5.3. Оптимизация движения кабины пассажирского лифта	82
5.4. Точная остановка подъемных машин	83
5.5. Требования к электроприводу лифта	86
5.6. Системы электроприводов лифта	86
5.7. Электропривод пассажирского лифта с асинхронным двигателем	92
5.8. Регулируемый электропривод лифта по схеме тиристорный преобразователь—двигатель постоянного тока	95
Глава 6. Электрооборудование механизмов непрерывного транспорта	98
6.1. Общие сведения	98
6.2. Определение статических нагрузок. Расчет мощности двигателя	100
6.3. Основные требования к электроприводу	103
6.4. Системы электроприводов механизмов непрерывного действия	105
6.5. Электропривод конвейерных линий	108
6.6. Электропривод эскалаторов	112
6.7. Электропривод канатных дорог	116
Глава 7. Электропривод и автоматизация работы насосов, вентиляторов и компрессоров	122
7.1. Общие сведения	122
7.2. Определение момента сопротивления и мощности на валу механизма	123
7.3. Электропривод механизмов центробежного и поршневого типа, работающих с постоянной скоростью	127
7.4. Регулируемый электропривод механизмов с вентиляторным моментом	131

7.5. Электрические схемы автоматизации компрессорных и вентиляторных установок	136
7.6. Электрооборудование и автоматизация насосных установок	143

Глава 8. Электрооборудование бытовых механизмов	149
8.1. Общие сведения	149
8.2. Бытовые приборы для кухни	151
8.2.1. Схемы регулирования универсальных коллекторных двигателей	151
8.2.2. Электропривод миксеров и взбивалок	153
8.2.3. Электропривод кофемолок	156
8.2.4. Электропривод мясорубок	157
8.2.5. Электропривод универсальных кухонных машин	157
8.3. Электрические машины для уборки и ремонта помещений	158
8.3.1. Пылесосы	158
8.3.2. Полотеры	165
8.4. Электрооборудование бытовых стиральных машин	167
8.4.1. Технологический процесс стирки в машинах активаторного и барабанного типов	167
8.4.2. Электрическая схема включения и устройство машин барабанного типа	169
8.4.3. Стиральные машины «Мини»	171
8.4.4. Автоматические стиральные машины	173
8.5. Бытовые холодильники	176
8.5.1. Классификация холодильников	176
8.5.2. Принцип действия компрессионного холодильника	177
8.5.3. Приборы автоматики	181
8.6. Электроприборы личного пользования	183
8.6.1. Электрические бритвы	183
8.6.2. Вентиляторы	185
8.6.3. Фены	186
8.6.4. Массажные приборы	188
8.7. Электрифицированные инструменты и машины для «хобби»	188
8.7.1. Устройство и особенности эксплуатации электрифицированных инструментов	188
8.7.2. Устройство и принцип действия швейных машин	191
8.7.3. Электрический привод швейных машин	196

Глава 9. Электрическое освещение	198
9.1. Основные светотехнические показатели и величины	198
9.2. Выбор необходимой освещенности	200
9.2.1. Основные требования к производственному освещению	200
9.2.2. Виды и системы освещения	201

9.3. Источники света и светильники	205
9.3.1. Общие сведения	205
9.3.2. Электрические лампы накаливания	205
9.3.3. Люминесцентные лампы низкого давления	207
9.3.4. Дуговые ртутные лампы высокого давления	209
9.3.5. Светильники	210
9.3.6. Расположение светильников	214
9.4. Расчет освещенности	216
Список литературы	220