

Тырва В.О.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ БЕРЕГОВЫХ ОБЪЕКТОВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Учебное пособие

Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль: Электропривод и автоматика

Уровень высшего образования: бакалавриат (академический)

Санкт-Петербург

2015

1

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1. УСРТОЙСТВА СНАБЖЕНИЯ БЕРЕГОВЫХ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЕЙ

Приемники электрической энергии

Воздушные и кабельные линии передачи электрической энергии

Электрические подстанции

Электрораспределительные устройства

2. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ

Технологические механизмы шлюза

Требования к электрооборудованию шлюза

Электроприводы подъемно-опускных ворот

Электроприводы двустворчатых ворот

Электроприводы затворов водопроводных галерей

Электродвигатели приводов технологических механизмов шлюза

Специальные схемы включения электродвигателей

Электрогидравлические приводы

Электрические и электронные аппараты электроприводов

Информационное электрооборудование шлюзов

3. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПОРТОВЫХ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Портальные краны

Требования к электрооборудованию и системам управления электроприводов кранов

Устройства передачи электрической энергии на кран

Электродвигатели приводов основных механизмов крана

Крановые электроприводы с контактно-контроллерными системами управления

Крановые электроприводы с применением полупроводниковых устройств и преобразователей

Особенности проектирования электроприводов механизмов крана

4. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ АККУМУЛЯТОРНЫХ МАШИН БЕЗРЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Электротележки и электропогрузчики

Аккумуляторные батареи

Электрическая схема аккумуляторного электропривода

5. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ТРАНСПОРТА

Конвейерные установки

Требования к электроприводам конвейеров

Нерегулируемые электроприводы конвейерных установок

Регулируемые электроприводы конвейерных установок

Особенности проектирования электроприводов конвейерных установок

6. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОРЕМОНТНЫХ И СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДОВ

Электрифицированные объекты предприятий водного транспорта

Электротермические установки

Оборудование для электрической сварки

Электроприводы станков

7. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Системы искусственного освещения

Источники электрического света

Светодиодные светильники

ФБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова"

Введение

Внутренний водный транспорт - комплекс, состоящий из внутренних водных путей (реки, судоходные каналы, озера и водохранилища), флота, портов, судоремонтных и судостроительных предприятий [1].

Протяженность внутренних водных путей, пригодных для судоходства, в нашей стране составляет около 500 тыс. км (активно используются 150 тыс. км). По водным путям распределено более 100 действующих шлюзов, которые создают необходимые для обеспечения судоходства условия на участках с платинами и на искусственных водных путях. Например, на Беломорско-Балтийском канале (227 км) используется 19 шлюзов, Волго-Балтийский судоходный путь (361 км) имеет 10 шлюзов, на канале имени Москвы (128 км) 11 шлюзов, на Волго-Донском судоходном канале (101 км) 15 шлюзов.

Порты связывают флот по грузопотокам и пассажиропотокам с наземными видами транспорта - автомобильным, железнодорожным. Грузовые порты оснащены разнообразными перегрузочными машинами и внутрипортовым транспортом. Это оборудование принимает непосредственное участие в передаче грузов с судов на сухопутный транспорт или в обратном направлении.

В предприятиях водного транспорта предусматривается несколько видов производств: корпусное, судомонтажное, достроечно-отделочное, электромонтажное, машиностроительное. Благодаря судостроительным и судоремонтным предприятиям флот пополняется новыми видами судов и суда поддерживаются в рабочем состоянии.

Шлюзы, порты, судостроительные и судоремонтные предприятия оснащены разнообразными электроустановками, предназначенными для производства, передачи, преобразования, распределения или потреблении электроэнергии, а также для получения, обработки и отображения информации. Комплекс электротехнических устройств, предназначенных для этих целей, принято называть *электрооборудованием*. Электрооборудование имеет токоведущие части, по которым передается энергия и информация электрическими токами.

Общепринято разделять всё электрооборудование на:

- электрооборудование низкого напряжения $U \leq 1000$ В;
- электрооборудование высокого напряжения $U > 1000$ В.

Все выпускаемое электрооборудование делится на классы по способу защиты людей от поражения электрическим током и на типы – по степени защищенности оборудования от влаги и пыли (IP-коды).

У оборудования, относящегося к классу 0, защита обеспечивается основной изоляцией. Корпус оборудования или открытые проводящие его части при этом не присоединяются к защитному проводнику электропроводки. В случае пробоя изоляции защита обеспечивается только воздушным промежутком.

Защита оборудования, относящегося к классу I, обеспечивается основной изоляцией и соединением его корпуса или открытых проводящих частей с защитным проводником. В случае пробоя изоляции должно сработать установленное защитное устройство, следовательно, корпус или открытые проводящие части не могут оказаться под напряжением. Электрооборудование этого класса соединяется с электрической сетью трехжильным (с защитным проводником) или двухжильным кабелем. В последнем случае корпус оборудования должен быть снабжен зажимом для подключения защитного проводника.

Защита оборудования, относящегося к классу II, обеспечивается двойной или усиленной изоляцией, при этом отсутствуют средства защитного заземления.

В случае использования оборудования класса III защита обеспечивается питанием от источника безопасного (низкого) напряжения.

Для классификации оборудования по степени защищенности от пыли, влаги и доступа в соответствии с ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89) разработан специальный международный классификатор – IPкод (Index of Protection). Он представляет собой набор из двух цифр и двух буквенных (дополнительных) символов (например, IP23CS). Первая цифра кода определяет степень защищенности оборудования от пыли и степень защиты человека от прикосновения к токоведущим и движущимся частям. Вторая – степень защиты от влаги (см. табл.).

Таблица

Степень защиты оборудования от пыли. Степень доступа людей		Степень защиты от влаги	
0	Отсутствует защита от пыли. Нет защиты людей от контакта с токоведущими и движущимися частями.	0	Отсутствует защита от влаги
1	Защита от частиц большого диаметра (более 50 мм). Защита людей от непосредственного контакта с большими областями токоведущих и движущихся частей оборудования.	1	Защита от капель воды, падающих на оборудование вертикально.
2	Защита от частиц среднего диаметра (более 12 мм) Защита людей от контакта с токоведущими частями (например, пальца руки).	2	Защита от капель воды, падающих наклонно (до 15° от вертикали)
3	Защита от частиц меньше среднего диаметра (2,5-12 мм).	3	Защита от капель воды, падающих наклонно (до 60° от вертикали).
4	Защита от частиц малого диаметра (1,0-2,5 мм). Защита людей от контакта с токоведущими и движущимися частями (например, при использовании инструмента диаметром более 1,0 мм).	4	Защита от водяной струи, попадающей на оборудование с любого направления.
5	Частичная защита от воздействия пыли. Полная защита людей от любого контакта с токоведущими и движущимися частями оборудования.	5	Защита от водяной струи, бьющей из сопла со скоростью 12,5 л/мин на оборудование с любого направления.
6	Полная защита от воздействия пыли. Полная защита людей от любого контакта с токоведущими и движущимися частями.	6	Защита от мощной водяной струи, бьющей из сопла со скоростью 100 л/мин на оборудование с любого направления.
		7	Защита от временного затопления. Оборудование выдерживает погружение в воду на глубину до 1 м на время до 30 мин.
		8	Защита при постоянном нахождении в воде.

Буквенные обозначения и соответствующие им виды защиты приведены в следующей таблице.

Т а б л и ц а

Первая буква кода		Вторая буква кода	
A	Защита от прикосновения рукой к опасным частям устройства	H	Устройство предназначено для работы при высоком напряжении
B	Защита от соприкосновения пальцами к опасным частям устройства	M	Устройство предназначено для работы при воздействии воды в движении.
C	Защита от прикосновения к опасным частям устройства инструментами диаметром более 2,5 мм и длиной более 100 мм.	S	Устройство предназначено для работы при воздействии воды в неподвижном состоянии.
D	Защита от прикосновения к опасным частям устройства проводом диаметром более 1,0 мм и длиной более 100 мм.	W	Устройство сохраняет работоспособность в условиях грозы

Совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другие виды энергии называют *электроустановкой*. По «правилам устройства электроустановок» (ПУЭ) применяемые в электроустановках электрооборудование, электротехнические изделия и материалы должны соответствовать требованиям государственных стандартов или технических условий, утвержденных в установленном порядке. Конструкция, исполнение, способ установки, класс и характеристики изоляции применяемых машин, аппаратов, приборов и прочего электрооборудования, а также кабелей и проводов должны соответствовать параметрам сети или электроустановки, режимам работы, условиям окружающей среды и требованиям соответствующих глав ПУЭ.

В соответствии с ПУЭ в трехфазных сетях используются следующие буквенно-цифровые обозначения проводников и их цветовая маркировка:

- первая фаза – L1, цвет желтый;
- вторая фаза – L2, цвет зеленый;
- третья фаза – L3, цвет красный;
- нулевой рабочий проводник – N, цвет синий (голубой);
- нулевой защитный проводник – PE, цвет желто-зеленый, в полоску.

В старых электрических сетях еще можно встретить обозначение фаз буквами (A, B, C) соответственно.

В однофазной сети, если ее проводники являются непосредственным ответвлением от трехфазной сети, их цвет должен соответствовать цвету проводников трехфазной сети.

При питании однофазного электрооборудования через трансформатор к началу обмотки подсоединяется проводник желтого цвета, обозначаемый буквой «А», а к концу обмотки – проводник красного цвета, обозначаемый буквой «В».

- Проводники источника питания постоянного тока обозначены следующим образом:
- положительный проводник – «+», цвет красный;
- отрицательный проводник – «-», цвет синий;
- нулевой проводник – M, цвет голубой.

Успешная работа электрифицированных объектов зависит от надежного и правильного действия всех элементов электротехнического оборудования и, прежде всего, электроприводов производственных машин. Отличительной чертой современного автоматизированного электропривода является высокоразвитая система управления, которая допускает получение

характеристик, отвечающих требованиям технологических процессов на объектах водного транспорта. Автоматизированный электропривод достаточно легко встраивается в иерархическую систему управления производственным процессом.

Требования к элементам и системам электрооборудования становятся более емкими и разнообразными. В условиях ограничения потребления электроэнергии проблема повышения энергоэффективности преобразователей энергии и элементов ее передачи приобретает особое значение.

Электрооборудование на объектах водного транспорта в настоящее время развивается по пути дальнейшего совершенствования существующих электроустановок и создания новых эффективных автоматизированных систем.

Содержание курса базируется на дисциплинах: «Электрические машины», «Электрические и электронные аппараты», «Системы управления электроприводов», «Электроснабжение береговых объектов водного транспорта». Основное внимание уделено электрооборудованию низкого напряжения до 1000 В, специфичному для береговых объектов водного транспорта.

УСТРОЙСТВА СНАБЖЕНИЯ БЕРЕГОВЫХ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЕЙ

Приемники электрической энергии

Приемником электрической энергии (электроприемником) называют электротехническое устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в другую форму энергии - механическую, тепловую и др. К электроприемникам относятся электродвигатели, электрические печи, установки электролиза, зарядные станции, осветительные приборы и др.

Электроприемники, размещенные на определенной территории и объединенные некоторым технологическим процессом, называют потребителями электрической энергии. Предприятия - потребители электрической энергии принято разделять на небольшие при установленной мощности до 5 МВт, средние при установленной мощности 5-75 МВт и крупные при установленной мощности более 75 МВт.

Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) предусматриваются три категории потребителей электроэнергетики по условиям обеспечения бесперебойности электроснабжения:

1-ая категория - потребители электроэнергии, нарушение электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функций особо важных элементов городского хозяйства;

2-я категория - потребители электроэнергии, перерыв в электроснабжении которых связан с массовым невыпуском продукции, простоем рабочих, технологического оборудования и промышленного транспорта, нарушением нормальной жизнедеятельности значительного количества людей;

3-я категория - все остальные потребители электроэнергии, не подходящие под определения потребителей 1-й и 2-й категории (например, потребители цехов несерийного производства, вспомогательных цехов, небольшие поселки и т.п.).

Потребители электроэнергии 1-й категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания, перерыв в электроснабжении может быть допущен лишь на время автоматического ввода в действие резервного питания.

Электрическая энергия передается электроприемникам по электрическим цепям. Управление передачей энергии осуществляется с помощью различных электроаппаратов - магнитных и тиристорных пускателей, контакторов, электромеханических и электронных реле, контроллеров и др., подключаемых к электрическим цепям [Тырва]. При необходимости электрическая энергия преобразуется, например, по роду тока (постоянный или переменный), по уровню напряжения (например, из высоковольтной в низковольтную) и т.п. с помощью преобразовательных устройств, таких как выпрямители, преобразователи частоты, инверторы и др.

По рабочему напряжению электроприемники разделяют на низковольтные до 1000 В включительно и высоковольтные свыше 1000 В. Мощность отдельных электроприемников может находиться в пределах от нескольких ватт до нескольких десятков мегаватт.

По назначению выделяют пять групп электроприемников: силовые общепромышленные установки (компрессоры, вентиляторы, насосы, подъемно-транспортные установки); осветительные установки; электроприводы производственных механизмов; электрические печи и электротермические установки; преобразовательные установки.

В состав электроприемника, например, электропривода (рис.) могут входить разнообразные единицы электрооборудования: электродвигатели, преобразователи частоты, электроаппараты и др. Электроприводы объектов водного транспорта получают питание в большинстве случаев от внутренних электрических сетей напряжением 380/220 В. На гидротехнических сооружениях, промышленных предприятия, портах электроприводы подключают к питающей электрической сети через автоматические выключатели и (реже) через предохранители.

Электроприемники переменного тока потребляют активную составляющую тока, которая идет на создание полезной работы: вращение роторов электродвигателей, нагрев изделий, электролиз и т.д. Кроме того, электродвигателям, трансформаторам, индукционным печам, преобразовательным установкам и др. для работы необходимо переменное магнитное поле, которое создается реактивным током. Поэтому такие приемники называют «потребителями реактивной мощности». Удельное потребление электроприемниками реактивной мощности в % по отношению к активной мощности составляет: 15 - 30 для силовых трансформаторов; 4 - 120 для асинхронных двигателей; 45 - 100 для дуговых печей; 100 - 2000 для индукционных печей, 180 - 200 для сварочных трансформаторов, 140 - 170 для газоразрядных ламп.

Воздушные и кабельные линии передачи электрической энергии

Подвод электрической энергии к береговым объектам водного транспорта осуществлен с помощью линий электропередачи. Совокупность линий электропередачи (ЛЭП) и подстанций, размещенных на определенной территории и связывающих источники электроэнергии с ее потребителями, образуют электрическую сеть.

ЛЭП могут быть воздушными или кабельными. Воздушные ЛЭП представляют собой систему проводов, крепежной арматуры, опор, изоляторов и т.п. для передачи электрической энергии. Кабельные ЛЭП состоят из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями. По электрическому напряжению ЛЭП разделяют на высоковольтные при напряжении свыше 1000 В и низковольтные при напряжении не превышающем 1000 В.

Воздушная линия (ВЛ) - устройство для передачи электрической энергии по проводам, расположенным на открытом воздухе, прикрепленным с помощью изоляторов к опорам. Используются в основном алюминиевые и сталеалюминиевые провода (А и АК площадью сечения 16 - 400 мм²; АС, АСКС, АСКП площадью сечения 35 - 600 мм²). Скрученный из стальной проволоки сердечник сталеалюминиевого провода увеличивает прочность провода.

Для защиты ВЛ от прямых грозовых разрядов над проводами фаз линии подвешивают грозозащитные тросы. Для грозозащитных тросов используются стальные оцинкованные канаты марок С-35, С-50, С-70.

На ВЛ применяют изоляторы (штыревые и подвесные), изготовленные из фарфора или закаленного стекла.

Кабельные линии (КЛ) предусматривают на напряжение до 1 кВ и 6 - 10 кВ. Кабель представляет собой один или несколько изолированных между собой проводников (жил), заключенных в герметичную защитную оболочку. Токоведущие жилы кабеля изготавливают

из меди или алюминия. Изоляция токоведущих жил кабеля выполняют из резины, поливинилхлорида, полиэтилена или специальной бумаги. Оболочки могут быть из свинца, алюминия, резины или поливинилхлорида. Они имеют защитные покровы от коррозии и механических повреждений кабеля. Кабели прокладывают в земляных траншеях, кабельной канализации, кабельных каналах, по кабельным эстакадам, по стенам и перекрытиям зданий.

Электрические подстанции

Электрическая подстанция представляет собой электроустановку, предназначенную для приема, преобразования и распределения электрической энергии. Она состоит из трансформаторов или других преобразователей электрической энергии, устройств управления, распределительных и вспомогательных устройств. Подстанция, в которой стоят повышающие трансформаторы, повышает электрическое напряжение при соответствующем снижении значения силы тока, в то время как понижающая подстанция уменьшает выходное напряжение при пропорциональном увеличении силы тока.

На территориях береговых объектов водного транспорта устанавливаются, как правило, понижающие подстанции для преобразования подводимого по линии электропередачи высокого переменного напряжения в переменное напряжение из установленной шкалы 36, 220, 380, 660 В (для переменного тока частотой 50 Гц). При необходимости электрическая энергия преобразуется, например, по роду тока (постоянный или переменный), по уровню напряжения (например, из высоковольтной в низковольтную) и т.п. с помощью преобразовательных устройств, таких как выпрямители, преобразователи частоты, инверторы и др.

В качестве силовых трансформаторов, например, на шлюзах нашли применение масляные трансформаторы типа ТМ, осуществляющие трансформацию электрической энергии высокого напряжения 6, 10, 35 кВ в напряжение приемников электрической энергии 0,4 кВ. Трансформаторы, как правило, с естественным охлаждением устанавливаются в ячейках специальных помещений, располагающихся в непосредственной близости от приемников. Для изменения выходного напряжения силового трансформатора в процессе эксплуатации на $\pm 5\%$ предусматривается возможность переключения обмоток (допускается переключение только в обесточенном состоянии трансформатора).

Распределительные устройства

Электрическая энергия передается электроприемникам по внутренним электрическим сетям. Определенная схема распределения электрической энергии между приемниками реализуется с помощью распределительных устройств (РУ). Каждое РУ состоит из токоведущих частей, изоляторов и коммутационных аппаратов. В состав электрооборудования РУ входят измерительные трансформаторы тока и напряжения. Управление передачей электроэнергии осуществляется с помощью коммутационных аппаратов: шинных и линейных разъединителей, выключателей нагрузки, масляных выключателей. Электрическая защита в РУ осуществляется с помощью предохранителей и релейных схем, воздействующих на отключающие системы масляных выключателей. Релейные схемы обеспечивают защиты: максимальную токовую, дифференциальную (от замыкания на землю), а также два вида автоматических включений - автоматическое включение резерва на вводе в подстанцию и повторное включение на питающих линиях.

На судоремонтных и судостроительных заводах, в портах и береговых установках подстанции и РУ могут быть внутрицеховыми (расположенными внутри зданий), встроен-

ными (находящимися внутри зданий в отдельных помещениях), пристроенными (т.е. непосредственно примыкающими к зданию), отдельно стоящими (установленными на расстоянии от производственных зданий). Применяются комплектные РУ закрытого типа, в которых в качестве коммутационной и защитной аппаратуры используются электромагнитные аппараты управления. Распределительные силовые шкафы используются для распределения электроэнергии от силового трансформатора по группам электроприемников и отдельным крупным приемникам при напряжениях до 660 В и токах до 630 А.

Примерная схема электроснабжения берегового объекта

Представление о системе электроснабжения берегового объекта можно составить, рассмотрев примерную электрическую схему электроснабжения (рис.) и соответствующий ей план расположения электрооборудования (рис.).

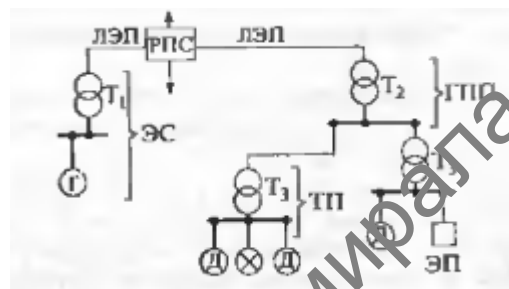


Рис. Схема электроснабжения предприятия

ЭС - электрическая станция; ЛЭП - линии электропередачи; РПС - распределительная подстанция; ГПП - главный приемный пункт; ТП - трансформаторная подстанция,

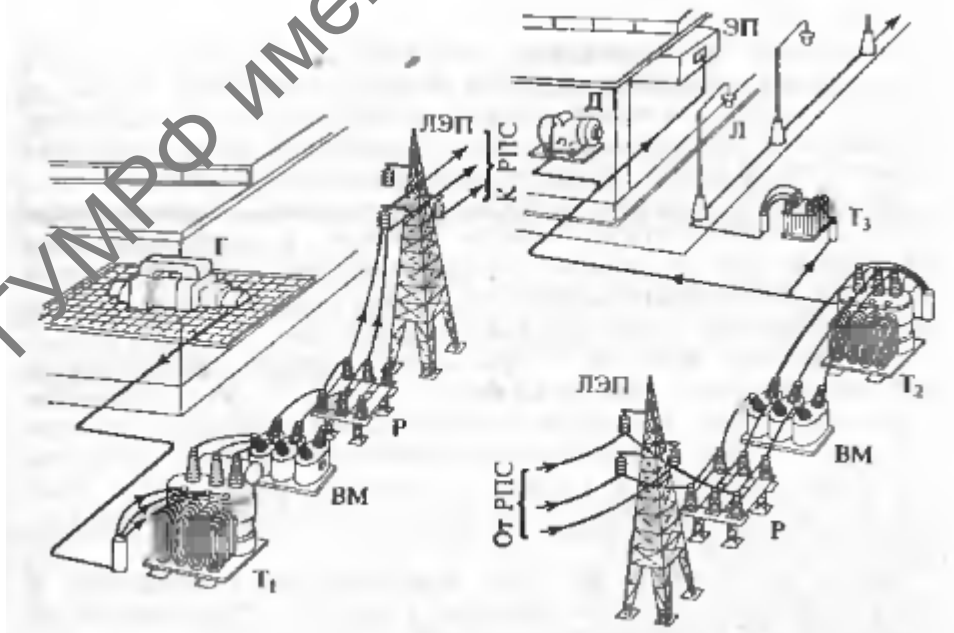


Рис. Схема размещения электрооборудования системы электроснабжения производственного предприятия:

Синхронный генератор Г электрической станции ЭС вырабатывает электроэнергию в виде энергии трехфазной системы тока при напряжении 6 или 10 кВ. С помощью кабеля энергия подается к повышающему трансформатору Т₁, который повышает напряжение до 110, 220, 400, 500, 750 кВ. Энергия высокого напряжения через выключатель ВМ и разъединитель Р по линии электропередачи (ЛЭП) подается на районную распределительную станцию (РПС), откуда по кабелю, разъединителю Р и высоковольтному выключателю ВМ она поступает к понижающему трансформатору Т₂ центрального распределительного пункта (ЦРП) промышленного предприятия. Здесь высокое напряжение понижается до напряжения 6, 10 или 35 кВ и подается на шины распределительного устройства (РУ), а оттуда через соответствующую аппаратуру в цеховой распределительный пункт, где с помощью понижающего трансформатора Т₃ напряжение понижается до 127, 220, 380, 500 или 660 В и подается на шины цехового распределительного пункта и далее к потребителям электроэнергии (электродвигателям Д, электрическим печам ЭП, осветительным приборам Л и т.п.).

ФБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова"

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ

Технологические механизмы шлюза

Электрическая энергия поставляется шлюзу из государственной электрической сети высокого напряжения (6...10 кВ). На местной трансформаторной подстанции электрическое напряжение понижается до 380/220 В. Далее электроэнергия распределяется по различным приемникам электрической энергии, основными из которых по большой суммарной мощности являются электроприводы технологических механизмов.

Основные элементы технологического оборудования шлюза показаны на рисунках на примере однокамерного шлюза с верхними подъемно-опускными воротами (ПОВ) и нижними двустворчатыми воротами (ДСВ).

Шлюз действует по принципу сообщающихся сосудов, используя для подъема и опускания судов энергию гидростатического напора. Главным рабочим органом шлюза, выполняющим собственно транспортировку судов, является *камера* (КШ), которая ограничивается по длине воротами, которые в закрытом положении перекрывают *судходное отверстие* шлюза.

Со стороны верхнего бьефа (ВБ) и нижнего бьефа (НБ) камера сопрягается с массивными «головами» (соответственно с верхней ВГ и с нижней НГ), которые служат для восприятия напора, размещения ворот и механизмов. В теле нижней головы предусмотрены *водопроводные галереи* (ВПГ1 и ВПГ2), сообщающие камеру с нижним бьефом. Для установления этого сообщения (разобщения) служат *затворы* (31 и 32) водопроводных галерей.

Подъемно-опускные ворота приводятся в движение с помощью многодвигательного электропривода (количество электродвигателей может быть от двух до шести). Реализуется три эксплуатационных режима перемещения ворот:

- в положение «наполнение» (ПОВ приподнимаются для наполнения камеры водой их верхнего бьефа);
- в положение «судходное» (ПОВ открываются, т.е. опускаются под воду для пропуска судов через судходное отверстие камеры);
- в положение «рабочее» (ПОВ закрывают судходное отверстие камеры, исключая перетекание воды из верхнего бьефа в камеру шлюза).

При перемещении ПОВ электродвигатели привода через редукторы приводят во вращение звездочки цепных передач (рис. а). Чтобы не произошло заклинивание ПОВ во время движения, перекос ворот (рассогласование положений по вертикали левой и правой кромок ворот) ограничивается определенным значением, например, 40 мм. Управление движением ворот в положение «наполнение» осуществляется по определенной программе, выбираемой по условиям безопасности отстоя судов в камере шлюза.

Створки двустворчатых ворот приводятся в движение двухдвигательным электроприводом. Движение от двигателя передается створке с помощью механической передачи, в составе которой предусматривается редуктор и, часто, кривошипно-штанговый механизм (рис. б). Кромки створок (створные столбы) ДСВ профилированы (рис. в). Этим обусловлена необходимость точного согласования движения створок при створении ДСВ в конце выполнения технологической операции закрытия ворот.

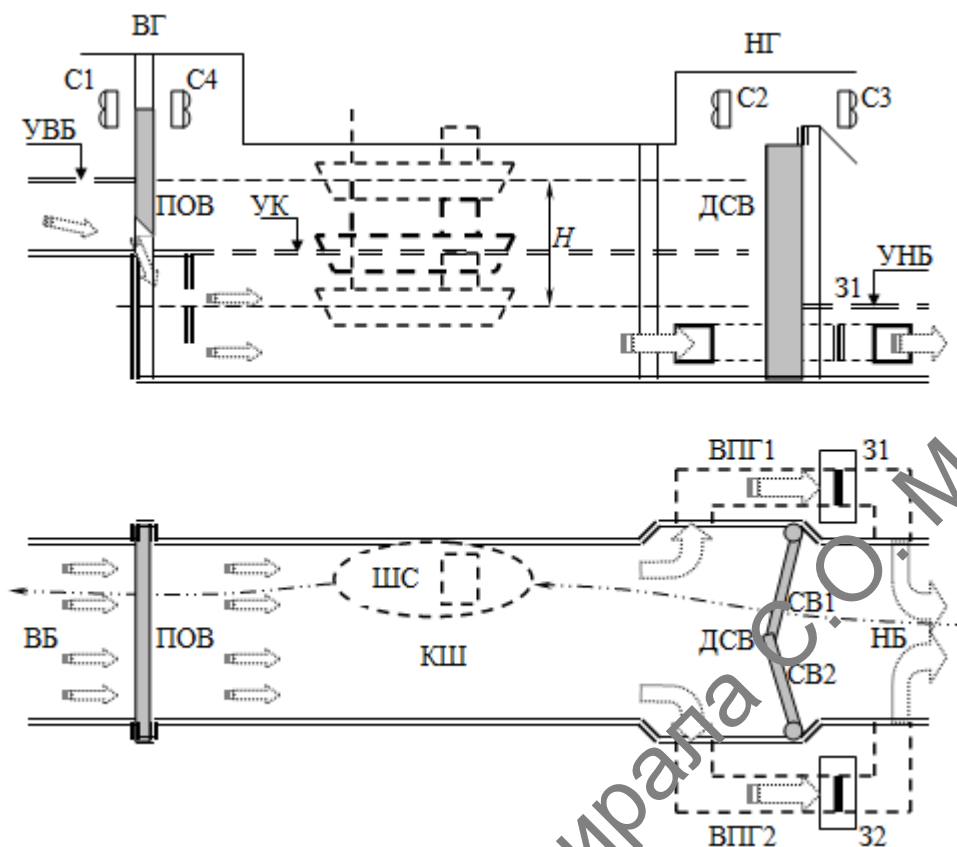


Рис. Однокамерный шлюз с верхними подъемно-опускными и нижними двустворчатыми воротами

ВГ - верхняя голова шлюза; НГ - нижняя голова шлюза; КШ - камера шлюза; ВБ - верхний бьеф, НБ - нижний бьеф; ШС - шлюзующееся судно; ПОВ - подъемно-опускные ворота; ДСВ - двустворчатые ворота; СВ1, СВ2 - створки двустворчатых ворот; ВПГ1, ВПГ2 - водопроводные галереи; 31, 32 - затворы водопроводных галерей; С1...С4 - светофоры; УВБ - уровень верхнего бьефа; УНБ - уровень нижнего бьефа; УК - уровень воды в камере шлюза; H - перепад уровней верхнего и нижнего бьефа

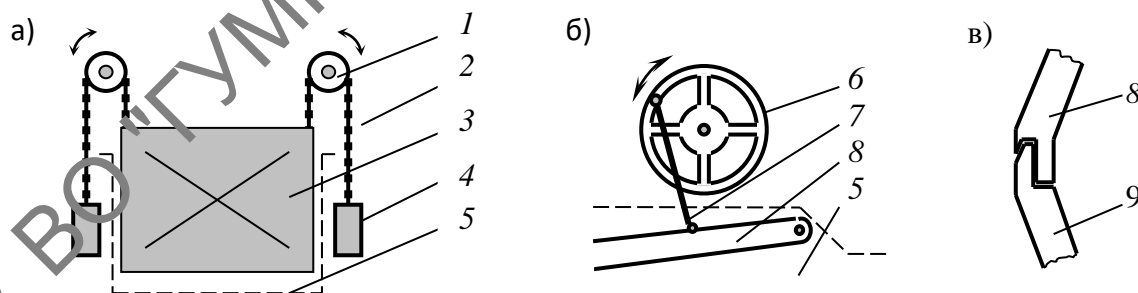


Рис. Элементы механического оборудования шлюза: подъемно-опускные ворота (а); кривошипно-штанговый механизм (б); створки ворот в закрытом положении (в)

1 - звездочка; 2 - цепь; 3 - полотно подъемно-опускных ворот; 4 - противовес; 5 - судходное отверстие камеры; 6 - приводное колесо кривошипно-штангового механизма; 7 - штанга; 8, 9 - створки двустворчатых ворот

Эксплуатационными положениями ДСВ являются::

- «судоходное» - ворота открыты (суда могут выходить из камеры в нижний бьеф или входить в камеру из нижнего бьефа);
- «рабочее» - ворота закрыты (они отделяют камеру от нижнего бьефа, исключая перетекание воды из камеры в нижний бьеф).

Для сброса воды из камеры шлюза в нижний бьеф применяются водопроводные галереи, проходные отверстия которых перекрываются затворами, когда не требуется проводить сброс воды из камеры. Для рассматриваемого примера шлюза затвор подобен полотну ПОВ. Он приводится в движение с помощью звездочек и цепей, как показано на рис (а). Обычно затвор открывается (поднимается вверх) на малой скорости, чтобы обеспечить безопасный отстой судов в камере шлюза. В целях повышения безопасности могут использоваться технологические операции первого приспуска затворов или определенный график подъема затворов. Второй приспуск вводится для сокращения времени выполнения закрытия затворов, при совмещении операций ввода в шлюз и выхода судов из шлюза с частичным спуском затворов.

Требования к электрооборудованию и системам управления электроприводов шлюза

Электрическое оборудование на шлюзах работает в электрических условиях, отличающихся повышенной влажностью и большими колебаниями температуры. Поэтому к электрооборудованию предъявляются высокие требования к числу которых относятся:

- высокая надежность и постоянная готовность к работе;
- возможность дистанционного, а в необходимых случаях автоматического управления;
- обеспечение заданного технологического режима работы;
- полная безопасность обслуживания;
- высокая экономичность.

К электрооборудованию шлюзов, как объектов повышенной опасности, оснащенных разнообразным и сложным силовым и информационным электрооборудованием, предъявляются следующие дополнительные требования:

- обязательное расположение постов управления, при котором обеспечивается хороший обзор рабочих машин и шлюза в целом;
- возможность регулирования скорости механизмов в диапазоне 15:1 - 20:1, необходимо для плавного разгона и торможения, а также для получения различных скоростей установившегося движения;
- автоматическое снижение скорости при подходе рабочей машины к конечному положению в выполняемой операции и точная остановка в требуемой позиции;
- обеспечение бесперекосного движения рабочих машин;
- выполнение заданной последовательности технологических операций по соответствующей команде;
- гарантированность безопасности работы шлюза за счет применения необходимых блокировок электрооборудования;
- резервирование технических средств, обеспечивающее безопасное завершение операции при выходе из строя отдельных элементов системы.

Электроприводы подъемно-опускных ворот

Привод подъемно-опускных ворот (ПОВ) осуществляет перемещение ворот в вертикальной плоскости. В нормальных эксплуатационных режимах ПОВ перемещаются в положение «судоходное» (ворота открыты) и в положение «рабочее» (ворота закрыты). ПОВ, как правило, используются также для выполнения операции наполнения камеры водой из верхнего бьефа (так называемое головное наполнение камеры). В операции «наполнение» ПОВ поднимаются на небольшую величину с малой скоростью под напором. Для выполнения этих эксплуатационных режимов перемещения ПОВ с различными скоростями электропривод должен обеспечивать диапазон скоростей 20:1 - 25:1.

Поскольку ворота подвешены в двух крайних точках полотна ворот на цепях, и каждая из двух цепей приводится в движение «своим» электродвигателем привода ПОВ, необходимо, чтобы привод обеспечивал перемещение ПОВ без перекоса. Перекос в 60 мм считается недопустимым. При таком перекосе перемещение ПОВ должно быть приостановлено и должны быть приняты меры к устранению перекоса.

Необходимое перемещение ПОВ без перекоса обычно реализуется за счет синхронизации вращения рабочих электродвигателей привода ПОВ. С этой целью применяются специальные схемы включения электродвигателей и замкнутые системы управления с обратными связями по положению внешних кромок ворот. В табл. 1 на структурных схемах показаны основные силовые элементы используемых до настоящего времени электроприводов ПОВ (не показаны аппараты коммутации и защиты, тормозы и другие второстепенные элементы). Электродвигатели получают питание от внутренней трехфазной сети шлюза напряжением U (380/220 В).

Многодвигательный привод с электрическим валом и дифференциальным редуктором (см. поз. 1 в табл. 1) - широко распространенная ранее электромеханическая система, относящаяся к числу первых появившихся на отечественных шлюзах (канал имени Москвы).

Для получения малой скорости движения ПОВ при перемещении в положение «наполнение» используются двигатели $M_{м1}$ и $M_{м2}$ (так называемые «малые» двигатели). Они передают движение ПОВ через дифференциальные редукторы $R_{д1}$, $R_{д2}$ с большим передаточным отношением. Эти двигатели включены по схеме с самосинхронизацией, благодаря соединению между собой фазных обмоток роторов с нагрузочным резистором R . Синхронизация скоростей вращения двигателей способствует перемещению ПОВ без перекоса.

Большие скорости ПОВ при перемещении в положение «судоходное» (открытие ворот) и в положение «рабочее» (закрытие ворот) реализуются при включении основных двигателей M_1 , M_2 большей мощности, чем $M_{м1}$ и $M_{м2}$. Каждый из этих двигателей механически соединен с так называемым синхронизирующим электродвигателем: M_1 с $M_{с1}$, M_2 с $M_{с2}$. Тем самым образуется «электрический вал», т.к. фазные обмотки роторов синхронизирующих двигателей соединены между собой встречно. Этим достигается синхронизация скоростей вращения основных двигателей M_1 и M_2 и недопущение перекоса ПОВ при перемещении ворот. Если по какой-либо причине все же возник предельный перекос ПОВ, то все двигатели останавливаются, и перекос устраняется путем включения одного из малых электродвигателей, т.е. перемещением одной из сторон полотна ворот.

Силовые элементы электроприводов подъемно-опускных ворот
с механическими передачами

1	<p>Многодвигательный привод с электрическим валом и дифференциальными редукторами: M1, M2 - основные двигатели; Mм1, Mм2 - малые двигатели; Mc1, Mc2 - синхронизирующие двигатели; R - резистор; Рд1, Рд2 - дифференциальные редукторы</p>	
2	<p>Многодвигательный привод с электрическим валом и фрикционными муфтами сцепления: M1, M2 - основные двигатели; Mм1, Mм2 - малые двигатели; Mc1, Mc2 - синхронизирующие двигатели; R - резистор; P1, P2, P3, P4 - редукторы; Мф1, Мф2 - фрикционные муфты</p>	
3	<p>Многодвигательный привод с электрическим валом и частотным регулированием: M1, M2 - основные двигатели; Mc1, Mc2 - синхронизирующие двигатели; G - генератор; Мг - приводной двигатель генератора G; P1, P2 - редукторы</p>	
4	<p>Электрический привод с управляемыми дросселями (реакторами): M1, M2 - основные двигатели; A1, A2 - управляемые дроссели (реакторы); P1, P2 - редукторы</p>	
5	<p>Электрический привод с "тиристорным управлением": M1, M2 - основные двигатели; Ав1, Ав2 - асинхронные вентиляные каскады; T1, T2 - согласующие трансформаторы; P1, P2 - редукторы</p>	

Многодвигательный привод с электрическим валом и дифференциальным редуктором электропривод имеет релейно-контакторную систему управления. Он показал высокую надежность при эксплуатации. Однако, сложные по конструкции и в эксплуатации дифференциальные редукторы, большое количество электрических машин (их шесть), а также ограниченные возможности гибкого управления перемещением ПОВ и некоторые другие причины побудили создание электроприводов ПОВ без дифференциальных редукторов и с улучшенными характеристиками.

Электрический привод с электрическим валом и фрикционными муфтами сцепления (см. поз. 2 в табл. 1) не содержит дифференциальных редукторов - каждый из них заменен на два цилиндрических редуктора. Малая скорость движения ПОВ обеспечивается редукторами Р3 и Р4 с большим передаточным отношением. Порядок работы электродвигателей в операциях перемещения ПОВ остался прежним. Двигатели Мм1 и Мм2 включаются в кинематическую цепь привода с помощью дистанционно управляемых фрикционных муфт Мф1 и Мф2. Эти приводы распространены на шлюзах ВДСК.

Многодвигательный привод с электрическим валом и частотным регулированием (поз. 3 в табл. 1) отличается тем, что малые электродвигатели исключены. Перемещение ПОВ в положение «наполнение» выполняют синхронизирующие двигатели Мс1 и Мс2, которые в этом случае включаются по схеме двойного питания при использовании асинхронного генератора G с приводным двигателем М3. Привод разработан Московским заводом «Динамо», поставлен на канал имени Москвы, на Новослободский шлюз.

Электрический привод с управляемыми дросселями (поз. 4 в табл.1) разработан заводом «Динамо» в содружестве с Ленинградским политехническим институтом и рядом других организаций и был впервые поставлен на шлюз ВБВП. В основу разработок этого электропривода было положено авторское предложение профессора, д.т.н. Сабина Ю.А. по следящей системе с управляемыми дросселями.

В приводе предусмотрены асинхронные двигатели М1 и М2 с фазным ротором и пусковые резисторы в цепи ротора. В цепи статоров включены рабочие обмотки управляемых дросселей А1, А2 (дросселей с подмагничиванием). Обмотки управления дросселей получают управляющие сигналы в виде регулируемого напряжения. Оно содержит две составляющие: задающее напряжение от внешнего источника постоянного тока и напряжение обратной связи, снимаемого с тахогенератора, который контролирует скорость вращения двигателя. С помощью задающего напряжения можно изменять скорость вращения двигателя в процессе работы привода, т.к. при изменении задающего напряжения изменяется также напряжение (переменное), подводимое к статорной обмотке двигателя. Тем самым реализована замкнутая по скорости следящая система управления электропривода. Чтобы ПОВ перемещались без перекося, предусматривается согласование скоростей вращения двигателей М1 и М2. Для этого применяются сельсины, которые контролируют положение каждой из сторон полотна ПОВ. Выходные сигналы сельсинов используются для изменения напряжения, подводимого к обмотке возбуждения каждого тахогенератора. Таким образом изменяется крутизна характеристики управления тахогенератора, и, следовательно, изменяется сигнал обратной связи по скорости, что приводит к уменьшению и к устранению перекося ПОВ.

Этот электропривод имеет минимальное количество электродвигателей (два) и предоставляет возможность плавного регулирования скорости вращения двигателей внутри отдельных операций перемещения ПОВ. В сравнении с ранее рассмотренными электроприводами ПОВ, электропривод с управляемыми дросселями имеет сложную систему управления, требующую точной настройки и высококвалифицированного обслуживания.

Электрический привод с тиристорным управлением (поз. 5 в табл. 1) получил такое название из-за того, что управление скоростью вращения электродвигателей М1 и М2 с фазным ротором производится путем управления отпиранием тиристорov в инверторах асинхронных вентильных каскадах Ав1 и Ав2. Электропривод опробован в эксплуатации на шлюзах канала имени Москвы, Волжского бассейнового управления пути и на ВДСК.

Система управления электропривода имеет обратные связи по скорости вращения электродвигателей. В ней предусматривается коррекция угла отпирания тиристорov в зависимости от перекоса ПОВ по сигналам от датчиков положения кромок полотна ворот, что обеспечивает перемещение ПОВ в пределах допустимого перекоса.

ФБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова"

Электроприводы двустворчатых ворот

Привод двустворчатых ворот (ДСВ) осуществляет угловое перемещение створок ворот относительно их вертикальных осей вращения. В нормальных эксплуатационных режимах привод перемещает створки из положения «судоходное» (ворота открыты) в положение «рабочее» (ворота закрыты) и в обратном направлении, открывая ворота. При закрытии ДСВ для их правильного створения реализуется программное управление движением створок. Одна из программ основана на следующем алгоритме (рис. над табл. 2).

Створки СВ1 и СВ2 приводятся в движение одновременно при включении в работу электропривода ДСВ. Когда между створными столбами остается небольшое расстояние (порядка 1,5 м) в позициях *a* и *b*, створка СВ2 останавливается, а створка СВ1 продолжает движение до позиции *c* и останавливается, немного не дойдя до положения створа. Створка СВ2 возобновляет движение. Когда она коснется створки СВ1, находящейся в положении *c* (для установления этого касания на створке установлен специальный кронштейн с путевым выключателем), обе створки доводятся электроприводом до конечного положения правильного створения.

Недостаток такой программы закрытия ПОВ обнаруживается при неблагоприятных метеороусловиях, например, при сильном ветре определенного направления и волнении, когда оказывается тяжелым пуск двигателя привода створки СВ2 после того, как она была остановлена в положении *a*. Этот недостаток устранен в программе, основанной на другом алгоритме управления движением створок. Он сводится к следующему.

Вначале закрытия ДСВ перемещается только створка СВ1, а затем через некоторое время начинает движение створка СВ2. Поэтому по углу поворота СВ2 отстает от СВ1. Створка СВ1 доходит до положения *c* и останавливается. Через некоторый промежуток времени с ней в касание входит створка СВ2, и обе створки доводятся электроприводом до правильного положения створа. Эта программа закрытия ДСВ может не обеспечить правильного створения ПОВ, если угловая скорость створки СВ2 по тем или иным причинам значительно превышает угловую скорость створки СВ1.

В табл. 2 на структурных схемах показаны основные силовые элементы используемых до настоящего времени электроприводов ДСВ (не показаны аппараты коммутации и защиты, тормозы и другие второстепенные элементы). Электродвигатели получают питание от внутренней трехфазной сети шлюза напряжением U (380/220 В). Отдельно на рис. приведена упрощенная структурная схема электрогидравлического привода, который в настоящее время получает распространение при реконструкции действующих шлюзов и при строительстве новых шлюзов для ПОВ, ДСВ и затворов водопроводных галерей.

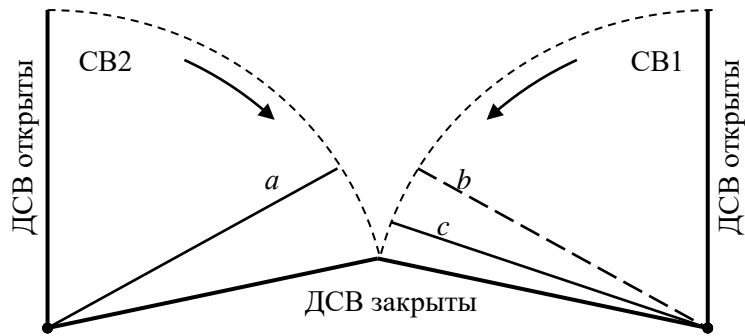


Рис. Диаграмма последовательности остановок створок при программном управлении закрытием двусторчатых ворот

Таблица 2

Электроприводы двусторчатых ворот с механическими передачами

1	<p>Привод с асинхронными двигателями без регулирования скорости движения: M1, M2 - основные двигатели; P1, P2 - редукторы</p>	
2	<p>Привод с асинхронными фазными двигателями с регулированием скорости изменением сопротивления цепи ротора: M1, M2 - основные двигатели; P1, P2 - редукторы; R1, R2 - резисторы</p>	
3	<p>Электрический привод с тормозными генераторами: M1, M2 - основные двигатели; Gт1, Gт2 - тормозные генераторы; P1, P2 - редукторы</p>	
4	<p>Электрический привод с "тиристорным управлением": M1, M2 - основные двигатели; Ав1, Ав2 - асинхронные вентиляционные каскады; T1, T2 - согласующие трансформаторы; P1, P2 - редукторы</p>	

Привод с асинхронными двигателями М1, М2 с короткозамкнутым или с фазным ротором *без регулирования скорости* (поз.1 в табл. 2) может быть успешно применен, если в составе механической передачи привода кроме редукторов Р1, Р2 используется кривошипно-штанговый механизм (КШМ). Такой механизм имеет передаточное отношение, которое зависит от угла поворота створки. Вблизи предельных эксплуатационных положений створки, когда ДСВ открываются или закрываются, с помощью КШМ возможно получить (при соответствующей конструкции и расположении КШМ) сколь угодно большие передаточные отношения механической передачи в целом. Такая возможность позволяет обеспечить слабую зависимость скорости углового движения створки от скорости вращения двигателя привода. Это важно, например, для безударного створения ДСВ, т.к. скорость створки при подходе ее к предельному положению неизбежно снижается до малого значения.

Привод с асинхронными фазными двигателями с регулированием скорости изменением сопротивления цепи ротора (поз. 2 в табл. 2) широко применяется на шлюзах. Путем изменения сопротивлений R1 и R2 снижается скорость вращения электродвигателей М1 и М2 и, соответственно, скорость углового движения створок при их подходе к предельным эксплуатационным положениям. Скорости снижаются при пуске и остановке электродвигателей до значений, при которых не возникают недопустимые нагрузки в механической части электропривода.

Электрический привод с тормозными генераторами (поз.3 в табл. 2) имеет более жесткие механические характеристики по сравнению с рассмотренными ранее электроприводами ДСВ. Это важно для стабилизации малых скоростей движения створок, чтобы избежать неправильного створения ДСВ и ударов створок из-за несвоевременного включения тормозов. Например, при повышенной скорости створки (из-за мягкой механической характеристики привода) включение тормоза по сигналу от путевого выключателя может привести к сильному соударению створок, а при пониженной скорости - к неполному створению ворот.

Тормозной генератор Гт1 (Ст2) может быть отдельной электрической машиной постоянного или переменного тока, навешенной на вал приводного двигателя М1 (М2). Тормозной генератор является дополнительной нагрузкой для двигателя. Механическая характеристика такой системы с включенным генератором представляет собой кривую, полученную при различных скоростях вращения сложением моментов приводного двигателя и тормозного генератора. Изменением сопротивления цепи ротора асинхронного двигателя или тока возбуждения тормозного генератора получают различные по жесткости и пограничной скорости вращения характеристики системы.

Электропривод ДСВ с тормозными генераторами получил ограниченное применение из-за большого количества электрических машин (их четыре), а значит, из-за повышенного веса и габаритов установки.

Электрический привод с тиристорным управлением ДСВ (поз. 4 в табл. 2) по составу и принципу действия такой же, как аналогичный привод ПОВ (см. поз. 5 в табл. 1). Такой привод нашел на судоходных шлюзах широкое применение как экономичный, высоконадежный, плавно и широко регулируемый бесконтактный электропривод для ПОВ, ДСВ и затворов водопроводных галерей.

Электроприводы затворов водопроводных галерей

Привод затворов водопроводных галерей осуществляет перемещение затворов в вертикальной плоскости. Механические передачи привода затворов показаны в упрощенном виде на следующем рисунке (рис.).

При открытии затворов З1 и З2 они перемещаются вверх с небольшой скоростью работающими двигателями М1 и М2, чтобы вода из камеры перетекала в нижний бьеф по водопроводным галереям. Обычно текущее положение затворов синхронизируется в целях обеспечения безопасного отстоя судов в камере шлюза и уменьшения размыва грунта в нижнем бьефе у шлюза. Закрываются затворы на большой скорости, чтобы не затягивать продолжительность шлюзования судов (повышается пропускная способность шлюза).

Некоторые из используемых по настоящее время электроприводов затворов водопроводных галерей представлены в упрощенном виде в табл. 3.

Привод с асинхронными фазными двигателями без синхронизации (поз.1 в табл. 3) является одним из наиболее ранних и достаточно широко распространенных на наших шлюзах.

При открытии затворов двигатели М1 и М2 работают с введенными в цепи роторов сопротивлениями R1 и R2, т.е. с небольшой скоростью вращения. При закрытии затворов сопротивления R1 и R2 выведены из цепи роторов, и скорость вращения М1 и М2 большая. Некоторое согласование скоростей электродвигателей и перемещений затворов достигается применением одинаковых двигателей М1 и М2 и подстройкой их характеристик.

Привод с асинхронными фазными двигателями с самосинхронизацией (поз 2 в табл. 3) реализует синхронизацию скоростей вращения двигателей М1 и М2 при открытии затворов, когда они перемещаются с малой скоростью. В операции закрытия затворов электрическая связь между фазными обмотками роторов двигателей отключена. Двигатели при этом работают на естественных характеристиках, обеспечивая большую скорость вращения и опускания затворов. Возможность плавного управления скоростью электродвигателей в таком электроприводе существенно ограничена в режиме самосинхронизации.

Привод с двухскоростными асинхронными двигателями (поз. 3 в табл. 3) прост и надежен. В нем применяют специальные полюсопереключаемые электродвигатели, которые, как правило, с короткозамкнутым ротором и поэтому не могут обеспечить плавное регулирование частоты вращения и удовлетворительное протекания динамических режимов работы. Электропривод не получил распространения на судоходных шлюзах.

Электропривод с управляемыми дросселями (реакторами) (поз.4 в табл. 3) дает возможность гибкого управления скоростью электродвигателей М1 и М2 и спокойного опорожнения камеры шлюза и отстоя в ней судов. Для шлюзов ББК реализуемый приводом диапазон скоростей составляет 6:1. Вместо управляемых дросселей применяют и магнитные усилители. Привод надежен и обеспечивает необходимые скорости перемещения затворов.

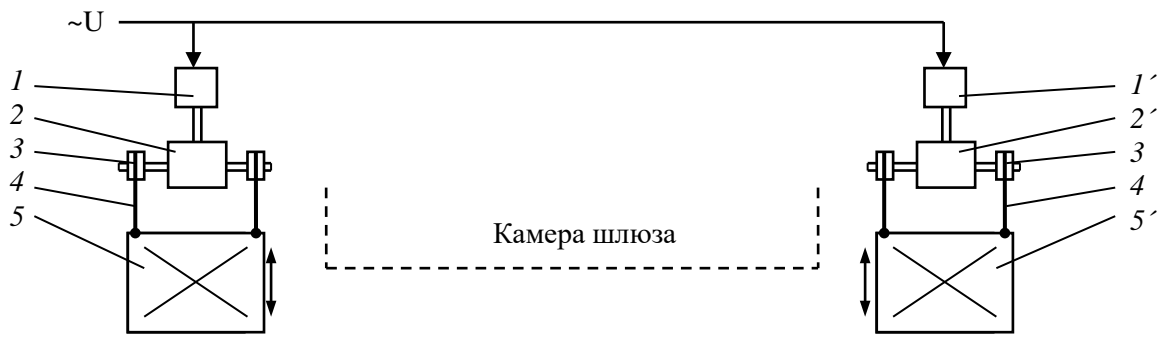


Рис. Механические передачи электропривода затворов водопроводных галерей:
 1 (1') - электродвигатель M1 (M2); 2 (2') - редуктор P1 (P2); 3 - звездочки;
 4 - цепи; 5 (5') затвор 31 (32)

Т а б л и ц а 3

Электроприводы затворов водопроводных галерей

1	<p>Привод с асинхронными фазными двигателями без синхронизации: M1, M2 - основные двигатели; P1, P2 - редукторы; R1, R2 - резисторы</p>	
2	<p>Привод с асинхронными фазными двигателями с самосинхронизацией: M1, M2 - основные двигатели; P1, P2 - редукторы; R1, R2 - резисторы</p>	
3	<p>Привод с двухскоростными асинхронными двигателями: M1, M2 - двухскоростные двигатели; P1, P2 - редукторы</p>	
4	<p>Электрический привод с управляемыми дросселями (реакторами): M1, M2 - основные двигатели; A1, A2 - асинхронные двигатели; P1, P2 - редукторы</p>	

Электродвигатели приводов основных механизмов шлюза

Электродвигатели приводов основных механизмов шлюза (ворот и затворов) являются основными приемниками электрической энергии шлюза. Применяются электродвигатели мощностью от единиц киловатт до сотен киловатт.

Условия работы приводных двигателей отличаются резкими колебаниями температуры окружающей среды, высокой влажностью воздуха и, в большинстве случаев, переменным характером нагрузки. Поэтому, как правило, применяются электродвигатели специальных серий, имеющие лучшую защиту от воздействий окружающей среды и допускающие более тяжелые условия работы. Повышение работоспособности электродвигателей обеспечивается конструкцией корпуса (защищенный - IP10, брызгозащищенный - IP44, защищенный от водных струй - IP55 и др.) и придания им соответствующих электромеханических параметров.

На шлюзах применяют электродвигатели специальных серий - крановые электродвигатели серий МТФ (асинхронные с фазным ротором), МТКФ (асинхронные с короткозамкнутым ротором) и металлургические электродвигатели МТН и МТКН, а также двигатели постоянного тока серии Д и их модификации, которые допускают температуру перегрева изоляции для класса F до 100°C и для класса H до 125°C. По механической прочности они допускают до 1500 включений в час и кратковременное повышение угловой скорости в 2,5 - 3,5 раза по сравнению с номинальной скоростью вращения. Эти двигатели могут использоваться в различных временных режимах работы.

Электродвигатели общепромышленного назначения имеют ограниченное применение, т.к. они менее надежны в эксплуатации, обладают меньшей перегрузочной способностью (способностью преодолевать перегрузки).

Перегрузочную способность определяют по моменту и по току, соответственно:

$$\lambda_M = \frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}} \quad \text{и} \quad \lambda_I = \frac{I_{\max}}{I_{\text{ном}}},$$

где M_{\max} , $M_{\text{ном}}$ - соответственно максимальный и номинальный моменты двигателя. I_{\max} , $I_{\text{ном}}$ - максимальный и номинальный токи.

Перегрузочная способность электродвигателей переменного тока ограничивается значением максимального или критического момента и составляет 2,0 - 3,5. Нижний предел относится к синхронным двигателям и асинхронным двигателям с короткозамкнутым ротором, а верхний предел - к двигателям с фазным ротором.

Перегрузочная способность электродвигателей постоянного тока ограничивается условиями безыскровой коммутации и составляет 2,5 - 4,0. Нижний предел перегрузочной способности относится к двигателям с параллельным возбуждением, а верхний к двигателям с последовательным возбуждением. У двигателей с последовательным и смешанным возбуждением перегрузочная способность по моменту выше, чем перегрузочная способность по току из-за усиления магнитного потока от действия последовательной обмотки.

Свойство электродвигателей обеспечивать определенную продолжительность динамического режима или переходного режима - динамическая способность зависит от электромеханической постоянной времени. Для приводов ворот и затворов считается целесообразной продолжительность пуска 2 - 4 с.

Способность электродвигателя работать при определенных нагрузках, не перегреваясь сверх допустимого предела, определяется тепловой способностью двигателя. Нагрев двигателя влияет на состояние изолирующих материалов в его конструкции. Обеспечение пра-

вильного теплового режима работы двигателя имеет очень большое значение, т.к. повышение температуры изоляции на каждые 10°C сокращает ее срок службы, а значит, и срок службы двигателя примерно вдвое.

Режим работы электродвигателей приводов на шлюзе, как правило, кратковременный и циклический. Продолжительность цикла может составлять 30 - 60 минут. Продолжительность работы двигателя в цикле до 6 минут.

Механическая энергия от электродвигателя передается механизму по кинематической цепи привода, в составе которой на шлюзах применяют цилиндрические (в том числе дифференциальные) и червячные редукторы, а также открытые зубчатые передачи. Требуемая скорость движения механизма обеспечивается необходимым для этого передаточным отношением кинематической цепи. Например, если ω_1 - скорость вращения электродвигателя и ω_2 - скорость вращения звездочки механической передачи привода ПОВ, или затвора водопроводной галереи, или же приводного колеса кривошипно-штангового механизма привода ДСВ, то передаточное отношение

$$i = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

для указанных элементов кинематической цепи является постоянной величиной с определенным значением для каждого привода. Исключение составляет кривошипно-штанговый механизм привода ДСВ, у которого передаточное отношение зависит от угла поворота створки ворот.

В большинстве электроприводов требуемые разные скорости механизма создаются путем изменения скорости вращения рабочих двигателей, т.е. путем соответствующего управления электродвигателями, реализуемого системой управления электропривода.. Такие возможности предусмотрены в системах управления электроприводов ПОВ, ДСВ и затворов водопроводных галерей. Исключение составляет быть может один из первых примененных для ДСВ электроприводов с асинхронными двигателями без регулирования скорости движения (поз. 1 в табл. 2).

Специальные схемы включения электродвигателей

Для синхронизации скоростей вращения электродвигателей, особенно актуальной для ПОВ, чтобы избежать перекося ворот, в некоторых электроприводах (поз. 1, 2, 3 в табл. 1; поз. 2 в табл. 3) используются специальные схемы включения электродвигателей:

- схема «электрический вал» (рис.);
- схема «самосинхронизация двигателей» (рис.);
- схема «двойное питание двигателей» (рис.)

Принцип синхронизации первых двух схем заключается в возникновении синхронизирующего момента ΔM при протекании уравнивающего тока обмоток роторов двигателей. Фазные обмотки роторов двигателей включаются встречно, а сами эти двигатели с фазными роторами выбираются с одинаковыми характеристиками. Поэтому в идеальном случае механические характеристики двигателей совпадают на графике.

Для схемы «электрический вал» двигатели $M_{с1}$, $M_{с2}$ называют синхронизирующими двигателями. Каждый из них механически соединен с рабочим двигателем $M1$, $M2$ и получает вращение от своего рабочего двигателя. Роль синхронизирующего двигателя в этом случае заключается в создании только синхронизирующего момента ΔM , когда нагрузки M_{M1} , M_{M2} рабочих двигателей $M1$ и $M2$ различаются, например, как показано на рисунках. Благодаря синхронизирующему моменту ΔM двигатели вращаются согласованно с одинаковой скоростью ω_c . Если отключить синхронизацию, например, разорвав цепь роторов синхронизирующих двигателей, то рабочие двигатели $M1$ и $M2$ будут вращаться с разными скоростями, соответственно ω_1 и ω_2 (соответствующие точки выделены на механической характеристике).

Уравнивающий ток, протекающий по фазным обмоткам двигателей, и, соответственно, синхронизирующий момент ΔM можно получить тем большим, чем больше скольжение s двигателя. Поэтому схема «электрический вал» обычно выполняется такой, чтобы ротор синхронизирующего двигателя вращался против магнитного поля, созданного обмоткой статора двигателя. В этом случае $s > 1$.

В схеме «самосинхронизация двигателей» двигатели $M1$ и $M2$ выполняют одновременно функции рабочих двигателей и синхронизирующих двигателей. Для этой схемы обязательно $s < 1$. Чтобы получить ΔM порядка 10 - 15% номинального момента двигателя необходимо, чтобы скольжение s составляло не менее 20 - 25%. Поскольку согласованное вращение ($\omega_1 = \omega_2 = \omega_c$) для такой схемы достигается при значительном скольжении, использование этой схемы приводит к значительным потерям энергии. Вследствие этих причин (незначительный синхронизирующий момент и большие потери энергии) данная схема имеет ограниченное применение.

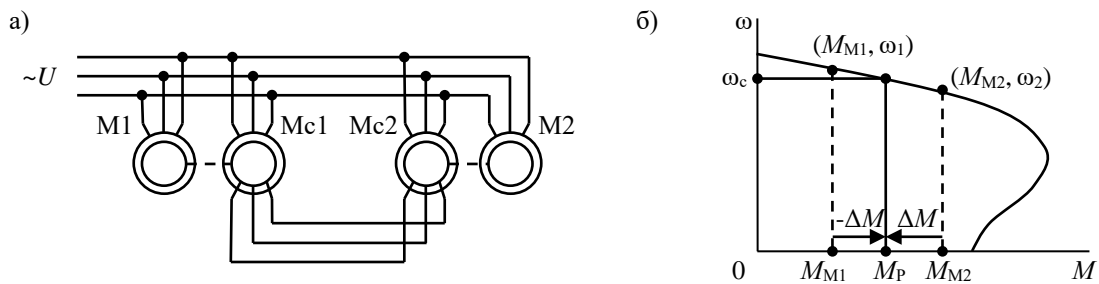


Рис. Схема «электрический вал» (а), механическая характеристика привода (б):
 M1, M2 - рабочие двигатели; Mc1, Mc2 - синхронизирующие двигатели; ΔM - синхронизирующий момент; ω_c - синхронизированная скорость вращения двигателей

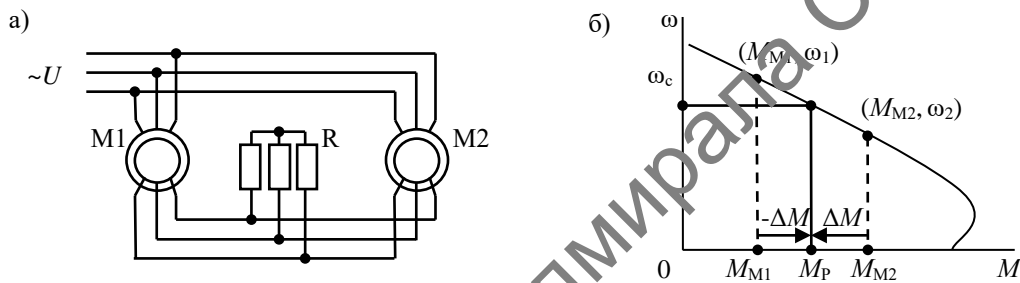


Рис. Схема «самосинхронизация двигателей» (а), механическая характеристика привода (б):
 M1, M2 - рабочие двигатели; ΔM - синхронизирующий момент; R - резистор;
 ω_c - синхронизированная скорость

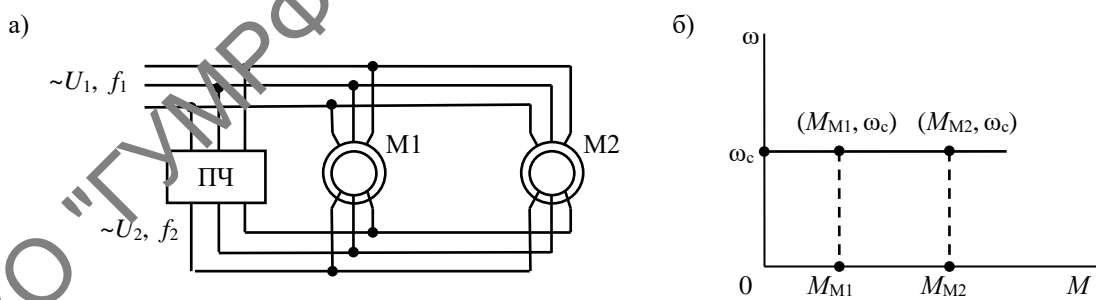


Рис. Схема «двойное питание двигателей» (а), механическая характеристика привода (б):
 M1, M2 - рабочие двигатели; ПЧ - преобразователь частоты; ω_c - синхронизированная скорость вращения двигателей

Схема «двойное питание двигателей» (рис.) содержит в своем составе преобразователь частоты (ПЧ) кроме электродвигателей с фазным ротором. Как и в предыдущих схемах применяются электродвигатели М1 и М2 с одинаковыми характеристиками. Согласованное вращение двигателей с одинаковыми скоростями $\omega_1 = \omega_2 = \omega_c$ происходит из-за того, что при питании двигателя со стороны статора U_1, f_1 и со стороны ротора U_2, f_2 от ПЧ с разными частотами $f_2 \neq f_1$ асинхронный двигатель приобретает свойства синхронного двигателя, который имеет сверхжесткую механическую характеристику, и

$$\omega_c = \frac{2\pi}{p} (f_1 - f_2),$$

где p - количество пар полюсов двигателя.

Электрогидравлические приводы

Электрогидравлический привод (ЭГП) - электропривод с гидропередачей. Такой электропривод стали применять на шлюзах с начала 60-х годов прошлого века. Его применение расширяется. По сравнению с многодвигательным электроприводом он имеет меньший вес и габариты на единицу мощности, обладает хорошей перегрузочной способностью и позволяет сравнительно простыми средствами обеспечить плавное регулирование скорости движения ПОВ, ДСВ или затворов водопроводных галерей с помощью достаточно простой системы управления. Структура ЭГП отображена на рис.

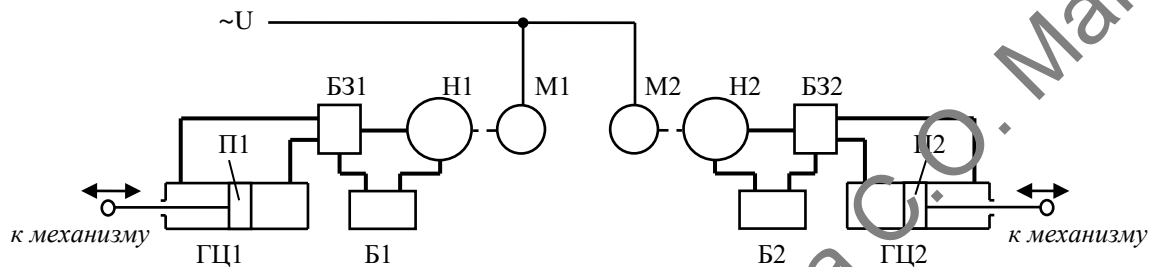


Рис. Упрощенная структурная схема силовой части электрогидравлического привода:
М1, М2 - электродвигатели; Н1, Н2 - насосы; БЗ1, БЗ2 - блок золотников; Б1, Б2 - баки;
ГЦ1, ГЦ2 - главные цилиндры; П1, П2 - поршни главных цилиндров

Механическая энергия от электродвигателя М1 (М2) передается рабочему механизму (ПОВ, ДСВ или затвору водопроводной галереи) с помощью гидравлической передачи, включающей в свой состав насос Н1 (Н2), блок золотников БЗ1 (БЗ2), главный цилиндр ГЦ1 (ГЦ2). С помощью насоса рабочая жидкость - масло подается под давлением из бака Б1 (Б2) в гидросистему и направляется золотниками БЗ1 (БЗ2) в определенную полость рабочего цилиндра ГЦ1 (ГЦ2) слева или справа от поршня П1 (П2). Из полости цилиндра по другую сторону от поршня масло сливается в бак по магистрали, открытой золотником. Этот процесс сопровождается перемещением поршня, который, в свою очередь, с помощью соединенной с ним штанги приводит в движение механизм шлюза.

Управление скоростью и направлением перемещения поршня и, следовательно, движением механизма шлюза обычно реализуется с помощью управляющих воздействий на золотники, вырабатываемых системой управления. Для перемещения ПОВ (или затворов галерей) главные цилиндры ГЦ1, ГЦ2 могут быть установлены вертикально над пазами ворот. Тогда электрогидравлический привод может исполнять роль гидроподъемника, создавая принудительное движение ворот вверх. Опускание ворот в этом случае происходит под собственным весом ворот. В любом случае необходимо регулировать скорость перемещения ворот, что достигается путем управления сливом масла в бак.

К недостаткам электрогидравлических приводов относят:

- зависимость характеристик привода от вязкости масла, которая изменяется с изменением температуры окружающей среды;
- возникновение протечек масла в элементах гидравлической передачи;
- трудоемкость настройки блоков золотников на точную реализацию заданных скоростей движения механизма шлюза.

Электрические и электронные аппараты электроприводов

В большинстве электроприводов, указанных в таблицах 1, 2, 3, применяется контактная техника для коммутации силовых цепей питания и фазных обмоток электродвигателей. Используются дистанционно управляемые аппараты - электромагнитные контакторы серии КП на постоянном токе, серий КТ, КТД на переменном токе и др. Пример применения контакторов КМ1, КМ2 приведен на рис.

Собственное время срабатывания контакторов постоянного тока составляет 0,1...0,4 с контакторов переменного тока - 0,03...0,05 с. Они, соответственно, допускают до 1200 и до 600 включений в час. Главные контакты контакторов больших величин могут выдерживать токи до 600 А. Выбирают контакторы по роду тока, числу и мощности контактов, напряжению коммутируемой цепи, напряжению включающей катушки, исполнению по защите от воздействия окружающей среды.

Пусковые ($R1... R3$ на рис.) и пускорегулирующие реостаты типа РП, РЗП применяются для двигателей постоянного тока; реостаты типа ПР - для пуска асинхронных двигателей с фазным ротором мощностью до 29 кВт, типа РМ - для двигателей мощностью от 50 до 500 кВт.

Для торможения электродвигателей и фиксации механизмов в неподвижном состоянии применяются механические тормозы (обычно колодочные) с дистанционно управляемыми электромагнитами (У на рис.) или с гидравлическими тормозами.

Длинноходовые электромагниты комплектуются с беспружинными тормозами. Они развивают усилие до 1400 Н, создавая момент силы 4000 Нм. Допускают до 400 включений в час.

Короткоходовые электромагниты комплектуются с пружинными колодочными тормозами. Развивают тормозной момент до 120 Нм и допускают до 300 включений в час.

Реле промежуточные используются для подготовки электрических цепей управления к выполнению определенных операций, например, при цикловом или отдельным управлением работой электроприводов вентилей и затворов водопроводных галерей. Эти реле имеют большое количество коммутирующих контактов (в контактной системе предусматриваются замыкающие, размыкающие и переключающие контакты) в количестве до 16, например, у реле РПУ-2М. Поэтому их используют для размножения контактов в системах управления электроприводов. Применяются серии РП и др.

Реле времени применяются для управления контакторами ускорения (например КМ2 на рис.), а также в других случаях, когда необходимо, чтобы сигнал из одной электрической цепи в другую цепь был передан с задержкой во времени. Для этих целей используются в основном электромеханические реле времени переменного тока типа ЭТ (диапазон выдержек до 20 с), электромагнитные реле времени постоянного тока типа РЭВ (диапазон выдержек до 13 с), а также реле времени типа ВЛ, которые могут быть и переменного, и постоянного тока, иметь большой диапазон выдержек (например, от 0,1 секунды до 999 часов у реле ВЛ-69-С, ВЛ-76-С и др). Выбираются реле времени по роду тока и напряжению входного сигнала, количеству и мощности коммутирующих контактов, по категории исполнения для защиты от воздействия окружающей среды.

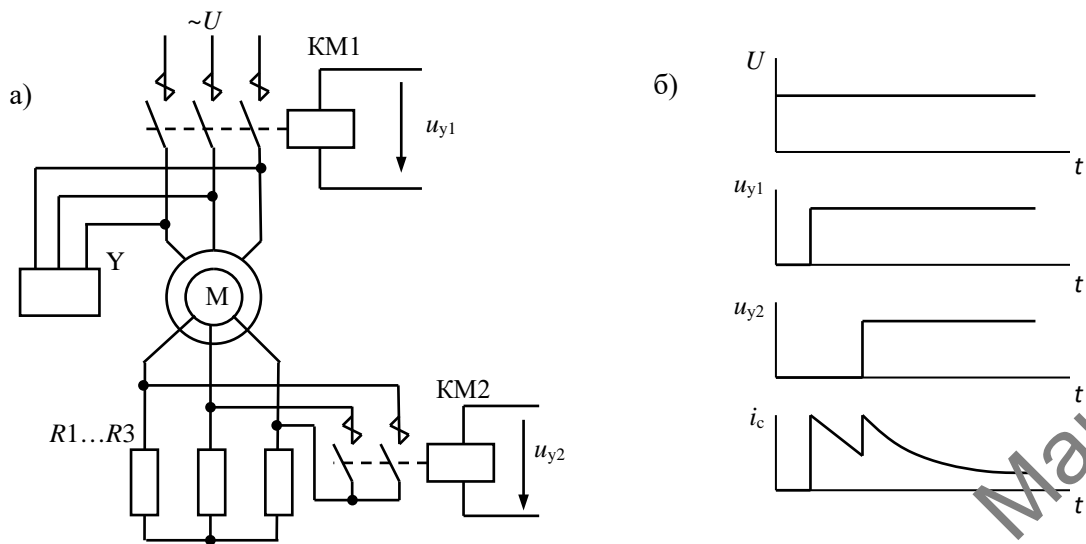


Рис. Пример применения контакторов для пуска электродвигателя М (а) и временные диаграммы, характеризующие процесс пуска двигателя (б)

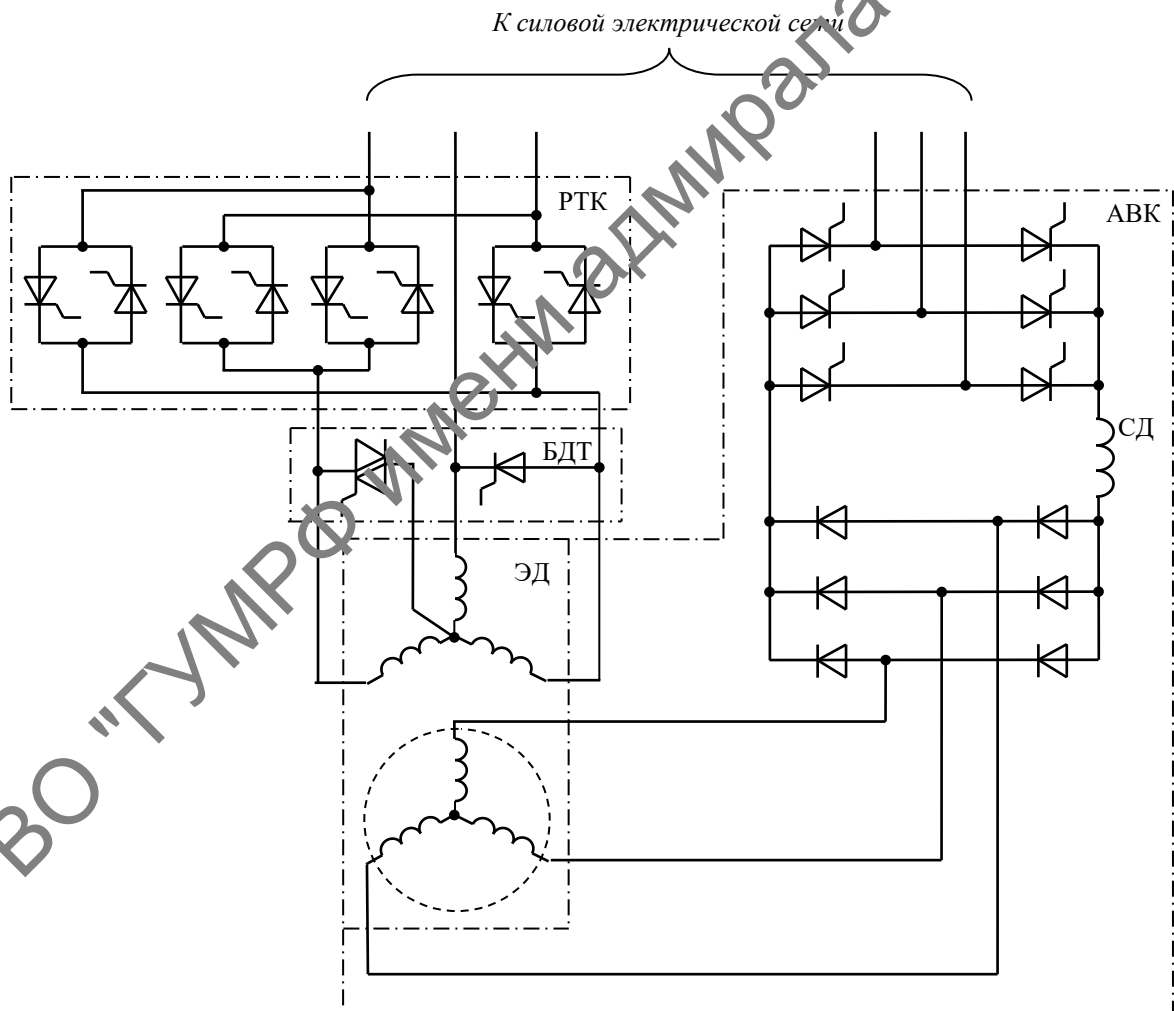


Рис. Электрическая схема силовой части электропривода на основе ПРБУ:
 ЭД - трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором; РТК - реверсивный тиристорный коммутатор; БДТ - блок динамического торможения; АВК - асинхронный вентильный каскад;
 СД - сглаживающий дроссель

Для ручного управления электрооборудованием применяются командоаппараты без памяти и с памятью, выключатели и переключатели. К ним относятся:

- кнопки управления с самовозвратом, например, серии КУ, рассчитанные на номинальное напряжение 500 В переменного тока и 440 В постоянного тока, номинальный ток коммутирующих контактов 16 А и допускаемый кратковременный ток до 60 А;
- кулачковые регулируемые командоаппараты серии КА, рассчитанные на номинальное напряжение 500 В переменного тока и 440 В постоянного тока, номинальный ток коммутирующих контактов 16 А;
- переключатели типа ПКУ (с аналогичными номинальными параметрами);
- пакетные выключатели серий ВП и ПВМ с количеством полюсов от 1 до 3, с номинальным напряжением 380 В переменного и 220 В постоянного тока, рассчитанные на номинальные токи соответственно до 400 А и до 250 А.

В электроприводах с «тиристорным» управлением (поз.5 в табл. 1, поз.4 в табл. 2, поз. 4 в табл. 3) применяется бесконтактная коммутационная техника с силовыми тиристорными ключами. Первые промышленные образцы пускорегулирующих бесконтактных устройств (ПРБУ) с тиристорными ключами опробованы на шлюзах канала имени Москвы. Электрическая схема силового узла электропривода с элементами ПРБУ показана на рис.

Пускорегулирующее бесконтактное устройство включает в свой состав:

- реверсивный тиристорный коммутатор (РТК) с бесконтактными ключами переменного тока, выполненными по схеме встречно-параллельного включения тиристоров;
- асинхронный вентильный каскад (АВК), включающий в свой состав асинхронный двигатель (ЭД) с фазным ротором, неуправляемый выпрямитель на диодах, ведомый сетью инвертор на тиристорах и сглаживающий дроссель (СД);
- блок динамического торможения (БДТ) с ключами, выполненными на симисторе и обыкновенном однооперационном тиристоре.

Два левых тиристорных ключа коммутатора РТК служат для включения двигателя ЭД в одном направлении вращения, два правых тиристорных ключа - для включения ЭД в противоположном направлении вращения.

Тиристорный блок динамического торможения работает совместно с одним плечом РТК, которое обеспечивает протекание выпрямленного однополупериодного тока динамического торможения по статорной обмотке ЭД. Неработающая фаза обмотки шунтируется симистором. Однооперационный тиристор шунтирует две другие фазы при непроводящем полупериоде работы коммутатора в режиме динамического торможения.

Регулирование скорости вращения ЭД осуществляется путем управления тиристорами инвертора. Для этого применяется система импульсно-фазового управления. Диапазон регулирования 20:1 и выше.

На шлюзах применяется максимальная токовая и минимальная защита электрооборудования. Для максимальной токовой защиты электродвигателей ворот и затворов обычно используют электромагнитные или индукционные реле максимального тока серий РЭ и ИТ. Для защиты от перегрузки применяются электротепловые реле серии РТ. Для минимальной защиты применяются реле напряжения, а для нулевой защиты контакторы. При необходимости обеспечения нескольких защит одного и того же приемника электрической энергии применяются автоматические выключатели, как правило, серии А с комбинированными расцепителями.

Аппаратура управления и защиты располагается в помещениях, как правило, на контакторных панелях, собранных из прямоугольных изоляционных плит и укрепленных на уголковых стойках. Коммутационная аппаратура и реле управления и защиты устанавливаются на лицевой стороне с выводом зажимов для монтажа с обратной стороны панелей. Там же с обратной стороны панелей размещаются пускорегулирующие резисторы и измерительные трансформаторы. Чувствительную аппаратуру на современных шлюзах располагают на отдельных панелях, называемых панелями автоматики.

ФБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова"

Информационное электрооборудование шлюзов

На шлюзе в технологическом процессе пропуска судов через шлюз производятся:

- 1) рабочее шлюзование вниз (РШН) - одно или несколько одновременно шлюзующихся судов перемещаются из верхнего бьефа в нижний бьеф;
- 2) рабочее шлюзование вверх (РШВ) - одно или несколько одновременно шлюзующихся судов перемещаются из нижнего бьефа в верхний бьеф;
- 3) холостое шлюзование вниз (ХШН) - шлюзование вниз при отсутствии шлюзующихся судов;
- 4) холостое шлюзование вверх (ХШВ) - шлюзование вверх при отсутствии шлюзующихся судов.

Реализуются следующие технологические циклы:

- а) цикл «РШН – РШВ» (при встречных потоках судов из верхнего и из нижнего бьефов);
- б) цикл «РШН - ХШВ» (при одностороннем потоке судов из верхнего бьефа);
- в) цикл «ХШН - РШВ» (при одностороннем потоке судов из нижнего бьефа).

Для правильной и безаварийной организации технологического процесса при строгом соблюдении последовательности технологических операций применяется информационное электрооборудование с помощью которого осуществляется контроль текущего состояния системы «шлюз-судно» и управление работой механизмов шлюза и движением шлюзующихся судов.

Оперативная указательная сигнализация применяется на шлюзах для отображения информации об уровнях верхнего и нижнего бьефов, о разностях уровней бьефа и камеры шлюза, о положении и перекосе подъемно-опускных ворот, о положениях створок двустворчатых ворот и затворов водопроводных галерей. На многих шлюзах система оперативной указательной сигнализации построена на сельсинах.

Измерение на объекте и отображение по принципу стрелочного прибора на пульте координаты объекта (уровня, угла поворота створки ДСВ и др.) производятся двумя сельсинами ВС и ВЕ, работающими в индикаторном режиме (рис. а). Сельсин-датчик (ВС) реагирует на изменение контролируемой координаты объектами пропорциональным изменением угла α поворота своего ротора. Сельсин-приемник, установленный на пульте, поворачивает, благодаря дистанционной передаче угла, свой ротор на угол $\beta \rightarrow \alpha$.

Для определения разности двух координат объекта, например, разности уровней бьефа и камеры кроме двух сельсинов-датчиков ВС1 и ВС2 (рис. б) применяется дифференциальный сельсин ВЕ. Угол поворота γ ротора ВЕ равен алгебраической сумме углов поворота α и β роторов сельсинов-датчиков.

На рис. приведена электрическая схема оперативной указательной сигнализации шлюза на основе сельсинов. Оператору (вахтенному начальнику шлюза) предоставляется этой системой в оперативном мнемоничном отображении на пульте следующие сведения:

- уровень верхнего бьефа;
- уровень нижнего бьефа;
- разность уровней верхнего бьефа и камеры шлюза;
- разность уровней нижнего бьефа и камеры шлюза;
- положение подъемно-опускных ворот;

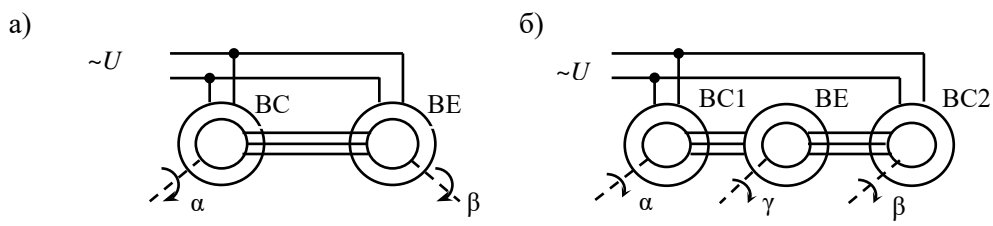


Рис. Электрические схемы сельсинных систем, работающих в индикаторном режиме: дистанционной передачи угла $\beta \rightarrow \alpha$ (а) и алгебраической суммы углов $\gamma = \beta + \alpha$ (б)

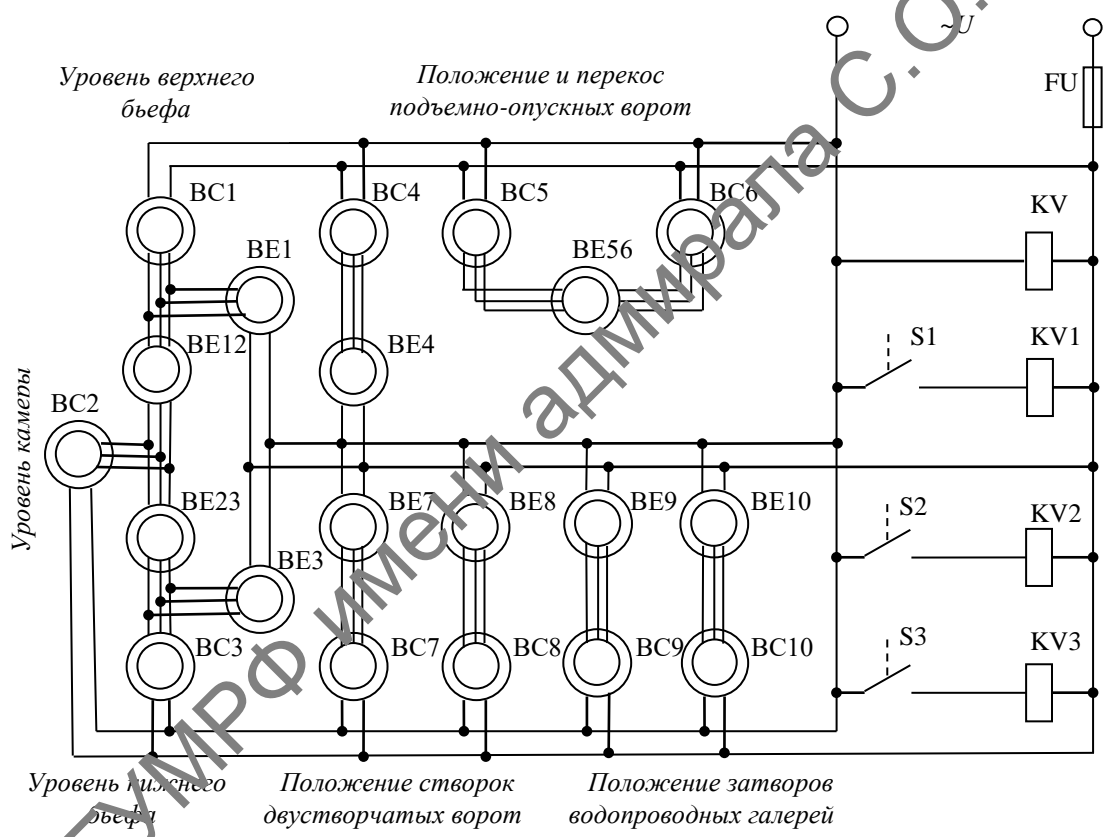


Рис. Электрическая схема оперативной указательной сигнализации шлюза:

- BC1, BE1 - сельсины контроля уровня верхнего бьефа;
- BC3, BE3 - сельсины контроля уровня нижнего бьефа;
- BE12 - сельсин-приемник разностей уровней верхнего бьефа и камеры;
- BE23 - сельсин-приемник разностей уровней нижнего бьефа и камеры;
- BC5, BC6, BE56 - сельсины контроля перекаса подъемно-опускных ворот;
- BC7, BE7 - сельсины контроля положения правой створки (CB1) двустворчатых ворот;
- BC8, BE8 - сельсины контроля положения левой створки (CB2) двустворчатых ворот;
- BC9, BE9 - сельсины контроля положения затвора (31) правой водопроводной галереи;
- BC10, BE10 - сельсины контроля положения затвора (32) левой водопроводной галереи.

- перекося подъемно-опускных ворот;
- положение правой створки двустворчатых ворот;
- положение левой створки двустворчатых ворот;
- положение затвора правой водопроводной галереи;
- положение затвора левой водопроводной галереи.

Датчики уровня (BC1, BC3, BC2) установлены в верхнем бьефе, в нижнем бьефе и в камере шлюза. Сельсины-датчики положений ворот и затворов водопроводных галерей установлены на соответствующих механических элементах электроприводов.

Указатели разности уровней и перекося ворот снабжены контактной системой. Контакты S2, S3, S1 указателей включены последовательно с катушками промежуточных реле KV2, KV3 разности уровней и KV1 - перекося ворот, которые подают необходимые сигналы в систему управления электроприводами. Контакты S2, S3 замкнуты при одинаковых уровнях и разомкнуты, когда контролируемые уровни различны. Контакт S1 замкнут при допустимой величине перекося ПОВ. Размыкается S1, когда величина перекося ворот принимает максимальное допустимое значение.

На шлюзах получили распространение так называемые водомерные приборы для контроля уровней и перепадов. Комплект водомерного прибора состоит из трех пар сельсинов (датчик BC- приемник BE). По-существу на каждой паре BC-BE построена замкнутая следящая система с исполнительным двигателем, который через дифференциальную механическую передачу приводит в действие счетное цифровое устройство и коммутирующие контакты. Комплектные водомерные приборы с фазовым управлением обладают необходимой чувствительностью при измерениях перепадов уровней до 15-20 м. При больших перепадах уровней вместо фазового управления исполнительным двигателем водомерного прибора применяют амплитудное управление.

Поисковая сигнализация предназначена для обнаружения неисправности в электрической цепи управления с большим количеством контактов. Устройство, с помощью которого обнаруживают неисправный контакт и соответствующий ему неисправный аппарат, называют *искателем поврежденных*. Простейший искатель поврежденных ручного действия состоит из коммутатора SA и сигнальной лампы HL. Поиск неисправности производится последовательным поворотом ручки коммутатора в позиции: 0→1→2→3→... . Если в некоторой позиции коммутатора, например, в позиции 4, сигнальная лампа не загорелась, а в предшествующих позициях она загоралась, то это означает, что неисправность обнаружена - неисправен в рассматриваемом случае аппарат SB (кнопка управления). Неисправность определяют по положению ползунка коммутатора SA.

Процесс поиска неисправности в системах с контактной аппаратурой усовершенствован, благодаря применению искателей поврежденных, работающих в автоматическом режиме. В автоматических устройствах поиска неисправностей ползунок коммутатора перемещается с помощью шагового двигателя. В систему автоматического управления заложен алгоритм, по которому шаговый двигатель останавливается после обнаружения неисправности и после ее устранения продолжает при необходимости поиск другой неисправности в автоматическом режиме.

Усложняет устройство поиска неисправностей большое количество проводов, которые необходимо отводить от контролируемых контактов.

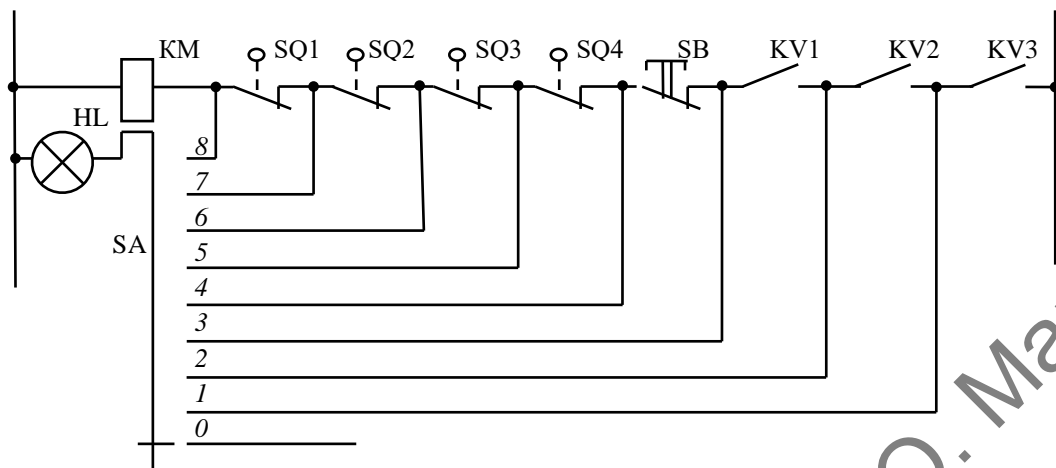


Рис. Фрагмент электрической схемы управления с искателем повреждений ручного поиска переключателем SA

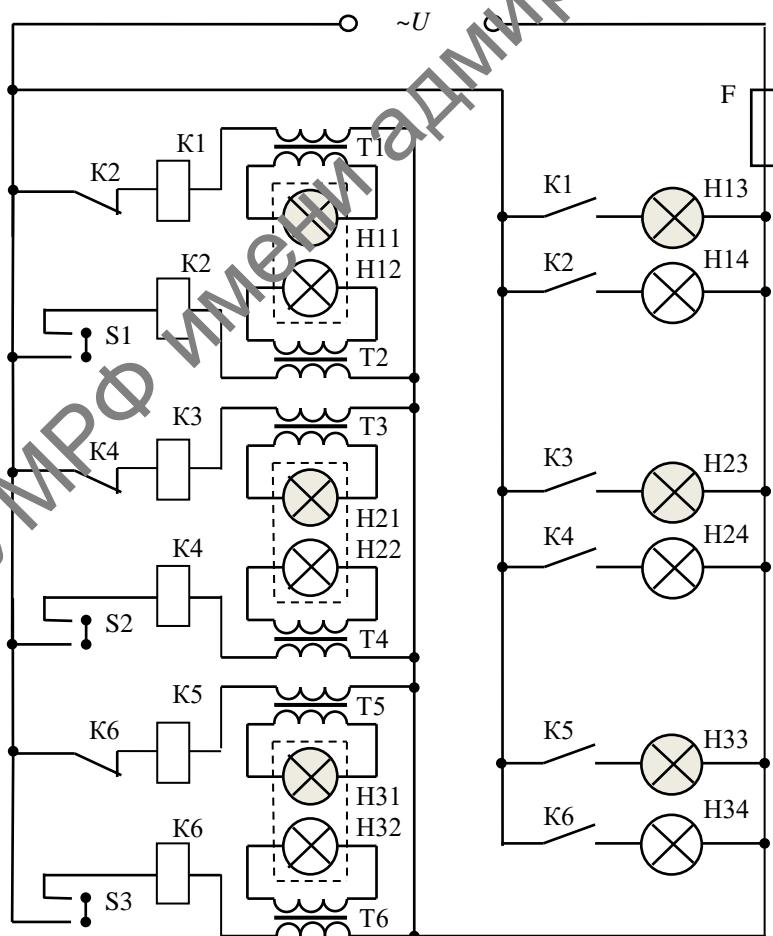


Рис. Электрическая схема системы светофорной сигнализации

Светофорная сигнализация применяется для организации движения судов вблизи шлюза, при вводе судна из бьефа в камеру шлюза и при выходе судна из камеры в бьеф. В каждом направлении движения судов через шлюз предусматриваются светофоры:

- *дальний (подходной) светофор* разрешает подход судов к причалу ожидания (устанавливается на расстоянии до 800 м от шлюза);
- *входной светофор* разрешает вход судна в камеру (устанавливается перед входными воротами шлюза);
- *промежуточный светофор* ограничивает зону причала ожидания и регулирует судноходство непосредственно на подходе к шлюзу (на некоторых шлюзах такой светофор не устанавливается);
- *выходной светофор* разрешает выход судна из камеры (устанавливается перед выходными воротами камеры шлюза).

Пример электрической схемы системы светофорной сигнализации с тремя светофорами приведен на рис. Все светофоры бинарные: зеленый свет разрешает движение судов за светофор, красный – запрещает движение за светофор. Управление светофорами осуществляется с центрального пульта вахтенного начальника шлюза с помощью выключателей. В электрической схеме светофорной сигнализации предусматривается дублирование огней светофоров на пульте с помощью сигнальных ламп, а также отображение информации о неисправной лампе. Ручное управление светофорами производится с помощью специальных выключателей S1, S2, S3. Когда контакты выключателей разомкнуты, горят красные огни светофоров - лампы Н11, Н21, Н31 (по катушкам реле К1, К2, К3 протекают токи, а катушки реле К2, К4, К6 обесточены). На пульте управления горят сигнальные лампы Н13, Н23, Н33 красным светом.

Включение зеленого сигнала светофора производится соответствующим выключателем. Например, замыкание контакта выключателя S1 приводит к срабатыванию реле К2. Оно изменит состояние своих коммутирующих контактов: 1) в цепи питания катушки реле К1 контакт разомкнется и К1 отключится от питания, лампы Н11 и Н13 погаснут; 2) в цепи питания сигнальной зеленой лампы Н14 замкнется К2 и Н14 загорится, давая зеленый свет. Размыкание S1 вновь приводит к появлению красных огней светофора и на пульте вместо зеленых огней. Аналогичным образом происходит управление другими светофорами с помощью выключателей S2 и S3.

При нормальной работе светофора ток, текущий по катушке реле, достаточен для того, чтобы закрылись его замыкающие контакты и включили сигнальную лампу. Если нить лампы светофора перегорит или произойдет обрыв цепи вторичной трансформатора Т1 или любого другого трансформатора, то в этих случаях ток, текущий по первичной обмотке трансформатора уменьшится и реле отпустит. Замыкающие контакты реле разомкнутся. Лампа на пульте погаснет, свидетельствуя тем самым о неисправности в системе светофорной сигнализации.

Элементы и системы информационного электрооборудования

Особенности проектирования электроприводов и систем управления

На шлюзе в технологическом процессе судопропуска реализуются:

- рабочее шлюзование вниз (РШН);
- рабочее шлюзование вверх (РШВ);
- холостое шлюзование вниз (ХШН);
- холостое шлюзование вверх (ХШВ)

Технологические циклы:

цикл № 1: «РШН – РШВ» (при встречных потоках судов из верхнего и из нижнего бьефов);

цикл № 2: «РШН - ХШВ» (при одностороннем потоке судов из верхнего бьефа);

цикл № 3: «ХШН - РШВ» (при одностороннем потоке судов из нижнего бьефа);

На следующем рис. с помощью упрощенных диаграмм представлен цикл №1 технологического процесса пропуска судов через шлюз.

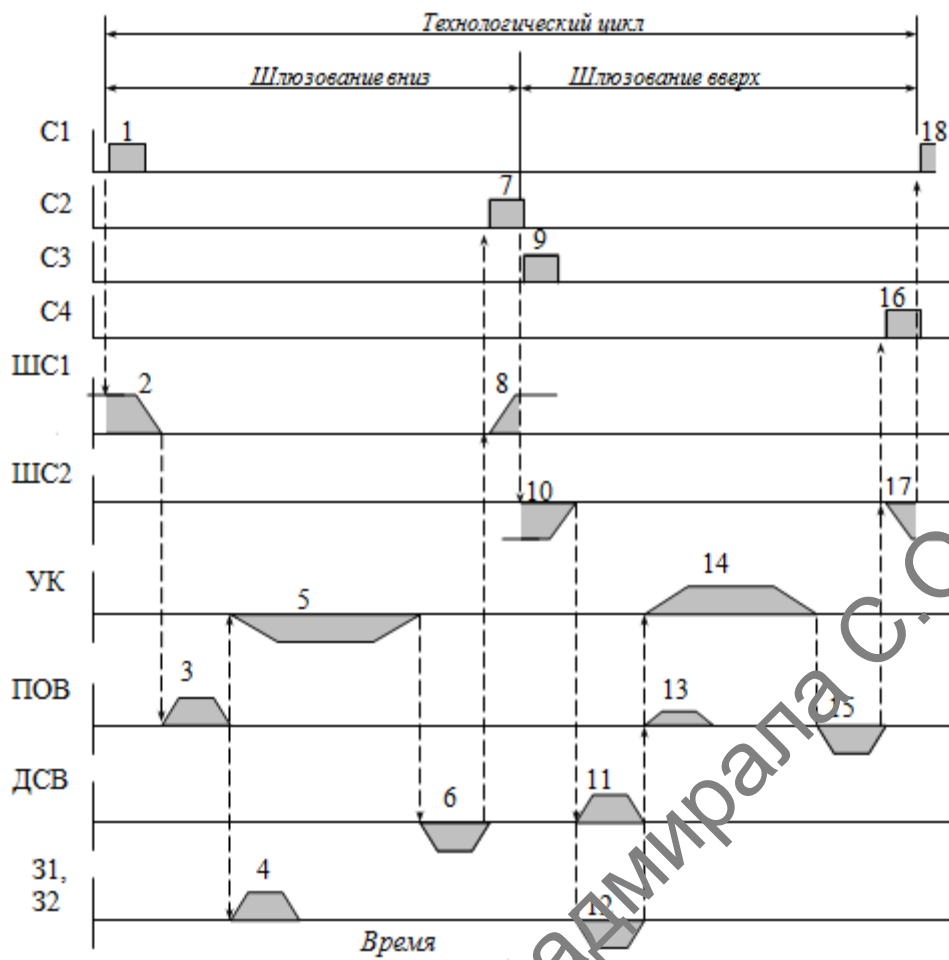


Рис. Упрощенные диаграммы технологических операций судопропуска

1 – подача разрешающего сигнала светофора С1 на ввод судна ШС1 в камеру шлюза из верхнего бьефа; 2 – ввод ШС1 в камеру шлюза; 3 – перемещение ПОВ в положение «рабочее»; 4 – открытие затворов 31 и 32 водопроводных галерей; 5 – снижение уровня в камере КШ до уровня нижнего бьефа; 6 – открытие ДСВ; 7 – подача разрешающего сигнала светофора С2 на вывод ШС1 из КШ в нижний бьеф; 8 – вывод ШС1 из КШ; 9 – подача разрешающего сигнала светофора С3 на ввод судна ШС2 из нижнего бьефа в камеру шлюза; 10 – ввод ШС2 в КШ; 11 – закрытие ДСВ; 12 – закрытие 31 и 32; 13 – перемещение ПОВ в положение «наполнение»; 14 – повышение уровня в КШ до уровня верхнего бьефа; 15 – перемещение ПОВ в положение «судоходное»; 16 – подача разрешающего сигнала светофора С4 на вывод ШС2 из КШ в верхний бьеф; 17 – вывод ШС2 из КШ в верхний бьеф; 18 – подача разрешающего сигнала светофора С1 на ввод следующего судна из верхнего бьефа в КШ.

При построении диаграмм принято:

- 1) отображаются во времени только разрешающие (зеленые) сигналы светофоров (С1, С2, С3, С4); запрещающие сигналы не отображаются (светофоры бинарные);
- 2) состояния шлюзующихся судов (ШС1, ШС2), ворот (ПОВ, ДСВ), затворов (31, 32) характеризуются во времени с помощью графиков скоростей их движения в линейном приближении;
- 3) скорость движения судна (ШС1) принимается положительной при шлюзовании вниз и отрицательной (для ШС2) при шлюзовании вверх;

- 4) скорость перемещения подъемно-опускных ворот (ПОВ) и затворов (З1 и З2) принимается положительной, когда они перемещаются вверх, и отрицательной, когда они перемещаются вниз;
- 5) скорость, с которой изменяется уровень воды в камере (УК), принимается положительной при наполнении камеры, отрицательной при опорожнении камеры;
- 6) затворы З1 и З2 перемещаются синхронно;
- 7) пунктирными линиями со стрелками показаны переходы от технологической операции к последующей операции в соответствии с требованиями к технологическому процессу;
- 8) продолжительности отдельных операций отображены условно без единого масштаба их изображения на диаграммах.

В системах управления должны быть предусмотрены следующие технологические блокировки:

- блокировка уровней воды, исключающая открытие ворот при разных уровнях воды камеры шлюза и бьефа;
- взаимная блокировка электроприводов ворот нижнего и верхнего бьефа, исключающая одновременную их работу и открывание, если открыты противоположные ворота;
- блокировка ворот нижней головы шлюза с затворами опорожнения камеры, допускающая открытие ворот лишь при открытых затворах;
- блокировка входного (выходного) светофора с воротами, исключающая подачу разрешающего сигнала светофора на вход в камеру (выход из камеры) судна, если ворота не занимают положение «судоходное»;
- блокировки стопоров и ручного привода, исключающие возможность включения привода с любого из постов управления при наложении стопоров или работе ручным приводом.

Порядок выполнения технологических операций механизмами шлюза и светофорами строго определен. Поэтому алгоритмическое обеспечение систем управления обоими уровнями необходимо предусмотреть в классе автоматных моделей конечных автоматов. Предпочтительна реализация систем управления на основе элементов программируемой логики с применением логических контроллеров.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПОРТОВЫХ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Морские и речные порты

Порт - участок берега с прилегающим к нему водным районом, где размещается комплекс сооружений и устройств для погрузки-разгрузки судов и полного их обслуживания.

К основному оборудованию порта относят *перегрузочные машины, склады и внутри-портовый транспорт*. Это оборудование принимает непосредственное участие в передаче грузов с судов на сухопутный транспорт или в обратном направлении.

Вспомогательное оборудование образует инфраструктуру территории порта. К нему относятся системы электроснабжения, теплоснабжения, водоснабжения, все виды связи (телефон, радио, телетайп, селектор) и др.

Для искусственного освещения причалов, открытых и закрытых складов, дорог и других устройств применяют мощные светильники (10...20 кВт) на мачтах высотой 20...50 м вне зоны действия кранов.

В качестве перегрузочного оборудования применяют *машины периодического действия и машины непрерывного действия*.

К машинам периодического действия относят краны, авто- и электропогрузчики, вагонопрокидыватели. Их работа характеризуется циклом, состоящим из последовательности операций: захват груза, ход с грузом, освобождение от груза и холостой ход к месту нового захвата.

К машинам непрерывного действия относят конвейеры, элеваторы, пневматические и гидравлические перегружатели. Они перемещают груз непрерывным потоком по определенной трассе.

Действие перегрузочных машин в их большинстве обеспечивается с помощью электрических приводов. Они являются основными потребителями электрической энергии в порту, осуществляя преобразование электрической энергии в механическую энергию, необходимую для перемещения грузов. На их долю приходится более 80% всей потребляемой портом электроэнергии.

Доставку электрической энергии в порт, ее преобразование и распределение между потребителями осуществляет *система электроснабжения*. Как правило, порт получает электроэнергию от государственной сети при напряжении на вводе 35 кВ. Система электроснабжения порта состоит из электрических сетей высокого напряжения (6...10 кВ), трансформаторных подстанций, понижающих напряжение до 380/220 В, распределительных сетей из бронированных кабелей и электрических колодок для подключения потребителей электроэнергии (перегрузочные машины).

Портальные краны

Портальный кран - передвижной поворотный кран, у которого стрела и поворотная платформа установлены на высоком портале, перемещающемся по рельсовому пути.

Портальный кран предназначен для перемещения штучных или сыпучих грузов из одной позиции в другую позицию по следующим вариантам: "судно-склад", "склад-судно", "судно-вагон" и др. Рабочим органом крана является грейфер (для сыпучих грузов), автоматическое захватное устройство (для массовых штучных грузов). Обычно краны снабжаются дополнительной крюковой обоймой.

Свое название портальный кран получил из-за формы конструкции основания — *портала*, имеющего проем в виде арки для прохода транспортных средств (рис.).

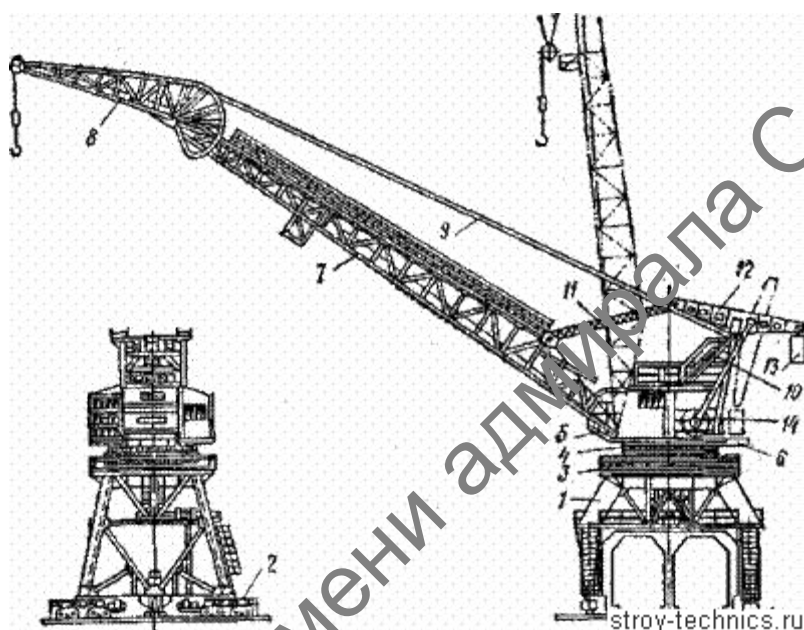


Рис. Портальный кран

- 1 — портал; 2 — ходовая тележка; 3, 4 — опорно-поворотное устройство;
5 — поворотная платформа; 6 — противовес; 7 — основная стрела; 8 — хобот; 9 — оттяжка;
10 — каркас; 11 — тяга; 12 — коромысло; 13 — противовес; 14 — лебедка

Портал крана имеет четырехколесные *ходовые тележки*, перемещающиеся по рельсовому пути. На верхней площадке портала расположено *опорно-поворотное устройство*, соединяющее портал с *поворотной платформой*, на которой смонтированы основные механизмы, стреловое оборудование и неподвижный противовес.

Кран перемещает груз в трех взаимно перпендикулярных направлениях. В вертикальном направлении груз перемещается с помощью механизма подъема, изменяющего длину троса подвески груза под концом хобота. В горизонтальной плоскости груз перемещается путем изменения вылета стрелы с помощью соответствующего механизма, а также за счет вращения поворотной платформы с помощью механизма поворота, и (или) путем передвижения крана по рельсам с помощью ходовых тележек портала. Для приведения в действие механизмов крана применяются электроприводы.

Работой электроприводов при перемещении груза управляет оператор (крановщик), прикладывая мускульные усилия к органам управления электрических аппаратов, расположенных в кабине крана.

Парк порталных кранов СССР с послевоенного времени пополнялся двумя путями: изготовление на собственных заводах и получение кранов по импорту. Основными поставщиками были заводы ГДР и Венгрии. С 60-х годов стали появляться краны из Финляндии. Поступление импортных кранов в Россию и государства бывшего СССР с началом 90-х годов практически прекратилось.

В СССР существовало головное предприятие по производству порталных кранов. Завод подъемно-транспортного оборудования (ЗПТО) им.С.М. Кирова, ведущий свою историю с механических мастерских Санкт-Петербург - Варшавской железной дороги (третьей по времени возникновения в России). Завод располагался на Обводном канале в Ленинграде и при создании объединений в начале 70-х годов XX века вошел в объединение «Подъем-трансмаш». С началом 90-х годов объем производства резко упал, и к началу 2000-х годов в год собиралось всего несколько порталных кранов с использованием деталей из старых запасов. Последний из известных порталных кранов был отгружен с завода в 2001 году.

В 2000 годах производством порталных кранов стали заниматься с полдюжины предприятий в России и Украине, но до объема выпуска ЗПТО им. Кирова в советское время им далеко даже вместе.

Портальные краны можно разделить на две группы.

- Монтажные краны, применяющиеся в основном на судостроительных и судоремонтных заводах. Такие краны имеют умеренные номинальные скорости и повышенные требования к диапазону регулирования скорости и плавности переходных процессов. Режим работы, как правило, не превышает 5К.

- Перегрузочные краны, работающие в морских и речных портах. Такие краны являются универсальными, т.е. могут работать как в крюковом режиме, так и в грейферном. Для работы с грейфером такие краны имеют две грузовые лебедки, которые управляются отдельно. При работе в крюковом режиме лебедки синхронизируются. Для обеспечения высокой производительности такие краны имеют высокие рабочие скорости. Диапазон регулирования скорости механизма подъема в крюковом режиме может достигать до 8:1.

Портальные краны имеют также механизмы поворота, изменения вылета стрелы и передвижения. У перегрузочных порталных кранов передвижение является установочным (т.е. редко используемым) движением.

Требования к электрооборудованию и системам управления электроприводов кранов

Грузоподъемные краны являются массовыми общепромышленными механизмами, они применяются практически во всех отраслях промышленности, транспорта и строительства. Поскольку, в зависимости от области применения интенсивность работы кранов может быть различной, режимы работы кранов и крановых механизмов регламентируются.

В России для определения режима работы крановых механизмов действует ГОСТ 25835-83, для определения группы режима работы крана ГОСТ 25546-82. В значительной степени эти ГОСТы увязаны с международным стандартом ИСО 4301/1"86. Режимы работы крана учитываются при расчете мощности и выборе типа двигателя и аппаратуры управления.

Действующие требования основаны на опыте эксплуатации кранов и удовлетворяют Правилам устройства электроустановок (ПУЭ). Наиболее важными требованиями, относящимися к порталным и плавучим кранам общего назначения являются [Белов]:

- 1) рабочее напряжение сети не должно превышать 660 В;
- 2) все электроприводы необходимо оборудовать устройствами электрической защиты, срабатывающими при коротких замыканиях и перегрузках;
- 3) срабатывание защиты одного из двигателей многодвигательного привода должно приводить к отключению остальных двигателей;
- 4) механизмы подъема, вылета стрелы, передвижения, а иногда и поворота следует оснащать конечными выключателями хода;
- 5) все механизмы, за исключением механизма поворота, необходимо оборудовать механическими тормозами закрытого типа, затормаживающими механизм при исчезновении напряжения питающей сети; растормаживающее устройство должно иметь электрический привод;
- 6) следует обеспечить возможность опробования и контроля элементов систем управления электроприводов при отключенных силовых цепях и заторможенных механизмах;
- 7) системы управления должны иметь нулевую блокировку и защиту, исключающие возможности самопроизвольного пуска электродвигателей, и минимальную защиту, отключающую электропривод при значительном снижении напряжения сети;
- 8) системы управления должны обеспечивать независимое выполнение и совмещение операций поворота крана, изменения вылета стрелы и вертикального перемещения груза;
- 9) электропривод грузовых лебедок механизма подъема должен обеспечивать получение устойчивых пониженных скоростей движения номинального груза: 0,3-0,5 м/с при подъеме груза, 0,15-0,25 м/с при спуске груза;
- 10) среднее значение ускорения груза не должно превышать $0,7-1 \text{ м/с}^2$ для кранов грузоподъемностью 3-5 т и $0,4-0,6 \text{ м/с}^2$ для кранов грузоподъемностью 10 т и выше;
- 11) амплитуды углов отклонения канатов от вертикали при пуске и электрическом торможении приводов не должны превышать 8° для привода механизма поворота и $3,5^\circ$ для привода механизма изменения вылета стрелы;
- 12) электропривод механизма поворота в начале пуска должен обеспечивать движение с минимальным ускорением для смягчения удара в момент исчезновения зазора в механической передаче.

Устройства передачи электрической энергии на кран

Применяется два способа подвода электрической энергии к порталному крану: с помощью питающих электроколонок, установленных вдоль крановых путей, или с помощью троллей, расположенных вдоль крановых путей.

При первом способе (рис.) используется гибкий кабель 2, один конец которого подключен к питающей электроколонке 1. Кабель 2 намотан на кабельный барабан 3, установленный на одной из опор портала крана. Другой конец кабеля 2 подключен к кольцам 4 кольцевого токосъемника. Кольцы 4 закреплены на общем валу с кабельным барабаном. При перемещении крана по рельсам кабель 2 наматывается на барабан или сматывается с него.

Вращение кабельного барабана с этой целью осуществляется с помощью цепной передачи от привода колес ходовой тележки.

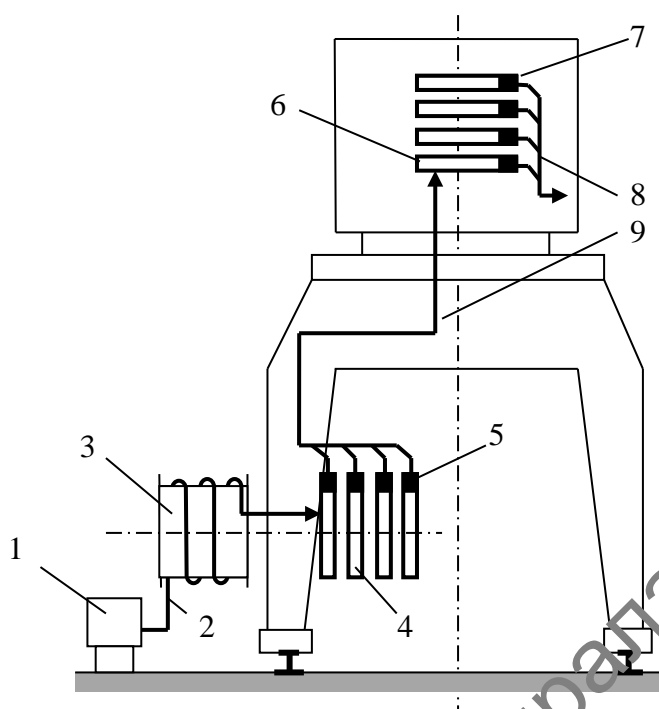


Рис. Схема кабельного токоподвода к портальному крану
1- питающая электроколонка; 2 - гибкий кабель; 3 - кабельный барабан; 4, 6 - кольца кольцевых токосъемников; 5, 7 - щетки токосъемников; 8, 9 - кабели

К кольцам 4 токосъемника примыкают неподвижные относительно портала крана щетки 5. Через щетки 5 от колец 4 электрическая энергия по кабелю 9 поступает на неподвижные относительно портала кольца 6 токосъемника, смонтированного на поворотной платформе крана. Щетки 7 этого токосъемника поворачиваются относительно вертикальной оси вместе с поворотной платформой. Благодаря такой конструкции, электрическая энергия от щеток 7 по кабелю 8 подводится к электrorаспределительному устройству (ЭРУ), расположенному в поворотной части крана. Далее от ЭРУ электроэнергия с помощью кабелей и проводов распределяется по приемникам электроэнергии поворотной части крана.

При троллейном способе передачи электроэнергии портальному крану предусматриваются бетонированные траншеи вдоль ходовых путей. В траншеях располагают неподвижные троллеи - стальной прокат в виде рельсов, швеллеров или уголков. Траншея закрывается сверху стальными крышками. По троллеям скользят чугунные башмаки, закрепленные на специальном кронштейне, который приподнимает крышки при движении крана по рельсам. Траншея открывается крышкой только в месте приема электроэнергии от троллей. Передается электроэнергия от троллей на кран с помощью токоприемного устройства, установленного на портале крана и обеспечивающего скользящий контакт токоприемников с троллеями.

Электродвигатели приводов основных механизмов крана

Электродвигатели приводов основных механизмов крана (механизмов подъема, вылета, поворота, передвижения) являются основными приемниками электрической энергии, которые преобразуют ее в механическую энергию, необходимую для перемещения груза и самого крана. Крановые электродвигатели обычно работают в более тяжелых условиях (до 1200 и более включений в час) по сравнению с электродвигателями приводов общепромышленных механизмов. По существующим требованиям электродвигатели должны выдерживать до 1500 включений в час. Поэтому на кранах применяют электродвигатели специальных серий - крановые электродвигатели серий МТФ (асинхронные с фазным ротором), МТКФ (асинхронные с короткозамкнутым ротором) и металлургические электродвигатели МТН и МТКН, а также двигатели постоянного тока серии Д.

Для серий отечественных двигателей установлены стандартные продолжительности включения ПВ повторно-кратковременного режима: 15%, 25%, 40% и 60%. Допустимая продолжительность цикла отечественных двигателей установлена равной 10 мин.

В повторно-кратковременном режиме работы двигателя с номинальной нагрузкой на достаточно большом интервале времени температура двигателя колеблется относительно некоторого среднего значения, увеличиваясь во время работы $t_в$ и снижаясь во время паузы $t_о$. Допустимая температура перегрева изоляции у двигателей крановой и металлургической серий составляет соответственно 100 °С и 125 °С.

Для защиты электродвигателей от длительных перегрузок при повторно-кратковременном режиме работы применяется встроенная электротепловая защита, реагирующая на температуру обмоток электродвигателя (применение электротепловых реле, реагирующих на ток перегрузки, малоэффективно из-за того, что чувствительный биметаллический элемент реле охлаждается быстрее при обесточенном двигателе, чем сам двигатель [Тырва]).

При пуске двигателя с повышенной статической нагрузкой двигатель должен развивать необходимый пусковой момент, превышающий статический момент нагрузки на величину требуемого динамического момента. Для выполнения этого требования двигателям указанных серий придана повышенная перегрузочная способность по моменту и по току по сравнению с электродвигателями общепромышленных серий. В табл.1 приведены значения кратностей k_{max} максимального и $k_{пуск}$ пускового моментов трехфазных асинхронных двигателей [Белов].

Таблица 1

Мощность двигателей, кВт	Кратность моментов двигателей			
	крановых		общепромышленных	
	k_{max}	$k_{пуск}$	k_{max}	$k_{пуск}$
С фазным ротором:				
до 5	2,3	-	1,8	-
от 5 до 10	2,5-2,8	-	1,8	-
свыше 10	2,8-3	-	1,8	-
С короткозамкнутым ротором:				
до 8	2,5	2,5	1,65	0,9
свыше 8	2,8	2,8	1,65	0,9

Асинхронные крановые двигатели имеют синхронную частоту вращения от 1000 до 600 об/мин (меньшая частота вращения при большей мощности). Номинальная частота вращения крановых двигателей постоянного тока может составлять 700 или 1200 об/мин соответственно для тихоходного и быстроходного исполнений двигателей.

В последующей серии асинхронных двигателей типа 4МТ использованы современные материалы, повышена мощность до 200 кВт, снижен шум и вибрация, увеличена прочность валов.

Основные серии двигателей: фазные – МТФ, МТН, 4МТФ, 4МТН, 4МТМ и короткозамкнутые – МТКФ, МТКН, 4МТКФ, 4МТКН. Короткозамкнутые электродвигатели выпускаются мощностью до 30 кВт. Кроме того, для малых мощностей выпускаются двигатели ДМТФ, ДМТКН, АМТФ, АМТКН.

Двухскоростные двигатели выпускаются сериями МТКН, 4МТКН и 5АТ.

Работа асинхронных двигателей в системах частотного регулирования имеет свои особенности. Прежде всего, при частотном управлении значительно снижаются потери энергии в двигателях в пуско-тормозных режимах. Это позволяет переходить на более высокооборотные электроприводы.

Оптимальные частоты вращения двигателей в системах частотного регулирования, как уже было сказано, выше, чем в обычных системах, и составляют 1900 " 1800 об/мин для легкого и среднего режимов работы и до 1000 " 800 об/мин – для тяжелого режима. Однако при проектировании следует согласовывать максимальную частоту вращения разрабатываемого электропривода и максимальную допустимую частоту вращения редуктора.

Специальная серия крановых двигателей для частотно-регулируемых электроприводов выпускается отечественной промышленностью. Эта серия включает в себя двигатели типа АД2КД мощностью от 4 до 11 кВт в шести- и четырехполусном исполнениях с пристроенными дисковыми тормозами и двигатели 4МТКД мощностью от 22 до 110 кВт в шести- и восьмиполусном исполнениях. Двигатели 4МТКД выполнены с использованием основных узлов традиционных двигателей серии 4МТН и изготавливаются в закрытом обдуваемом исполнении, а также с вентиляцией, не зависящей от внешнего вентилятора с электроприводом. Для этих двигателей разработаны автономные тормозные устройства с гидротолкателями. Технические данные двигателей АД2КД и 4МТКД для частотно-регулируемых электроприводов приведены в [2].

В настоящее время распространилось мнение, что с появлением преобразователей частоты с векторным управлением, необходимость в крановых двигателях отпала. Действительно, высокий пусковой момент таких двигателей в системах частотного регулирования оказывается невостребованным, т.к. преобразователь с векторным управлением формирует механические характеристики с неизменной перегрузочной способностью, не зависящей от напряжения сети во всем диапазоне регулирования скорости. Двигатели общего назначения имеют при одинаковой с крановыми двигателями мощности меньший номинальный ток статора, меньшее номинальное скольжение, более высокий КПД, коэффициент мощности.

Таким образом, по электрическим параметрам двигатели общего назначения более пригодны для работы в составе частотно-регулируемого электропривода, чем традиционные крановые двигатели. Кроме того, они имеют меньшую массу и, как следствие, более низкую стоимость. Тем не менее, меньший запас прочности механических деталей, посадка пакета ротора без шпоночного соединения, часто более низкий класс изоляции двигателей общего

назначения требует осторожности при их применении в электроприводе механизмов подъема, особенно на кранах интенсивного режима работы. По всей вероятности целесообразно ограничить применение таких двигателей в частотно-регулируемом электроприводе механизмов горизонтального перемещения кранов режимов до 5К.

ФБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова"

Крановые электроприводы с контакторно-контроллерными системами управления

В настоящее время продолжают использоваться краны отечественного производства, например, "Кировец" и импортные краны такие, как "Альбатрос", "Ганц" и др. В них предусмотрены релейно-контакторные системы управления электроприводов механизмов крана.

Применяются следующие системы крановых электроприводов:

- асинхронный привод со ступенчатым регулированием сопротивления в цепи ротора;
- асинхронный привод с индукционным реостатом в цепи ротора.

Первая из отмеченных систем получила наибольшее распространение. Для управления электродвигателем привода применяются магнитные контроллеры, состоящие из командоконтроллера и панели, на которой смонтирована необходимая релейно-контакторная, защитная и сигнальная аппаратура. Предусматривается автоматическое выключение ступеней резисторов в цепи ротора электродвигателя по мере его разгона при пуске в работу. Для создания выдержек времени при выключении ступеней используются реле времени. Частота вращения также изменяется, но при ручном управлении скоростью электродвигателя, с помощью тех же резисторов.

Индукционный реостат представляет собой трехфазную индуктивную катушку с толстостенным магнитопроводом, выполненным для каждой фазы в виде стальных труб, которые помещаются в асбестоцементную трубу с размещенной вокруг нее обмоткой. Три обмотки индукционного реостата соединяются между собой по схеме "звезда" или "треугольник" и подключаются к трехфазной обмотке ротора двигателя. Применение индукционного реостата в крановых электроприводах достаточно просто решает задачу бесступенчатого плавного пуска электродвигателя, так как создаваемое им сопротивление в цепи ротора двигателя плавно уменьшается по мере разгона двигателя и уменьшения силы тока в цепи ротора. В отличие от резисторов индукционный реостат снижает коэффициент мощности, что является существенным недостатком. Кроме этого затруднена унификация индукционных реостатов на множестве крановых электроприводов разной мощности и назначения. Поэтому индукционные реостаты получили ограниченное применение.

Для управления электродвигателями приводов механизмов кранов применяются магнитные контроллеры. В состав магнитного контроллера входят командоконтроллер и панель, на которой смонтирована релейно-контакторная коммутационная, защитная и сигнальная аппаратура. На рис. _ приведена электрическая схема механизма подъема с магнитным контроллером типа ГСА.

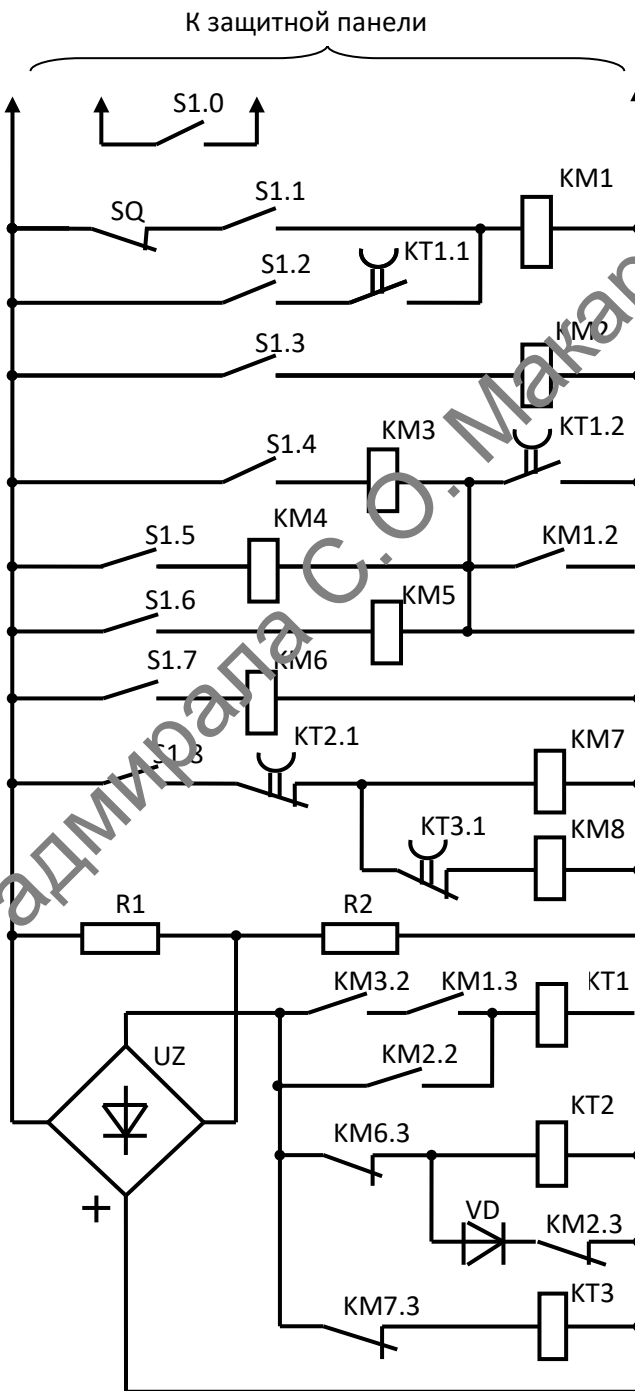
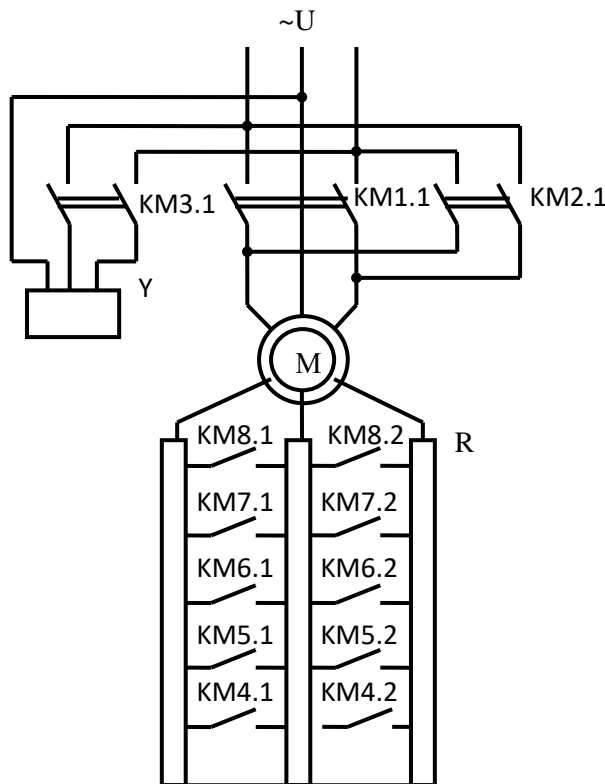


Таблица замыканий командоконтролера (КК)

Контакты	Положение рукоятки КК								
	Спуск				0	Подъем			
	4	3	2	1		1	2	3	4
S1.0					X				
S1.1			X	X		X	X	X	X
S1.2			X	X					
S1.3	X	X							
S1.4	X	X	X	X		X	X	X	X
S1.5		X				X	X	X	X
S1.6		X					X	X	X
S1.7		X						X	X
S1.8		X							X

Рис. _ . Электрическая схема асинхронного электропривода механизма подъема со ступенчатым регулированием сопротивления в цепи ротора магнитным контроллером типа ТСА

В нулевом положении рукоятки командоконтроллера (КК) замкнут его контакт S1.0, подключенный к защитной панели. Напряжение питания подается на магнитный контроллер. В других положениях рукоятки КК поданное на магнитный контроллер напряжение сохраняется, если оно находится в допустимых пределах. Защитная панель обеспечивает минимальную защиту по напряжению питания и нулевое блокирование работы магнитного контроллера.

В положении рукоятки КК "Подъем" 1 включены контакторы КМ1, КМ3 и КМ4. Катушки реле времени КТ1, КТ2, КТ3 получают питание и изменяют положения своих контактов. Тормоз разблокирован электромагнитом Y, и двигатель М работает на подъем груза.

При перемещении рукоятки КК из положения 1 в положения 2, 3, 4 последовательно срабатывают контакторы КМ5, КМ6 и с задержками по времени контакторы КМ7 и КМ8. Задержки создаются контактами КТ2.1 затем КТ3.1 реле времени КТ2, КТ3 после отключения от напряжения их катушек контактами КМ6.3 и КМ7.3. Это приводит к увеличению скорости вращения двигателя и подъема груза из-за ступенчатого уменьшения сопротивления в цепи ротора двигателя. Перемещение рукоятки КК из положения 4 в положение 0 приводит к ступенчатому увеличению сопротивления в цепи ротора двигателя, уменьшению скорости и остановке двигателя. В положении 0 вновь включены под напряжение питания катушки реле времени КТ2 и КТ3. Катушка КМ1 без питания.

Работа электродвигателя в режиме "Спуск" при положениях 1 и 2 рукоятки КК зависит от предыдущего состояния электропривода. Попытка спуска номинального груза из неподвижного состояния в положении "Спуск" 1 рукоятки КК приведет к подъему груза, т.к. включены контакторы КМ1, КМ3, КМ4 и реле времени КТ1, КТ2, КТ3 (реле КТ1 сработало). В положении "Спуск" 2 размыкается S1.5, отключается КМ4 и двигатель переходит на мягкую механическую характеристику при размыкании КМ4.1 и КМ4.2. Номинальный груз будет опускаться в режиме противовключения двигателя. Легкий груз может перемещаться на подъем. Поэтому при переходе из нерабочего состояния электропривода к операции "Спуск" оператор на задерживает надолго рукоятку КК в положениях 1 и 2.

В положении "Спуск" 3 рукоятки КК контакт S1.1 разомкнут, а S1.3 замкнут. Контакт КМ1 отключен, а КМ2 включен. Двигатель теперь работает на спуск груза и работает на скорости, незначительно превышающей синхронную скорость вращения при которой все ступени резистора R введены. С помощью диода VD уменьшается выдержка времени перехода на требуемую механическую характеристику, когда рукоятку КК оператор перемещает из положения "Спуск" 2 в положение "Спуск" 3. Уменьшение времени достигается при разомкнутом контакте КМ2.3. (В подключенном состоянии диод VD1 поддерживает ток самоиндукции в катушке КТ2 при размыкании контакта КМ6.3).

В положении "Спуск" 4 механическая характеристика двигателя мягкая и он развивает скорость, близкую к удвоенной синхронной скорости.

Положения "Спуск" 1 и "Спуск" 2 рукоятки КК " используются для уменьшения скорости груза перед его посадкой на опору. Переключение в положение 2 при опускании номинального груза сопровождается переходом на установившуюся скорость, равную примерно половине номинальной скорости. Если требуется более низкая посадочная скорость, то рукоятка КК переводится в положение 1, при котором замыканием контактов КМ4.1 и КМ4.2 выключается нижняя ступень резистора R. Тормозной момент при этом сильно возрастает и происходит быстрое снижение скорости опускания груза.

При переводе рукоятки КК в нулевое положение двигатель механически затормаживается при сохранении торможения противовключением в пределах выдержки времени раз-

мыкания контакта КТ1.1. Выдержка времени на размыкание контакта КТ1.2 исключает механическое подтормаживание при переходе из положения "Спуск" 2 в положение "Спуск" 3 и в обратном направлении.

Кроме магнитных контроллеров типа ТСА в системах управления электроприводов порталных кранов применяются магнитные контроллеры других типов, например, ТА, ДК, КС, ТСД, КСДБ, реализованные на релейно-контакторной аппаратуре.

Недостатки релейно-контакторных систем управления:

- 1) тяжелый режим работы контакторов в роторной цепи, укорачивающий срок их работы;
- 2) большой объем применяемой низковольтной коммутационной аппаратуры и частые простои из-за ее ненадежности;
- 3) чувствительность системы к просадкам напряжения, зачастую имеющим место в портовых сетях;
- 4) громоздкие резисторы и необходимость отвода выделяемого ими тепла;
- 5) невозможность плавного регулирования скорости в широком диапазоне и связанные с этим повышенные динамические нагрузки на металлоконструкцию крана, а также износ механического оборудования (редукторов и др.);
- 6) отсутствие системы сбора статистических данных о возникающих отказах, их количестве и причинах;
- 7) тяжелый режим работы тормозов и, как следствие, повышенный износ колодок.

Крановые электроприводы с применением полупроводниковых устройств и преобразователей

Большая часть действующих порталных кранов, из-за длительного периода и сложных условий эксплуатации физически и морально устарела. Они уже не отвечают современным требованиям эффективности и безопасности. Модернизация порталных кранов в первую очередь связана с изменением концепции управления грузоподъемными механизмами (ГПМ), а именно – замена контакторно-контроллерной системы управления на системы частотного управления. Новые технические решения предложены компанией ЗАО "Интелком" (инжиниринговым партнером компании Siemens). На рис. _ приведена структурная схема системы частотного управления механизмами порталного крана на основе применения активных блоков питания/рекуперации энергии AFE (Active Front Tnd).

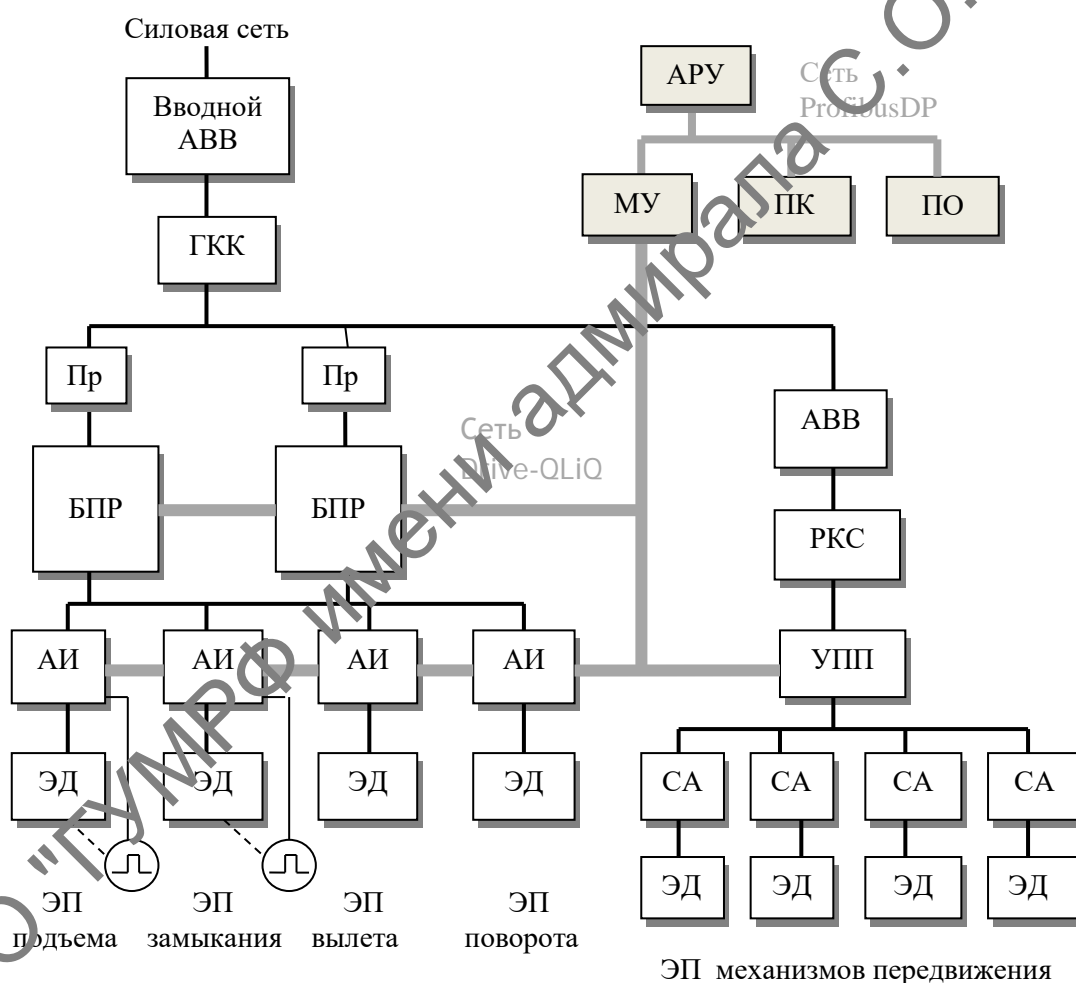


Рис. _ Система частотного управления механизмами порталного крана

АВВ - автоматический воздушный выключатель; ГКК - главный контактор крана; Пр - предохранитель; БПР - блок питания/рекуперации AFE; АИ - автономный инвертор; РКС - реверсивная контакторная сборка; УПП - устройство плавного пуска; СА - силовой автомат; ЭД - электродвигатель; АРУ - аппаратура ручного управления; МУ - модуль управления приводами; ПЛК - программируемый контроллер; ПО - панель оператора.

Активное входное устройство (БПР) представляет собой транзисторный мостовой выпрямитель и входной фильтр. Это устройство выпрямляет трехфазный переменный ток в по-

стоянный и поддерживает его постоянный уровень, рекуперирова энергию обратно в сеть в тормозном режиме и при опускании груза. При этом устройство потребляет из сети или генерирует в сеть чистый синусоидальный ток и работает с заданным $\cos\phi=1$, что снижает потери в питающем трансформаторе и делает излишним использование конденсаторной батареи для компенсации реактивных токов. Блок AFE допускает работу в слабых сетях с кратковременными просадками напряжения до 50% без необходимости использования дополнительного входного трансформатора.

Для управления двигателями крана, к цепи постоянного тока AFE подключены инверторы, преобразующие постоянное напряжение в переменное требуемой частоты. Вместо старых двигателей с фазным ротором применяются двигатели с короткозамкнутым ротором.

Двигатели приводов механизмов подъема/замыкания оснащаются импульсными датчиками положения, с помощью которых осуществляется замкнутое векторное управление скоростью двигателей. Для реализации режима грейферного автомата используется технологическая плата, встроенная в инвертор привода замыкания грейфера.

Силовые автоматы (CA) SIRIUS выполняют функцию защиты от перегрузки и короткого замыкания двигателей, трансформаторов и установок в диапазоне от 0,16 А до 100 А. Вместе с контактором они используются в качестве беспредохранительных пусковых устройств для двигателей.

Устройства плавного пуска (УПП) необходимы для устранения наиболее существенных недостатков, которые возникают при работе с асинхронными двигателями при повышенных пусковых моментах и токах. С помощью УПП привода уменьшается пусковой момент, а питающая сеть защищается от больших пусковых токов.

На кран устанавливается новая система ограничения грузоподъемности (ОГП) с регистратором параметров, отвечающая требованиям ПБ10-382-00 и РД10-399-01.

Система управления реализована на базе промышленного программируемого контроллера (ПК) типа SIMATIC S7-300, который управляет всеми исполнительными механизмами, и на который напрямую или опосредованно заведены сигналы от всех датчиков/конечных выключателей. (SIMATIC S7-300 - это модульный программируемый контроллер, предназначенный для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности).

На базе ПК реализована дополнительная система регистрации параметров работы крана ("черный ящик"), а также система человеко-машинного интерфейса. В дополнительном "черном ящике" помимо параметров, предусмотренных РД 10-399-01, сохраняется: состояние всех приводов, ошибки, предупреждения, токи, напряжения, положения джойстиков регулирования и пр. На панели оператора, устанавливаемой в кабине крановщика, отображается вся необходимая технологическая информация о текущих параметрах работы, как отдельных механизмов, так и крана в целом, а также возможные неисправности. Оператор может самостоятельно диагностировать любую возникшую неисправность, а также при необходимости выбрать соответствующий режим работы крана.

Связь между ПК, активными блоками выпрямления/рекуперации, инверторами и панелью оператора осуществляется по сетевому интерфейсу ProfibusDP.

Все элементы системы управления, включая AFE, смонтированы в электропомещении, либо в шкафах.

Управление рабочими движениями крана осуществляется из удобной кабины управления с эргономическим расположением сиденья и органов управления краном. Кабина управления снабжена климатической установкой и обеспечивает хороший обзор обслужива-

емой крановщиком территории. Джойстики и прочие органы управления краном установлены на правом и левом пультах управления, в соответствии с эргономическими требованиями к их расположению. На правостороннем пульте управления размещаются органы управления механизмами подъема, грейферной лебедки и магнитного режима работы. На левостороннем пульте управления размещаются органы управления механизмами поворота, изменения вылета стрелы и рычаг управления механизмом передвижения портала крана. Все движения крана свободно и бесступенчато управляемы в соответствии с углом отклонения рычага командоаппарата между нулевым и максимальным значением скорости движения.

На левостороннем пульте управления находится также операторская панель (с экраном), по которой крановщик может проследить за работой крана, получить информацию по режимам работы крана и отдельно по каждому механизму. Устройство памяти операторской панели накапливает и предоставляет по запросу сведения о возникших неполадках системы в целях их устранения.

К числу устройств безопасности portalного крана относятся:

- ограничитель грузоподъемности;
- анемометр;
- конечные выключатели;
- различные устройства блокировки;
- рельсовый противоугонный захват.

На portalном кране применяется электронное устройство грузоподъемности крана. Силоизмерительный элемент ограничителя грузоподъемности крана установлен на подшипниковом узле механизма подъема. Его выходная переменная пропорциональна усилию, возникающему в канате. Сформированный сигнал поступает на аналоговый вход программируемого контроллера. Значение нагрузки отображается на панели оператора.

Текущее значение вылета стрелы измеряется энкодером, установленным в механизме изменения вылета стрелы. На панели оператора отображается вылет стрелы в метрах. Сигналы, несущие информацию о вылете стрелы и нагрузке, перемножаются в соответствии с программой, заложенной в контроллер. Получаемое таким образом значение момента силы (нагрузки) сравнивается с допустимым значением момента, относящегося к данному значению вылета стрелы. В зависимости от заложенной программы, например, при превышении значения момента на 10% относительно номинального значения, система управления инициирует сигнал на запрет подъема груза и позволяет только опускать груз на землю. Она также блокирует любого рода движения крана, приводящие к увеличению нагрузки.

Важнейшей функцией устройства ограничителя грузоподъемности является функция слежения за "нулевым" грузом. При достижении грузом земли (в случае работы с грейфером или электромагнитом) система управления поддерживает натяжение грузоподъемных канатов, исключая их ослабление.

Скорость ветра измеряется анемометром и отображается на панели оператора. Программно устанавливаются два порога для скорости ветра. При превышении первого порога (16 м/с) система управления выдает предупреждающий акустический сигнал, а при достижении второго порога скорости ветра (20 м/с) отключает главный автомат portalного крана и автоматически закрывает рельсовые противоугонные захваты крана. (Путем вмешательства крановщика эта блокировка передвижения крана может быть отключена на то время, пока кран перемещают до безопасного места парковки).

Конечные выключатели, применяемые на portalном кране, служат для выработки команд, запрещающих рабочее движение механизма крана при достижении опасного пре-

дельного положения. На порталном кране может быть предусмотрено оптическое устройство контроля приближения кранов друг к другу, поскольку на одном подкрановом пути обычно работают несколько кранов.

К числу устройств безопасности крана относятся также устройства звуковой и световой сигнализации, которые включаются при работе того или иного механизма крана (так, например, сигнализация при передвижении крана, достижении чрезмерного значения скорости ветра, предельных значений перегрузки и т.п.).

ФБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова"

Особенности проектирования электроприводов механизмов крана

Частотно-управляемый электропривод механизма подъема

Механические характеристики идеального электропривода механизма подъема располагаются во всех четырех квадрантах, см. рис.

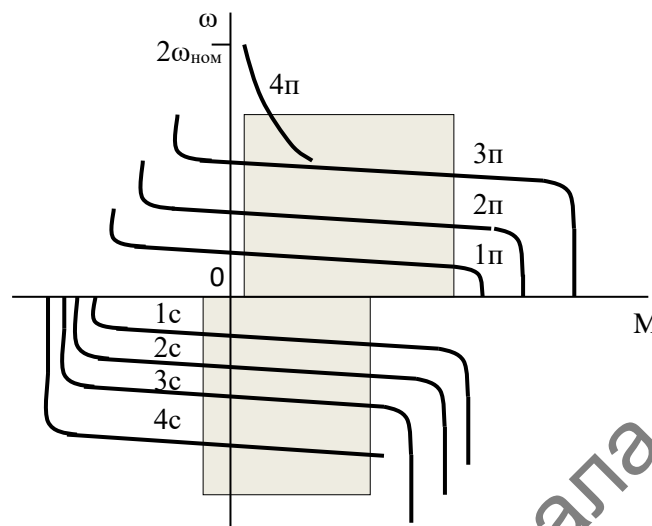


Рис. Желаемые механические характеристики электропривода механизма подъема

Главной отличительной особенностью электропривода механизма подъема является наличие активного (потенциального) характера момента нагрузки. Активный момент нагрузки всегда имеет один знак, т.е. момент, создаваемый весом груза, всегда стремится раскрутить механизм в сторону спуска. Таким образом, при подъеме груза (первый квадрант механических характеристик) электропривод должен преодолевать этот момент (работать в двигательном режиме), при работе в направлении спуска (четвертый квадрант механических характеристик) не давать грузу опускаться в режиме свободного падения (тормозной режим). Потенциальная энергия груза при опускании должна или возвращаться в питающую сеть (что более предпочтительно) или рассеиваться в виде тепла в специальном устройстве. Необходимость обеспечения установившейся скорости в тормозном режиме является главным требованием к электроприводу механизма подъема и является определяющим при выборе структуры силовой цепи.

Кроме того, для большинства электроприводов механизма подъема существует так называемый режим силового спуска – когда статический момент, создаваемый весом легкого груза или пустого крюка, не преодолевает момент от потерь в механической части (редукторе канатно-блочной системе). В этом случае электропривод работает в двигательном режиме с весьма небольшим тормозным моментом – не более 10-15% от номинального. Характеристики силового спуска располагаются в третьем квадранте. Во втором квадранте электропривод не имеет установившегося режима и работает только в режиме торможения с высших на низшие скорости.

Поскольку большинство электроприводов механизма подъема требуют регулирования скорости, в каждом квадранте располагается несколько механических характеристик.

Характеристика 1 в первом квадранте служит в основном для обтягивания строп грузозахватного приспособления. Характеристика 2 является промежуточной. При работе на

характеристике 3 производится подъем груза с номинальной скоростью. Характеристики 4, лежащие в первом, третьем и четвертом квадрантах используются в электроприводе кранов с большой высотой подъема, прежде всего башенных. При работе на этих характеристиках производится подъем и опускание грузов массой меньше номинальной с повышенной скоростью.

Наибольшее влияние на выбор системы электропривода и ее структуру оказывает характеристика 1, лежащая в третьем и четвертом квадрантах. Скорость опускания груза на этой характеристике называется посадочной или установочной, определяется технологическими требованиями к крану и является одной из главных характеристик электропривода механизма подъема. При активном моменте нагрузки всегда возникает опасность падения груза с угрозой для жизни людей и разрушения механизмов. Поэтому, к конструкции как механической, так и электрической частей правилами “Устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов” предъявляются требования, направленные на обеспечение безопасности.

Первым из них является обязательное наличие в конструкции механической части тормоза так называемого “нормально замкнутого типа”, т.е. при отключенном приводе механизм должен быть всегда заторможен. Тормоз должен обладать достаточным запасом тормозного момента, называемым “коэффициентом запаса торможения”.

Вторым требованием является обязательное обеспечение опускания груза только работающим электродвигателем.

Указанные требования определяют схемные решения, и построение силового канала электропривода механизма подъема с преобразователем частоты:

- 1) электропривод должен обеспечивать достаточный запас пускового момента при максимальной допустимой нагрузке и максимальном допустимом снижении питающего напряжения;
- 2) растормаживание механического тормоза должно производиться только после того, как электропривод разовьет пусковой момент достаточный для подъема груза;
- 3) срабатывание любой защиты электропривода должно приводить к отключению электропривода с затормаживанием механическим тормозом;
- 4) преобразователь частоты должен быть оборудован устройством рекуперации или рассеяния энергии торможения (тормозной резистор) с мощностью, достаточной для обеспечения опускания груза максимальной допустимой массы на номинальной скорости.

Структурная схема наиболее распространенного частотного электропривода механизма подъема крюкового крана представлена на рис.

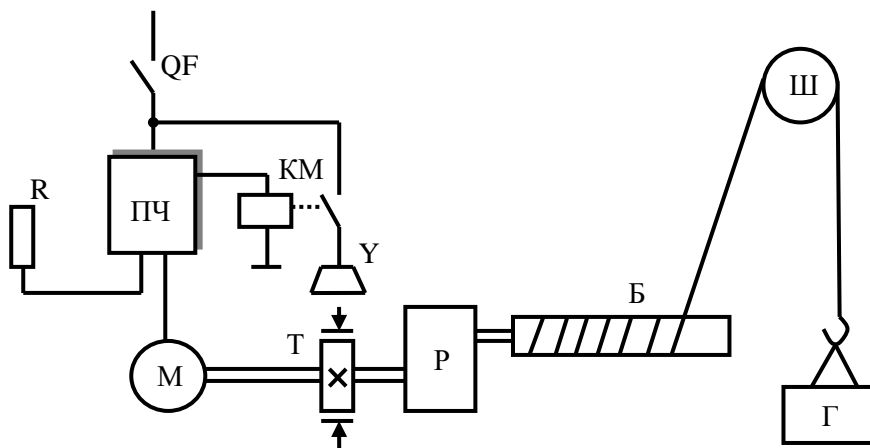


Рис. Структурная схема электропривода механизма подъема:

ПЧ - преобразователь частоты; R - тормозной резистор КМ - контактор тормоза;
У - привод тормоза; М - электродвигатель; Т - тормоз; Р - редуктор; Б- барабан;
Ш - шкив троса; Г - груз

Управление электромеханическим (электрогидравлическим) приводом тормоза производится контактором, включающимся встроенным релейным выходом преобразователя частоты после того, как электродвигатель разовьет достаточный пусковой момент. Для рассеяния энергии торможения служит тормозной резистор, хотя может применяться и устройство рекуперации энергии. Кроме того, некоторые электроприводы могут содержать датчики скорости и перемещения.

Кроме представленной на рис. 3.2 традиционной компоновки механической части привода существует также вариант, при котором механический тормоз с электромагнитным приводом составляет одно целое с двигателем. Некоторое распространение в крановом электроприводе получили также двигатели с коническим подвижным ротором, растормаживание которых производится при осевом перемещении ротора под действием электромагнитных сил.

Частотно-управляемые электроприводы горизонтального перемещения

К механизмам горизонтального перемещения относят механизмы передвижения кранов и грузовых тележек, а также механизмы поворота. Все эти механизмы имеют реактивный (т.е. не зависящий от направления движения) момент нагрузки.

Идеальный электропривод механизма горизонтального перемещения должен обеспечивать жесткие механические характеристики (рис.) в двигательном и тормозном режимах. В отличие от механизма подъема тормозной режим механизмов горизонтального перемещения занимает лишь небольшое время цикла и возникает, как правило, при переходе с высших скоростей на низшие.

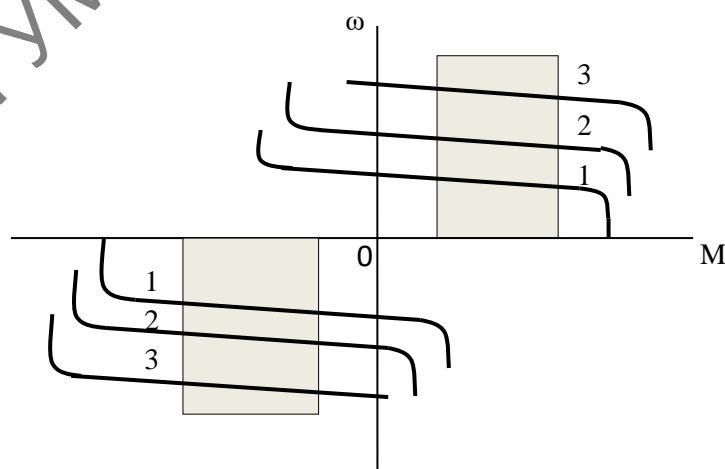


Рис.. Желаемые механические характеристики электропривода механизма горизонтального перемещения

В тормозном режиме электропривод механизмов горизонтального перемещения может работать также при движении под уклон (что бывает при неисправности рельсовых путей) или при движении по ветру.

Многие механизмы горизонтального перемещения имеют большой приведенный момент инерции, поэтому, во избежание повышенных динамических нагрузок на металлоконструкции и механизмы электропривод должен ограничивать ускорения при пуске и торможении.

В связи с большим моментом инерции электродвигатели таких механизмов выбираются с учетом повышенных пусковых потерь, из-за этого статический момент на валу электродвигателей в установившемся режиме не превышает, как правило, 50% номинального момента.

Масса перемещаемого груза, как правило, оказывает небольшое влияние на статический момент электропривода механизма передвижения, т.к. масса металлоконструкции крана обычно больше массы груза.

Масса груза и масса грузовой тележки мостового крана уже соизмеримы, а масса грузовой тележки башенного крана намного меньше массы груза. Поэтому масса перемещаемого груза оказывает значительное влияние на загрузку механизмов.

Алгоритм управления тормозом в электроприводах механизмов горизонтального перемещения проще, чем в электроприводах механизмов подъема. Из-за реактивного момента нагрузки снятие тормоза в большинстве случаев можно производить, не дожидаясь, пока момент электродвигателя возрастет до значения статического момента. Основным требованием является наложение тормоза при скорости, близкой к нулевой, для снижения динамических нагрузок и уменьшения износа тормозных накладок.

Особенностью электроприводов горизонтального перемещения является то, что большинство из них реализуются как многодвигательные приводы, например, приводы механизмов передвижения кранов и механизмов поворота. В этом случае электродвигатели могут питаться как от одного преобразователя частоты (рис. 3.4), что является наиболее экономичным вариантом, так и от индивидуальных преобразователей, обеспечивающих более гибкое управление крановыми механизмами. Можно предположить, что в многодвигательных приводах мостовых и козловых кранов общего назначения с небольшими пролетами достаточно одного преобразователя для питания группы двигателей. В этом случае, каждый двигатель должен быть оборудован индивидуальной защитой от перегрузки в виде теплового реле (рис. 3.4).

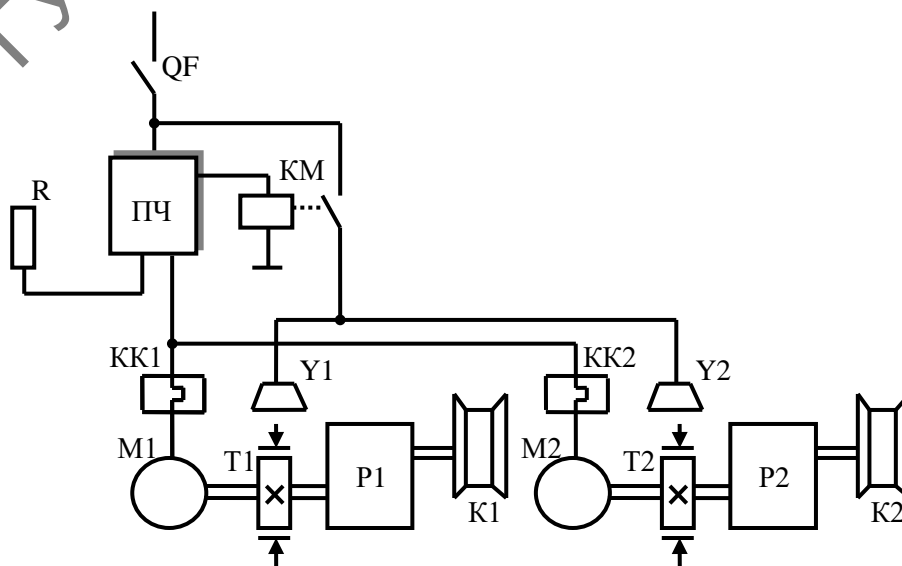


Рис.3.4. Структурная схема электропривода механизма передвижения

ПЧ - преобразователь частоты; R - тормозной резистор; QF - автоматический выключатель; KM - контактор тормоза; КК1, КК2 - тепловые реле; Y1, Y2 - приводы тормозов Т1, Т2; М1, М2 - электродвигатели; Р1, Р2 - редукторы; К1, К2 - приводные колеса тележки

Питание двигателей от индивидуальных преобразователей представляется целесообразным для приводов механизмов передвижения мостовых и козловых кранов с большими пролетами. В этом случае благодаря большей гибкости управления возможно обеспечение выравнивания нагрузки между двигателями по схеме «ведущий-ведомый», синхронизации движения приводов с целью устранения перекоса моста крана и т.д.

Наиболее сложными с точки зрения организации управления являются электроприводы механизмов поворота башенных кранов, особенно с верхним расположением поворотного строения. Наличие упругих металлоконструкций, широкий диапазон изменения статического момента и момента инерции существенно усложняют управление такими механизмами.

Следует отметить, что в крановых приводах, особенно для механизмов подъема, весьма важным является вопрос обеспечения тормозных режимов работы приводов. При переходе двигателя в режим торможения, например, при спуске груза или интенсивном торможении крана или тележки, энергия торможения может гаситься на тормозных резисторах или рекуперироваться в сеть с помощью специальных модулей. Вопросы, связанные с рациональным выбором тормозных устройств, подробно изложены в [1 и 3].

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ АККУМУЛЯТОРНЫХ МАШИН БЕЗРЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Электротележки и электропогрузчики

К машинам безрельсового транспорта относятся электрические тележки (электрокары) и погрузчики (рис.). Тележки предназначены для перевозки груза на территории порта. Погрузчики перемещают груз в вертикальном направлении. Эти машины оснащены автономными источниками электрической энергии - аккумуляторными батареями и электроприводами постоянного тока.



Рис. Электротележка



Рис. Электропогрузчик

В приводе ходовых колес используется один или два электродвигателя с последовательной обмоткой возбуждения. Последовательная обмотка обеспечивает работу двигателя без существенной перегрузки по мощности при больших моментах перегрузки. Причем, в диапазоне больших нагрузок двигатель обладает довольно жесткой механической характеристикой, что обеспечивает стабилизацию частоты вращения при колебаниях момента сопротивления.

Применяются следующие способы управления скоростью вращения:

- изменением подводимого напряжения путем переключения секций аккумуляторной батареи;
- изменением сопротивления реостата в цепи якоря двигателя;
- изменением магнитного потока возбуждения.

Для реализации последнего способа последовательная обмотка возбуждения выполняется из двух секций, которые можно включать последовательно или параллельно. Ослабление магнитного потока достигается также шунтированием обмотки возбуждения резистором. В двухдвигательных электроприводах применяют последовательное или параллельное включение электродвигателей.

Для снижения скорости вращения используется динамическое торможение, а для полной остановки - механический тормоз.

Наиболее распространенным электрокаром отечественного производства является электрокар ЭК-2. При сравнительно небольших размерах он обладает большой маневренностью. На электрокаре ЭК-2 установлен кулачковый контроллер, контакты которого замыкаются с помощью профилированных кулачков, насаженных на вал контроллера. Источником питания является щелочная желе-зоникелевая аккумуляторная батарея.

Электрокар ЭКП-750 по устройству отличается от электрокара ЭК-2 наличием подъемной платформы. Под контейнер электрокар подходит с опущенной платформой, затем платформа поднимается и контейнер оказывается установленным на ней.

На базе электрокара ЭКП-750 изготовлены электрокары ЭКБ-П-750 с подъемником, приводимым в движение общим двигателем. Подъем груза производится механизмом подъема платформы; электрокар ЭКБ-С-750 представляет собой электрокар-самосвал с опрокидывающимся кузовом и предназначен для перевозки деталей россыпью и сыпучих грузов. Его кузов имеет объем 0,25 м³.

Электрокары ЭТБ-1000, ЭКБ-С-1000, ЭКБ-Г-1000, ЭТ-1 представляют собой модификацию электрокаров грузоподъемностью 750 кг и рассчитаны на транспортирование грузов до 1 т. Двигатель и аккумуляторная батарея такие же, как и у электрокара ЭКП-750.

Электроприводы аккумуляторных машин безрельсового транспорта имеют релейно-контакторные системы управления. В качестве аппарата ручного управления применяется командоконтроллер. Скорость движения задается положением рукоятки командоконтроллера. Обычно она ограничена пределом 20 км/ч.

Аккумуляторные батареи

Аккумуляторные батареи компонуют из нескольких включенных последовательно элементов. На большинстве машин устанавливают батареи напряжением 24, 30, 32 или 40 В. В отдельных случаях применяют напряжение до 160 В. Аккумуляторная батарея без подзарядки обеспечивает пробег тележки до 50-70 км. Преодолеваемый подъем дороги при движении с грузом составляет 3% по уклону, без груза - 8%.

Применяются аккумуляторные батареи, компонуемые из кислотных или из щелочных аккумуляторов. Электролит кислотного аккумулятора представляет собой раствор серной кислоты в дистиллированной воде плотностью 1,20-1,27 г/см³. Электролит щелочного аккумулятора - раствор едкого кали или едкого натра в дистиллированной воде. Плотность электролита 1,19-1,20 г/см³. Емкость Q (ампер-час) аккумуляторной батареи определяется количеством запасенного в ней электричества.

Пластины кислотного аккумулятора выполнены из свинца (положительная) и окислов свинца (отрицательная). ЭДС полностью кислотного аккумулятора достигает 2,1 В. При разряде аккумулятора ЭДС и плотность электролита снижаются. Кислотный аккумулятор необходимо выводить из эксплуатации, если ЭДС снизилась до 1,7-1,8 В, а плотность электролита до 1,17-1,18 г/см³. Внутреннее сопротивление кислотных аккумуляторов невелико, поэтому они способны создавать большой ток в электрической цепи. Однако, они плохо переносят токи короткого замыкания, длительную зарядку и глубокую разрядку.

Для электрокаров ЭТБ-1000 применяются кислотные батареи типа 12ЭН-150, а для электрокаров ЭТ-1 — батареи типа 12ЭН-300. Аккумуляторы ЭН-150 и ЭН-300, из которых собираются эти батареи, имеют улучшенную конструкцию, в которой применены тройные сепарации и более толстые пластины. За счет этого срок службы их увеличивается до 1300 циклов.

Щелочные аккумуляторы бывают железоникелевыми и кадмиевоникелевыми в зависимости от применяемого материала для пластин аккумулятора (положительные пластины у обоих видов выполнены из гидрата перекиси никеля). Заряд или разряд щелочного аккумулятора не изменяет плотность его электролита. ЭДС полностью заряженного аккумулятора составляет 1,2 В, а разряженного 0,7 В. По сравнению с кислотными аккумуляторами они

имеют большее внутреннее сопротивление, обладают меньшей емкостью и отдачей энергии в единицу времени, имеют больший срок службы. При использовании щелочных аккумуляторов приходится устанавливать аккумуляторную батарею больших размеров.

Для питания электрокара Э-2 используется батарея 28ТЖН-250, которая состоит из 28 последовательно соединенных щелочных аккумуляторных элементов типа ТЖН-250 емкостью 250 а. ч. Каждая батарея размещается в двух стальных ящиках с общим весом около 460 кг без электролита. Аккумуляторные элементы батареи заливаются раствором едкого натра плотностью 1,18 и 1,20 г/см³ с добавкой 10 г/л моногидрата лития.

Электрическая схема аккумуляторного электропривода

Одна из наиболее простых электрических схем привода электротележки показана на рис. 1. Управление двигателем производится с помощью кулачкового контроллера с контактами Q1.1, Q1.2, ..., Q1.9.

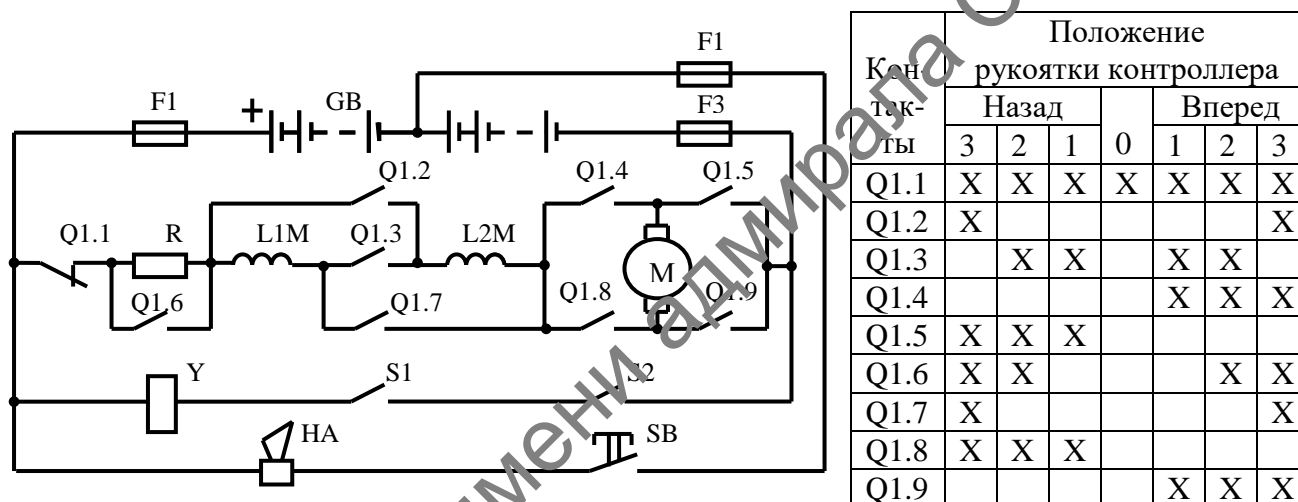


Рис. 1. Электрическая схема аккумуляторного электропривода с контроллером

Подготовка тележки к работе производится поворотом специального ключа, к помощи которого замыкается контакт S2. При нажатии на педаль тормоза одновременно с разблокированием колес замыкается контакт S1. Электромагнит Y получит питание и заблокирует контакт Q1.1 в замкнутом состоянии с помощью специального блокирующего устройства, когда рукоятка контроллера находится в нулевом положении. В другом положении рукоятки кулачек вала контроллера освобождает контакт S1.1, но он остается замкнутым из-за удерживающего усилия электромагнита Y.

В первом и во втором положениях рукоятки контроллера секции L1M и L2M обмотки возбуждения двигателя M включены последовательно, а в третьем положении - параллельно. Уменьшении тока возбуждения двигателя при переводе рукоятки из второго в третье положение и снижение магнитного потока возбуждения приводит к увеличению скорости вращения электродвигателя M, когда момент сопротивления на валу двигателя небольшой при движении тележки по горизонтальной твердой поверхности. Если тележка преодолевает подъем, то перемещение рукоятки контроллера из второго в третье положение может привести к снижению скорости из-за увеличенного момента сопротивления.

Для остановки тележки опускается педаль тормоза. Контакт S1 размыкается и теряет питание электромагнит Y. Контакт Q1.1, не поджатый кулачком контроллера размыкается (рукоятка контроллера не в нулевом положении). Двигатель M перестает получать питание и останавливается. Механический тормоз останавливает машину. Если, не возвращая рукоятку контроллера в нулевое положение, вновь нажать педаль тормоза, то тележка растормозится, но двигатель не начнет работать так как электромагнит не сможет замкнуть контакт Q1.1. Для повторного включения двигателя рукоятка контроллера должна быть возвращена в нулевое положение, в котором контакт Q1.1 замыкается кулачком контроллера.

Некоторые машины имеют контакторное управление, исключающее необходимость применения громоздких и металлоемких контроллеров. Преимуществом контакторного управления является уменьшение размеров и веса оборудования, что позволяет устанавливать его в наиболее удобном для управления месте. Панель с силовыми контакторами можно расположить в непосредственной близости от двигателя, уменьшив этим потерю энергии в соединительных проводниках.

В электрических схемах электрокаров и электропогрузчиков предусматриваются различные блокировки, предупреждающие неправильные включения при управлении ими. Такие блокировки исключают возможность пуска двигателя при замкнутых тормозах, включения заднего хода при работе машины вперед, пуска двигателя при отсутствии оператора на рабочем месте.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ТРАНСПОРТА

Общие сведения

Ленточный конвейер — транспортирующее устройство непрерывного действия с рабочим органом в виде ленты.

Ленточные конвейеры (рис.) являются наиболее распространенным средством непрерывного транспорта благодаря высокой производительности (до 400 т/ч), большой длине транспортирования (до 500 м.), высокой надежности, простоте конструкции и эксплуатации, представляют собой устройства непрерывного действия, несущим и тяговым органом которых является гибкая бесконечная лента.

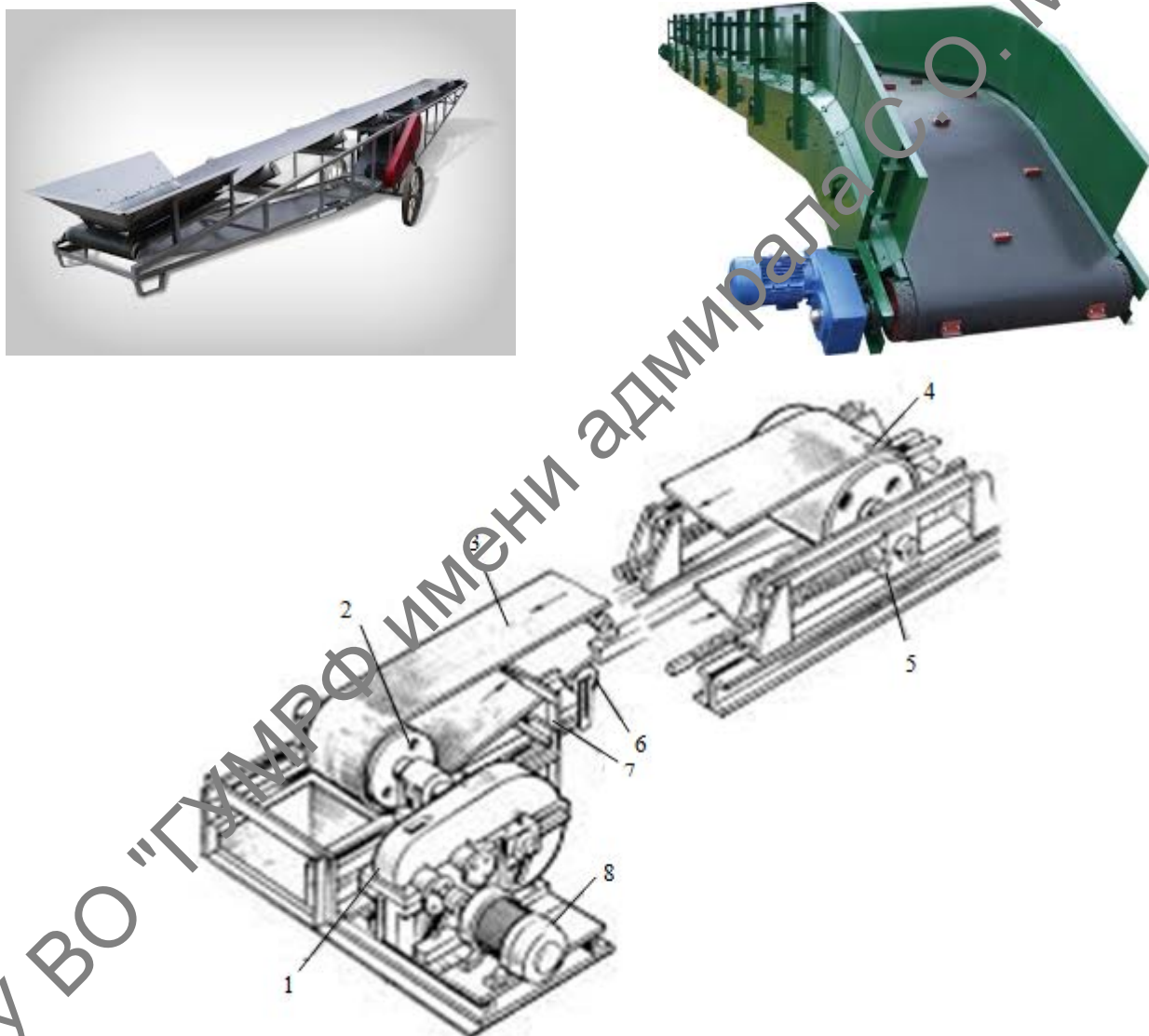


Рис. Ленточный конвейер

1 - редуктор; 2 - приводной барабан; 3 - прорезиненная лента; 4 - обводной (натяжной) барабан;
5 - натяжное устройство (для ленты); 6 - роликовые опоры; 7 - рама; 8 - электродвигатель

Ленточные конвейеры применяются для перемещения сыпучих, кусковых и штучных грузов в горизонтальном и наклонном направлениях.

Принцип работы конвейера основан на поступательном движении ленты конвейера. На верхней ветви ленты перемещается транспортируемый груз, она является грузонесущей (рабочей), нижняя ветвь является холостой (нерабочей). На всем протяжении трассы лента поддерживается желобом, настилом, роликовыми опорами верхней и нижней ветвей, в зависимости от конструкции которых лента имеет плоскую или желобчатую форму. Лента приходит в движение за счет приводного барабана, который вращается посредством работы привода (это может быть мотор – редуктор, либо электродвигатель и редуктор соединенные муфтой).

Ленточные конвейеры бывают передвижными, переносными, поворотными и стационарными. Стационарные конвейеры применяют для перемещения большого количества материалов на расстояние от 3 до 500 м, а передвижные и переносные конвейеры – для перемещения небольшого количества материала на расстояние от 2 до 20 м. В практике применяют последовательно расположенные конвейеры для перемещения материала на километры.

Требования к электроприводам конвейеров

Электроприводы конвейерных установок должны обеспечивать работу в длительном режиме при переменной нагрузке без реверсирования направления движения.

В некоторых случаях, например, при работе конвейерной установки на уклон, электропривод должен работать как в двигательном, так и в тормозном режимах.

В случае последовательной установки нескольких конвейеров, работающих с перевалкой транспортируемого материала с одного конвейера на другой в общей технологической цепочке, должна быть обеспечена очередность их включения и отключения. Включение конвейеров должно происходить в направлении встречного грузопотока, а отключение – в направлении грузопотока для устранения завалов в точках перегрузки.

Для магистральных конвейеров, работающих с переменной нагрузкой в течение длительных промежутков времени, считается целесообразным регулирование скорости тягового органа для обеспечения постоянной нагрузки грузонесущей ветви конвейера. Это позволяет повысить энергоэффективность использования конвейерных установок, сократить пробег тягового органа, следовательно, увеличить ресурс дорогостоящей конвейерной ленты.

Для многоприводных конвейеров электропривод должен обеспечить выравнивание нагрузок между двигателями и устранять проскальзывание ленты относительно барабанов.

С целью ограничения динамических нагрузок, обеспечения надёжного сцепления ленты с барабаном и транспортируемого груза с лентой электропривод конвейерных установок, особенно при их большой длине, должен ограничивать ускорение при пуске допустимой величиной и устранять колебательные динамические нагрузки.

В случае применения регулируемых электроприводов, обеспечивающих процессы плавного пуска, регулирования скорости ленты конвейерной установки, ограничения динамических нагрузок и выравнивания нагрузок между приводными двигателями, минимальный диапазон регулирования скорости должен быть 10:1.

Нерегулируемые электроприводы конвейерных установок

Наибольшее применение находит электропривод переменного тока на основе асинхронных двигателей. При коротких конвейерах небольшой производительности обычно ис-

пользуют асинхронные двигатели с глубокопазым короткозамкнутым ротором или ротором типа двойной беличьей клетки, имеющие повышенный пусковой момент. Предельная мощность этих электроприводов не превышает 100 - 200 кВт, так как вследствие падения напряжения в сети происходит значительное снижение пускового момента, что затрудняет запуск гружёного конвейера.

Для конвейеров большой длины и производительности, как правило, применяется электропривод с асинхронными двигателями с фазным ротором, обеспечивающими ограничение пусковых токов и ускорений. При этом, с целью снижения динамических нагрузок, применяют предварительные пусковые ступени для выбора зазоров в передачах и создания начального натяжения ленты и большое количество пусковых ступеней для снижения величин мгновенных приращений момента двигателя при переключении пусковых резисторов, способствующих возникновению упругих колебаний в тяговом органе и προκαлывания его по барабану. На конвейерных установках применяют контакторные схемы с числом пусковых ступеней 10 - 12 и переключением их в функции времени или в функции времени и тока.

Релейно-контакторные устройства плавного пуска обладают существенным недостатком - большими потерями электрической энергии в процессе пуска, которая рассеивается в виде тепловой энергии на пусковых резисторах. В настоящее время всё большее распространение получают устройства плавного пуска (УПП), в ряде модификаций которых заложены также функции торможения. Применение УПП обеспечивает: плавный пуск асинхронного двигателя с ограничением пускового тока и углового ускорения, защиту от механических ударов исполнительного механизма, позволяет регулировать время разгона и торможения.

Устройства плавного пуска (софтстартер) имеют множество применений: насосы, вентиляторы, компрессоры, конвейеры, тяжело нагруженные и инерционные механизмы.

Устройство плавного пуска представляет полупроводниковый регулятор напряжения на зажимах статора двигателя. Изменение напряжения осуществляется путём регулирования угла отпирания тиристорov, включённых по схеме встречно-параллельного соединения в каждой фазе обмотки статора двигателя.

Регулируемые электроприводы конвейерных установок

Применение релейно-контакторных схем и устройств плавного пуска решают вопросы обеспечения пусковых процессов конвейерных установок. Для реализации остальных требований к конвейерным установкам, таких как, регулирование скорости ленты в функции грузопотока или ограничения динамических нагрузок, требуется применение регулируемого электропривода. В современных условиях наибольшими перспективами обладают частотно-регулируемые электроприводы с асинхронными и синхронными двигателями. Синхронный частотно-регулируемый электропривод выполняется на базе высоковольтных преобразователей частоты с выходным напряжением 6 и 10 кВ. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод выполняется с преобразователями частоты отечественных и зарубежных производителей на напряжения 0,4; 0,69; 1,19; 3,0 (3,3); 6,0 (6,3; 6,6); 10,0 (10,5) кВ для двигателей соответствующего напряжения.

Так как регулирование скорости ленты конвейерных установок и ограничение динамических нагрузок требует диапазон регулирования скорости как минимум 10:1, то двухтрансформаторные преобразователи частоты не могут быть использованы для привода конвейер-

ных установок. Повышающий трансформатор уже при диапазоне регулирования 1,5:1 входит в режим насыщения из-за меньшей частоты тока относительно номинальной, что приводит к повышенным потерям мощности.

Низковольтные преобразователи частоты напряжением до 1,19 кВ и высоковольтные на напряжение до 10 кВ выпускаются с инверторами напряжения на базе IGBT транзисторов и, как правило, комплектуются ПИД-регулятором (PID Controller). Высоковольтные преобразователи частоты на напряжение от 3,0 (3,3) до 10 (10,5) кВ выпускаются с инверторами тока на базе запираемых тиристоров.

Микроконтроллерная система осуществляет функции управления, защиты и контроля. Система управления реализует следующие основные функции:

- 1) прямое цифровое управление всеми элементами преобразователя, включая управление силовыми ключами в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ);
- 2) формирует модель двигателя;
- 3) программное управление скоростью (частотой) или заданием технологической переменной в функции времени (часовые, суточные, недельные циклы);
- 4) управление входным тиристорным преобразователем для плавного заряда конденсаторной батареи С0 в звене постоянного тока;
- 5) управление цепью приёма энергии торможения для ее рассеяния на балластном резисторе RВ;
- 6) косвенное определение ряда дополнительных параметров с помощью цифровых наблюдателей: потребляемой мощности, расхода электроэнергии, технологических процессов (расход воды, воздуха и др.);
- 7) ввод любого числа дополнительных параметров технологического процесса с интеллектуальных датчиков, в том числе с удаленных датчиков давления и температуры.

Микропроцессорная система защиты и контроля реализует следующие основные функции:

- 1) управляет встроенной защитой от коротких замыканий и пропадания напряжения питания драйверов;
- 2) контролирует токи утечки и перенапряжения в звене постоянного тока;
- 3) контролирует перегрев автономного инвертора и двигателя;
- 4) управляет защитой от обрыва и перекоса фаз;
- 5) управляет максимально-токовой и времятоковой защитой.

Большинство преобразователей частоты в своей структуре управления обеспечивают стабилизацию результирующего вектора потокосцепления ротора в диапазоне выходных частот от нуля до номинальной частоты. Механические характеристики частотно-регулируемого электропривода при этом аналогичны механическим характеристикам электроприводов постоянного тока с независимым возбуждением. Имея высокую перегрузочную способность, механические характеристики частотно-регулируемого электропривода обладают в рабочей зоне высокой степенью линейности. Также как и в электроприводах постоянного тока, где скорость холостого хода зависит от напряжения холостого хода якоря, в частотно-регулируемом электроприводе синхронная скорость зависит от величины напряжения холостого хода статора.

Система управления предназначена для регулирования скорости тягового органа конвейерной установки в функции поступающего на него переменного грузопотока. Так как грузопоток не всегда является максимальным, то большую часть времени конвейерная лента движется с пониженной скоростью, обеспечивая максимальное сечение груза на всём протя-

жении ленты. Это обеспечивает энергосбережение в системе регулируемого электропривода и ресурсосбережение дорогостоящей конвейерной ленты, так как снижается её пробег.

Для регулирования скорости в функции грузопотока, в качестве датчика грузопотока используются электронные конвейерные весы, которые устанавливаются на пути грузопотока перед его поступлением на сборный магистральный ленточный конвейер. Так как сигнал управления формируется датчиком грузопотока, то реализуется следящая система, которая задает управляющий сигнал на скорость в зависимости от массы груза, проходящего через электронные конвейерные весы. Система отслеживает грузопоток и создает, в зависимости от её величины, необходимую скорость ленты.

В комплект электронных конвейерных весов входит также датчик скорости. Наибольшее распространение получили конвейерные весы НПП «МЕТРА».

Управление грузопотоком в одноконтурной системе регулирования имеет существенный недостаток, связанный с отсутствием возможности контроля тока статорной цепи двигателя. Поэтому, наряду с одноконтурной, получила распространение система с двухконтурной системой подчиненного регулирования. В такой системе внутренним контуром является контур регулирования тока (момента), а внешним - контур регулирования скорости.

Особенности проектирования электроприводов конвейерных установок

Электродвигатели приводов конвейерных установок работают в продолжительном режиме. Выбор типа двигателя следует начинать с рассмотрения вопроса о возможности использования трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, так как эти двигатели наиболее просты по устройству, надежны, имеют высокие энергетические показатели. Недостатки этих двигателей: сравнительно небольшой пусковой момент при большом пусковом токе. В электроприводе большой мощности оправдано применение трехфазных синхронных двигателей, имеющих наиболее высокие энергетические показатели (КПД и коэффициент мощности).

Расчетная мощность электродвигателя привода может быть определена по формуле [4]:

$$P_p = \frac{kQ(cl + H)}{270\eta},$$

где Q - производительность, т/ч; k - коэффициент запаса ($k=1,2...1,3$); l - длина транспортера, м; η - КПД передачи транспортера ($\eta=0,70...0,85$); c - опытный коэффициент (см. таблицу); H - высота подъема транспортера, м ($H=l \cdot \sin \alpha$, $\alpha=15...20^\circ$).

Т а б л и ц а .

Значения коэффициента c

Длина транспортера l , м	При производительности, т/ч					
	$Q=10$	$Q=20$	$Q=50$	$Q=100$	$Q=200$	$Q=400$
10	2,00	1,40	0,92	0,67	0,50	0,37
20	0,66	0,50	0,35	0,27	0,22	0,18
25	0,35	0,28	0,22	0,17	0,14	0,12

Промежуточные значения коэффициента c могут быть определены путем интерполяции данных таблицы.

При необходимости регулирования частоты вращения двигателя следует рассмотреть вопрос о целесообразности применения в электроприводе трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором совместно с регулируемым преобразователем частоты (частотно-регулируемый электропривод), либо асинхронного двигателя с фазным ротором.

Анализ существующего парка преобразователей частоты показывает, что обеспечивается вся линейка приводных двигателей конвейерных установок.

Выбор преобразователя частоты (ПЧ) для регулирования скорости тягового органа конвейерной установки основан на следующих положениях:

- номинальное напряжение ПЧ должно соответствовать номинальному напряжению приводного двигателя;

- номинальная мощность (ток) ПЧ должна соответствовать номинальной мощности (току) приводного двигателя;

- параллельное включение нескольких двигателей допускается только к преобразователям частоты с инвертором напряжения. Такое подключение двигателей допускается в пределах мощности (тока) преобразователя частоты (суммарная номинальная мощность подключенных двигателей должна быть равна или меньше номинальной мощности преобразователя частоты);

- преобразователь частоты с инвертором тока предназначен для работы с индивидуальным электроприводом, т.е. к нему можно подключить только один приводной двигатель конвейерной установки. Если конвейерные установки имеют несколько приводных двигателей, то для них необходимо использовать несколько преобразователей частоты с инвертором тока, количество которых соответствует количеству двигателей;

- для причалов, опасных по газу и пыли, необходимо применение взрывозащищённых преобразователей частоты.

Преобразователь частоты совместно с асинхронным двигателем, как объект математического описания, представляет собой динамическое звено высокого порядка. Если представить систему «преобразователь частоты - асинхронный двигатель» в виде динамического звена второго порядка с электромеханической и электромагнитной постоянными времени, то можно считать, что оно представляет собой упрощенное математическое описание данной системы.

Основным препятствием, ограничивающим применение частотно-регулируемого электропривода, является относительная сложность системы управления и повышенная стоимость.

Выбор устройства плавного пуска (УПП) должен основываться на следующих положениях:

- номинальное напряжение УПП должно соответствовать напряжению питающей сети;

- номинальный ток УПП должен соответствовать току нагрузки электродвигателя, к которому подключается УПП;

- категория эксплуатации УПП должна соответствовать продолжительному (или циклическому) режиму работы (стандарт МЭК 60947-4-2).

При проектировании электропривода с заданной скоростью движения ленты конвейера возможен выбор двигателя определенной мощности с разным значением номинальной частоты вращения. Двигатели одинаковой мощности, но разных частот вращения имеют неодинаковые габариты и стоимость (чем больше частота вращения, тем меньше габариты и стоимость двигателя). Однако применение быстроходных двигателей вызывает необходи-

мость применения редукторов с большим передаточным отношением и, следовательно, большими габаритами и стоимостью.

В экономическом обосновании проекта электропривода необходимо учитывать экономические показатели двигателя, редуктора, пускорегулирующих устройств (регулируемых преобразователей, устройств «мягкого» пуска, защиты) в их совокупности.

ФБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова"

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОРЕМОНТНЫХ И СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДОВ

Электрифицированные объекты предприятий водного транспорта

Промышленные предприятия водного транспорта представлены:

- судостроительно-судоремонтными заводами (ССРЗ);
- судоремонтными заводами (СРЗ);
- судоремонтными мастерскими (СРМ);
- судоремонтно-механическими заводами (СРМЗ);
- ремонтно-эксплуатационными базами (РЭБ) и др.

Промышленное предприятие судостроения занимает участок берега с прилегающим к нему водным районом, где размещается комплекс сооружений, в которых предусматривается несколько видов производств:

- а) корпусное с цехами или участками - корпусообрабатывающим, сборочно-сварочным и корпусостроительным;
- б) судомонтажное с участками - механомонтажным и трубозаготовительным;
- в) достроечно-отделочное с участками - слесарно-монтажным, деревообрабатывающим, столярно-плотничным, изоляционным, малярным, такелажно-парусным;
- г) электромонтажное с цехами или участками - электромонтажным и шеф-монтажным;
- д) машиностроительное с цехами или участками - механообрабатывающим, механосборочным, кузнечнопрессовым, литейным, гальванопокрытий.

Особенность судостроительных и судоремонтных предприятий состоит в том, что в них применяются судоподъемники. В качестве судоподъемников применяются слипы и доки.

Слип - это подъемно-спусковое сооружение для управляемого механизированного подъема и спуска судов на *судовозных тележках* по рельсовым путям, уложенным на наклонной плоскости. Рельсовые пути имеют надводные и подводные части. Последняя обеспечивает погружение судовозных тележек на глубину, достаточную для постановки на них плавучего судна (или для всплытия судна с тележек). Подъем судовозных тележек осуществляется с помощью соответствующего тягового оборудования (лебедок, шпилей и др.). В зависимости от того, как расположено судно по отношению к направлению спуска (подъема), различают продольные и поперечные слипы. Продольный слип имеет уклон от 1:10 до 1:20 (реже до 1:25) и обеспечивает подъем судна в направлении его диаметральной плоскости. Недостатком его является большая длина подводной части рельсовых путей, необходимая для залубления судовозных тележек на всю длину судна. Поперечный слип служит для бокового спуска (подъема) судна. Его уклон составляет от 1:4 до 1:10. Постройка (ремонт) судов может осуществляться непосредственно на судовозных тележках слипа или на горизонтальных стапельных местах, для чего требуется перемещение судна с тележек слипа на судовозные стапельные тележки.

Судовой (корабельный) док может быть сухим, наливным или плавучим. Изготавливается из металла или железобетона. Предназначен для постройки, ремонта, транспортировки судов. Например, сухой док представляет собой бассейн специальной постройки, отделенный от акватории водонепроницаемым затвором — батопортом, с возможностью откачки воды или заполнения ею. В сухих доках (доках, где спущена вода) проводится техосмотр и

ремонт судов. Плавающий док обычно имеет вид прямоугольного горизонтального понтона с полыми стенками, образующими конструкцию, напоминающую по форме ящик. Система насосов и клапанов позволяет откачивать воду и наполнять водой балластные цистерны для притапливания или всплытия плавучего дока с судном или другим плавучим предметом, зафиксированным на доковой палубе. Судно входит в док и выходит из него через специальные ворота-затворы.

Для промышленных предприятий судостроения характерно большое разнообразие энергетического и информационного электрооборудования. Электрическими устройствами оборудуются насосы, вентиляторы, компрессоры, металлообрабатывающие станки и другие механизмы.

Насосы на судоремонтных и судостроительных заводах в основном используются для коммунального и промышленного водоснабжения, водоотлива и подачи воды из скважин. Насосы этой группы обычно оснащены нерегулируемыми электроприводами, а управление подачей воды производится дросселированием на стороне нагнетания. Этот способ управления простой, но приводит к снижению КПД насосного агрегата.

Насосные агрегаты объединяют в насосные станции, в которых несколько насосов работают параллельно на одну сеть. КПД насосной станции увеличивается, если управление подачей воды производится путем одновременного регулирования частоты вращения всех параллельно работающих насосов. Однако это связано с увеличением капитальных затрат на оснащение агрегатов регулирующими электроприводами. Поэтому большинство насосных станций оборудуют одним регулируемым агрегатом со ступенчатым регулированием всех остальных [2].

Вентиляторы применяют для кондиционирования воздуха в производственных и других помещениях. Широкое применение получили вентиляторы с электродвигателями мощностью до 1000 кВт. Для привода крупных вентиляторов применяют синхронные электродвигатели, в том числе специальные двигатели с большим моментом инерции. Вентиляторы мощностью до 250 кВт оснащены асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором. В установках кондиционирования применяют регулируемые электроприводы с индукторными или гидравлическими муфтами скольжения.

Компрессоры применяют для получения сжатого воздуха. Распространены поршневые компрессоры. В электроприводах поршневых компрессоров используют синхронные электродвигатели. Для компрессоров небольшой мощности широко применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором с повышенным пусковым моментом. Электродвигатели постоянного тока могут использоваться в случае необходимости регулирования частоты вращения.

Электротермические установки

Электрические печи на судоремонтных и судостроительных предприятиях применяются для нагрева металлов под термическую обработку, а также для плавления металлов и сушки материалов. Распространены электрические печи сопротивления и электрические дуговые печи.

В электрических печах сопротивления электрическая энергия преобразуется в тепловую энергию при протекании тока через нагреватели (печи косвенного нагрева) или через нагреваемое изделие (печи прямого нагрева). Печи косвенного нагрева в большинстве исполнений получают питание от сети 380/220 В, могут быть трехфазными и однофазными

мощностью до 10 000 кВт. Температуру печи регулируют с помощью несложной аппаратуры, периодически включающей и отключающей нагреватели. В состав электрооборудования печи входят нагревательные элементы, понижающие и регулировочные трансформаторы, электроприводы механизмов и вентиляторов, силовые коммутационные аппараты. В печах прямого нагрева изделие, подлежащее нагреву, устанавливается в зажимные устройства, обеспечивающие протекание тока по нагреваемому изделию. Основным электрооборудованием являются понижающие трансформаторы, контактные устройства с механизмами сжатия контактов, устройства автоматического регулирования процесса нагрева. Мощность этих установок составляет до 2000 кВт·А, напряжение питания 380, 1000 В и более.

Электрические дуговые печи - печи, в которых для расплавления металлов используется электрическая дуга, горящая между электродами и поверхностью расплавленного металла. В процессе плавки металла производится регулирование напряжения первичного трансформатора и электрической мощности, подводимой к электродам дуговой электропечи. Для этой цели в цепи первичного (высокого) напряжения используется автотрансформатор. Кроме этого предусматривается регулирование напряжения путем переключения обмоток со схемы «треугольник» на схему «звезда».

Индукционные печи - печи канальные и тигельные, в которых электрическая превращается в энергию переменного магнитного поля, а затем в тепловую энергию в помещенных в это поле телах. Такие печи применяются для плавки черных и цветных металлов, нагрева металлов под термообработку и пластическую деформацию, поверхностную закалку и зонную плавку. Печи оборудованы индукторами, трансформаторами, конденсаторными батареями, преобразователями частоты. Напряжение питания этих электротермических установок 380 В или до 10 000 В промышленной частоты, мощность достигает 2500 кВт·А.

Оборудование для электрической сварки

Электросваркой получают неразъемное или герметичное соединение. Процесс сварки протекает в нагретом состоянии соединяемых поверхностей до температуры плавления или пластического состояния. Поэтому различают два вида сварки: дуговую - сварку плавлением и контактную - пластический вид сварки. В первом случае тепловая энергия, необходимая для сварки, выделяется в дуговом разряде в непосредственной близости от свариваемого стыка; во втором случае тепловая энергия выделяется непосредственно в свариваемом стыке при протекании электрического тока через свариваемые детали.

Дуговая сварка наиболее распространена. Основное оборудование дуговой сварки: источники питания (ИП), электроприводы перемещения тележек и подачи проволоки у автоматов и полуавтоматов, коммутационная, защитная и управляющая аппаратура, устройства для поджигания и стабилизации электрической дуги. Применяются источники питания постоянного тока: электромашинные преобразователи, выпрямители; и источники питания переменного тока: одно- и трехфазные трансформаторы с небольшим сопротивлением короткого замыкания.

Наибольшее распространение получили электромашинные преобразователи типов ПСО (однопостовый), ПСГ (для сварки в защищенном газе). Напряжение питания приводного двигателя преобразователя 380/220 В, мощность может составлять от 5 до 55 кВт.

Сварочные выпрямители имеют одно- и трехфазные схемы двухполупериодного выпрямления. Трехфазная мостовая схема обеспечивает хорошую устойчивость сварочной дуги и равномерность загрузки фаз силовой сети. Она получила преимущественное применение. К

трехфазным выпрямителям относятся: ВКС-300 (выпрямитель сварочный на 300 А), ВД-101, ВД-301 (выпрямители для ручной дуговой сварки на токи 125 и 300 А), ИПП-300, ВС-400, ИПП-500 и др.

Основными источниками переменного тока являются сварочные трансформаторы типов ТСД, СТН, СТ,ТД, ТСШ. Мощность трансформаторов 9 - 165 кВ·А, напряжение питания 380/220 В.

Контактная сварка может быть стыковой, точечной и шовной (рис.)

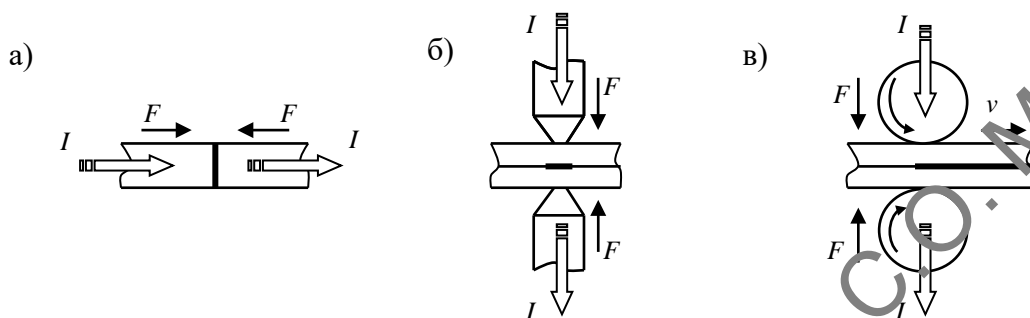


Рис. _ Виды контактной сварки: а - стыковая; б - точечная; в - шовная
 F - сила сжатия; I - сварочный ток; v - скорость перемещения деталей

На рис. места соприкосновения деталей, подверженных контактной сварке, показаны утолщенными линиями. Упрощенная функциональная схема однофазного агрегата контактной сварки показана на рис.

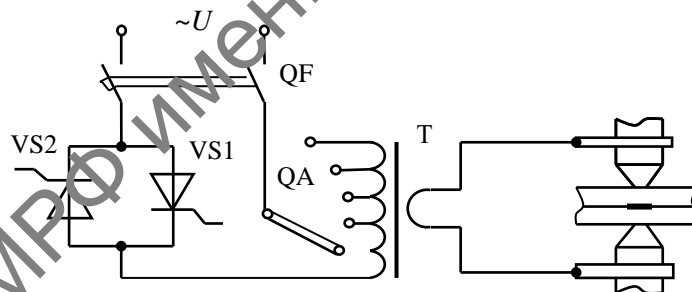


Рис. Функциональная схема агрегата контактной сварки

Наиболее распространены стыковые сварочные машины переменного тока с напряжением питания 380 В, мощностью 10 - 1000 кВ·А (рис. _ а) и машины точечной сварки мощностью 10 - 200 кВ·А (рис. _ б). Машины шовной сварки (рис. _ в) мощностью 50 - 500 кВ·А применяются чаще с однофазными трансформаторами типа МШ. Для вращения и роликов при перемещении свариваемых деталей используются электродвигатели.

Электроприводы станков

Для механической обработки металлов режущими инструментами применяются металлорежущие станки (см. табл.).

Т а б л и ц а

Металлорежущие станки и электроприводы станков

Группа станков	Характеристика	Электрооборудование
Токарные станки	Предназначены для обработки поверхностей, прорезки канавок, нарезки резьбы и т.п. Режущий инструмент - резцы, сверла, развертки, метчики, плашки и др. Подача - поступательное перемещение суппорта с режущим инструментом	Электропривод (в сочетании с коробкой скоростей) - одно- и многоскоростные АД, системы Г-Д, системы ТП-Д. Для тяжелых станков подача от систем ЭМУ-ДПТ или ТП-ДПТ.
Расточные станки	Предназначены для обработки крупных деталей с поверхностями различной формы. Режущий инструмент - сверла, фрезы, метчики. Подача - перемещение шпинделя или шпиндельной бабки, перемещение стола вместе с заготовкой.	Электропривод (в сочетании с коробкой скоростей) - одно- и многоскоростные АД, системы Г-Д, системы ТП-Д, ЭМУ-Д, ПМУ-Д.
Строгальные станки	Предназначены для обработки плоских крупных деталей большой длины. Режущий инструмент - резец. Главное движение - возвратно-поступательное движение стола. Подача - перемещение суппорта прерывистое, периодическое.	Электропривод (в сочетании с коробкой скоростей) - одно- и многоскоростные АД, системы Г-Д с ЭМУ или МУ, системы ТП-Д.
Фрезерные станки	Предназначены для обработки наружных и внутренних плоских и фасонных поверхностей, прорезки прямых и витых канавок, нарезки наружных и внутренних резьб, зубчатых колес и т.п. Режущий инструмент - фреза. Главное движение - вращение фрезы. Подача - перемещение изделия.	Электропривод (в сочетании с коробкой скоростей) - одно- и многоскоростные АД, системы Г-Д, системы ТП-Д.
Шлифовальные станки	Предназначены для чистовой обработки деталей стального и тонкого слоя металла с поверхности. Режущий инструмент - абразивный круг. Главное движение - вращение шлифовального круга. Подача - возвратно-поступательное движение стола с периодическим перемещением в сторону круга и круга на глубину резания или круговое перемещение круглого стола и вертикальное перемещение круга на глубину резания.	Электропривод (в сочетании с коробкой скоростей) - одно- и многоскоростные АД, системы Г-Д, системы ТП-Д, ПМУ-Д, ЭМУ-Д. Вспомогательный привод - АД.

Примечания:

АД - асинхронный двигатель; Г-Д - система генератор-двигатель; ТП-Д - система тиристорный преобразователь-двигатель; ПМУ-Д - система предварительный магнитный усилитель-двигатель; Г-Д с ЭМУ или МУ - система генератор-двигатель с электромашинным усилителем или магнитным усилителем.

Диапазон регулирования от 3:1 до 120:1 для главного движения и 1000:1 для подачи.

Применяются электродвигатели защищенного и закрытого исполнения серии 4А переменного тока, серии 2П, ПС постоянного тока; для систем программного управления - шаговые двигатели.

В станочном парке предприятий водного транспорта большая часть станков различного назначения имеет электроприводы с асинхронными двигателями. Регулирование скорости вращения обычно достигается за счет применения двух- и трехскоростных двигателей, в том числе в сочетании с коробками передач.

В пазах сердечника статора такого двигателя располагаются две независимые обмотки с разным числом полюсов либо одна полюсoperключаемая обмотка. Эта обмотка имеет конструкцию, которая позволяет методом переключения катушечных групп получить разное число полюсов (число полюсов короткозамкнутой обмотки ротора всегда равно числу полюсов статора). В трехскоростном двигателе на статоре располагают одну обмотку с фиксированным числом полюсов и одну полюсoperключаемую (если установить две полюсoperключаемые обмотки, получим четырехскоростной двигатель).

Примеры соединения катушечных групп обмотки статора и механические характеристики двухскоростного асинхронного двигателя приведены на рис.

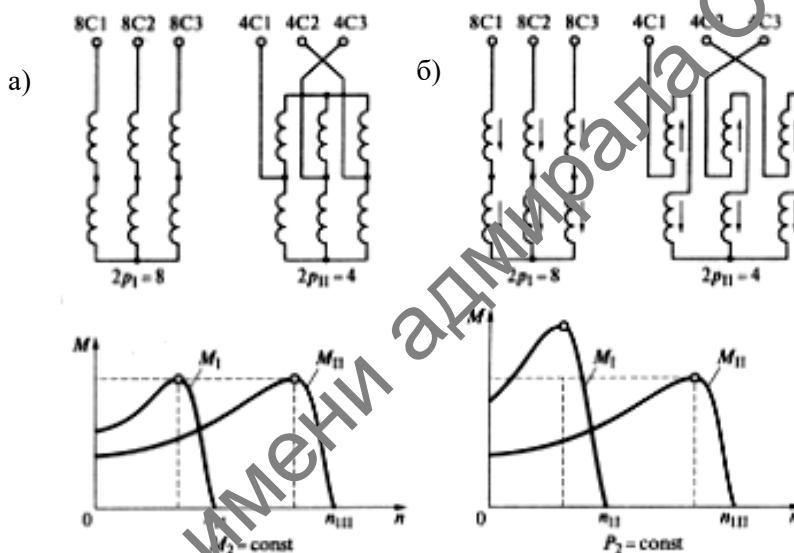


Рис. Схемы соединения катушечных групп обмотки статора и механические характеристики двухскоростного асинхронного двигателя
а) Y/Y режим постоянного момента; б) Y/Y (режим постоянной мощности)

Схема «звезда/двойная звезда» (Y/Y_Y) дает изменение числа пар полюсов (p) 1:2 (рис. а). Эти схемы обеспечивают асинхронному двигателю режим постоянного момента, т.е. при переключении обмотки статора с одной схемы на другую вращающий момент остается неизменным ($M \approx \text{const}$), а мощность изменяется пропорционально частоте вращения, т.е. в два раза ($P_{Y_{Y4}}/P_{Y_8} \approx 2$). Привод по такой схеме применяют тогда, когда момент нагрузки не изменяется при изменении частоты вращения n .

Схема «звезда/звезда» (Y/Y) также дает изменение числа пар полюсов в отношении 2:1 (рис. б), но она создает в асинхронном двигателе режим постоянной мощности, т.е. при переключении обмотки мощность двигателя остается практически неизменной ($P \approx \text{const}$), а момент изменяется в два раза ($M_{Y_8}/M_{Y_4} \approx 2$). Эти схемы применяют тогда, когда момент нагрузки изменяется обратно пропорционально частоте вращения.

Достоинством применения многоскоростного двигателя по приведенным схемам является сохранение высоких энергетических показателей при переходе с одной частоты враще-

ния на другую частоту, так как на всех ступенях переключения обмотки статора КПД и коэффициент мощности двигателя остаются практически неизменными. Однако сложность, повышенные габариты и, следовательно, высокая стоимость этих двигателей составляют их недостатки.

Управление многоскоростным электродвигателем осуществляется контакторной системой, которая реализует функцию последовательного включения двигателя, функцию защиты и др. Пример такой схемы приведен на рис.

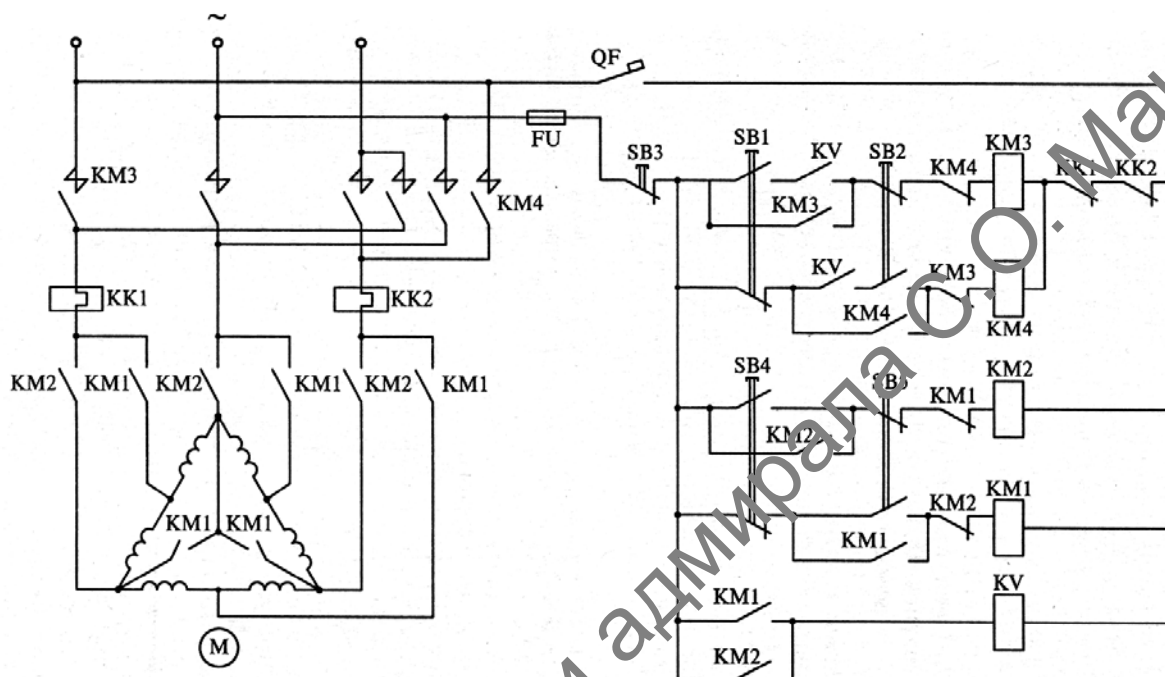


Рис. Схема управления двухскоростным короткозамкнутым асинхронным двигателем с полностью переключаемой обмоткой статора

При соединении обмоток статора в «треугольник» ее число полюсов наибольшее ($2p=4$), а при соединении обмоток в «двойную звезду» число полюсов обмотки наименьшее ($2p=2$). Защита силовой части электропривода осуществляется тепловыми реле КК1, КК2, а защита схемы управления - предохранителем FU.

Для пуска электродвигателя на низкую частоту вращения необходимо соединить обмотку статора в «треугольник». С этой целью нажимают кнопку SB4, при этом срабатывает контактор KM2 и блокировочное реле KV. Контакты KM2, замкнувшись, подготавливают двигатель M для включения в сеть при соединении обмоток статора в треугольник. Реле KV, замыкая свои контакты в цепях катушек аппаратов KM3 и KM4, подготавливает подключение двигателя в трехфазную сеть. Затем нажимают кнопку SB1 или кнопку SB2, в зависимости от требуемого направления вращения ротора двигателя «Вперед» или «Назад» соответственно.

После разгона ротора двигателя до установившейся (низкой) частоты вращения может быть осуществлено переключение его вращения на более высокую частоту. Для этого нажимают кнопку SB5, что приводит к отключению контактора KM2 и включению контактора KM1. В результате происходит перекоммутация секционных групп обмотки статора с «треугольника» на «двойную звезду».

Для остановки двигателя нажимают кнопку SB3, что вызывает отключение всех контакторов от сети.

Применение в схеме кнопок управления со сдвоенными контактами исключает одновременное включение контакторов КМ1 и КМ2, КМ3 и КМ4, что привело бы к неправильному соединению секционных групп обмотки статора и нарушению работы схемы

ФБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова"

В качестве примера на рис. приведена электрическая схема электропривода токарно-винторезного станка.

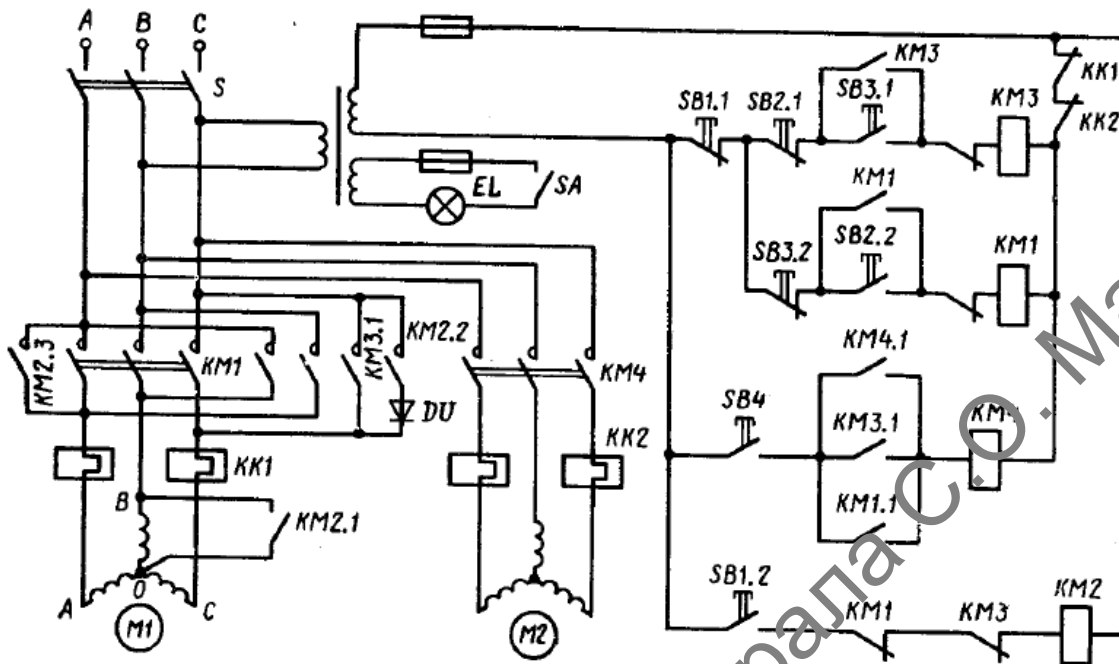


Рис. Электрическая схема электропривода токарно-винторезного станка

Главное движение (вращение шпинделя) и движение подачи (суппорта и резца) осуществляется с помощью асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором М1. Частота вращения шпинделя ступенчато изменяется вариатором и коробкой скоростей. При нарезании резьбы суппорт и резец перемещаются при помощи ходового винта с приводом от электродвигателя М1.

Система охлаждения состоит из бачка с центробежным насосом и механической передачи от электродвигателя М2. Лампа EL (на напряжение 36 В) предназначена для местного освещения.

Напряжение на рабочие цепи подается выключателем S.

При нажатии на кнопку SB2 подается питание на катушку контактора KM1 через замыкающие контакты SB1.1, SB3.2. Электродвигатель М1 получит питание из силовой сети и будет вращаться «вправо».

При нажатии на кнопку SB1 контакт SB1.1 разорвет цепь питания катушки KM1. Контакт KM1 отключится. Контакт SB1.2 будет включен контактор KM2. Его главные контакты в силовой цепи замкнутся и двигатель М1 перейдет в режим индукционно-динамического торможения при пульсирующем токе в ветви АОС статорной обмотки двигателя.

При нажатии кнопки SB3 срабатывает KM3, замыкаются контакты KM3.1, и двигатель М1 приобретает вращение «влево».

Контакты KM1.1 и KM3.1 контакторов KM1 и KM2 подготавливают к включению катушку контактора KM4. Поэтому при работающем двигателе М1 нажатием на кнопку SB4 можно включить двигатель охлаждения М2.

Некоторые станки, например, фрезерные могут иметь одновременно электроприводы переменного тока и постоянного тока. Двигатель постоянного тока применяют с целью плав-

ного регулирования подачи. Например, электропривод постоянного тока серии ЭТ6 позволяет осуществлять регулирование скорости в диапазоне 10 000:1. Электропривод имеет систему подчиненного регулирования с обратными связями по току и по скорости. Структурная схема электропривода приведена на рис.

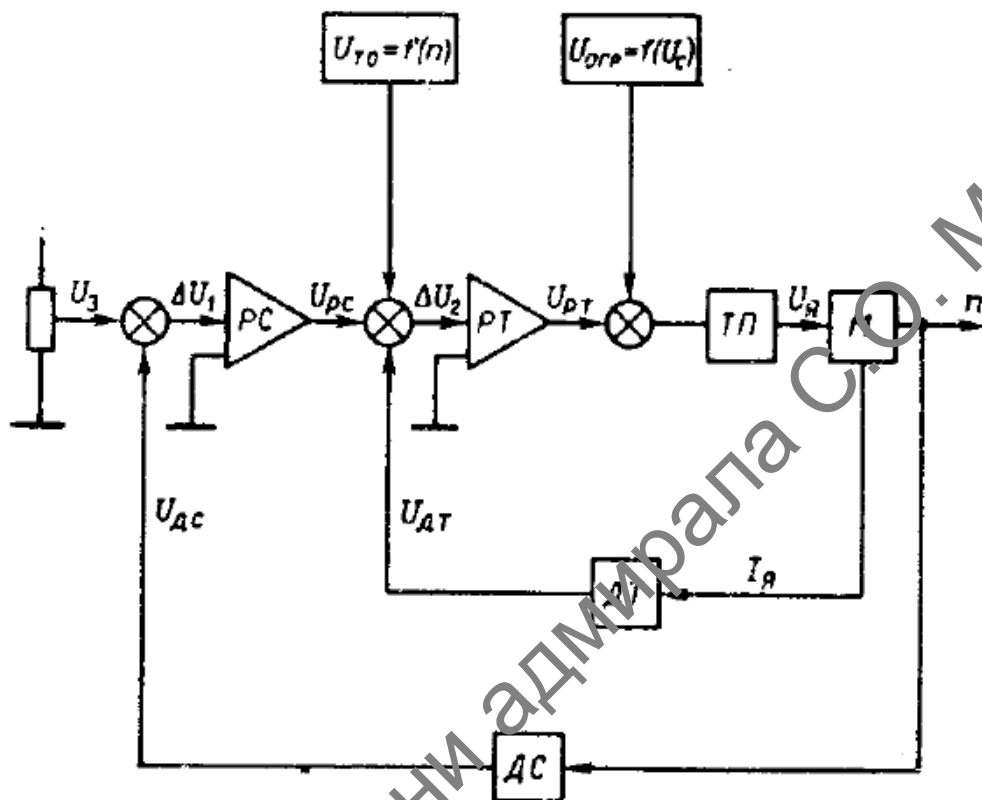


Рис. Структурная схема электропривода ЭТ6.

РС - регулятор скорости; РТ - регулятор тока; ТП - тиристорный преобразователь; М - двигатель постоянного тока; ДТ - датчик тока; ДС - датчик скорости; $U_{то}=f(n)$ - узел токоограничения; $U_{огр}=f(U_c)$ - узел ограничения минимального угла управления тиристорами

Электропривод работает следующим образом. При наличии рассогласования $\Delta U_1 = U_3 - U_{дс}$ на входе РС и на его выходе формируется сигнал, пропорциональный этому рассогласованию. Выходной сигнал сравнивается с выходным напряжением $U_{дт}$ датчика тока ДТ, которое пропорционально текущему значению тока якоря $I_я$ двигателя М. Результат сравнения ΔU_2 поступает на вход РТ. Регулятор РТ усиливает ΔU_2 и подает управляющее напряжение на схему формирования импульсов управления, функция которой заключается в формировании и распределении импульсов управления силовыми тиристорами преобразователя ТП. По мере уменьшения рассогласования между заданной скоростью двигателя и его текущей скоростью n , которые определяются сигналами ΔU_1 , U_3 и $U_{дс}$ соответственно, скорость n двигателя стабилизируется относительно заданного значения величиной напряжения U_3 .

Основную функцию в электроприводе преобразование электрической энергии в механическую выполняет электрический двигатель. От параметров электрического двигателя зависит технический уровень электропривода и станка. Требования, предъявляемые к приводам станков с ЧПУ, не могли выполняться на базе двигателей общепромышленных серий, поэтому для них разработаны специальные электродвигатели различных серий. Эти двигатели

ли отличаются быстроедействием, высокой надежностью, малыми габаритными размерами (особенно для роботов), большой перегрузочной способностью и точностью. К специальным электродвигателям относятся малоинерционные, высокомоментные и вентильные. Специальные электродвигатели имеют ряд вспомогательных и информационных устройств: тормоз, тахогенератор, датчики перемещения, температуры. В регулируемый привод кроме силовой части, построенной на тиристорах или транзисторах, входит система управления важнейшими элементами, которой являются регуляторы тока и скорости.

Тиристорные преобразователи в приводах переменного тока и транзисторные преобразователи как в тех, так и в других приводах строятся по системе «выпрямитель-инвертор». В выпрямителе переменное напряжение преобразуется в постоянное (как правило, неизменного уровня). В инверторе регулируется величина напряжения, подаваемого на двигатель путем изменения соотношения времени подключения двигателя к источнику напряжения и паузы. Преобразователь, построенный по такому принципу, - это широтно-импульсный преобразователь. Наибольшее распространение получил тиристорный электропривод постоянного тока, имеющий высокую надежность и большую мощность. Однако транзисторные электроприводы, хотя и уступают тиристорным по мощности и надежности, имеют высокие динамические и энергетические показатели. В настоящее время транзисторные электроприводы постоянного тока применяются в весьма ограниченном диапазоне мощностей и в тех случаях, когда они по каким-либо причинам не могут быть заменены тиристорными. Они вытесняются приводами с вентильными или асинхронными двигателями. Применение этих двигателей, а также современной микроэлектроники и микропроцессорной техники позволило создать бесконтактные электроприводы повышенной надежности с техническими характеристиками, превосходящими аналогичные в приводах постоянного тока.

В малогабаритных станках с ЧПУ и специализированных роботах применяют шаговый электропривод. Он отличается широким диапазоном регулирования скорости, высокой точностью и быстроедействием при малых габаритах, что позволило отказаться от установки датчиков скорости и положения. Применение шагового двигателя в качестве управляющего элемента в сочетании с гидросистемой существенно увеличило выходную мощность привода и расширило его область применения. И хотя в новых моделях станков с ЧПУ и роботах эти приводы уже не устанавливают, в эксплуатации находится еще большое количество станков с электрогидравлическим шаговым приводом подачи.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Системы искусственного освещения

На объектах водного транспорта применяются следующие системы искусственного освещения:

- общее освещение;
- общее локализованное освещение;
- комбинированное освещение;
- аварийное освещение.

Общее освещение предназначено для создания равномерного освещения с равномерным распределением освещенности по всей поверхности освещаемого помещения. Такое освещение обычно обеспечивается светильниками одинаковой мощности, равномерно распределенными по всей площади на одинаковой высоте.

В системе общего локализованного освещения важное значение имеет местное переносное освещение, и применение одного только местного освещения не допускается. Местное освещение всегда должно дополняться общим освещением для создания освещенности вспомогательных площадей помещения.

Комбинированное освещение предназначено для создания общего ослабленного равномерного освещения с сильным местным освещением непосредственно у рабочих мест. Комбинированное освещение целесообразно использовать в помещениях при наличии определенных рабочих мест ограниченной площади. Комбинированная система освещения позволяет экономить электроэнергию за счет выключения светильников местного освещения в промежутки времени, когда часть производственного оборудования не работает.

Аварийное освещение особенно необходимо в местах скопления людей при выходе из строя основной системы электрического освещения. Оно должно быть рассчитано с учетом того, чтобы при выходе из строя основного освещения создавалось не менее 10 % освещенности, установленных для нормальных условий работы. Если же аварийное освещение предназначено главным образом для безопасного выхода людей из рабочей зоны, то наименьшая допустимая при этом освещенность может быть принята равной 0,3 лк [4]. В качестве источников электроэнергии аварийного освещения могут быть использованы отдельные магистрали, аккумуляторные батареи, дизель-генераторы, автономные подстанции и др.

Источники электрического света

Электрические источники света, применяемые в настоящее время, можно разделить на три группы:

- лампы накаливания;
- люминесцентные лампы;
- натриевые газоразрядные лампы
- светодиодные лампы.

Лампы накаливания относятся к тепловым источникам электрического света, основанным на физическом явлении излучения нагретым телом. Лампа накаливания представляет собой стеклянную колбу с находящейся внутри нитью накала. Можно считать, что оптимальное значение температуры нити накала ламп около 6500 °К, чему соответствует КПД излучателя порядка 14,5 %, и излучаемый лампой свет по своему спектральному составу максимально приближается к дневному [4].

Люминесцентные лампы относятся к газоразрядным источникам света. Стеклообразная трубка лампы заполнена парами ртути под низким давлением. Внутренняя поверхность трубки покрыта слоем кристаллического вещества - люминофора. Спектральный состав излучаемого лампой света зависит от применяемого люминофора.



Рис. Различные виды люминесцентных ламп

При включении лампы происходит накал электродов, в результате чего они эмитируют электроны и возникает электрический разряд. Возбужденные разрядом молекулы ртути создают ультрафиолетовое излучение, воздействующее на люминофор, и люминофор излучает видимый человеком свет.

Наибольшее применение получили в настоящее время люминесцентные лампы типов ДС, ХБС, БС, ТБС. Они изготавливаются на напряжение 127 и 220 В, мощностью 8, 15, 20, 30 и 40 Вт.

По сравнению с лампами накаливания люминесцентные лампы обладают значительно большей светоотдачей - до 40...50 лм/Вт) и значительно большим сроком службы - около 2000...5000 ч, в то время, как средняя продолжительность горения лампы накаливания мощ-

ностью 40 Вт составляет 1000 ч при световой отдаче 12,5 лм/Вт. К недостаткам люминесцентных ламп можно отнести:

- высокий порог напряжения зажигания (могут работать при напряжении не менее 90 % номинального напряжения);
- пульсацию светового потока с удвоенной частотой сети из-за малой тепловой инерции;
- относительно малую мощность при довольно больших размерах;

От указанных недостатков свободны люминесцентные ртутные лампы высокого давления, получившие сокращенное название ДРЛ (дуговые, ртутные, люминесцентные). Они обладают высокой экономичностью по сравнению с лампами накаливания при той же номинальной мощности. Их спектр по цветности близок к спектру дневного света. Лампы ДРЛ изготавливают мощностью 250, 500, 750, 1000 Вт.

Натриевые газоразрядные лампы (НЛ) — электрические источники света, светящимся телом которого служит газовый разряд в парах натрия. Поэтому преобладающим в спектре таких ламп является резонансное излучение натрия. Лампы дают яркий оранжево-жёлтый свет. Эта специфическая особенность НЛ (монохроматичность излучения) вызывает при освещении ими неудовлетворительное качество цветопередачи. Из-за особенностей спектра и существенного мерцания на удвоенной частоте питающей сети НЛ применяются в основном для наружного освещения. Для внутреннего освещения производственных площадей используется в случае, если нет высоких требований к цветопередаче источника света.

В зависимости от величины парциального давления паров натрия лампы подразделяют на НЛ низкого давления (НЛНД) и высокого давления (НЛВД).

Несмотря на свои недостатки, натриевые лампы являются одним из самых эффективных электрических источников света. Световая отдача натриевых ламп высокого давления достигает 150 лм/Вт, низкого давления — 90 лм/Вт. Срок службы натриевой лампы до 28,5 тыс. часов.



Рис. НЛВД мощностью 150 и 100 Вт

Лампы низкого давления отличаются рядом особенностей. Во-первых, пары натрия весьма агрессивны по отношению к обычному стеклу. Из-за этого внутренняя колба обычно

выполняются из боросиликатных стёкол. Во-вторых, эффективность НЛНД сильно зависит от температуры окружающей среды. Для обеспечения приемлемого температурного режима колбы последняя помещается во внешнюю стеклянную колбу, играющую роль «термоса».

Создание ламп высокого давления потребовало иного решения проблемы защиты материала колбы от воздействия не только паров натрия, но и высокой температуры электрической дуги. Разработана технология изготовления трубок из оксида алюминия Al_2O_3 . Такая прозрачная и химически устойчивая трубка с тоководами помещается во внешнюю колбу из термостойкого стекла. Полость внешней колбы вакуумируется и тщательно дегазируется.

Лампы светят жёлтым или оранжевым светом (в конце срока службы лампы спектр излучения изменяется и варьируется от тёмно-оранжевого до красного). Высокое давление паров натрия в горячей лампе вызывает значительное уширение излучаемых спектральных линий. Поэтому НЛВД имеют квазинепрерывный спектр в ограниченном диапазоне в жёлтой области. Цветопередача при освещении такими лампами несколько улучшается по сравнению с НЛНД, однако падает световая отдача лампы (примерно до 150 лм/Вт).

В отечественной номенклатуре источников света существует ряд типов НЛВД: ДНаТ (дуговые натриевые трубчатые), ДНаС (дуговые натриевые в светорассеивающей колбе), ДНаМТ (дуговые натриевые матированные), ДНаЗ (дуговые натриевые зеркальные).

Светодиодные лампы имеют светодиоды в качестве источников света. Светодиодные лампы не используют веществ, содержащих ртуть, поэтому они не представляют опасности в случае выхода из строя или разрушения. Светодиодная лампа является одним из самых экологически чистых источников света.



Рис. Современная светодиодная лампа 6 Вт.
(Световой поток 360 лм)

Различают законченные устройства — светильники и элементы для светильников — сменные лампы.

Светодиодные светильники

Светодиодный светильник — самостоятельное устройство. Корпус светильника чаще всего уникален, специально спроектирован под светодиодный источник освещения. Конструктивно такой светильник состоит из корпуса, светодиодного источника света и электронного драйвера (преобразователя питания). Одна из простых схем драйвера на бестрансформаторном источнике питания показана на рис.

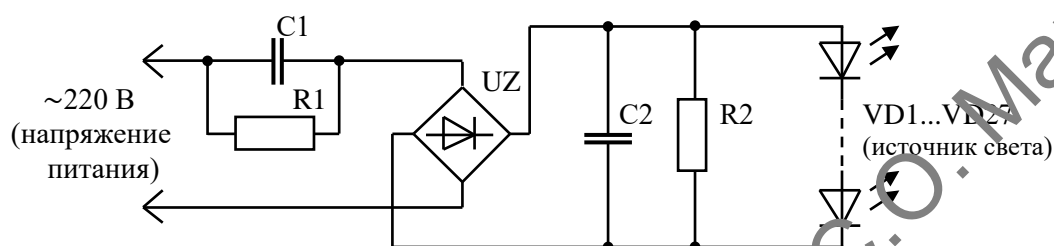


Рис. Схема драйвера светодиодной лампы MR-16
($C1=0,8 \mu\text{F}$; $C2=1,0 \mu\text{F}$; $R1=100 \text{ k}\Omega$; $R2=100 \text{ }\Omega$)

Иногда светодиодным светильником называют традиционный светильник с установленной сменной светодиодной лампой. Однако, специально спроектированный светильник обладает большей энергоэффективностью и надежностью. Светодиодные источники света в основном используются для направленного или местного освещения по причине особенностей полупроводникового излучателя светить преимущественно в одном направлении.

Все типы светильников можно разделить на три группы:

- 1) Светодиодные светильники наружной установки. Они изготавливаются в защищенном от влаги и пыли корпусе, кроме того, корпус обычно выполняет роль теплоотвода и изготавливается из хорошо проводящих тепло материалов.
- 2) Светильники для производственных целей и офисов. К этим светильникам предъявляются повышенные требования к качеству освещения, в том числе к стабильности и цветопередаче, условиям эксплуатации.
- 3) Светильники для бытовых нужд. Они обычно выпускаются невысокой мощности и имеют сменные лампы.

Преимущества светодиодного светильника по сравнению с лампами накаливания - низкое энергопотребление, долгий срок службы от 30000 до 50000 и более часов, простота установки, более низкая температура корпуса по сравнению с лампой накаливания, имеющей сравнимую яркость, высокая механическая прочность, зачастую - небольшие габариты. Полная экологическая безопасность позволяет сохранять окружающую среду, не требуя специальных условия по утилизации: не содержит ртути, ее производных и других ядовитых, вредных или опасных составляющих материалов и веществ.

Основной недостаток - высокая цена. Кроме того, при выходе из строя любого из элементов, светильник чаще всего подлежит замене на аналогичный. Эти недостатки чаще всего компенсируются экономией электроэнергии, экономией на обслуживании (замене ламп), что особенно актуально для общего освещения. К недостатка можно также отнести:

- Высокие требования к качеству теплоотвода, поскольку температура оказывает решающее влияние на надежность лампы. Мощные осветительные светодиоды требуют применения внешнего радиатора для охлаждения, потому что имеют неблагоприятное соотношение своих размеров к выделяемой тепловой мощности и не могут без специального теплоотвода рассеять столько тепла, сколько выделяют. Необходимость использования радиатора удорожает готовое изделие и затрудняет конструирование светодиодных ламп свыше 15 Вт, совместимых с типоразмером цоколя и габаритами ламп накаливания общего назначения.

- Невозможность работы при высоких (более 100 градусов) температурах окружающей среды.

- Напряжение питания светодиода значительно меньше напряжения питания обычных ламп накаливания. Для питания одиночного светодиода от сети необходим преобразователь питания постоянного тока, что дополнительно увеличивает объём светильника, а его наличие дополнительно снижает общую надёжность и требует дополнительной защиты.

- Последовательное включение нескольких светодиодов в некоторых схемах светильников снижает общую надежность устройства, поскольку выход из строя одного светодиода приводит к отключению всей цепочки.

- Дешёвые массовые светодиоды имеют световую отдачу 80-110 лм/Вт, что по экономичности ниже современных натриевых ламп. В связи с чем, несмотря на активное внедрение светодиодных бюджетных светильников в различные производственные и коммунальные сферы бытового обслуживания, в настоящее время для освещения улиц и дворовых территорий одними из самых энергоэффективных и надёжных источников света являются светильники типа ДНаТ (Светоотдача натриевых ламп высокого давления достигает 150 лм/Вт, низкого давления - до 200 лм/Вт).

- Дешевые лампы, подключаемые в сеть 220 В, мерцают (пульсации светового потока) с частотой 100 Гц, что может отрицательно влиять на зрение.

Библиографический список

1. Большая энциклопедия транспорта. В 8 т. / Под общ. ред. В.П. Калявина. Т. 6. Речной транспорт/ Под ред. А.С. Бутова, А.М. Зайцева. - СПб.: Элмор, 1998. - 312 с.
2. Шорин В.Г. Электрооборудование гидротехнических сооружений: Учебник для вузов. - СПб.: СПГУВК, 2000. - 320 с.
3. Тырва В.Э. Электрические и электронные аппараты электроприводов и систем автоматики: учеб. пособие. СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2015. - 336 с.
4. Белов Б.А., Орлов В.С. Электрооборудование и электроснабжение береговых установок речного транспорта: Учебник для вузов водного транспорта. - М.: Транспорт: 1991. - 352 с.
5. Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. — М.: Машиностроение, 2013. — 176 с., ил.
6. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств: Справ. пособие/Г.Г. Рекус. - М.: Высш. шк., 2007. - 709 стр.: ил.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ БЕРЕГОВЫХ УСТАНОВОК

Подвод электрической энергии к береговым объектам водного транспорта осуществлен с помощью линий электропередачи. Совокупность линий электропередачи (ЛЭП) и подстанций, размещенных на определенной территории и связывающих источники электроэнергии с ее потребителями, образуют электрическую сеть.

ЛЭП могут быть воздушными или кабельными. Воздушные ЛЭП представляют собой систему проводов, крепежной арматуры, опор, изоляторов и т.п. для передачи электрической энергии. Кабельные ЛЭП состоят из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями. По электрическому напряжению ЛЭП разделяют на высоковольтные при напряжении свыше 1000 В и низковольтные при напряжении не превышающем 1000 В.

Воздушная линия (ВЛ) - устройство для передачи электрической энергии по проводам, расположенным на открытом воздухе, прикрепленным с помощью изоляторов к опорам. Используются в основном алюминиевые и сталеалюминиевые провода (А и АК площадью сечения 16 - 400 мм²; АС, АСКС, АСКП площадью сечения 35 - 600 мм²). Скрученный из стальной проволоки сердечник сталеалюминиевого провода увеличивает прочность провода.

Для защиты ВЛ от прямых грозových разрядов над проводами фаз линии подвешивают грозозащитные тросы. Для грозозащитных тросов используются стальные оцинкованные канаты марок С-35, С-50, С-70.

На ВЛ применяют изоляторы (штыревые и подвесные), изготовленные из фарфора или закаленного стекла.

Кабельные линии (КЛ) предусматривают на напряжение до 1 кВ и 6 - 10 кВ. Кабель представляет собой один или несколько изолированных между собой проводников (жил), заключенных в герметичную защитную оболочку. Токоведущие жилы кабеля изготавливают из меди или алюминия. Изоляция токоведущих жил кабеля выполняют из резины, поливинилхлорида, полиэтилена или специальной бумаги. Оболочки могут быть из свинца, алюминия, резины или поливинилхлорида. Они имеют защитные покрытия от коррозии и механических повреждений кабеля. Кабели прокладывают в земляных траншеях, кабельной канализации, кабельных каналах, по кабельным эстакадам, по стенам и перекрытиям зданий.

Электрическая подстанция представляет собой электроустановку, предназначенную для приема, преобразования и распределения электрической энергии. Она состоит из трансформаторов или других преобразователей электрической энергии, устройств управления, распределительных и вспомогательных устройств. Основным нормативным документом для создания электроустановок являются «Правила устройства электроустановок» (ПУЭ), а при эксплуатации — «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТЭЭП). Подстанция, в которой стоят повышающие трансформаторы, повышает электрическое напряжение при соответствующем снижении значения силы тока, в то время как понижающая подстанция уменьшает выходное напряжение при пропорциональном увеличении силы тока.

На территориях береговых объектов водного транспорта устанавливаются, как правило, понижающие подстанции для преобразования подводимого по линии электропередачи высокого переменного напряжения в переменное напряжение из установленной шкалы 36, 220, 380, 660 В (для переменного тока частотой 50 Гц). При необходимости электрическая

энергия преобразуется, например, по роду тока (постоянный или переменный), по уровню напряжения (например, из высоковольтной в низковольтную) и т.п. с помощью преобразовательных устройств, таких как выпрямители, преобразователи частоты, инверторы и др.

Электрическая энергия передается электроприемникам по внутренним электрическим сетям. Определенная схема распределения электрической энергии между приемниками реализуется с помощью распределительных устройств (РУ). Каждое РУ состоит из токоведущих частей, изоляторов и коммутационных аппаратов. В состав электрооборудования РУ входят измерительные трансформаторы тока и напряжения. Управление передачей электроэнергии осуществляется с помощью коммутационных аппаратов.

На судоремонтных и судостроительных заводах, в портах и береговых установках подстанции и РУ могут быть внутрицеховыми (расположенными внутри зданий), встроенными (находящимися внутри зданий в отдельных помещениях), пристроенными (т.е. непосредственно примыкающими к зданию), отдельно стоящими (установленными на расстоянии от производственных зданий).

Электроприемники переменного тока потребляют активную составляющую тока, которая идет на создание полезной работы: вращение роторов электродвигателей, нагрев изделий, электролиз и т.д. Кроме того, электродвигателям, трансформаторам, индукционным печам, преобразовательным установкам и др. для работы необходимо переменное магнитное поле, которое создается реактивным током. Поэтому такие приемники называют «потребителями реактивной мощности». Удельное потребление электроприемниками реактивной мощности в % по отношению к активной мощности составляет: 15 - 30 для силовых трансформаторов; 4 - 120 для асинхронных двигателей; 45 - 100 для дуговых печей; 100 - 2000 для индукционных печей, 180 - 200 для сварочных трансформаторов, 140 - 170 для газоразрядных ламп. Чтобы заинтересовать электропотребителей в снижении и компенсации реактивной мощности, используется тариф на реактивную мощность, учитываемый при расчете стоимости потребляемой электроэнергии.

Судоходные шлюзы и судоподъемники

Судоходные шлюзы – это сложные гидротехнические сооружения, предназначенные для вертикального подъема и спуска транспортных судов на разные уровни бьефов водных путей при перемещении судов из одного бьефа в другой бьеф.

Бьеф - часть реки, канала, водохранилища или другого водного объекта, примыкающая к гидротехническому сооружению (платине, шлюзу, гидроэлектростанции и др.). Различают *верхний бьеф*, расположенный выше по течению, и *нижний бьеф*, расположенный по другую сторону гидротехнического сооружения. Бьеф, образованный двумя или несколькими водоподпорными сооружениями и расположенный на водораздельном участке водной системы или водотока, называется *раздельным бьефом*.

Основной особенностью шлюза, как конструкции, является то, что он действует по принципу сообщающихся сосудов, используя для подъема и опускания судов энергию гидростатического напора. Главным рабочим органом шлюза, выполняющим собственно транспортировку судов, является *камера*, которая ограничивается по длине воротами, перекрывающими *судоходное отверстие* шлюза.

Со стороны верхнего и нижнего бьефов камера сопрягается с массивными «*головами*» (соответственно с верхней и с нижней), которые служат для восприятия *напора* (воды), размещения ворот и механизмов. В теле головы могут быть предусмотрены *водопроводные га-*

лери, сообщающие камеру с соответствующим бьефом. Для установления этого сообщения (разобщения) служат *затворы* водопроводных галерей.

По своему устройству ворота камер и затворы водопроводных галерей весьма разнообразны. Например, применяются

ворота: плоские двустворчатые, сегментные подъемно-опускные, плоские подъемно-опускные, клапанные, откатные;

затворы галерей: плоские, цилиндрические, дисковые, конусные.

По количеству последовательно расположенных камер шлюзы подразделяются на одно-, двух- и многокамерные. Общий гидростатический напор воды у двух- и многокамерного шлюза распределяется между всеми камерами.

По числу параллельных камер шлюзы делятся на односторонние и двухсторонние.

Для обслуживания судопропуска шлюз оборудуется следующими приспособлениями:

- плавучими швартовыми устройствами камеры, например, плавучими рымами;
- подходными каналами с причальными стенками и причалами ожидания;
- шлюзовой навигационной светофорной сигнализацией.

На шлюзе предусматривается светофорная сигнализация в каждом направлении шлюзования судов («вниз» и «вверх»):

- *дальний* (подходной) *светофор* разрешает подход судов к причалу ожидания;
- *промежуточный светофор* (иногда отсутствует и заменяется сигналом «Стоп») ограничивает зону причала ожидания и регулирует судоходство непосредственно на подходе к шлюзу;
- *входной светофор* разрешает вход судна в камеру;
- *выходной светофор* разрешает выход судна из камеры.

Все светофоры бинарные: зеленый свет разрешает движение судов, красный – запрещает движение за светофор.

Транспортные судоподъемники применяются вместо шлюзов для перемещения судов из одного бьефа в другой бьеф при больших (более 30 м) разностях уровней бьефов. Например, судоподъемник у Красноярской ГЭС рассчитан на перепад уровня воды 108 м.

По способу перемещения судов транспортные судоподъемники разделяют на *вертикальные судоподъемники* и *наклонные судоподъемники*. Вертикальный судоподъемник подобен лифту, у которого вместо кабины применяется камера с водой. В процессе судопропуска судно перемещается вместе с камерой, находясь в ней. В наклонном судоподъемнике судно также перемещается вместе с камерой, которая с помощью специальных *грузовых тележек* передвигается по наклонным рельсовым путям от одного бьефа к другому бьефу.

Изменение положения ворот шлюза, затворов водопроводных галерей, грузовых тележек судоподъемников и подвижных частей разнообразных механизмов, необходимое для осуществления процесса судопропуска, производится с помощью *электроприводов*. Ими реализуется управляемое преобразование электрической энергии в механическую энергию для приведения в действие механизмов.

ТОКОВЕДУЩИЕ ЧАСТИ И АППАРАТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Воздушные и кабельные линии

Воздушная линия (ВЛ) - устройство для передачи электрической энергии по проводам, расположенным на открытом воздухе, прикрепленным с помощью изоляторов к опорам. Используются в основном алюминиевые и сталеалюминиевые провода (А и АК площадью сечения 16 - 400 мм² ; АС, АСКС, АСКП площадью сечения 35 - 600 мм²). Скрученный из стальной проволоки сердечник сталеалюминиевого провода увеличивает прочность провода.

Для защиты ВЛ от прямых грозовых разрядов над проводами фаз линии подвешивают грозозащитные тросы. Для грозозащитных тросов используются стальные оцинкованные канаты марок С-35, С-50, С-70.

На ВЛ применяют изоляторы (штыревые и подвесные), изготовленные из фарфора или закаленного стекла.

Кабельные линии (КЛ) предусматривают на напряжение до 1 кВ и 6 - 10 кВ. Кабель представляет собой один или несколько изолированных между собой проводников (жил), заключенных в герметичную защитную оболочку. Токоведущие жилы кабеля изготавливают из меди или алюминия. Изоляция токоведущих жил кабеля выполняют из резины, поливинилхлорида, полиэтилена или специальной бумаги. Оболочки могут быть из свинца, алюминия, резины или поливинилхлорида. Они имеют защитные покрытия от коррозии и механических повреждений кабеля. Кабели прокладывают в земляных траншеях, кабельной канализации, кабельных каналах, по кабельным эстакадам, по стенам и перекрытиям зданий.

(стр. 270)